

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

На правах рукописи



Гунбин Антон Андреевич

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ РАБОТЫ СОРТИРОВОЧНЫХ
ГОРОК С МНОГОВАГОННЫМИ ОТЦЕПАМИ**

Специальность 05.22.08 – Управление процессами перевозок
(технические науки)

Диссертация
на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель –
кандидат технических наук,
доцент А. А. Климов

Новосибирск – 2019

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
1 АНАЛИЗ СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ ТЕОРИИ РАСЧЕТА И ОПЫТА ЭКСПЛУАТАЦИИ СОРТИРОВОЧНЫХ ГОРОК.....	11
1.1 Краткий исторический обзор процесса расформирования составов.....	11
1.2 Теоретическое исследование методов расчета сортировочных устройств горочного типа	15
1.3 Анализ методов расчета сортировочных горок с учетом скатывания многовагонных отцепов	22
1.4 Анализ действующих положений нормативных документов, устанавливающих максимальное количество вагонов в отцепе при скатывании с сортировочной горки	26
Выводы по первой главе	29
2 РАЗРАБОТКА ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ СКАТЫВАНИЯ МНОГОВАГОННЫХ ОТЦЕПОВ С СОРТИРОВОЧНОЙ ГОРКИ	31
2.1 Формулировка задачи.....	31
2.2 Математическая модель расчета скорости движения многовагонного отцепа на различных участках продольного профиля	32
2.2.1 Расчет скорости движения отцепа	32
2.2.2 Расчет профильной движущей силы отцепа.....	34
2.2.3 Расчет удельных сил сопротивления движению отцепа при скатывании с сортировочной горки	35
2.3 Имитационная модель скатывания многовагонных отцепов с сортировочной горки.....	44
2.3.1 Алгоритм расчета перемещения отцепа на участке продольного профиля.....	44
2.3.2 Алгоритм определения точки отрыва отцепа при надвиге состава на вершину горки.....	46
2.3.3 Алгоритм расчета динамики скатывания многовагонного отцепа при движении по спускной части горки.....	48
2.3.4 Алгоритм расчета продольных сил автосцепного устройства.....	49
2.3.5 Общая характеристика программы для имитационного моделирования процесса скатывания с сортировочной горки многовагонных отцепов	49
Выводы по второй главе	53
3 МОДЕЛИРОВАНИЕ СКАТЫВАНИЯ МНОГОВАГОННЫХ ОТЦЕПОВ С СОРТИРОВОЧНОЙ ГОРКИ	54

3.1 Проверка адекватности имитационной модели скатывания отцепов с сортировочной горки	54
3.1.1 Верификация имитационной модели скатывания отцепов с горки	54
3.1.2 Валидация имитационной модели скатывания отцепов.....	58
3.2 Анализ структуры перерабатываемого на сортировочной горке вагоно- и отцепопотока	66
3.3 Исследование параметров подвижной части сортировочной горки	72
3.4 Исследование динамики скатывания отцепов при изменении конфигурации плана и продольного профиля перевальной части горки	75
3.5 Исследование динамики скатывания смежных отцепов из нескольких вагонов в зависимости от распределения массы внутри отцепа	81
Выводы по третьей главе	86
4 СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДА РАСЧЕТА МАКСИМАЛЬНО ДОПУСТИМОГО ЧИСЛА ВАГОНОВ В ОТЦЕПЕ НА ОСНОВАНИИ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ РОСПУСКА СОСТАВОВ	89
4.1 Формулировка задачи.....	89
4.2 Исследование ограничения по максимально допустимому числу вагонов в отцепе по мощности тормозных позиций	90
4.3 Исследование ограничения по максимально допустимому числу вагонов в отцепе по условию обеспечения потребной дальности пробега	96
4.4 Разработка методики определения максимально допустимого числа вагонов в отцепе на основании имитационного моделирования роспуска составов.....	99
Выводы по четвертой главе	104
5 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ МАКСИМАЛЬНО ДОПУСТИМОГО ЧИСЛА ВАГОНОВ В ОТЦЕПЕ	106
5.1 Формулировка задачи.....	106
5.2 Оценка времени роспуска многовагонных отцепов.....	107
5.3 Исследование влияния количества расцепок «сверхдлинных» отцепов на технологический горочный интервал	111
5.4 Влияние скорости роспуска на изменение технологического горочного интервала	116
5.5 Оценка экономического эффекта при сокращении количества случаев необходимого деления «сверхдлинных» отцепов	120
Выводы по пятой главе	127
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	128
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	130
ПРИЛОЖЕНИЕ А. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ «СКАТ-Отцеп»	145

ПРИЛОЖЕНИЕ Б. Статистические данные по реализуемой мощности тормозных позиций при скатывании многовагонных отцепов.....	146
ПРИЛОЖЕНИЕ В. Свидетельство о регистрации алгоритма «Автоматизированный анализ структуры вагонного парка»	161
ПРИЛОЖЕНИЕ Г. Результаты проверки конфигураций горба сортировочной горки по допустимой скорости входа и достаточности мощности тормозных позиций.....	162
ПРИЛОЖЕНИЕ Д. Акты о внедрении результатов диссертационной работы	186

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. На железных дорогах общего пользования в настоящее время имеются участки с ограничениями по пропускной способности. Согласно Стратегии развития холдинга «РЖД» на период до 2030 года планируется дальнейший рост размеров грузовых перевозок и реализация ряда инвестиционных проектов по развитию сети железных дорог общего пользования. Одной из стратегических задач развития отрасли является увеличение пропускной способности перегонов и станций, а также перерабатывающей способности станций, в первую очередь технических [52, 90].

В ОАО «РЖД» реализуется Программа развития и размещения сортировочных станций, в которой определены мероприятия по развитию эксплуатируемых станций [3]. Перерабатывающая способность сортировочных станций зависит от их технического оснащения и технологии работы, в том числе от применяемой технологии расформирования составов на сортировочной горке. В частности, на перерабатывающую способность горки влияют следующие факторы: режимы роспуска, скорости надвига и роспуска составов, количество вынужденных остановок роспуска, структура отцепопотока, особенности выполнения маневровой работы в сортировочном парке и др.

Определение технических характеристик и технологических параметров работы горки производится по нормам проектирования сортировочных устройств. Конкретные особенности технологии расформирования составов для каждой станции указываются в инструкции по работе сортировочной горки. При этом определение ограничений по конструктивным и технологическим параметрам горки производится по результатам скатывания одиночных вагонов.

В 2013 г. на сети железных дорог общего пользования введена в действие Инструкция № ЦД49-р, в которой определен порядок расчета максимально допустимой длины отцепа при роспуске на сортировочных горках. В данной методике отцеп рассматривается в виде материальной точки, что является принятым допущением и также применяется для расчета основных конструктивных параметров

горки, в которых рассматриваются отцепы из одиночных вагонов. Многовагонные отцепы имеют особенности динамики скатывания с сортировочной горки, и рассмотрение таких отцепов в виде материальной точки может приводить к погрешности получаемых результатов. В результате использование действующей методики на практике может приводить к снижению перерабатывающей способности сортировочных горок и станций в целом. В диссертационной работе многовагонные отцепы рассматриваются в виде системы шарнирно-осевых моделей вагонов с учетом межвагонных связей, что является отличием от существующего представления многовагонного отцепа в методике по расчету максимально допустимого числа вагонов в отцепе. Таким образом, выбранное направление научного исследования в диссертационной работе, посвященное изучению процесса скатывания с сортировочной горки многовагонных отцепов, является актуальным на современном этапе.

Степень разработанности темы исследования. В становление и развитие теории проектирования сортировочных устройств горочного типа, а также совершенствование технологии работы сортировочных горок большой вклад внесли следующие ученые и специалисты: В. Л. Арнольд, С. А. Бессоненко, В. И. Бобровский, С. П. Бузанов, А. В. Быкадоров, Е. А. Гибшман, М. Г. Дашков, Г. Д. Дубелир, В. И. Жуков, С. В. Карасев, С. Д. Карейша, А. М. Карпов, А. А. Климов, В. А. Кобзев, С. С. Мацкель, Ю. А. Муха, В. Д. Никитин, В. Н. Образцов, В. Е. Павлов, А. И. Павловский, Н. В. Правдин, В. М. Рудановский, А. Г. Савицкий, Е. А. Сотников, И. П. Старшов, И. И. Страковский, Л. Б. Тишков, Х. Т. Туранов, Н. И. Федотов, Н. М. Фонарев, А. Н. Фролов, А. Н. Шабельников, Е. М. Шафит, В. П. Шейкин, В. Н. Шелухин и др.

Исследования по совершенствованию методов расчета сортировочных горок в основном выполнялись в области оптимизации параметров плана и профиля горки и обеспечения безопасности сортировочного процесса. В результате была сформулирована действующая методика проектирования сортировочных горок, основанная на выполнении комплексных расчетов высоты и продольного профиля горки, а также технологических расчетов для одновагонных отцепов с различными

ходовыми характеристиками (расчетных бегунов). При этом в меньшей степени выполнялись исследования динамики скатывания многовагонных отцепов и оценки ее влияния на конструкцию горки и процесс роспуска.

Целью диссертационной работы является совершенствование технологии роспуска многовагонных отцепов для повышения перерабатывающей способности и безопасности работы сортировочных горок.

В диссертационной работе для достижения цели решены следующие **задачи**:

1. Выполнен анализ текущего состояния теории расчета, практики проектирования и опыта эксплуатации сортировочных горок с учетом роспуска многовагонных отцепов.

2. Разработана имитационная модель скатывания отцепов, в том числе многовагонных, при роспуске с сортировочной горки.

3. Выполнено исследование процесса скатывания многовагонных отцепов с сортировочной горки с использованием имитационной модели для проверки действующих положений методики расчета продольного профиля сортировочных горок и разработки предложений по ее совершенствованию.

4. Разработаны предложения по совершенствованию методики определения максимально допустимого количества вагонов в отцепе при роспуске с сортировочной горки с использованием имитационного моделирования.

5. Определена эффективность изменения технологии переработки многовагонных отцепов на сортировочной горке.

Объект исследования: Линейные предприятия транспортной сети.

Область исследования: Развитие транспортной сети, ее структур и линейных предприятий.

Методология и методы исследования. В диссертационном исследовании использованы методология и теоретические положения трудов в области расчета и эксплуатации сортировочных горок ученых отечественной научной школы, а также зарубежных ученых. Имитационная модель скатывания отцепов с горки разработана с учетом положений действующих нормативных документов по проектированию сортировочных горок, теории вероятностей и математической статистики. Для

оценки адекватности имитационной модели использованы методы верификации и валидации. Выполнялась обработка данных о техническом оснащении и технологии работы существующих сортировочных горок, структуре отцепопотока, проводились натурные наблюдения за скатыванием многовагонных отцепов для исследования динамики их скатывания с горки и определения потребной мощности тормозных средств. В работе использовались положения теории планирования экспериментов и методы оценки экономической эффективности на железнодорожном транспорте.

Научная новизна диссертационной работы заключается в следующем:

1. Разработана новая математическая модель для определения точки отрыва многовагонных отцепов от состава при роспуске.
2. Разработана новая имитационная модель скатывания многовагонных отцепов с сортировочной горки с учетом взаимодействия вагонов внутри отцепа.
3. Предложен новый критерий для определения максимально допустимого числа вагонов в отцепе и сформулированы предложения по совершенствованию методики расчета максимальной длины отцепа.
4. Разработан метод определения эффективности изменения максимально допустимого числа вагонов в отцепе.

Теоретическая и практическая значимость работы. Результаты выполненных исследований могут использоваться при проектировании и для совершенствования технологии работы сортировочных горок. Разработанные методы и модели рекомендуются для совершенствования технологии роспуска составов, с целью сокращения затрат и увеличения перерабатывающей способности, а также повышения уровня безопасности сортировочного процесса. Итоги исследований могут быть учтены при корректировке действующей Инструкции по расчету максимально допустимой длины отцепа.

Реализация и внедрение результатов работы. Полученные по результатам работы практические рекомендации по оценке технологии работы сортировочных горок приняты к использованию Западно-Сибирской дирекцией управления дви-

жением – структурным подразделением Центральной дирекции управления движением – филиала ОАО «РЖД». Выполнена апробация результатов диссертационного исследования для условий работы нечетной сортировочной горки ст. Инская Западно-Сибирской железной дороги. Получены акт внедрения результатов диссертационной работы, а также свидетельства о государственной регистрации разработанных следующих электронных ресурсов:

1. Программа имитационного моделирования скатывания отцепов из нескольких вагонов с сортировочной горки “СКАТ-Отцеп”. Свидетельство о регистрации электронного ресурса ОФЭРНиО № 18663 от 12.11.2012.

2. Алгоритм “Автоматизированный анализ структуры вагонного парка”. Свидетельство о регистрации электронного ресурса ОФЭРНиО № 22008 от 14.07.2016.

Разработанные модель скатывания многовагонных отцепов и методы определения максимально допустимой длины отцепа используются в учебном процессе кафедры «Железнодорожные станции и узлы» СГУПСа.

Положения, выносимые на защиту:

1. Метод определения точки отрыва многовагонного отцепа от состава с учетом взаимодействия вагонов в отцепе.

2. Имитационная модель скатывания многовагонного отцепа с сортировочной горки для выполнения конструктивных и технологических расчетов.

3. Метод расчета максимально допустимого количества вагонов в отцепе при роспуске с сортировочной горки с использованием имитационного моделирования.

4. Метод определения эффективности изменения максимально допустимого числа вагонов в отцепе.

Степень достоверности и апробация работы. Достоверность выполненных исследований и полученных результатов подтверждается корректным использованием и применением в работе положений фундаментальных и прикладных наук. Адекватность разработанной имитационной модели подтверждена методами верификации и валидации, для этого был произведен расчет U-критерия Манна – Уитни для экспериментальных и эмпирических данных, а также произведено сравнение

основных параметров движения отцепа при расчете аналитическим методом и методом имитационного моделирования.

Основные положения диссертационной работы были рассмотрены на международных научно-практических конференциях: «Инновационные факторы развития Транссиба на современном этапе» (СГУПС, Новосибирск, 2012 г.), «Транспортная инфраструктура Сибирского региона» (ИрГУПС, Иркутск, 2016 г.), «Политранспортные системы» (СГУПС, Новосибирск, 2016 и 2018 гг.). Результаты исследований по диссертационной работе были рассмотрены и получили положительную оценку на заседаниях кафедры «Железнодорожные станции и узлы» (СГУПС, Новосибирск, 2012–2019 гг.), на расширенном заседании кафедры «Станции, узлы и грузовая работа» (УрГУПС, Екатеринбург, 2019 г.).

Публикации. Основные результаты диссертационной работы опубликованы в шести научных работах, в том числе три статьи опубликовано в журналах, входящих в перечень ведущих рецензируемых изданий, рекомендованных ВАК Минобрнауки России, одна научная работа опубликована в журнале, индексируемом в международной базе данных Scopus. Получены свидетельства о государственной регистрации электронных ресурсов № 18663 и № 22008 ОФЭРНиО.

Основные положения диссертационной работы и результаты проведенных исследований разработаны и получены автором самостоятельно. Статьи [33–36] подготовлены автором самостоятельно. В работах, опубликованных в соавторстве, вклад автора диссертационной работы заключается в следующем: [50] – разработка моделей скатывания отцепа и работы поглощающего аппарата автосцепки, [132] – разработка модели и алгоритма оценки потребной мощности тормозных позиций, проведение расчетов, анализ и обобщение полученных результатов.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы, включающего 135 наименований, пяти приложений. Содержание работы изложено на 129 страницах основного текста. Диссертационная работа включает 90 таблиц и 41 рисунок.

1 АНАЛИЗ СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ ТЕОРИИ РАСЧЕТА И ОПЫТА ЭКСПЛУАТАЦИИ СОРТИРОВОЧНЫХ ГОРОК

1.1 Краткий исторический обзор процесса расформирования составов

Совершенствование методов сортировки вагонов началось в первой половине XIX в., с ростом грузовых перевозок на железнодорожном транспорте. На первом этапе перестановка вагонов с пути на путь производилась ручным способом, с использованием шеста аншпуга, также применялась конная тяга [48, 88]. Маневры производились на путях горизонтального профиля. Конструкция первых сортировочных станций имела следующую особенность: из-за низкой надежности стрелочных переводов исключалась возможность прямого приема поезда, поступающего в расформирование с перегона на станционные пути. Для этого производилась остановка поезда на главных путях перегона, с последующим осаживанием на пути станции.

На втором этапе стали применяться конструктивные решения по расположению станционных путей на уклоне. Первой станцией, расположенной на уклоне, была сортировочная ст. Дрезден-Фридрихштадт, введенная в эксплуатацию в 1846 г. в Германии. Расформирование производилось с использованием силы тяжести вагонов – состав останавливался на перегоне перед станцией; после закрепления и отцепки локомотива состав растормаживался и под действием силы тяжести приходил в движение по маршруту в парк приема, где производилась его остановка и деление на отцепы. Далее группы вагонов последовательного раскреплялись и переставлялись на пути основного парка сортировки. Каждый путь сортировочного парка выделялся под накопление на одну станцию сети. Отличительными особенностями станций такого типа являлось последовательное расположение специализированных парков, позволяющее избежать излишних перепробегов, а уклон станционной площадки позволял обходиться без использования тяговых средств во время сортировки [32, 48, 87].

Регулирование скорости отцепа производилось тормозильщиками вагонов при помощи закладываемых в промежуток между рессорой, бандажом колеса и рамою вагона аншпугов таким образом, чтобы шест нажимал на бандаж колеса. С 1857 г. при маневрах стали использовать тормозные башмаки. Торможение производилось до полной остановки отцепа как на спускной части сортировочной горки, так и в парке. При этом на тормозных позициях спускной части должна была обеспечиваться возможность трогания отцепа с места после остановки.

В 1876 г. на ст. Шпельдорф (Германия) была апробирована конструкция сортировочного устройства горочного типа, что стало началом третьего этапа развития сортировочных устройств. При расформировании составов на станциях с сортировочными горками был необходим маневровый паровоз, регулирование скорости производилось аншпугами, применялась остановка отцепов на спускной части тормозными башмаками. Конструкция горки позволила исключить основной недостаток негорочных устройств, заключающийся в необходимости расцепки вагонов на уклоне [19, 87, 95].

Увеличение темпов сортировки привело к созданию специальных тормозных устройств. Так, регулирование скорости скатывающихся отцепов тормозными башмаками без полной остановки стало возможным после изобретения башмако-сбрасывателя в 1900 г. Это стало началом четвертого этапа – развития технических средств регулирования скорости движения отцепов. Первые механизированные вагонные замедлители были применены в 1924 г. на ст. Гамм (Германия) и Джибсон (США). В СССР первой станцией подобного типа стала ст. Красный Лиман в 1934 г. Спускная часть сортировочной горки была оборудована механическими вагонными замедлителями «Модель 39» нажимного типа с электропневматическими приводами [58, 83]. Внедрение механизированных тормозных позиций привело к уменьшению травматизма башмачников, увеличению точности интервального регулирования и росту перерабатывающей способности сортировочной горки и станции в целом [57].

Технологическим препятствием для увеличения допустимой длины отцепа при расформировании состава на сортировочной горке являлись маломощные немеханизированные тормозные позиции. Согласно нормативной документации по проектированию сортировочных устройств [75], тормозное усилие на немеханизированной тормозной позиции обратно пропорционально количеству осей оттормаживаемого отцепа. При увеличении количества вагонов в отцепе происходит уменьшение погашаемой энергии на немеханизированной тормозной позиции в связи с ограниченным количеством тормозных башмаков и производительностью труда башмачника. Данный факт не нашел отражения при развитии теории расчета сортировочных устройств. Это было связано в том числе с малой мощностью назначений плана формирования и, как следствие, с низкой вероятностью появления отцепов с большим количеством вагонов. Кроме того, вагоны, следующие в один пункт назначения, часто находились в разных частях состава (подборка групп вагонов на станциях отправления, как правило, не выполнялась). Дополнительным фактором, влияющим на количество вагонов в отцепе при сортировке, было наличие двух способов сцепления вагонов между собой:

- винтовая упряжь;
- автосцепное устройство ИРТ-3 (позднее переименованное в СА-3).

В результате, во время сортировки вагоны, следующие в один пункт назначения, накапливались на двух путях сортировочного парка (деление шло по типу сцепного устройства вагонов) и потом объединялись в общий состав.

Модернизация подвижного состава и развитие методов групповой поточной маршрутизации к 60-м гг. XX в. привели к росту средней длины отцепа. На отдельных сортировочных станциях среднее количество вагонов в отцепе увеличилось с 1–2 до 7 [1]. Далее в советский период шел процесс постепенного увеличения среднего числа вагонов в отцепе. Передача инвентарного парка вагонов ОАО «РЖД» дочерним компаниям привела к увеличению собственников подвижного состава и увеличению дробности отцепопотока. Средняя длина отцепа на сортировочных горках снизилась до 3–4 вагонов. В настоящее время максимальное число вагонов в отцепе доходит до нескольких десятков.

Пятый этап развития сортировочных устройств связан с автоматизацией процесса переработки вагонопотоков. Элементы автоматизации начали разрабатываться в начале XX в. Автоматический перевод стрелок впервые был произведен на ст. Герне (Германия) в 1914 г. Через 10 лет, в 1924 г. в Германии создано первое вагоноосаживающее устройство системы Пезентруна. В 1955 г. на ст. Кирк в США впервые была осуществлена автоматизация процесса роспуска составов на сортировочной горке, в СССР подобные системы автоматики были внедрены в 1962 г. сразу на двух сортировочных станциях – Лосиноостровская и Ленинград-Сортировочный-Московский [85, 87, 118, 119]. Развитие научной и компонентной базы привело к созданию серии устройств горочной автоматизации. Системы автоматики позволяют дистанционно задавать скорость горочного локомотива и контролировать безопасность процесса роспуска составов, регулируя скорость скатывания и обеспечивая движение отцепов по маршруту как на спускной части горки, так и в сортировочном парке [2].

На современном этапе развития техники в России и в других странах с развитым железнодорожным транспортом ведется переход от увеличения размеров переработки на отдельных сортировочных устройствах к сокращению себестоимости переработки вагонопотока [117, 125, 127–129, 135]. Часть сортировочных станций, в том числе и отечественных (например, ст. Лужская), оборудуется немецкой системой автоматического расформирования поездов MSR-32 [72, 80, 81]. В этой системе реализованы элементы телеуправления горочными локомотивами, автоматического построения маршрута скатывания отцепов и управления тормозными позициями. Рекомендуемые значения скорости роспуска определяются для каждого отцепа в зависимости от внешних условий, маршрута скатывания, а также ходовых свойств отцепа и передаются по радиоканалу управляющей командой в локомотив. Контроль маршрутов скатывания отцепов с сортировочной горки производится в автоматическом режиме, резервная система управления выведена на пульт управления дежурного по горке. Важное внимание уделено безопасности процесса расформирования. Для продвижения отцепов в сортировочном парке используются

вагоноосаживатели, что практически полностью исключает возможность возникновения нештатной ситуации при заполнении подгорочных путей. При появлении отцепа с непредвиденными ходовыми свойствами или при прогнозировании нарушения временного интервала на разделительных элементах по маршруту следования стрелочные переводы за отцепом выводятся в охранное положение. Нештатный режим работы напольного оборудования или нарушение установленного режима роспуска определяется системой, и происходит остановка роспуска.

В отдельных странах Восточной Европы оптимизация конструкции и технологии работы сортировочных горок ведется в другом направлении. В условиях падения объемов переработки на сортировочных горках и нехватки средств на содержание и модернизацию вагонных замедлителей наблюдается [124] отказ от эксплуатации уже установленных механизированных тормозных позиций и переход к немеханизированным тормозным позициям. Например, на Украине на спускной части 87 % сортировочных горок сети используются посты башмачников.

1.2 Теоретическое исследование методов расчета сортировочных устройств горочного типа

С появлением и распространением горочной технологии ведутся научные исследования по поиску оптимальных методов работы и конструкции сортировочной горки. За первое десятилетие XX в. русскими учеными было выведено общее уравнение движения отцепа [116], даны рекомендации по расчету параметров продольного профиля спускной части горки [4], а также разработаны графические методы расчета высоты сортировочных устройств и динамики скатывания отцепов [39, 78]. Изменения в конструкцию сортировочной горки вносились на основании натуральных экспериментальных исследований и в результате совершенствования теоретических методов расчета. Продолжавшиеся работы в области динамики скатывания вагонов и конструкции горки ([86, 95]) к началу 30-х гг. XX в. позволили сформировать фундаментальные положения теории расчета сортировочных устройств, многие из которых используются и в настоящее время. Вклад в развитие теории

проектирования и оптимизации технологии работы сортировочных горок внесло множество ученых и специалистов [2, 4, 8, 11, 13, 18, 19, 21, 28, 31, 37–39, 41, 46, 51, 56, 66, 70, 79, 82, 89, 97, 99, 115, 120, 123].

В результате выполняемых исследований формировались нормативные требования к плану, профилю и технологии работы сортировочных устройств, которые излагались в технических условиях, правилах и нормах проектирования.

При разработке Технических указаний на проектирование станций и узлов (ТУПС) в 1948 г. [91] была принята следующая классификация сортировочных устройств горочного типа: горки большой мощности, горки малой мощности, полугорки. Данная классификация была изменена в Инструкции по проектированию станций и узлов (ИПСУ) в 1978 г. [42]. Выделен новый тип горок – средней мощности, на который распространялись действующие требования для горок большой и малой мощности. В Правилах и нормах проектирования сортировочных устройств (ПНПСУ) 1992 г. [74] выделяется тип горок повышенной мощности, исключаются из классификации полугорки. В действующем издании Правил и норм 2003 г. [75] данная классификация осталась без изменений.

Согласно нормам 1948 года [91] предусматривалось деление горбов горки на зимний и летний. Зимний горб сортировочной горки проектировался выше летнего для компенсации дополнительного сопротивления движению отцепа от окружающей среды. В последующих версиях нормативных документов [42, 74, 75, 92–94] рекомендуется проектировать горбы сортировочной горки в одном уровне, устанавливаемом для зимних условий работы. В случае когда условия внешней среды тяжелее расчетных, допускался подъем горба зимней горки специальными нащпальниками.

При этом во всех нормативных документах, вышедших с 1961 г. [93], установлено, что при дополнительном обосновании допускается устраивать горбы с разными высотными отметками. Данное условие применимо при тяжелых климатических условиях или при специализации разных горбов горки для переработки

конкретного отцепопотока. Первый горб выделяется под расформирование составов из преимущественно порожних вагонов, второй – для расформирования отцепопотока из груженых вагонов.

Изменение нормативных требований к продольному профилю надвижной и спускной частей горки приведено в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Изменения нормативных требований к элементам продольного профиля сортировочных горок

Элемент профиля	Документ, год издания	Нормативные требования
Параметры надвижной части сортировочной горки	ТУПС, 1948 г.	Надвижная часть проектируется с уклоном не менее 8,0 ‰, на протяжении не менее 50 м
	ТУПС, 1961 г.	То же
	ТУПС, 1965 г.	»
	ИПСУ, 1978 г.	Принято два типовых варианта профилей путей надвига: – аналогичный продольному профилю, принятому в ТУПС 1948 г.; – и новый вариант продольного профиля – для проектирования с уклоном 12–16 ‰ на протяжении 150–100 м (при этом предыдущий участок перед противуклоном около 350 м рекомендуется располагать на площадке)
	ПНПСУ, 1992 г.	Уточнено два типовых варианта продольных профилей путей надвига и разработаны: – то же, рекомендованное значение крутизны элемента надвига ограничивается 10,0 ‰. Уклон предыдущего участка проектируется на уклоне 1–2 ‰; – вариант ИПСУ 1978 – для проектирования с уклоном 12–16 ‰ на протяжении 150–100 м (при этом предыдущий участок перед противуклоном около 350 м рекомендуется располагать на площадке). Максимально допустимая разница уклонов площадки и пути надвига 25,0 ‰. Максимальная разность уклонов надвижной и спускной частей сортировочной горки равна 55,0 ‰. Разработан вариант профиля с разделительным участком между надвижным и спускными элементами профиля: площадка перед надвижным элементом профиля проектируется уклоном 0–2 ‰, уклон элемента надвижной части горки в диапазоне от 8 до 20 ‰, длиной не менее 20 м, разделительный элемент проектируется уклоном не менее 5,0 ‰, длиной не менее 10 м. При этом разность уклонов пути надвига и скоростного элемента не должна превышать 70,0 ‰
	ПНПСУ, 2003 г.	То же
Параметры скоростного элемента	ТУПС, 1948 г.	На горках большой мощности спускная часть проектируется с уклоном не менее 25,0 ‰ для летнего горба горки и не круче 40,0 ‰ для зимнего. На горках малой мощности спускная часть с уклоном не более 20,0 ‰

Продолжение таблицы 1.1

Элемент профиля	Документ, год издания	Нормативные требования
	ТУПС, 1961 г.	Не более 50,0 ‰, а при временном использовании для работы на горке паровозов – не круче 40,0 ‰
	ТУПС, 1965 г.	То же
	ИПСУ, 1978 г.	Для ГБМ и ГСМ проектируется наиболее крутым, но не более 55,0 ‰. При этом не менее 40,0 ‰ для ГБМ, не менее 35,0 ‰ для ГСМ, не менее 25,0 ‰ для ГММ
	ПНПСУ, 1992 г.	Максимальный уклон элемента ограничивается 50,0 ‰, предельно допустимая разница крутизны этого и предыдущего элемента не более 55,0 ‰; следующего элемента – не более 25,0 ‰
	ПНПСУ, 2003 г.	То же
Элемент, содержащий тормозную позицию на спускной части горки (ТП)	ТУПС, 1948 г.	Уклон не менее 9,0 ‰
	ТУПС, 1961 г.	То же
	ТУПС, 1965 г.	Уклон не менее 7,0 ‰
	ИПСУ, 1978 г.	То же, на автоматизированных горках допускается уменьшать уклон до 5,0 ‰
	ПНПСУ, 1992 г.	Для ТП-I уклон устанавливается не менее 12,0 ‰ на горках повышенной, большой и средней мощности, не менее 7,0 ‰ на горках малой мощности. Для ТП-II уклон устанавливается не менее 7,0 ‰, при неблагоприятных температурных условиях – не менее 10,0 ‰
ПНПСУ, 2003 г.	То же	
Стрелочная зона	ТУПС, 1948 г.	Устраивается на спусках в пределах 2,5–3,5 ‰
	ТУПС, 1961 г.	Проектируется со средним уклоном до 1,5 ‰, а на крайних пучках до 2,0 ‰
	ТУПС, 1965 г.	То же
	ИПСУ, 1978 г.	»
	ПНПСУ, 1992 г.	Проектируется с уклоном в диапазоне 1,0–1,5 ‰; до 2,0 ‰ для крайних пучков горок с числом путей до 30; до 2,5 ‰ для крайних пучков при числе путей более 30.
	ПНПСУ, 2003 г.	-//-, в начале сортировочных путей допускается продлевать участки профиля с уклоном до 2,0 ‰ в пределы закрестовинных кривых. Уклон участка путей сортировочного парка от предельного столбика до парковой тормозной позиции допускается устанавливать: – при расположении ее в кривой допускается выбирать согласно предыдущему пункту; – при расположении в прямой – до 1,5 ‰
Парковая тормозная позиция (ПТП)	ТУПС, 1948 г.	–
	ТУПС, 1961 г.	Отдельных требований к парковой тормозной позиции не предъявляется
	ТУПС, 1965 г.	То же
	ИПСУ, 1978 г.	»
	ПНПСУ, 1992 г.	На эксплуатируемых горках может располагаться на спуске с уклоном до 8,0 ‰. Также допускается размещение ПТП на уклонах: до 2,0 ‰ – при расположении в кривой, до 1,5 ‰ – при расположении на прямом участке пути
	ПНПСУ, 2003 г.	То же

Продолжение таблицы 1.1

Элемент профиля	Документ, год издания	Нормативные требования
Пути сортировочного парка (СП)	ТУПС, 1948 г.	Конструктивно закладывается спуск в 2,0 ‰ для первых двух третей пути, для последней трети сортировочного пути устраивается подъемом в 2,0 ‰
	ТУПС, 1961 г.	Для первых двух третей полезной длины проектируется спуск с уклоном, не ускоряющим движение груженых отцепов при благоприятных условиях. Диапазон допустимых значений: 1,0–1,5 ‰, в кривых до 2,0 ‰. В хвостовой горловине и в последней трети сортировочного парка примерно на протяжении 150–200 м полезной длины сортировочных путей рекомендуется предусматривать обратный уклон до 2,0 ‰
	ТУПС, 1965 г.	То же
	ИПСУ, 1978 г.	Первый элемент со стороны стрелочной зоны (длиной на половину длины состава) размещается на равномерном уклоне по направлению скатывания: 1,0 ‰ – при длине состава 800 м; 0,9 ‰ – для 1000 м и 0,8 ‰ – для 1200 м. Следующий элемент продольного профиля СП проектируется крутизной не более 0,5 ‰. Для автоматизированных горок первый элемент профиля (длиной 200 м) проектируется на уклоне до 1,5 ‰, а при длине 125 м – на уклоне 2,0 ‰. Следующий элемент продольного профиля СП проектируется на уклоне не более 0,5 ‰
	ПНПСУ, 1992 г.	Сортировочные пути проектируют на спуске с уклоном до 0,6 ‰. Последние 100 м и выходную горловину СП проектируют на противоуклоне 2,0 ‰. При сооружении в СП второй ПТП продольный профиль СП проектируют в виде трех элементов: участок от ПТП-I до ПТП-II на спуске с уклоном 1,0 ‰, участок от ПТП-II до противоуклона в выходной части парка – на спуске 0,6 ‰, противоуклон в выходной части СП длиной 100 м – на подъеме 2,0 ‰
	ПНПСУ, 2003 г.	То же

Корректировались также и методы оценки конструктивных параметров сортировочных устройств. Проверка расчетной высоты сортировочной горки выполнялась по условию докатывания бегунов с плохими ходовыми характеристиками при неблагоприятных условиях внешней среды до определенной точки, устанавливаемой на трудном пути сортировочного парка. Изменение условий выполнения расчетов приведено в таблице 1.2.

Таблица 1.2 – Условия проверки расчетной высоты сортировочной горки

Документ, год издания	Плохой бегун	Расчетная точка
ТУПС, 1948 г.	Двухосный крытый вагон массой 16 т брутто	Для ГБМ и ГММ на расстоянии 50 м от предельных столбиков, учитывая в этом месте остановку центра тяжести вагона
ТУПС, 1961 г.	Неполногрузный четырехосный крытый вагон с расчетной массой 37 т брутто, при смешанном вагонопотоке и 50 т брутто при грузежном отцепопотоке	Для ГБМ на расстоянии 100 м, а в трудных условиях на эксплуатируемых станциях, а также для ГММ – 50 м за предельным столбиком
ТУПС, 1965 г.	Неполногрузный четырехосный крытый вагон с расчетной массой 30 т брутто, при смешанном вагонопотоке и 50 т брутто при грузежном отцепопотоке	То же, на ГММ, полугорках и вытяжных путях специального профиля при обосновании допускается уменьшать расчетное расстояние до 12 м
ИПСУ, 1978 г.	Четырехосный крытый вагон весом 25, 30 и 50 тс, при среднем весе вагона в диапазонах до 60 тс, от 60 до 70 и более 70 тс соответственно	Для ГБМ на расстоянии 100 м, для ГСМ – 80 м, а в трудных условиях на эксплуатируемых станциях, а также для ГММ и для других малых сортировочных устройств – 50 м за предельным столбиком
ПНПСУ, 1992 г.	Четырехосный крытый вагон, вес принимается в результате анализа структуры вагонопотока, при отсутствии информации за расчетный бегун принимается одиночный отцеп весом 25 тс	Принимается на расстоянии 50 м от выходного конца ПТП или от башмакосбрасывателя (при регулировании скорости отцепов на сортировочных путях тормозными башмаками)
ПНПСУ, 2003 г.	Четырехосный крытый вагон расчетной весовой категории	То же

Наличная мощность тормозных позиций также определяется расчетом. Согласно [91] при полном использовании тормозных средств и благоприятных условиях скатывания должна обеспечиваться полная остановка очень хорошего бегуна массой 80 т на последней тормозной позиции. На горках малой мощности остановка вагонов на последней тормозной позиции была необязательна и тормозные средства должны были обеспечивать безопасный подход очень хороших бегунов при благоприятных условиях скатывания к стоящим в начале полезной длины подгорочных путей вагонам со скоростью не более 1,5 м/с.

В 1961 г. [93] методика определения длины тормозного пути и мощности тормозных средств на горках большой и малой мощности осталась без изменений. По-

мимо оценки возможности остановки очень хорошего бегуна весом 80 тс на последней тормозной позиции, также стала производиться проверка на торможение шестиосных вагонов весом 127 тс.

Порядок определения основного удельного сопротивления движению отцепа для четырехосного вагона весом 80 тс был уточнен в 1965 г. [94]. Этот параметр использовался при проверке достаточности мощности тормозных средств, расположенных на спускной части ГБМ и ГСМ, а также для расчета скорости выхода отцепа с ТП-I и остановки хорошего бегуна на ТП-II (в данном случае расчет динамики скатывания бегуна производился при благоприятных условиях). Также выполнялась проверка достаточности тормозных средств для остановки на парковой позиции шестиосного вагона (массой брутто 127 т).

В 1978 г. для механизированных ГММ начинают применяться условия скатывания, одинаковые с условиями скатывания для механизированных ГБМ. Для немеханизированных горок предусматривается выполнение проверки на возможность остановки очень хороших бегунов на ПТП, оборудованной башмакосбрасывателями. При необходимости рекомендовалось также выполнять проверку на торможение восьмиосного вагона [42].

С 1992 г. [74] при проверке суммарной мощности тормозных средств, расположенных на спускной части горок повышенной, большой и средней мощности, вес скатываемого четырехосного вагона увеличен до 100 тс. В целом условия проверки для данных типов горок остались без изменений. Для горок малой мощности проверка мощности тормозных средств выполнялась для ПТП. Для немеханизированных горок также введена проверка возможности остановки отцепов на ПТП с учетом использования 80 % длины башмачной тормозной позиции спускной части. Дополнительно рекомендовалось выполнение проверки остановки отцепа из двух восьмиосных вагонов весом по 176 тс при полном использовании мощности тормозных позиции на спускной части.

Расчетные бегуны с «предельными» характеристиками (ОП и ОХ-100) используются при определении высоты и продольного профиля сортировочной горки, а также проверки мощности тормозных средств [75]. Для каждого типа горки

определены расчетные сочетания бегунов для выполнения технологических расчетов и оптимизационных расчетов при выборе конструкции и параметров продольного профиля.

Проведенный анализ развития нормативных документов для расчета сортировочных устройств горочного типа показал, что на протяжении длительного периода постоянно корректируются требования к их параметрам и технологии работы. Следует отметить, что до 1992 г. отцепы из нескольких вагонов в Правилах и нормах для расчета сортировочных горок не использовались. Использование расчетных бегунов из одиночных вагонов с предельными характеристиками (ОП и ОХ-100) для определения минимального и максимального значений высоты сортировочной горки для неблагоприятных и благоприятных условий соответственно представляется логичным и обоснованным [73]. Использование в технологических расчетах только одиночных вагонов (в том числе, для установленного Правилами и нормами расчетного сочетания для трех смежных отцепов) может существенно отличаться от реальных условий эксплуатации сортировочных горок, где значительная часть вагонопотока перерабатывается в отцепах из нескольких вагонов.

1.3 Анализ методов расчета сортировочных горок с учетом скатывания многовагонных отцепов

Эксплуатационные показатели работы сортировочных горок в большей степени зависят от решений, принятых на стадии проектирования. Параметры плана и продольного профиля подвижной части горки и первого скоростного элемента спускной части влияют на потребную мощность тормозных позиций, момент отрыва отцепов от надвигаемого состава и условия расцепки вагонов, скорость входа на разделительные элементы. При этом Правилами и нормами устанавливается диапазон допустимых значений уклонов элементов профиля, решение задачи оптимизации параметров отводится проектным организациям.

Существующие методики расчета горок основываются на анализе скатывания одновагонных отцепов, при этом за точку начала самостоятельного скатывания

отцепа принимается вершина горки (ВГ). Однако на множестве сортировочных горок большая часть вагонопотока перерабатывается в отцепах из нескольких вагонов. Допущения действующей методики могут приводить к погрешности при прогнозировании движения многовагонных отцепов по спускной части горки, поскольку точка отрыва и динамика скатывания отцепов из нескольких вагонов отличается от аналогичных характеристик одиночных отцепов. Поэтому требуются дополнительные исследования по определению оптимальной конструкции горба сортировочной горки, с учетом структуры перерабатываемого отцепопотока.

Всего было разработано три метода решения этой задачи:

– аналитический [4, 15, 18, 26, 27, 55, 77, 99, 103, 115], использование метода основано на некоторых допущениях при описании динамики скатывания отцепов при роспуске;

– графоаналитический, метод основан на построении графиков фазовых траекторий скатывания расчетных бегунов и их анализе [23, 28, 30, 31, 39];

– имитационное моделирование, разработанные ранее имитационные модели скатывания вагонов с сортировочной горки [8, 9, 13, 14, 16, 21, 47, 49, 50, 56, 59, 98, 120, 121] в основном предназначены для определения конструктивных параметров горки по результатам скатывания одиночных вагонов.

Профессор В. Д. Никитин в 1949 г. при расчете высоты сортировочной горки аналитическим методом учитывал основное удельное сопротивление движению, дополнительное сопротивление от воздушной среды и энергетическую высоту, соответствующую скорости движения отцепа в момент отрыва на горбе горки. Приближенное значение сопротивления от стрелок и кривых рассчитывалось без учета скорости движения отцепа (согласно [91]). Мощность тормозных позиций определялась для условия остановки бегуна ОХ массой 80 т на ПТП.

Аналитический метод расчета положения точек отрыва был разработан Г. И. Запорожцем [40]. В данном методе многовагонные отцепы принимались как равномерно загруженные, сочетание в отцепе вагонов с разной массой не рассмат-

ривалось. В результате выполненных исследований был уточнен порядок определения временных интервалов на разделительных элементах горочной горловины между смежными отцепами, в том числе с разными ходовыми характеристиками.

Аналитические методы для определения момента отрыва отцепа от надвигаемой части состава и расчета фазовых траекторий последующего скатывания отцепа развиваются такими учеными, как С. П. Бузанов, А. М. Карпов, Ю. А. Муха и др. В своих трудах [19, 20, 64] авторы разработали метод расчета точки отрыва многовагонных отцепов как равенство ускоряющих профильных сил и сил основного удельного сопротивления движению и сопротивления от среды и ветра на промежуточных элементах продольного профиля горки, на которых находится отцеп. Отцеп рассматривался в виде жесткой системы, без учета упругих межвагонных связей. При движении по спускной части горки отцеп, так же как и ранее, рассматривался в виде материальной точки. Для упрощения расчетов продольный профиль принимался состоящим не из фактических участков, а укрупненным, с меньшим количеством элементов и эквивалентным уклоном. Такой метод позволял достаточно точно выполнять расчеты только для равномерно нагруженного многовагонного отцепа.

М. М. Бакалов [5] первым предложил осевую модель для описания как одновагонных, так и многовагонных отцепов. В своих трудах ученый определял точку отрыва отцепа от состава на вершине горки и начала свободного скатывания через уравнение равновесия. Однако по причине высокой трудоемкости вычислений данный аналитический метод широкого распространения не получил.

А. В. Быкадоров в своих исследованиях [22–30] использовал как аналитический, так и графический метод описания динамики скатывания многовагонных отцепов. При этом момент отрыва отцепов определялся по условию равенства удельных профильных сил и сопротивлений движению многовагонного отцепа. В разработанном графическом методе многовагонный отцеп идентифицировался при движении по двум точкам – «голове» и «хвосту» отцепа. При неоднородном распределении массы внутри отцепа вводились дополнительные точки для описания дина-

мики скатывания такого отцепа, что существенно усложняло расчет. Поэтому метод в основном использовался и позволял получать достаточно точные результаты только для равномерно загруженных отцепов. Также необходимо отметить, что в используемой методике не учитывалось сопротивление движению отцепа от стрелочных переводов и кривых.

Н. И. Брехов [18] занимался изучением особенностей роспуска равномерно загруженных многовагонных отцепов. Ученым разработана методика по определению максимально допустимого числа вагонов в отцепе при роспуске с сортировочной горки. В ней учитывается снижение реализуемой мощности тормозных позиций из-за особенностей положения многовагонного отцепа на перевальной части горки. Точка отрыва для многовагонных отцепов определялась по условию равенства действующих на отцеп профильных ускоряющих и замедляющих сил. Также необходимо отметить, что в данном методе не учитываются затраты энергии движения многовагонного отцепа после отрыва от состава, которые рассеиваются при проследовании горба горки «хвостовыми» вагонами, которые в момент отрыва находятся еще на надвижной части горки. В результате выполняемые по данному методу расчеты характеризовались наличием погрешностей, особенно когда при скатывании рассматривались отцепы с неоднородной структурой.

Новые возможности по исследованию динамики скатывания отцепов с горки появились с развитием электронных вычислительных средств. Качественный скачок ознаменовался переходом от расчетов, выполняемых аналитическими и графоаналитическими методами, к моделированию скатывания отцепов на ЭВМ. Одними из первых модели описания динамики скатывания отцепа итерационными методами на ЭВМ разработали В. К. Буянова [21], С. С. Мацкель [56] и Е. М. Шафит [120, 121].

Работы Ю. А. Мухи и В. И. Бобровского сформировали основные принципы построения имитационной модели скатывания отцепа с горки [2, 13, 59]. В ее основу вошло представление отцепа в виде шарнирно-соединенных материальных точек, имитирующих оси отцепа. Для моделирования маршрут скатывания разби-

вается на множество элементарных перемещений от момента отрыва отцепы на вершине горки до расчетной точки. Результирующая профильная сила, действующая на отцеп, в ходе моделирования его движения при скатывании с сортировочной горки рассчитывается динамически для каждого расчетного участка. При этом профильные силы делятся на неуправляемые силы, расположенные по маршруту скатывания и управляемые, сконцентрированные в зоне действия тормозных позиций. Моделирование перемещения отцепы при роспуске с сортировочной горки осуществляется путем интегрирования дифференциального уравнения движения отцепы.

Описанные выше принципы построения модели получили дальнейшее развитие в трудах Д. Н. Козаченко, Б. А. Родимова, А. И. Павловского, В. И. Жукова и др. [2, 10, 11, 13, 14, 59–62, 68, 71, 79, 126].

В настоящее время большая работа в области совершенствования методов описания динамики скатывания отцепов с сортировочной горки выполнена Х. Т. Турановым и А. А. Гордиенко [99–111]. В своих трудах ученые предлагают рассматривать движение отцепы с позиций классических законов теоретической механики (например, [112]). Полученные научные результаты являются еще одним шагом в развитии теории расчета горочных устройств. Необходимо отметить, что выполненные исследования направлены на совершенствование методов расчета динамики скатывания с горки одиночных вагонов (например, [110]).

1.4 Анализ действующих положений нормативных документов, устанавливающих максимальное количество вагонов в отцепе при скатывании с сортировочной горки

Согласно Инструкции [43] в ОАО «РЖД» установлен порядок расчета максимально допустимой длины распускаемых отцепов на сортировочных горках, который основан на расчете изменения энергии движения отцепы при скатывании с горки. Запас общей энергии движения отцепы после отрыва от состава на вершине

горки зависит от начальной скорости движения и силы тяжести, действующей на отцеп на всем участке скатывания.

В методике расчета ограничения по числу вагонов в отцепе заложен принцип, что максимальная энергия движения отцепа не должна превышать энергию, которую в состоянии погасить имеющиеся тормозные средства. В свою очередь, энергия движения отцепа в начале скатывания напрямую зависит от количества вагонов в отцепе, высоты и длины горки (участка скатывания). Энергия, погашаемая тормозными позициями, зависит от количества, типа и мощности применяемых тормозных средств.

Для расчета максимально возможной длины отцепа используются следующие параметры: скорость роспуска; длина спускной части горки по самому короткому маршруту; мощность тормозных средств по рассматриваемому маршруту; профильная высота, определяемая как разница отметок вершины горки и ПТП. Расчет выполняется для условия, что на рассматриваемом сортировочном пути нет вагонов. В случае наличия вагонов на пути СП проверяется условие, что отцеп должен быть менее длины свободного участка пути. Существующая методика расчета не учитывает некоторые особенности выполнения горочных расчетов, изложенные в действующих нормативах [75], в частности:

1. Используется величина ускорения свободного падения $g = 9,8 \text{ м/с}^2$. При этом не учитывается инерция вращающихся частей вагонов, которая в классических горочных расчетах выражается через величину g' . Анализ опыта исследований параметров сортировочных горок показывает, что при выполнении горочных расчетов необходимо учитывать инерцию вращения колесных пар вагонов, что приводит к уменьшению величины ускорения до значений $g' = 9,11\text{--}9,65 \text{ м/с}^2$ [73]. Как в России, так и за рубежом при выполнении горочных расчетов учитывают массу и ходовые свойства отцепов [6, 12, 84, 96, 112, 126, 130, 131, 133, 134]. При этом также имеет значение распределение массы внутри многовагонного отцепа [23, 27, 35, 36].

2. Не учитываются потери энергетической высоты при преодолении отцепом неуправляемых сил сопротивления движению, а также зависимость максимального

числа вагонов в отцепе от его массы. Расчет параметров скатывания отцепов производится с учетом сил сопротивления движению отцепа. В разных странах мира для выполнения горочных расчетов используются несколько видов неуправляемых сил сопротивления движению отцепа – основное, от воздушной среды и ветра, от стрелочных переводов и кривых, от снега и инея и др. [12, 53, 69, 126].

3. Не сформулированы требования к расчетным параметрам внешней среды и другим необходимым условиям для выполнения расчетов.

4. Скорость роспуска, которая во многом определяет дальнейшие параметры движения многовагонного отцепа, предлагается принимать по местным инструктивным документам. При этом в Правилах и нормах [75] имеются конкретные указания по определению скорости роспуска в зависимости от мощности сортировочной горки и характера решаемых задач.

5. Суммарный запас энергетической высоты отцепа в начале участка скатывания определяется как сумма энергетической высоты, соответствующей скорости роспуска и профильной энергетической высоты, определяемой как разница отметок вершины горки и ПТП. При этом для длинных многовагонных отцепов центр масс в момент отрыва от надвигаемого на горку состава всегда находится ниже вершины горки, что необходимо учитывать при исследовании динамики скатывания многовагонных отцепов [132]. Также на суммарный запас энергетической высоты многовагонного отцепа влияет граница зоны работы расцепщика вагонов на горбе горки.

6. Имеются отклонения от принятых в действующих нормах условий решения задач по скатыванию отцепов с горки:

– докатывание многовагонного отцепа производится только до ПТП (в нормах скатывание расчетных бегунов рассматривается, как правило, до расчетной точки);

– не предусматривается выполнение проверки возможности остановки многовагонного отцепа на спускной части.

В целом существующая методика расчета максимально допустимого числа вагонов в отцепе позволяет достаточно быстро определить искомый параметр для

любой сортировочной горки. Однако указанные спорные положения расчета, наличие нескольких эмпирических коэффициентов и имеющийся опыт проведения подобных расчетов в разных странах свидетельствуют о необходимости его пересмотра и уточнения. В качестве инструментария для решения указанной задачи выбран метод имитационного моделирования скатывания многовагонных отцепов с сортировочной горки.

Выводы по первой главе

Выполненный анализ основных этапов развития методики расчета сортировочных устройств, нормативной базы и накопленного опыта эксплуатации сортировочных горок позволяет сформулировать следующие выводы:

1. С появлением сортировочных устройств горочного типа в конце XIX в. осуществился качественный переход на новый уровень развития техники и технологий в результате накопленного опыта расчетов и эксплуатации сортировочных станций. Потребность в увеличении темпов сортировочной работы привела также к качественному изменению конструкции продольного профиля путей для сортировки вагонов – от расположения на однородном уклоне к сложному профилю, с выделением надвижной и спускной частей сортировочной горки.

2. Проведенный анализ развития нормативных документов показал, что до 1992 г. отцепы из нескольких вагонов в Правилах и нормах для расчета сортировочных горок не использовались. Использование расчетных бегунов из одиночных вагонов с предельными характеристиками (ОП и ОХ-100) для определения минимального и максимального значений высоты сортировочной горки для неблагоприятных и благоприятных условий соответственно представляется логичным и обоснованным [73]. Использование в технологических расчетах только одиночных вагонов (в том числе для установленного Правилами и нормами расчетного сочетания трех смежных отцепов) может существенно отличаться от реальных условий эксплуатации сортировочных горок, в которых значительная часть вагонопотока перерабатывается в отцепах из нескольких вагонов.

3. В настоящее время определение технического оснащения и технологии работы сортировочных устройств производится с учетом местных условий и прогнозируемых объемов переработки. При этом оптимизация технологии работы сортировочной горки, как правило, производится по следующим критериям:

- обеспечение безаварийной работы с минимизацией вероятности возникновения нештатных ситуаций, повреждения подвижного состава и находящихся в нем грузов;

- обеспечение максимального уровня перерабатывающей способности.

4. Наиболее адекватным методом описания динамики скатывания отцепов с горки является имитационное моделирование. Выполненный анализ разработанных имитационных моделей скатывания отцепов показал, что в основном модели используются для исследования динамики скатывания одиночных вагонов и решения классических задач Правил и норм проектирования. В современных имитационных моделях, как правило, используется шарнирно-осевое представление отцепов, но в основном не учитываются межвагонные связи.

5. До 2013 г. не регламентировался порядок определения максимально допустимого количества вагонов в отцепе при роспуске с сортировочной горки, хотя исследования динамики скатывания многовагонных отцепов производились начиная с середины XX в.

6. Выполненный анализ действующей методики расчета максимально допустимого числа вагонов в отцепе показал, что наряду с удобством и быстротой проведения расчетов имеется ряд спорных положений. Наличие несоответствий общепринятым положениям выполнения горочных расчетов, использование нескольких эмпирических коэффициентов и аналитический метод проведения расчетов вызывают необходимость пересмотра и уточнения действующей методики определения максимально допустимого числа вагонов в отцепе.

2 РАЗРАБОТКА ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ СКАТЫВАНИЯ МНОГОВАГОННЫХ ОТЦЕПОВ С СОРТИРОВОЧНОЙ ГОРКИ

2.1 Формулировка задачи

Действующими Правилами и нормами [75] рекомендуется использовать имитационное моделирование процесса роспуска составов при сравнении вариантов конструкции и технологии работы сортировочных горок. В зависимости от сложности и характера решаемых задач могут использоваться различные модели скатывания отцепов с горки. В данной работе рассматривается скатывание с горки многовагонных отцепов, для математического описания которого разрабатывается шарнирно-осевая модель движения отцепа с блоком, имитирующим работу поглощающего аппарата автосцепного устройства. В разрабатываемой модели должна предусматриваться реализация следующих функций:

- динамический расчет точки отрыва отцепа, с учетом длины зоны расцепки горочного составителя;
- динамический учет перераспределения сил, возникающих внутри отцепа при роспуске с сортировочной горки;
- реализация асинхронного управления мощностью разных вагонных замедлителей на одной тормозной позиции;
- возможность задания удельных сопротивлений движению отцепа как константами, так и динамически, согласно положениям действующих Правил и норм [75];
- возможность работы модели с широким диапазоном исходных данных (удельного сопротивления движению, мощности тормозных позиций, скорости роспуска, параметров плана и продольного профиля сортировочной горки, типа и массы каждого вагона в отцепе, параметров внешней среды), в том числе с устанавливаемым шагом изменения исследуемого параметра;
- возможность работы с итоговой информацией о роспуске состава в графическом и табличном виде.

2.2 Математическая модель расчета скорости движения многовагонного отцепа на различных участках продольного профиля

2.2.1 Расчет скорости движения отцепа

В действующих Правилах и нормах [75] скорость отцепа принимается постоянной для каждого расчетного участка горки. При этом в зависимости от конструкции плана горочной горловины длина расчетных участков для горок одного типа может существенно различаться. Поэтому существующий порядок использования в горочных расчетах средней скорости движения отцепа является допущением, которое может приводить к появлению погрешностей. Значения скоростей движения отцепов на расчетных участках в свою очередь являются ограничениями при выполнении конструктивных и технологических расчетов, что может привести к принятию недостаточно обоснованных проектных решений. Поэтому при разработке имитационной модели реализуется принцип динамического расчета скоростей движения отцепа на всем участке скатывания.

Энергетическая высота отцепа зависит от его скорости и ускорения свободного падения [75]:

$$h = \frac{v_{\text{отц}}^2}{2 \cdot g'}, \quad (2.1)$$

где $v_{\text{отц}}$ – скорость движения отцепа на рассматриваемом участке, м/с;

g' – ускорение свободного падения, с учетом инерции вращающихся частей вагонов, м/с² [73].

Изменение энергетической высоты движения отцепа, необходимое для расчета его скорости в любой момент времени, определяется системой уравнений [75]:

$$\left\{ \begin{array}{l} \Delta h = \frac{v_{\text{отц,к}}^2 - v_{\text{отц,0}}^2}{2 \cdot g'}, \\ \Delta h = \frac{F_{\text{сум}} \cdot l}{Q_{\text{отц}}}, \end{array} \right. \quad (2.2)$$

где $v_{\text{отц,к}}$ – скорость скатывания отцепа в конце расчетного участка, м/с;

$v_{\text{отц,0}}$ – скорость скатывания отцепа в начале расчетного участка, м/с;

$F_{\text{сум}}$ – суммарное изменение всех сил, действующих на отцеп при прохождении участка длиной l м, Н;

$Q_{\text{отц}}$ – вес отцепа, Н.

Схема разложения сил, действующих на многовагонный отцеп, при скатывании по элементам продольного профиля, представлена на рисунке 2.1 (где j – порядковый номер вагона в отцепе).

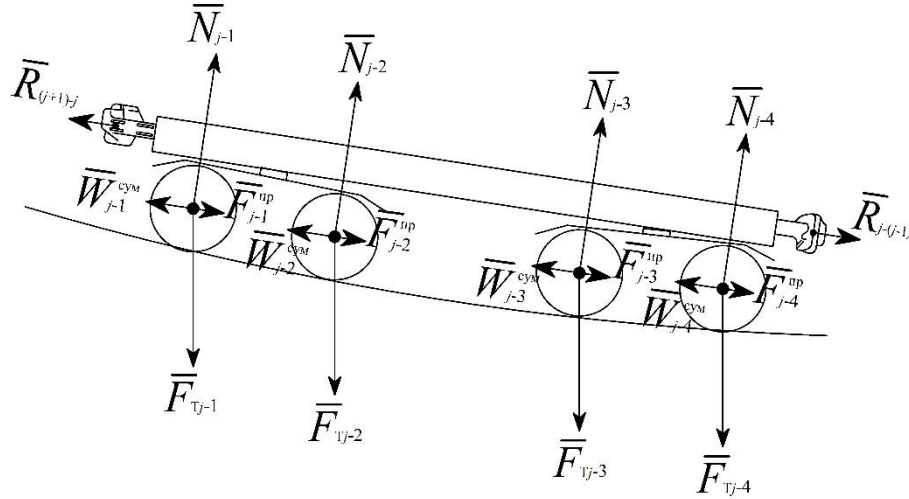


Рисунок 2.1 – Схема разложения сил, действующих на отцеп при движении по элементам продольного профиля

Расчет результирующей сил, действующих на вагон, представлен следующим выражением

$$F_{\text{сум}} = F^{\text{np}} - W^{\text{сум}}, \quad (2.3)$$

где F^{np} – проекция профильной ускоряющей силы, действующей на отцеп, на ось скатывания, Н;

$W^{\text{сум}}$ – проекция суммарной силы сопротивления движению отцепа на ось скатывания, включающая следующие силы сопротивления – в поглощающем аппарате автосцепного устройства (R), основного (W_o), от воздушной среды и ветра ($W_{\text{св}}$), от стрелок и кривых ($W_{\text{ск}}$), от снега и инея ($W_{\text{сн}}$), на тормозных позициях ($W_{\text{тп}}$).

При моделировании расчет действующих на отцеп сил выполняется в удельных значениях, отнесенных на единицу массы: удельная движущая сила f , которая зависит от уклона i ; удельные силы сопротивления движению – в поглощающих аппаратах автосцепных устройств (r), основного (w_o), от воздушной среды и ветра

($w_{св}$), от снега и инея ($w_{сн}$). Вес q в каждом вагоне отцепа распределяется по осям колесных пар. При использовании удельных сил формула (2.3) принимает следующий вид:

$$w = f - w_{сум}. \quad (2.4)$$

После преобразования формулы (2.2) расчет изменения энергетической высоты при скатывании отцепа с горки выполняется по формуле, м эн. в.:

$$\Delta h = \Delta l \cdot (f - w_0 - w_{св} - w_{ск} - w_{сн} - r - w_{тп}) \cdot 10^{-3}, \quad (2.5)$$

где Δl – величина элементарного приращения (перемещения), м.

Скорость движения отцепа, м/с, при скатывании с сортировочной горки в любой момент времени при моделировании определяется по формуле [2]:

$$v_{отц.к} = \sqrt{v_{отц.0}^2 + 2 \cdot \Delta h \cdot g'}. \quad (2.6)$$

2.2.2 Расчет профильной движущей силы отцепа

Профильная ускоряющая сила для каждого вагона в отцепе рассчитывается по формуле

$$F_{пр} = Q_{ваг} \cdot \sin \gamma \cdot 10^3, \quad (2.7)$$

где $Q_{ваг}$ – вес вагона, Н;

γ – угол наклона пути к горизонтальной плоскости, градусы.

Для отцепов из $n_{ваг}$ вагонов формула принимает следующий вид:

$$F_{пр} = \sum_{j=1}^{n_{ваг}} Q_{вагj} \cdot \sin \gamma_j \cdot 10^3, \quad (2.8)$$

где $Q_{вагj}$ – вес j -го вагона в многовагонном отцеpe, Н.

При переходе к удельным величинам, формула (2.8) принимает вид:

$$f = \sum_{j=1}^{n_{ваг}} \sin \gamma_j \cdot 10^3 = \sin (\operatorname{tg}^{-1} \frac{i_{факт}}{10^3}) \cdot 10^3, \quad (2.9)$$

где f – удельная движущая, сила, Н/кН;

$i_{факт}$ – фактический уклон, на котором находится отцеп, ‰.

Значение фактического уклона определяется по формуле [2]:

$$i_{факт} = \frac{\sum_{j=1}^{n_{ваг}} i_j \cdot Q_{вагj}}{Q_{отц}}, \quad (2.10)$$

где i_j – средневзвешенный уклон, на котором расположены оси вагона, ‰.

Расчет уклона при проследовании отцепом участка расположения вертикальной кривой рассчитывается по формуле

$$i_{j+1} = i_j + \frac{\Delta i \cdot l_{\text{факт}}}{l_{\text{кр}}}, \quad (2.11)$$

где $l_{\text{факт}}$ – текущее расстояние от местоположения оси вагона до начала вертикальной кривой, м;

$l_{\text{кр}}$ – длина вертикальной кривой, м;

Δi – разница между смежными элементами профиля, ‰.

Значение Δi равно:

$$\Delta i = i_{j+1} - i_j. \quad (2.12)$$

2.2.3 Расчет удельных сил сопротивления движению отцепа при скатывании с сортировочной горки

Все удельные силы сопротивления движению отцепа являются случайными величинами. Порядок их расчета при моделировании определен с учетом действующих нормативов. В модели точками приложения сил для всех видов сопротивлений и движущей силы принимаются оси колесной пары. Нагрузка на колесную ось зависит от массы груза и массы тары вагона, при моделировании нагрузка на ось принимается равномерной.

Учет тормозного воздействия вагонных замедлителей на отцеп в предлагаемой методике производится поочередно. Для этого выполняется проверка вхождения и дальнейшего проследования отцепом зоны действия управляемых сил торможения. При прохождении активной зоны тормозной позиции на колесную пару оказывается дополнительное воздействие удельной силы сопротивления движению отцепа при торможении $w_{\text{тп}}$.

При моделировании предусмотрена возможность использования различных ступеней торможения. Удельная сила торможения отцепа на замедлителе определяется следующим образом, Н/кН:

$$w_{\text{ТП}} = \frac{w_{\text{р.ТП}} \cdot n_{\text{ос}}}{n_{\text{ос.отц}}}, \quad (2.13)$$

где $w_{\text{р.ТП}}$ – реализуемая удельная мощность ТП, Н/кН;

$n_{\text{ос}}$ – количество осей отцепа, находящихся в зоне торможения, ед.;

$n_{\text{ос.отц}}$ – общее число осей в отцепе, ед.

Значение $w_{\text{р.ТП}}$ определяется как:

$$w_{\text{р.ТП}} = \frac{H_3}{l_{\text{ТП}}}, \quad (2.14)$$

где H_3 – реализуемая мощность вагонного замедлителя, м ЭН. в.;

$l_{\text{ТП}}$ – длина вагонного замедлителя по изостыкам, м.

Основное удельное сопротивление движению отцепа возникает вследствие трения деталей буксового узла между собой. Величина w_0 является случайной, зависит от состояния ходовых частей вагонов, массы отцепа, нагрузки на ось, а также состояния верхнего строения пути и поверхности рельсов. При имитационном моделировании перерабатываемый вагонопоток разделен на пять категорий, [73]: легкая (Л); легко-средняя (ЛС); средняя (С); среднетяжелая (СТ); тяжелая (Т). Для каждого вагона в отцепе основное удельное сопротивление ($w_{0.\text{ваг}}$) определяется по формуле [75]:

$$w_{0.\text{ваг}} = -\frac{1}{b} \cdot \ln\left(\prod_{j=1}^a R_j\right), \quad (2.15)$$

где a, b – параметры гамма-распределения;

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

Значения случайной величины $w_{0.\text{ваг}}$ описываются законом гамма-распределения, параметры которого приведены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Параметры гамма-распределения величины $w_{0.\text{ваг}}$

Параметр	Значения параметров для вагонов весовых категорий				
	Л	ЛС	С	СТ	Т
a	7,00	7,00	8,00	11,00	13,00
b	4,00	4,55	5,76	8,80	10,54

Для моделирования движения многовагонных отцепов расчет основного удельного сопротивления движению производится по формуле [64]:

$$w_0 = \frac{\sum_{j=1}^{n_{\text{ваг}}} w_{0.\text{ваг}j} \cdot Q_j}{Q_{\text{отц}}}, \quad (2.16)$$

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

Q_j – вес j -го вагона в отцепе, Н;

$Q_{\text{отц}}$ – вес отцепа, Н.

Удельное сопротивление движению вагонов от воздушной среды и ветра, Н/кН, определяется по формуле [75]:

$$w_{\text{св}} = c \cdot v_{\text{от}}^2, \quad (2.17)$$

где c – приведенный коэффициент воздушного сопротивления отцепа;

$v_{\text{от}}$ – относительная скорость движения отцепа, м/с.

Для отцепа из одного вагона c определяется по формуле:

$$c = \frac{17,8 \cdot c_x \cdot S}{(273+t) \cdot q}. \quad (2.18)$$

Для многовагонных отцепов по формуле:

$$c = 17,8 \cdot \frac{c_x \cdot S + \sum_{j=2}^{n_{\text{ваг}}} c_{xxj} \cdot S_j}{(273+t) \cdot \sum_{j=1}^{n_{\text{ваг}}} q_j}, \quad (2.19)$$

где c_x – коэффициент воздушного сопротивления, определяемый для первого вагона в отцепе или отцепа из одного вагона;

c_{xxj} – коэффициент воздушного сопротивления для вагонов в многовагонном отцепе (кроме первого вагона).

Относительная скорость движения отцепа определяется по формуле:

$$v_{\text{от}} = \sqrt{v_{\text{отц}}^2 + v_{\text{в}}^2 \pm 2 \cdot v_{\text{отц}} \cdot v_{\text{в}} \cdot \cos \beta}, \quad (2.20)$$

Угол между вектором относительной скорости и направлением движения отцепа определяется по формуле:

$$\alpha = \arcsin \frac{v_{\text{в}} \cdot \sin \beta}{v_{\text{от}}}, \quad (2.21)$$

где $v_{\text{в}}$ – скорость ветра, принимаемая на момент нахождения отцепа на вершине горки м/с;

β – угол между вектором скорости ветра и осью участка движения отцепа, градусы.

Удельное сопротивление движению отцепа от стрелочных переводов $\bar{w}_{с.ваг}$, Н/кН, рассчитывается по формуле [75]:

$$\bar{w}_{с.ваг} = \frac{0,56 \cdot v_{отц}^2}{l_{стр}}, \quad (2.22)$$

где $l_{стр}$ – длина стрелочного перевода, м.

Если отцеп движется со скоростью менее 3 м/с, то величина $\bar{w}_{с.ваг}$, Н/кН, определяется по формуле:

$$\bar{w}_{с.ваг} = \frac{5}{l_{стр}}. \quad (2.23)$$

Значения величины $w_{с.ваг}$, Н/кН, при разработке имитационной модели устанавливаются следующим образом [75]:

$$w_{с.ваг} = -0,125 \cdot \bar{w}_{с.ваг} \cdot \ln(\prod_{j=1}^8 R_j), \quad (2.24)$$

Удельное сопротивление движению вагонов от стрелочных переводов w_c , Н/кН, определяется по формуле:

$$w_c = \frac{\sum_{j=1}^{n_{ваг}} \bar{w}_{с.ваг j} \cdot Q_j}{Q_{отц}}. \quad (2.25)$$

Удельное сопротивление при проследовании отцепов кривых (включая кривые стрелочных переводов) $\bar{w}_{к.ваг}$ определяется по формуле, [75] Н/кН:

$$\bar{w}_{к.ваг} = 13,2 \frac{v_{отц}^2}{R_k}, \quad (2.26)$$

где R_k – радиус кривой в плане, м.

При движении отцепа со скоростью менее 3 м/с значения величины $\bar{w}_{к.ваг}$, Н/кН, определяются по формуле:

$$\bar{w}_{к.ваг} = \frac{120}{R_k}. \quad (2.27)$$

Значения величины $w_{к.ваг}$, Н/кН, при разработке имитационной модели устанавливаются следующим образом [75]:

$$w_{к.ваг} = -0,125 \cdot \bar{w}_{к.ваг} \cdot \ln(\prod_{j=1}^8 R_j), \quad (2.28)$$

Удельное сопротивление движению вагонов от кривых w_k , Н/кН, определяется по следующей формуле:

$$w_k = \frac{\sum_{j=1}^{n_{ваг}} w_{к.ваг j} \cdot Q_j}{Q_{отц}}. \quad (2.29)$$

Удельное сопротивление движению отцепа от снега и инея $w_{\text{сн.ваг}}$, Н/кН, определяется по нормативным значениям. Для более точного расчета выполнена аппроксимация значений сопротивления, приведенных в Правилах и нормах [75], и для моделирования используется полином пятой степени:

$$w_{\text{сн.ваг}} = a \cdot t_{\text{н}}^5 + b \cdot t_{\text{н}}^4 + c \cdot t_{\text{н}}^3 + d \cdot t_{\text{н}}^2 + e \cdot t_{\text{н}} + f, \quad (2.30)$$

где a, b, c, d, e, f – коэффициенты полинома, принимаемые по таблице 2.2;

$t_{\text{н}}$ – расчетная температура наружного воздуха (задается для конкретных условий моделирования), °С.

При моделировании используется убывающая функция величины $w_{\text{сн.ваг}} = f(t_{\text{н}})$, приведенная на рисунке 2.2.

Таблица 2.2 – Значение коэффициентов полинома для расчета величины $w_{\text{сн.ваг}}$

Категория вагонов в отцепе	f	e	d	c	b	a
Л	0,15	$-4,97 \cdot 10^{-3}$	$-1,66 \cdot 10^{-4}$	$-2,13 \cdot 10^{-5}$	$-4,64 \cdot 10^{-7}$	$-6,25 \cdot 10^{-9}$
ЛС	0,07	$3,17 \cdot 10^{-3}$	$7,09 \cdot 10^{-4}$	$1,41 \cdot 10^{-5}$	$1,57 \cdot 10^{-7}$	$-1,25 \cdot 10^{-9}$
С	0,03	$8,19 \cdot 10^{-4}$	$1,28 \cdot 10^{-3}$	$6,15 \cdot 10^{-5}$	$1,15 \cdot 10^{-6}$	$5,42 \cdot 10^{-9}$
СТ	0,03	$-2,48 \cdot 10^{-3}$	$-8,29 \cdot 10^{-5}$	$-1,07 \cdot 10^{-5}$	$-2,32 \cdot 10^{-7}$	$3,13 \cdot 10^{-9}$
Т	0,01	$8,63 \cdot 10^{-3}$	$1,72 \cdot 10^{-3}$	$7,46 \cdot 10^{-5}$	$1,30 \cdot 10^{-6}$	$6,25 \cdot 10^{-9}$

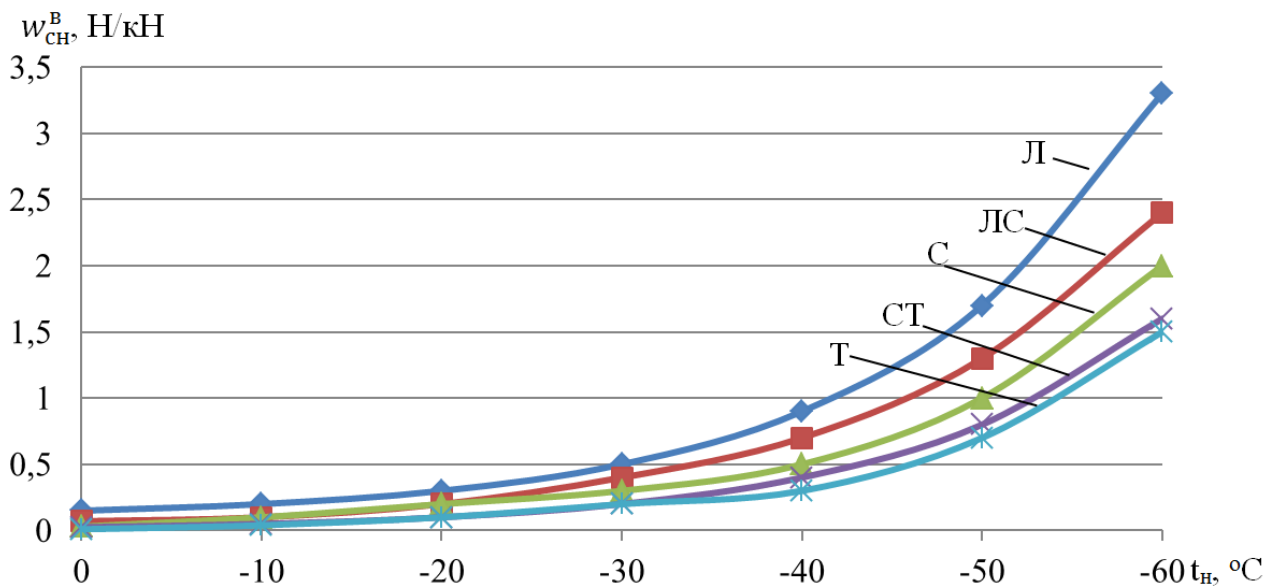


Рисунок 2.2 – Удельное сопротивление движению отцепа от снега и инея

При роспуске многовагонных отцепов расчет сопротивления движению от снега и инея производится по следующей формуле:

$$W_{\text{сн}} = \frac{\sum_{j=1}^{n_{\text{ваг}}} w_{\text{сн.ваг } j} \cdot Q_j}{Q_{\text{отц}}}. \quad (2.31)$$

В модели предусмотрена возможность определения при скатывании с горки многовагонного отцепа усилий в межвагонных соединениях [50]. При моделировании отцеп рассматривается как система конечных элементов с сосредоточенными массами, имитирующими колесную пару вагона, которые соединены однородным стержнем в пределах одного вагона и упругими межвагонными связями.

Согласно рисунку 2.1 для каждого вагона в отцепе верна система равенств:

$$\left\{ \begin{array}{l} \bar{F}_{\text{пр}} = \sum_{j=1}^{n_{\text{ос}}} \bar{F}_{\text{пр } j}, \\ \bar{W}_{\text{сум}} = \sum_{j=1}^{n_{\text{ос}}} \bar{W}_{\text{сум } j}, \\ \bar{N} = \sum_{j=1}^{n_{\text{ос}}} \bar{N}_j, \\ \bar{F}_{\text{т}} = \sum_{j=1}^{n_{\text{ос}}} \bar{F}_{\text{т } j}, \end{array} \right. \quad (2.32)$$

где $n_{\text{ос}}$ – количество осей в отцепе;

$\bar{F}_{\text{пр } j}$ – ускоряющая профильная сила, отнесенная к j -й оси в отцепе, Н;

$\bar{W}_{\text{сум } j}$ – суммарная сила сопротивления движению отцепа, отнесенная к j -й оси в отцепе, Н;

\bar{N}_j – реакция опоры, отнесенная к j -й оси в отцепе, Н;

$\bar{F}_{\text{т } j}$ – сила тяжести, отнесенная к j -й оси в отцепе, Н.

Расчет межвагонных усилий в отцепе производится на основании второго закона Ньютона. Проекция силы, действующей на отцеп, на ось скатывания рассчитывается по следующей формуле:

$$\sum_{j=1}^{n_{\text{ваг}}} m_j \cdot a_j = F_{\text{пр}} + W_{\text{сум}}, \quad (2.33)$$

где m_j – масса j -го отцепа, т;

a_j – ускорение j -го вагона в отцепе, м/с².

При рассмотрении сил, действующих на вагон внутри многовагонного отцепа, необходимо учитывать наличие сил реакции связи, которые по направлению действия – разнонаправленные, но по значению – равны (рисунок 2.3).

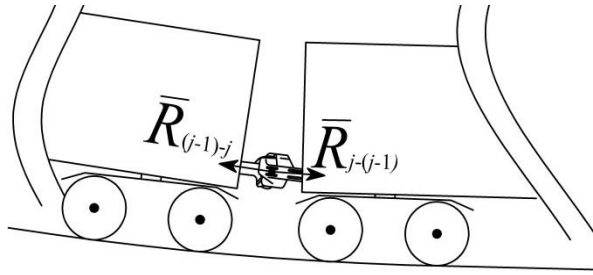


Рисунок 2.3 – Принципиальная схема для определения сил, возникающих между вагонами многовагонного отцепа

Таким образом, формула (2.33) принимает вид ([50]):

– для первого вагона в отцепе:

$$R_{2-1} = \frac{F_1 - \sum_{k=2}^{n_{\text{ваг}}} m_k \cdot a_k}{2}, \quad (2.34)$$

где F_1 – результирующая сил по первому вагону в отцепе, Н;

– для вагонов в середине отцепа:

$$R_{j-(j-1)} = \frac{F_j + R_{(j-1)-(j-2)} - \sum_{k=i+1}^{n_{\text{ваг}}} m_k \cdot a_k}{2}, \quad (2.35)$$

– для хвостового вагона в отцепе:

$$R_{n_{\text{ваг}}} = \frac{F_{n_{\text{ваг}}} - \sum_{k=1}^{n_{\text{ваг}}-1} m_k \cdot a_k}{2}. \quad (2.36)$$

В зависимости от величины силы реакции связи можно определить степень сжатия или растяжения поглощающего аппарата автосцепки. При скатывании многовагонного отцепа с горки рядом расположенные вагоны внутри отцепа могут смещаться по отношению к друг другу на расстояние, равное суммарному сжатию поглощающих аппаратов их автосцепных устройств. Величина смещения определяется по следующей формуле:

$$x_{j,j-1} = x_{j,j-1}^{\text{CB}} - (x_{j-1} - l_j - x_j), \quad (2.37)$$

где $x_{j,j-1}^{\text{CB}}$ – расстояние между ближайшими осями смежных вагонов в отцепе при свободном состоянии поглощающего аппарата автосцепки, м;

x_j, x_{j-1} – расстояние от точки отрыва до первой оси соответствующего вагона в отцепе, м.

l_j – расстояние между крайними осями j -го вагона в отцепе, м;

Расчетная схема положения осей многовагонного отцепа при моделировании приведена на рисунке 2.4.

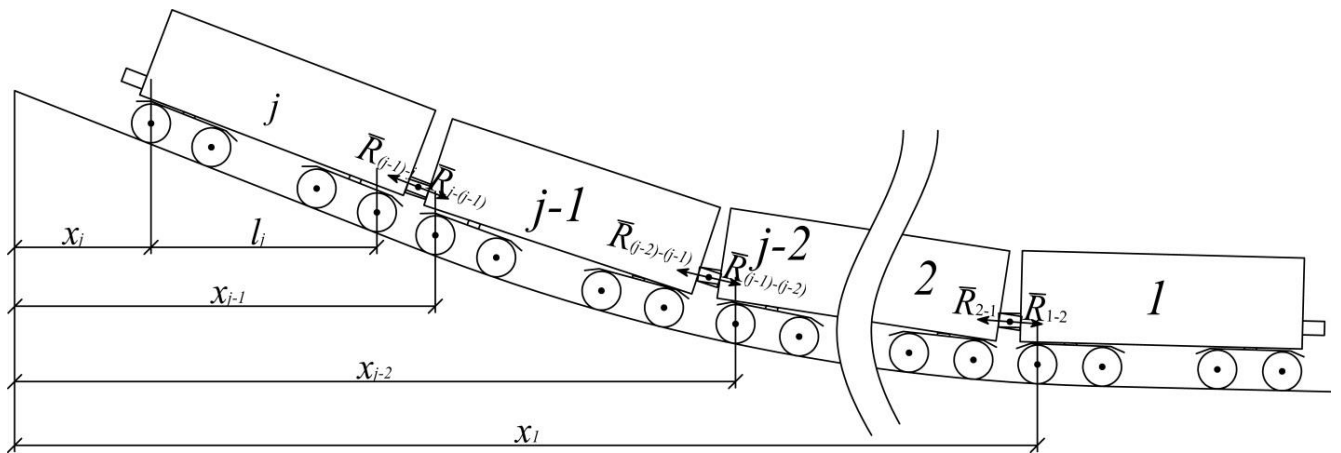


Рисунок 2.4 – Расчетная схема положения осей многовагонного отцепа при моделировании с учетом работы поглощающих аппаратов автосцепных устройств

На рисунке 2.5 описана работа поглощающего аппарата автосцепного устройства типа ПМКП-110. Она представляет петлю гистерезиса и обусловлена фрикционными взаимодействиями в поглощающем аппарате автосцепного устройства. Данный факт практически исключает возможность аналитического решения задачи вследствие неоднозначного соответствия между силами в автосцепных устройствах и относительными продольными перемещениями вагонов.

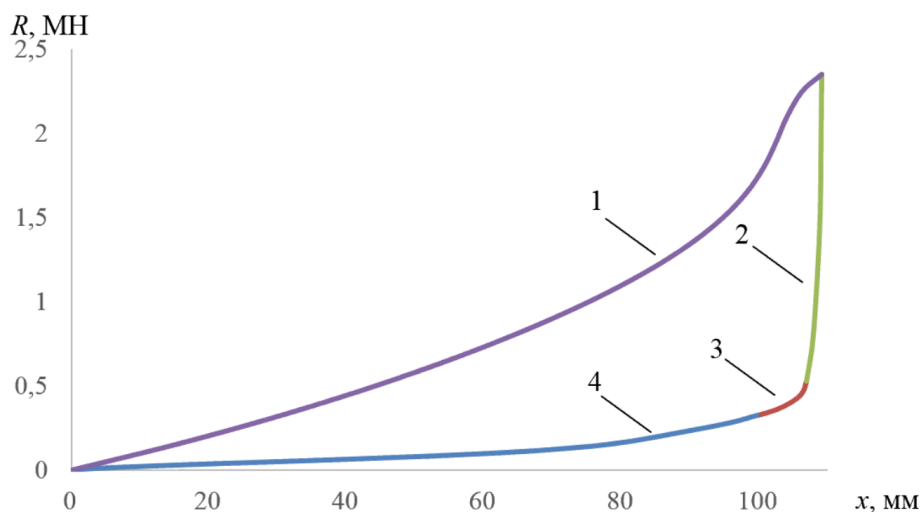


Рисунок 2.5 – Регрессионная модель силовой характеристики фрикционного поглощающего аппарата автосцепки типа ПМКП-110

Силовая характеристика поглощающего аппарата, определяемая при растяжении автосцепок аналогична данным, приведенным на рисунке 2.5 (данная характеристика равна по модулю, но имеет отрицательный знак). Цифрами от 1 до 4 отмечены уравнения на рисунке 2.5, для которых составлены следующие закономерности изменения сил:

1. Сжатие поглощающего аппарата происходит при увеличении нагрузки в диапазоне от 0 до 2,35 МН:

$$x(R) = 1,084 \cdot R^6 - 3,650 \cdot R^5 - 0,259 \cdot R^4 + 13,597 \cdot R^3 - 43,328 \cdot R^2 + 113,264 \cdot R. \quad (2.38)$$

2. При снижении нагрузки на поглощающий аппарат с 2,35 до 0,53 МН аппарат остается в закрытом положении:

$$x(R) = -1,286 \cdot R^6 + 11,891 \cdot R^5 - 44,300 \cdot R^4 + 85,167 \cdot R^3 - 90,091 \cdot R^2 + 51,783 \cdot R + 102,963. \quad (2.39)$$

3. При снижении нагрузки на поглощающий аппарат с 0,53 МН до 0,33 МН силовая характеристика поглощающего аппарата имеет вид:

$$x(R) = -482350,496 \cdot R^6 + 1314580,584 \cdot R^5 - 1481699,534 \cdot R^4 + 884568,136 \cdot R^3 - 295359,433 \cdot R^2 + 52423,955 \cdot R - 3766,291. \quad (2.40)$$

4. При снижении нагрузки на поглощающий аппарат с 0,33 МН до 0 МН силовая характеристика поглощающего аппарата имеет вид:

$$x(R) = 1372396,919 \cdot R^6 - 1657970,522 \cdot R^5 + 768452,450 \cdot R^4 - 165670,136 \cdot R^3 + 14549,303 \cdot R^2 + 241,172 \cdot R. \quad (2.41)$$

При снижении нагрузки, передаваемой на автосцепное устройство до закрытия поглощающего аппарата, в формулы (2.39) и (2.40) вносится поправочный коэффициент.

2.3 Имитационная модель скатывания многовагонных отцепов с сортировочной горки

2.3.1 Алгоритм расчета перемещения отцепа на участке продольного профиля

Спускная часть горки при моделировании разбивается на участки заданного уклона и длины. Исходная информация представляется в виде блоков данных, которые формируются в двухмерные массивы. Ввод данных осуществляется отдельно по продольному профилю, кривым, стрелкам, тормозным позициям.

Об элементах продольного профиля вводится информация о длине и уклоне элемента. О круговых кривых вводится информация о координатах начала и конца кривой, радиусе кривой. О стрелочных переводах вводится информация о координатах начала и конца стрелочного перевода, радиусе переводной кривой, стрелочном угле поворота, виде стрелочного перевода и направлении движения по нему. В блоке данных о тормозных позициях вводится информация о координатах начала и конца каждого замедлителя, реализуемой мощности.

Все элементы маршрута скатывания отцепа разбиваются на элементарные участки перемещения. На основании исходных данных создается массив элементарных участков перемещения с описанием их свойств:

- 1) порядковый номер элемента;
- 2) уклон;
- 3) если элемент расположен в кривой – радиус кривой;
- 4) если элемент расположен в пределах стрелочного перевода – длина стрелочного перевода; радиус переводной кривой;
- 5) если элемент расположен в зоне действия тормозных позиций – зона действия ТП; мощность ТП.

Алгоритм расчета сил сопротивления движению отцепа при скатывании с горки представлен на рисунке 2.6, где обозначено: $N_{эл}$ – количество элементов профиля; $N_{кр}$ – количество кривых участков в плане; $N_{ст}$ – количество стрелочных переводов в плане; $N_{эп}$ – количество элементарных приращений.

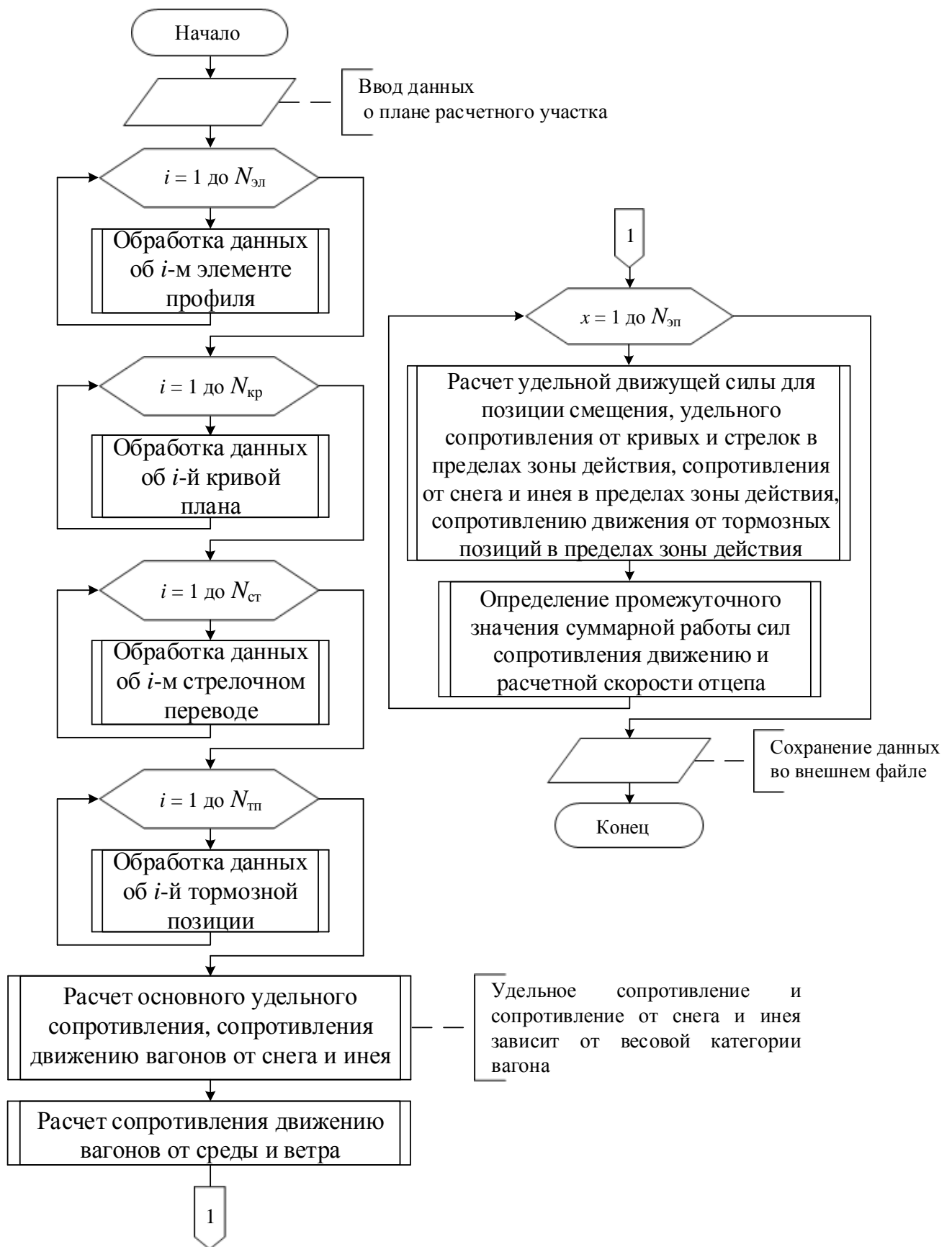


Рисунок 2.6 – Алгоритм расчета удельных сил сопротивления движению отцепа

2.3.2 Алгоритм определения точки отрыва отцепы при надвиге состава на вершину горки

При моделировании скорость надвига состава на горб сортировочной горки принимается постоянной. В модели не учитываются возможные буксования колес, не выполняется проверка на трогание состава с места после остановки. При вводе исходных данных задаются радиусы вертикальных кривых во всех точках перелома продольного профиля.

Момент отрыва отцепы от надвигаемого состава определяется при выполнении условия:

$$\sum_{j=1}^{n_{\text{ваг}}} F_{\text{уск}j} \geq \sum_{j=1}^{n_{\text{ваг}}} F_{\text{зам}j}, \quad (2.42)$$

где $F_{\text{уск}j}$ – значение ускоряющих сил для j -го вагона в отцепе, Н;

$F_{\text{зам}j}$ – значение замедляющих сил для j -го вагона в отцепе, Н.

Схема определения точки отрыва многовагонного отцепы приведена на рисунке 2.7.

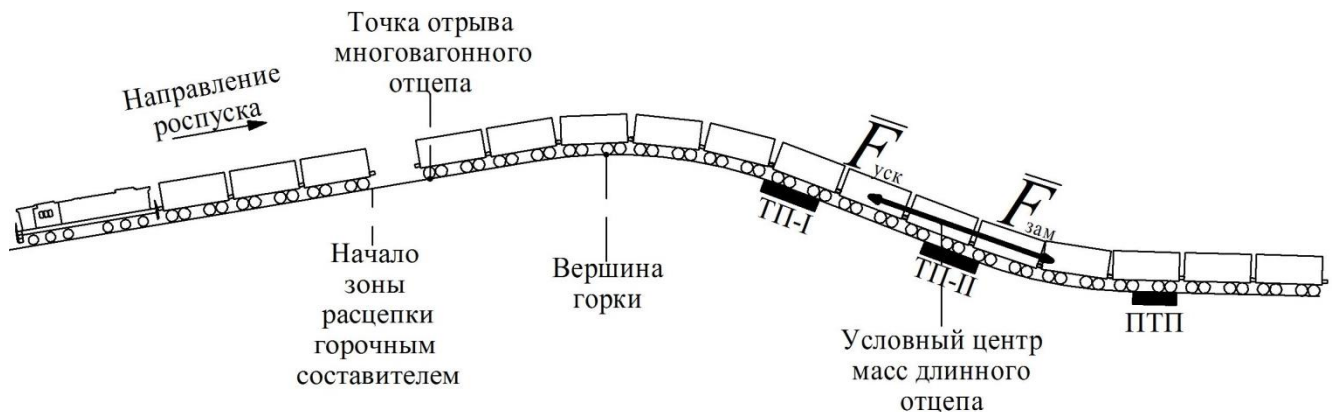


Рисунок 2.7 – Графическое отображение расположения многовагонного отцепы после отрыва от состава

При моделировании точка отрыва многовагонного отцепы может определяться по двум вариантам:

1. При выполнении расцепки горочным составителем – в данном случае отрыв отцепы не может произойти вне пределов зоны расцепки.
2. При выполнении расцепки машинистом локомотива, что не ограничивает место возможного отрыва многовагонного отцепы.

Для определения при моделировании точки отрыва многовагонных отцепов разработан алгоритм, представленный на рисунке 2.8.

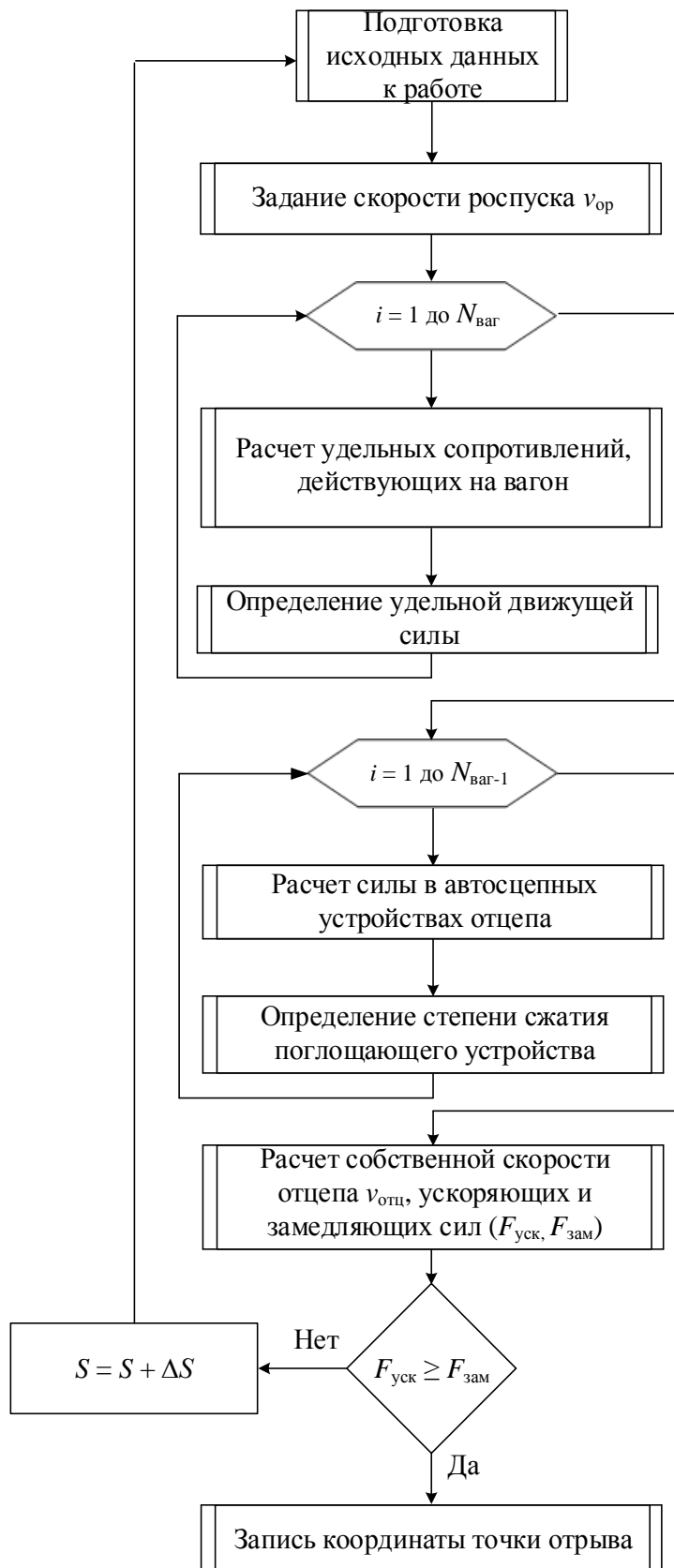


Рисунок 2.8 – Блок-схема определения точки отрыва отцепа от состава

2.3.3 Алгоритм расчета динамики скатывания многовагонного отцепа при движении по спускной части горки

Отцеп движется по спускной части сортировочной горки под воздействием силы тяжести, с начальной скоростью, равной скорости движения отцепа в момент отрыва от состава. Блок-схема определения динамики скатывания отцепа при движении с сортировочной горки приведена на рисунке 2.9.

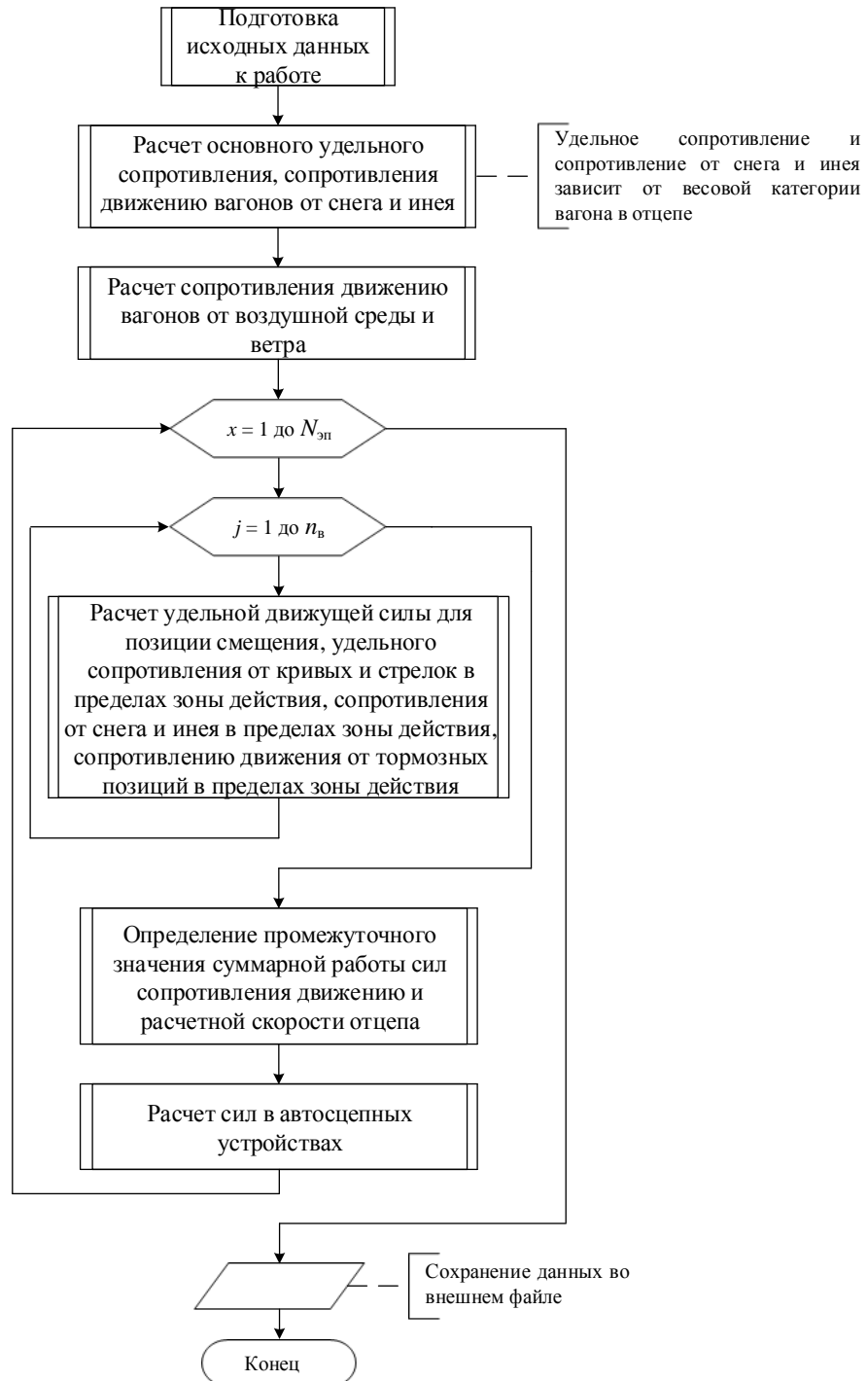


Рисунок 2.9 – Блок-схема определения динамики скатывания отцепа при движении с сортировочной горки

2.3.4 Алгоритм расчета продольных сил автосцепного устройства

Поглощающие аппараты автосцепных устройств должны эффективно гасить колебания отцепа, возникающие при прохождении стрелок, кривых и тормозных позиций, а также препятствовать образованию в нем волн ударов [7, 45, 67].

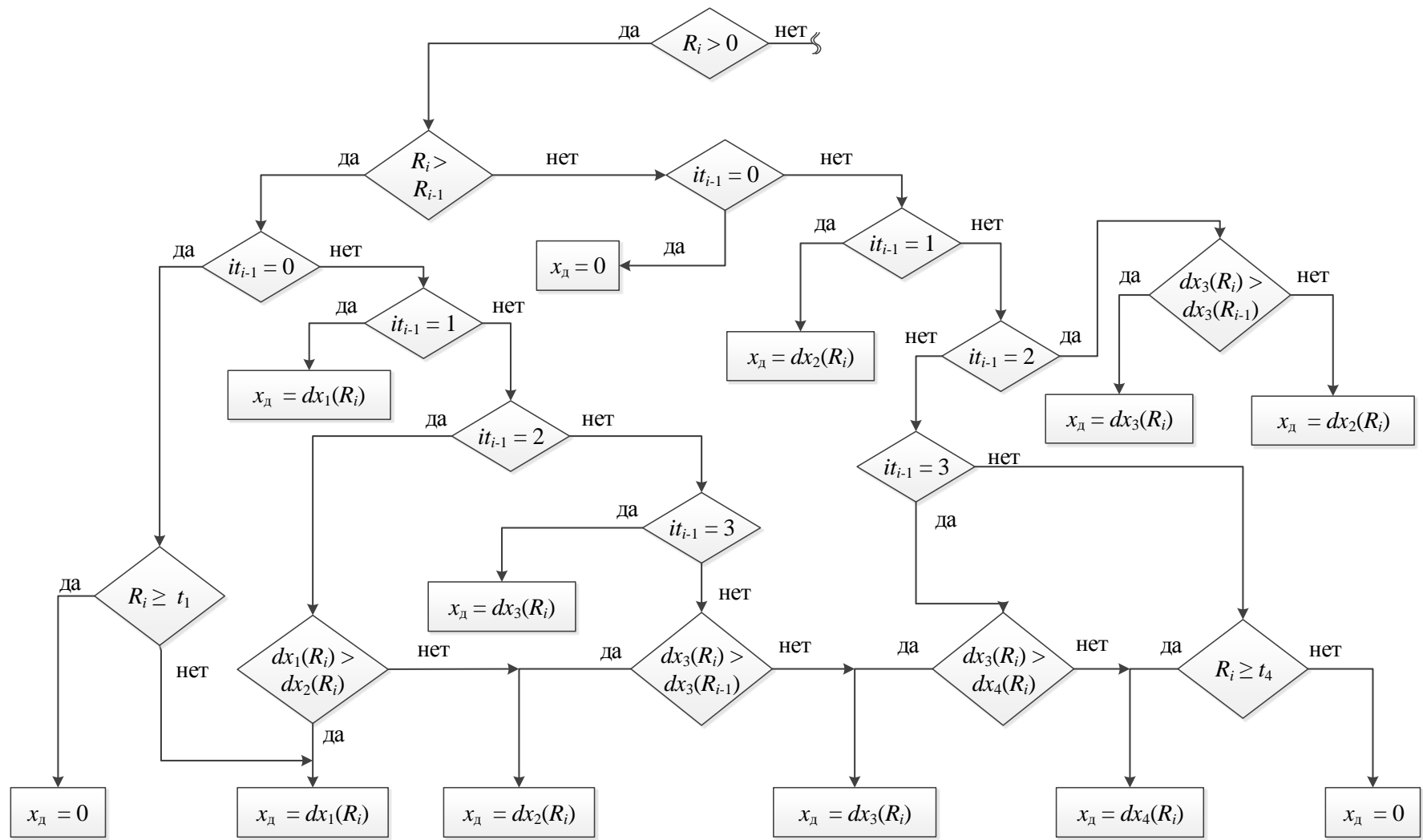
Блок-схема, приведенная на рисунке 2.10, позволяет выявлять те участки на уравнениях силовой характеристики фрикционного поглощающего аппарата (рисунок 2.5), на которых обеспечивается однозначное соответствие относительного перемещения соседних вагонов на j -м шаге с изменениями силы, передаваемой поглощающим аппаратам автосцепных устройств. Для определения смещения автосцепки при растяжении используется аналогичный алгоритм, но с противоположным знаком перемещения.

2.3.5 Общая характеристика программы для имитационного моделирования процесса скатывания с сортировочной горки многовагонных отцепов

В рамках подготовки диссертационной работы разработана программа для ЭВМ «СКАТ-Отцеп», предназначенная для имитационного моделирования скатывания отцепов с различным числом вагонов при роспуске с горки ([50], приложение А). Программа предназначена для расчета скорости и времени прохождения отцепов заданных точек плана горочной горловины при роспуске с учетом воздействия на отцеп указанных выше силовых нагрузок.

Модули программы реализованы на языке программирования Python 3.1.3.

Результаты расчетов могут использоваться для решения широкого круга задач при проектировании или переустройстве сортировочных горок.



R_i, R_{i-1} – усилия, возникающее в поглощающем аппарате автосцепного устройства на i -м и $(i-1)$ -м элементарных участках соответственно, МН; x_d – деформация поглощающего аппарата, мм; it_{i-1} – номер уравнения силовой характеристики фрикционного поглощающего аппарата на $(i-1)$ -м элементарном участке; $dx_1(R_i)$ – деформация поглощающего аппарата при расчете по 1-му уравнению силовой характеристики поглощающего аппарата на i -м элементарном участке, мм; t_2 – точка пересечения 1-го и 2-го уравнений силовой характеристики поглощающего аппарата.

Рисунок 2.10 – Блок-схема определения состояния поглощающего аппарата при сжатии во время относительных перемещений соседних вагонов в отцепе

Работа в программе начинается с ввода блока исходных данных. Для этого на панели основного окна программы (рисунок 2.11) нажимается кнопка «Исходные данные» и производится выбор из раскрывающегося списка:

1. Общие данные.
2. Характеристика отцепа.
3. План пути – кривые.
4. План пути – стрелочные переводы.
5. План пути – тормозные позиции.
6. Профиль пути.
7. Просмотр исходных данных.
8. Печать исходных данных.

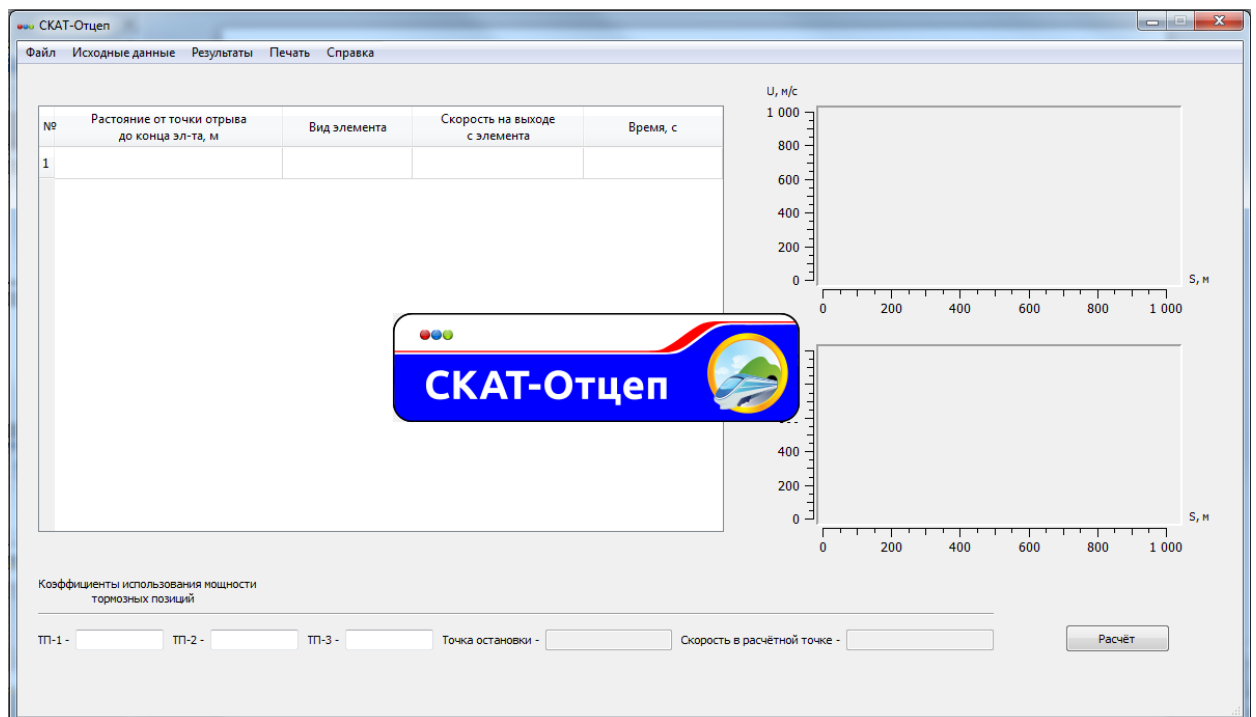


Рисунок 2.11 – Главное окно программы «СКАТ-Отцеп»

Пример ввода исходных данных по стрелочным переводам приведен на рисунке 2.12. Форма представления результатов моделирования на главном окне программы приведена на рисунке 2.13.

Ввод данных

Общие данные | Кривые участка пути | Стрелочные переводы | Тормозные позиции | Элементы профиля | Данные о вагонах в отцепе

№	Начало стрелочного перевода	Марка стрелочного перевода
1	15.71	1/6 прямой ход
2	77.12	1/6 прямой ход
3	110.03	1/6 обратный ход
4	191.44	1/9 отклонение, прямой ход 1/9 без отклонения 1/9 отклонение, обратный ход
5	229.5	1/9 без отклонения
6	260.54	1/9 без отклонения

Сохранить | Выход

Рисунок 2.12 – Окно ввода данных о стрелочных переводах

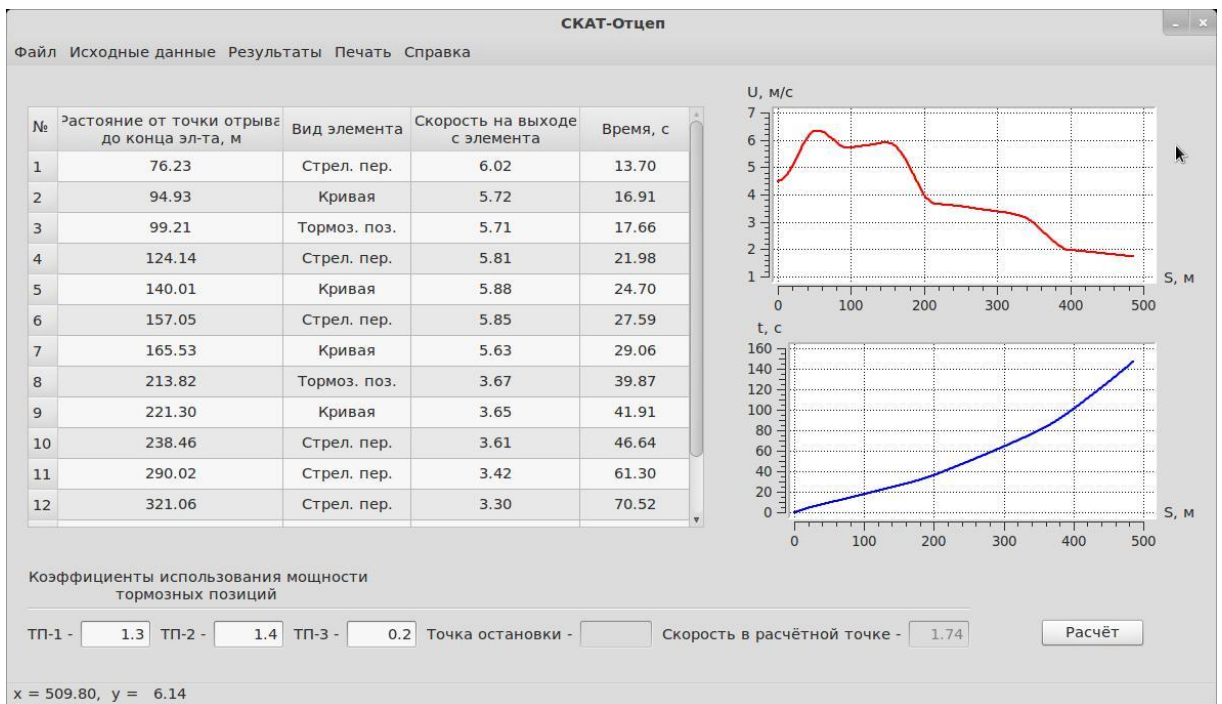


Рисунок 2.13 – Представление результатов моделирования скатывания отцепа с сортировочной горки в программе «СКАТ-Отцеп»

Выводы по второй главе

Выполненные в данной главе исследования позволяют сделать следующие выводы:

1. При моделировании движения многовагонных отцепов при роспуске с горки каждый отцеп рассматривается как система конечных элементов с сосредоточенными массами, имитирующими колесную пару вагона, которые соединены однородным стержнем в пределах одного вагона и упругими межвагонными связями. Данная особенность имитационной модели скатывания отцепов с сортировочной горки наиболее соответствует реальному процессу.

2. При моделировании скатывания многовагонных отцепов с горки предложен новый способ учета межвагонных связей (работы поглощающего аппарата автосцепного устройства) на основе описания силовых характеристик с помощью полиномиальных регрессионных моделей.

3. Разработан новый алгоритм моделирования движения многовагонного отцепа при отрыве от состава на горбе и скатывании по спускной части горки с учетом межвагонных связей.

4. Разработана имитационная модель скатывания с горки многовагонных отцепов, учитывающая взаимодействие вагонов внутри отцепа и позволяющая: определять положение точки отрыва отцепа из нескольких вагонов от состава с учетом длины зоны расцепки горочного составителя; моделировать движение с учетом перераспределения сил, возникающих внутри многовагонного отцепа при роспуске с сортировочной горки; реализовывать различные режимы торможения отцепа.

5. На основе математической модели разработана программа для ЭВМ «СКАТ-Отцеп» для имитационного моделирования скатывания с горки отцепов различной длины, позволяющая реализовывать разработанные в данной главе принципы выполнения исследований динамики скатывания отцепов с сортировочной горки.

3 МОДЕЛИРОВАНИЕ СКАТЫВАНИЯ МНОГОВАГОННЫХ ОТЦЕПОВ С СОРТИРОВОЧНОЙ ГОРКИ

3.1 Проверка адекватности имитационной модели скатывания отцепов с сортировочной горки

3.1.1 Верификация имитационной модели скатывания отцепов с горки

Верификация разработанной имитационной модели выполнена методом трассировки. В частности, выполнен поэлементный расчет сил сопротивления движению отцепа численными методами и сравнения полученных данных с результатами расчетов по программе [54]. Верификация выполнена на примере скатывания одиночного вагона. При трассировке использован порожний полувагон массой 22 т, маршрут скатывания принят на трудный путь, условия внешней среды неблагоприятные. Математическая модель и принцип расчета соответствуют действующим Правилам и нормам [75].

В качестве объекта-аналога для выполнения расчетов использована существующая сортировочная горка «Н».

Аналитический расчет профильной высоты участка $h_{пр}$ и работы сил сопротивления движению отцепа выполнен в соответствии с действующими Правилами и нормами [75]. Исходные данные для расчета сведены в таблицу 3.1.

Общая работа сил сопротивления на j -м участке определена как сумма работ всех видов сопротивления движению отцепа при скатывании, м эн. в.:

$$h_{общ} = h_o + h_{св} + h_{ск} + h_{сн}, \quad (3.1)$$

где h_o – работа сил основного удельного сопротивления движению отцепа;

$h_{св}$ – работа сил сопротивления движению отцепа от воздушной среды и ветра;

$h_{ск}$ – работа сил сопротивления движению отцепа от стрелок и кривых;

$h_{сн}$ – работа сил сопротивления движению отцепа от снега и инея.

Суммарная работа сил сопротивления от вершины горки до конца участка скатывания составит (для $n_{эл}$ элементов в маршруте):

$$h_{сум} = \sum_{j=1}^{n_{эл}} h_{общ.j}. \quad (3.2)$$

Таблица 3.1 – Характеристика участков спускной части сортировочной горки «Н» по расчетному маршруту

Номер участка	Уклон продольного профиля i , ‰	Расстояние между точками l , м	Расстояние от ВГ до конца участка, м	Профильная высота участка, м	Сумма профильных высот от ВГ до конца участка, м	Число стрелочных переводов, ед.	Мощность тормозной позиции, м эн. в.	Углы поворота, градусы		
								от кривых	от стрелочных переводов	сумма углов поворота
0	0,00	5,00	5,00	0,00	0,00	0	–	0,80	–	0,80
1	32,10	36,73	41,73	1,18	1,18	1	–	2,73	4,73	7,46
2	21,30	3,73	45,46	0,08	1,26	0	–	0,20	–	0,20
3	21,30	15,04	60,50	0,32	1,58	0	1,4	1,07	–	1,07
4	19,90	27,13	87,63	0,54	2,12	1	–	0,08	4,73	4,81
5	16,22	24,66	112,29	0,40	2,52	1	–	0,11	4,73	4,84
6	16,16	30,95	143,24	0,50	3,02	0	2,8	0,65	–	0,65
7	11,34	17,64	160,88	0,20	3,22	0	–	1,37	–	1,37
8	14,25	21,05	181,93	0,30	3,52	1	–	1,73	4,73	6,46
9	13,66	31,47	213,40	0,43	3,95	0	–	6,84	–	6,84
10	8,08	30,95	244,35	0,25	4,20	0	2,8	0,28	–	0,28
11	2,82	24,83	269,18	0,07	4,27	1	–	–	4,73	4,73
12	1,84	27,14	296,32	0,05	4,32	1	–	–	4,73	4,73
13	3,05	16,40	312,72	0,05	4,37	0	–	5,48	–	5,48
14	3,20	21,75	334,47	0,07	4,44	0	–	8,31	–	8,31
15	–0,92	21,75	356,22	–0,02	4,42	0	–	8,31	–	8,31
16	0,93	21,52	377,74	0,02	4,44	0	–	5,42	–	5,42
17	3,33	21,03	398,77	0,07	4,51	0	–	4,38	–	4,38
18	2,38	21,03	419,80	0,05	4,56	0	–	4,38	–	4,38
19	0,90	16,37	436,17	0,01	4,57	0	0,9	0,63	–	0,63
20	0,90	24,00	460,17	0,02	4,59	0	–	–	–	0,00
21	0,90	24,00	484,17	0,02	4,62	0	–	–	–	0,00

Свободная энергетическая высота в конце каждого участка (или для всего маршрута скатывания) определена по формуле

$$h_{св} = h_{пр} - h_{сум} + h_0, \quad (3.3)$$

где h_0 – энергетическая высота, соответствующая начальной скорости движения (скорости надвига $v_{ор}$, м/с), м эн. в.

Для упрощения расчета значения скорости и работы сил сопротивлений сведены в таблицу 3.2. Итоговые значения расчетных параметров определенные по математической модели и значения, рассчитанные по разработанной программе на ЭВМ в результате тысячекратного моделирования скатывания отцепа, приведены в таблице 3.3.

Таблица 3.3 – Значение основных параметров и работы сил сопротивлений движению отцепа на расчетном маршруте

Работа сил сопротивления на участке, м эн. в.					Общая работа сил сопротивления на участке, м эн. в.	Скорость в конце участка, м/с	Время скатывания от ВГ до конца участка, с
основного	от воздушно й среды и ветра	от стрелочных переходов	от кривых	от снега и инея			
<i>Численные методы</i>							
2,18	1,83	0,09	0,46	0,044	4,58	1,91	113,34
<i>Имитационное моделирование</i>							
2,19	1,85	0,17	0,28	0,045	4,54	2,00	114,16

В результате сравнения полученных данных установлено:

- общая работа сил сопротивления различается на 0,04 м эн. в., или 0,87 % (сходимость результатов составляет 99,13 %);
- скорость отцепа в расчетной точке различается на 0,09 м/с, или 4,71 % (сходимость результатов составляет 95,29 %);
- время скатывания от ВГ до расчетной точки различается на 0,82 с, или 0,72 % (сходимость результатов составляет 99,28 %).

Таблица 3.2 – Расчет динамики скатывания отцепа на расчетном маршруте численными методами

Номер участка	Работа сил сопротивления на участке, м эн. в., от					Общая работа сил сопротивления на участке, м эн. в	Суммарная работа сил сопротивления от ВГ до конца участка, м эн. в	Свободная энергетическая высота в конце участка, м эн. в	Скорость в конце участка, м/с	Средняя скорость на участке, м/с	Время скатывания от ВГ до конца участка, с
	основного сопротивления	воздушной среды и ветра	стрелок	кривых	снега и инея						
0	0,02	0,01	0,00	0,00	–	0,00	0,00	0,16	1,70	1,70	2,94
1	0,17	0,07	0,00	0,00	–	0,24	0,24	1,10	4,48	3,09	14,83
2	0,02	0,01	0,00	0,00	–	0,03	0,27	1,15	4,57	4,53	15,66
3	0,07	0,05	0,00	0,01	–	0,13	0,40	1,34	4,94	4,76	18,82
4	0,12	0,11	0,01	0,03	–	0,27	0,67	1,61	5,42	5,18	24,05
5	0,11	0,11	0,02	0,03	–	0,27	0,93	1,75	5,64	5,53	28,51
6	0,14	0,14	0,00	0,00	–	0,28	1,21	1,96	5,98	5,81	33,84
7	0,08	0,08	0,00	0,01	–	0,17	1,39	1,99	6,02	6,00	36,78
8	0,09	0,10	0,02	0,05	–	0,27	1,66	2,02	6,07	6,05	40,26
9	0,14	0,15	0,00	0,06	–	0,35	2,01	2,10	6,19	6,13	45,39
10	0,14	0,15	0,00	0,00	–	0,29	2,30	2,06	6,12	6,15	50,42
11	0,11	0,12	0,02	0,04	0,005	0,30	2,60	1,83	5,77	5,95	54,60
12	0,12	0,12	0,02	0,04	0,005	0,31	2,91	1,57	5,35	5,561	59,48
13	0,07	0,07	0,00	0,04	0,003	0,18	3,09	1,44	5,12	5,24	62,61
14	0,10	0,09	0,00	0,05	0,004	0,24	3,33	1,27	4,81	4,96	67,00
15	0,10	0,08	0,00	0,04	0,004	0,23	3,56	1,02	4,31	4,56	71,77
16	0,10	0,07	0,00	0,02	0,004	0,20	3,76	0,84	3,92	4,11	77,00
17	0,09	0,07	0,00	0,02	0,004	0,18	3,94	0,73	3,65	3,78	82,56
18	0,09	0,06	0,00	0,01	0,004	0,17	4,11	0,61	3,32	3,49	88,59
19	0,07	0,05	0,00	0,00	0,003	0,12	4,23	0,50	3,01	3,17	93,76
20	0,11	0,06	0,00	0,00	0,004	0,17	4,41	0,34	2,51	2,76	102,46
21	0,11	0,05	0,00	0,00	0,004	0,17	4,58	0,20	1,91	2,21	113,34

Максимальное расхождение соответствующих показателей в таблице 3.3 не превышает 5 %. Следовательно, можно сделать вывод о правильной реализации математической модели в программном коде и практической сходимости решения задачи численными методами и методом имитационного моделирования.

3.1.2 Валидация имитационной модели скатывания отцепов

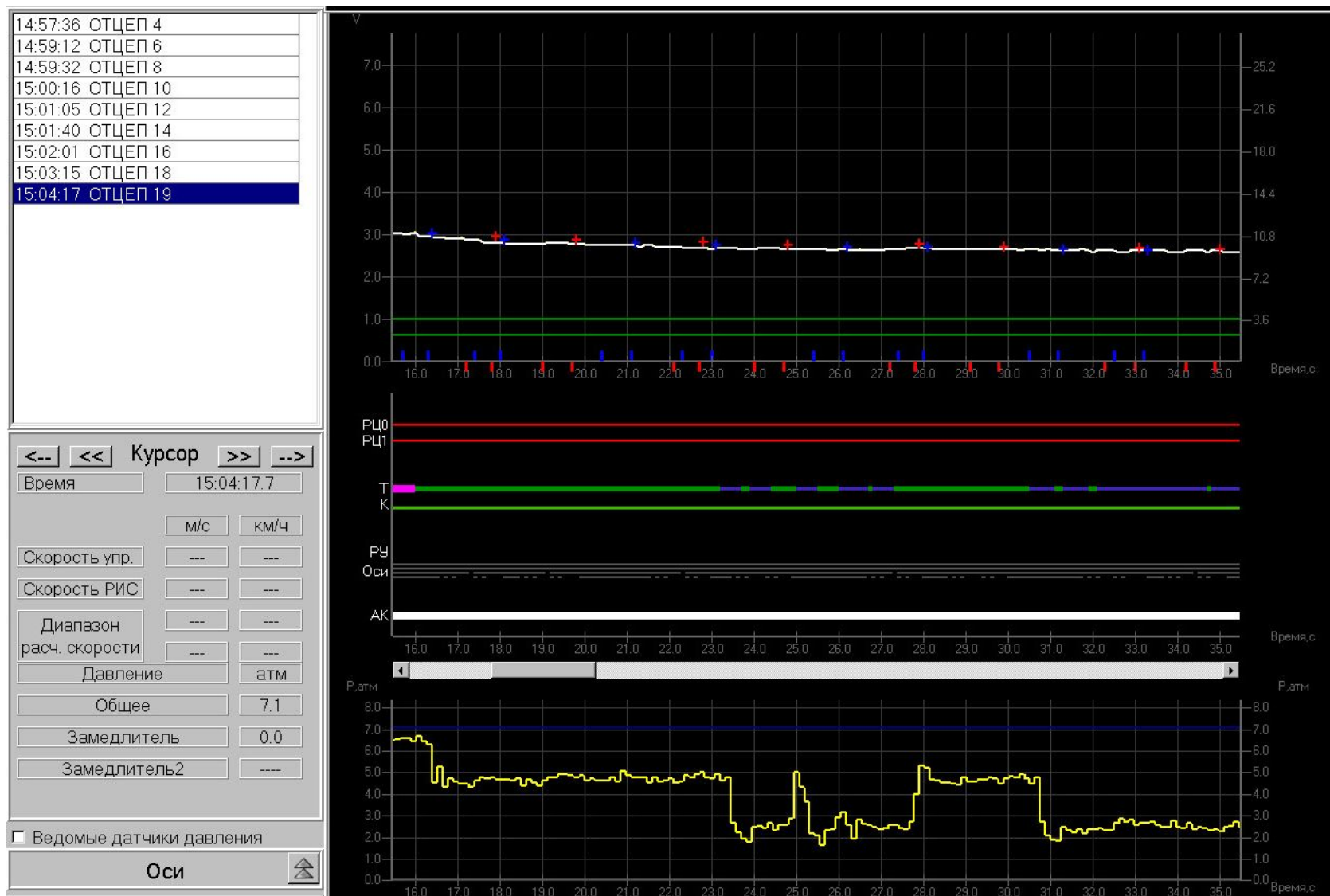
В процессе валидации имитационной модели производится проверка данных, получаемых по результатам работы программы с данными реального процесса роспуска отцепов объекта-аналога – сортировочной горки «Н». В качестве общих исходных данных выбраны следующие параметры:

- равномерно груженный отцеп из 27 вагонов;
- путь назначения отцепа трудный;
- погода ясная, без осадков;
- скорость ветра 0 м/с.

Так как в условиях эксплуатации сортировочной горки сложно обеспечить одинаковые условия скатывания отцепов и воздействия внешних факторов, то при решении данной задачи выполнена коррекция статистических данных с применением положений действующих Правил и норм по следующим характеристикам:

- начальная скорость роспуска;
- горб сортировочной горки, через который производится роспуск состава (на горке «Н» роспуск производится с использованием трех горбов);
- температура окружающей среды.

Наличная мощность тормозной позиции $h_{тп.н}$, м эн. в., принимается по данным Правил и норм или заводскому паспорту замедлителя. Реализуемая мощность тормозной позиции определяется соотношением времени работы вагонных замедлителей на каждой ступени торможения (рисунок 3.1) ко времени нахождения отцепа на тормозной позиции $t_{тп}$:



■ – 4 степень торможения; ■ – 3 степень торможения; ■ – 2 степень торможения; ■ – 1 степень торможения.

Рисунок 3.1 – Графический протокол АРМа электромеханика горки «Динамика торможения»

$$h_{\text{ТП.р}} = h_{\text{ТП.н}} \cdot \frac{\sum_{j=1}^4 k_j \cdot t_j}{t_{\text{ТП}}}, \quad (3.4)$$

где k_j – коэффициент, характеризующий степень торможения (4-я степень принимается за 1, 3-я – за 0,75, 2-я – за 0,5, 1-я – за 0,25);

t_j – время работы замедлителя на заданной ступени торможения, с.

Валидация будет считаться успешной, если при заданных начальных условиях роспуска скорость выхода отцепа в парк по результатам работы программы «СКАТ-Отцеп» будет сопоставима с данными скатывания реальных отцепов.

Для повышения точности расчетов необходимо учесть разные условия роспуска при натуральных экспериментах и оценить их влияние на скорость выхода отцепа в парк. В общем виде уравнение скатывания отцепа записывается как

$$h_{v_0} + h_{\text{пр}} = h_0 + h_{\text{св}} + h_{\text{с}} + h_{\text{к}} + h_{\text{сн}} + h_{\text{ТП}} + h_{v_{\text{к}}}, \quad (3.5)$$

где h_{v_0} – энергетическая высота, соответствующая скорости роспуска $v_{\text{ор}}$, м ЭН. В.;

$h_{v_{\text{к}}}$ – энергетическая высота, соответствующая скорости выхода в парк $v_{\text{к}}$, м ЭН. В.

Отсюда

$$h_{v_{\text{к}}} = h_{v_0} + h_{\text{пр}} - (h_0 + h_{\text{св}} + h_{\text{с}} + h_{\text{к}} + h_{\text{сн}} + h_{\text{ТП}}). \quad (3.6)$$

Для оценки правильности работы программы необходимо привести данные к следующим значениям:

- скорость роспуска 1,7 м/с;
- температура воздуха -14 °С;
- скорость выхода в парк 1 м/с;
- горб горки № 2 (количество стрелочных переводов по маршруту скатывания, углы поворота кривых по маршруту скатывания, удельную энергию профильных сил, возникающих на горбе горки).

Изменение энергетической высоты и скорость выхода отцепа в сортировочный парк с учетом этих факторов определяется как:

$$\Delta h_{v_{\text{к}}} = \Delta h_{v_0} + \Delta h_{\text{пр}} + \Delta h_{\text{с}} + \Delta h_{\text{св}} + \Delta h_{\text{к}} + \Delta h_{\text{сн}} + \Delta h_{\text{ТП}}, \quad (3.7)$$

$$v'_{\text{к}} = \sqrt{v_{\text{к}}^2 + 2 \cdot g' \cdot \Delta h_{v_{\text{к}}}}. \quad (3.8)$$

Статистические данные по используемой мощности тормозных позиций приведены в таблицах Б.1–Б.15 (приложение Б).

Результаты натуральных наблюдений, проведенных для сортировочной горки «Н», приведены в таблице 3.4.

Таблица 3.4 – Результаты скатывания отцепов из 27 груженных вагонов при выполнении натуральных наблюдений для сортировочной горки «Н»

Номер отцепа	Горб горки	Начальная скорость, м/с	Конечная скорость, м/с	Температура, °С
1	1	1,70	1,00	–11
2	2	1,65	1,12	–16
3	2	1,10	0,50	–17
4	2	2,00	1,00	–3
5	2	1,40	1,12	–4
6	2	2,40	0,38	–6
7	2	1,90	1,00	–14
8	2	2,40	1,00	–5
9	2	2,00	0,80	–5
10	1	2,00	1,09	–4
11	1	2,00	1,00	–6
12	1	2,00	0,38	–6
13	2	1,50	0,91	–5
14	2	2,00	1,16	–2
15	1	2,00	1,00	2

Для приведения в соответствие условий роспуска при натуральных наблюдениях и расчете по программе необходима корректировка энергии движения отцепов, скатываемых по горбу № 1. Расчет разности профильных высот при скатывании отцепов с горбов № 1 и 2 сортировочной горки «Н» приведен в таблице 3.5.

Таблица 3.5 – Расчет разности профильных высот при скатывании многовагонных отцепов (27 груженных вагонов)

Горб горки	Начальный и конечный элементы плана	Длина участка, м	$h_{пр}$, м. ЭН. В.	$\Delta h_{пр}$, м. ЭН. В.
1	от ВГ до 6 СП	58,69	1,651	0,173
2	от ВГ до 6 СП	81,28	1,824	

Для выполнения сравнительных расчетов по скатыванию отцепов с горки методом имитационного моделирования необходимо определить исходные параметры для моделирования и последующего сравнения результатов по данным

натурных наблюдений. Принимается, что имеющиеся различия исходных параметров скатывания отцепов в реальных условиях могут быть выражены через приведенную реализуемую мощность тормозных позиций. Расчет корректировок условий роспуска по данным натурных наблюдений представлен в таблице 3.6.

Таблица 3.6 – Расчет приведенной реализуемой мощности тормозных позиций при скатывании многовагонных отцепов (27 груженных вагонов) по результатам натурных наблюдений

Номер отцепа	$\Delta h_{пр},$ М ЭН. В.	$\Delta h_{v_0},$ М ЭН. В.	$\Delta h_{сн},$ М ЭН. В.	$\Delta h_{с},$ М ЭН. В.	$\Delta h_{к},$ М ЭН. В.	$h_{ТП},$ М ЭН. В.	$\Delta h_{v_к},$ М ЭН. В.	$v'_{к},$ М/С
1	0,173	-0,037	-0,026	0,004	0,002	1,803	0,852	4,173
2	–	-0,046	0,017	–	–	1,157	0,061	1,561
3	–	-0,125	0,025	–	–	1,359	0,193	1,990
4	–	0,020	-0,069	–	–	1,506	0,390	2,919
5	–	-0,086	-0,069	–	–	1,397	0,177	2,159
6	–	0,112	-0,062	–	–	1,352	0,336	2,573
7	–	–	–	–	–	1,066	–	1,000
8	–	0,112	-0,066	–	–	1,376	0,356	2,801
9	–	0,020	-0,066	–	–	1,414	0,302	2,540
10	0,173	0,020	-0,069	0,004	0,002	1,621	0,685	3,792
11	0,173	0,020	-0,062	0,004	0,002	1,469	0,540	3,378
12	0,173	0,020	-0,062	0,004	0,002	1,250	0,321	2,514
13	–	-0,071	-0,066	–	–	1,651	0,448	3,075
14	–	0,020	-0,068	–	–	1,740	0,626	3,661
15	0,173	0,020	-0,068	0,004	0,002	1,573	0,637	3,643

По данным таблиц 3.4–3.6 для имитационного моделирования принимаются данные и условия роспуска отцепа № 7, имеющего минимальное значение приведенной реализуемой мощности тормозных позиций (в таблице 3.6 выделено полужирным).

Для оценки достоверности имитационной модели используется критерий Манна – Уитни [17, 113]:

$$u_{emp} = n_1 n_2 + \frac{n_x(n_x+1)}{2} - T_x, \quad (3.9)$$

где n_x – наибольшая из объемов выборок n_1 и n_2 ;

T_x – наибольшая сумма рангов.

Реализуемая мощность вагонных замедлителей при имитационном моделировании принимается как средневзвешенное значение используемой мощности

ПТП при натуральных испытаниях и равняется наличной мощности тормозной позиции (1,45 м эн. в.). В ходе моделирования расчет скатывания отцепа из 27 груженых вагонов был произведен 40 раз, что соответствует выбранному критерию Манна – Уитни для выборок малых объемов. Результаты имитационного моделирования скатывания отцепа приведены в таблице 3.7.

Таблица 3.7 – Результаты имитационного моделирования скатывания отцепа из 27 груженых вагонов с сортировочной горки «Н»

Номер отцепа	$h_{пр}$, М ЭН. В.	h_o , М ЭН. В.	$h_{св}$, М ЭН. В.	h_c , М ЭН. В.	h_k , М ЭН. В.	$h_{сн}$, М ЭН. В.	w_o , Н/кН	$v_{к.мод.}$, М/С
1	2,666	0,641	0,020	0,051	0,112	0,001	1,187	2,715
2	2,666	0,641	0,020	0,017	0,160	0,001	1,187	2,664
3	2,666	0,769	0,018	0,078	0,109	0,001	1,423	2,121
4	2,666	0,684	0,020	0,044	0,099	0,001	1,265	2,637
5	2,666	0,745	0,018	0,076	0,121	0,001	1,378	2,187
6	2,666	0,617	0,021	0,034	0,101	0,001	1,142	2,891
7	2,666	0,637	0,021	0,035	0,105	0,001	1,178	2,807
8	2,666	0,690	0,021	0,043	0,061	0,001	1,277	2,750
9	2,666	0,667	0,020	0,042	0,108	0,001	1,233	2,673
10	2,666	0,688	0,019	0,032	0,145	0,001	1,272	2,498
11	2,666	0,671	0,021	0,051	0,065	0,001	1,241	2,776
12	2,666	0,675	0,020	0,063	0,106	0,001	1,249	2,574
13	2,666	0,694	0,020	0,040	0,096	0,001	1,284	2,624
14	2,666	0,620	0,019	0,033	0,212	0,001	1,148	2,497
15	2,666	0,686	0,019	0,056	0,159	0,001	1,270	2,355
16	2,666	0,668	0,020	0,068	0,103	0,001	1,235	2,595
17	2,666	0,669	0,020	0,048	0,131	0,001	1,237	2,562
18	2,666	0,693	0,019	0,051	0,136	0,001	1,283	2,434
19	2,666	0,645	0,019	0,025	0,197	0,001	1,193	2,488
20	2,666	0,800	0,018	0,047	0,104	0,001	1,480	2,143
21	2,666	0,712	0,019	0,036	0,145	0,001	1,317	2,386
22	2,666	0,647	0,018	0,049	0,237	0,001	1,197	2,227
23	2,666	0,646	0,018	0,037	0,243	0,001	1,195	2,252
24	2,666	0,727	0,018	0,082	0,131	0,001	1,345	2,194
25	2,666	0,589	0,021	0,052	0,125	0,001	1,090	2,844
26	2,666	0,690	0,019	0,042	0,157	0,001	1,277	2,405
27	2,666	0,647	0,021	0,051	0,091	0,001	1,198	2,768
28	2,666	0,711	0,018	0,065	0,152	0,001	1,317	2,243
29	2,666	0,654	0,020	0,044	0,105	0,001	1,209	2,722
30	2,666	0,639	0,020	0,046	0,135	0,001	1,182	2,660
31	2,666	0,655	0,020	0,057	0,134	0,001	1,212	2,570
32	2,666	0,610	0,020	0,043	0,144	0,001	1,129	2,738

Продолжение таблицы 3.7

Номер отцепа	$h_{пр}$, м ЭН. В.	h_o , м ЭН. В.	$h_{св}$, м ЭН. В.	h_c , м ЭН. В.	h_k , м ЭН. В.	$h_{сн}$, м ЭН. В.	w_o , Н/кН	$v_{к.мод.}$, м/с
33	2,666	0,643	0,021	0,028	0,094	0,001	1,190	2,850
34	2,666	0,630	0,019	0,036	0,235	0,001	1,165	2,359
35	2,666	0,742	0,019	0,052	0,091	0,001	1,374	2,418
36	2,666	0,752	0,018	0,077	0,086	0,001	1,391	2,300
37	2,666	0,644	0,020	0,037	0,168	0,001	1,192	2,556
38	2,666	0,668	0,018	0,044	0,195	0,001	1,235	2,334
39	2,666	0,675	0,018	0,067	0,206	0,001	1,250	2,157
40	2,666	0,623	0,018	0,021	0,262	0,001	1,152	2,336

Расчетное (эмпирическое) значение критерия Манна – Уитни u отражает то, насколько велика зона совпадения между рядами. Поэтому чем меньше u_{emp} , тем более вероятно, что различия достоверны.

Для расчета u_{emp} необходимо проранжировать скорости выхода отцепов в парк, полученные экспериментальным путем и методом моделирования. При ранжировании две выборки объединяются в одну. Ранги присваиваются в порядке возрастания скорости выхода отцепа в парк измеряемой величины, т. е. наименьшему рангу соответствует наименьшая скорость. В случае совпадения значений скорости движения для нескольких отцепов ранг определяется как среднее арифметическое значение соответствующих позиций (таблица 3.8).

Таблица 3.8 – Ранжирование скорости выхода отцепов в парк по данным натуральных наблюдений и имитационного моделирования

Номер отцепа	Скорость, м/с	Тип	Ранг	
			Эксперимент	Моделирование
1	1,00	Эксперимент	1	–
2	1,56	Эксперимент	2	–
3	1,99	Эксперимент	3	–
4	2,12	Моделирование	–	4
5	2,14	Моделирование	–	5
6	2,16	Моделирование	–	6
7	2,16	Эксперимент	7	–
8	2,19	Моделирование	–	8
9	2,19	Моделирование	–	9
10	2,23	Моделирование	–	10
11	2,24	Моделирование	–	11
12	2,25	Моделирование	–	12
13	2,30	Моделирование	–	13

Продолжение таблицы 3.8

Номер отцепа	Скорость, м/с	Тип	Ранг	
			Эксперимент	Моделирование
14	2,33	Моделирование	–	14
15	2,34	Моделирование	–	15
16	2,36	Моделирование	–	16
17	2,36	Моделирование	–	17
18	2,39	Моделирование	–	18
19	2,41	Моделирование	–	19
20	2,42	Моделирование	–	20
21	2,43	Моделирование	–	21
22	2,49	Моделирование	–	22
23	2,50	Моделирование	–	23
24	2,50	Моделирование	–	24
25	2,51	Эксперимент	25	–
26	2,54	Эксперимент	26	–
27	2,56	Моделирование	–	27
28	2,56	Моделирование	–	28
29	2,57	Моделирование	–	29
30	2,57	Эксперимент	30	–
31	2,57	Моделирование	–	31
32	2,60	Моделирование	–	32
33	2,62	Моделирование	–	33
34	2,64	Моделирование	–	34
35	2,66	Моделирование	–	35
36	2,66	Моделирование	–	36
37	2,67	Моделирование	–	37
38	2,72	Моделирование	–	38
39	2,72	Моделирование	–	39
40	2,74	Моделирование	–	40
41	2,75	Моделирование	–	41
42	2,77	Моделирование	–	42
43	2,78	Моделирование	–	43
44	2,80	Эксперимент	44	–
45	2,81	Моделирование	–	45
46	2,84	Моделирование	–	46
47	2,85	Моделирование	–	47
48	2,89	Моделирование	–	48
49	2,92	Эксперимент	49	–
50	3,08	Эксперимент	50	–
51	3,38	Эксперимент	51	–
52	3,64	Эксперимент	52	–
53	3,66	Эксперимент	53	–
54	3,79	Эксперимент	54	–
55	4,17	Эксперимент	55	–
Итого			502	1038

Приведенных данных достаточно, чтобы воспользоваться формулой расчета эмпирического значения критерия:

$$u_{emp} = 15 \cdot 40 + \frac{40 \cdot (40 + 1)}{2} - 1038 = 382.$$

Гипотеза H_0 о незначительности различий между выборками принимается при соблюдении неравенства

$$u_{кр} < u_{emp}, \quad (3.10)$$

где $u_{кр}$ – критическая точка, определяемая по таблице Манна – Уитни.

В противном случае H_0 отвергается, и различие между данными натуральных экспериментов и имитационного моделирования определяется как существенное.

Критическая точка $u_{кр}$, согласно таблице критических значений, для уровня статистической значимости $\rho \leq 0,05$ при сравнении двух выборок из 15 натуральных экспериментов и 40 результатов имитационного моделирования соответственно равна 212. Таким образом, при выполнении расчета по формуле (3.10) получим $212 < 382$.

Полученные результаты валидации позволяют сделать вывод о сопоставимости данных имитационного моделирования и результатов экспериментальных наблюдений. Таким образом, разработанная при выполнении диссертационной работы программа для ЭВМ «СКАТ-Отцеп» имеет высокую степень адекватности реальным процессам роспуска составов на сортировочной горке и может использоваться как инструмент для выполнения исследований по данному направлению.

3.2 Анализ структуры перерабатываемого на сортировочной горке вагоно- и отцепопотока

Для определения структуры вагонопотока, перерабатываемого на сортировочной горке «Н», произведен анализ телеграмм-натурных и сортировочных листов за расчетный период. Была обработана статистическая информация о 6161 отцепах, из них:

– 3118 отцепов состоят из одного вагона (что составляет 13,52 % переработанного вагонопотока);

- 1071 отцеп состоит из двух вагонов (9,29 %);
- 549 отцепов состоит из трех вагонов (7,14 %);
- 1640 отцепов состоят из четырех и более вагонов (70,04 %).

На основании обработанных данных составлена диаграмма распределения количества вагонов в отцепе, приведенная на рисунке 3.2. Изменение структуры перерабатываемого вагонопотока по массе приведено на рисунках 3.3 и 3.4. Для сравнения полученных результатов использованы данные исследований 1971 г. [114].

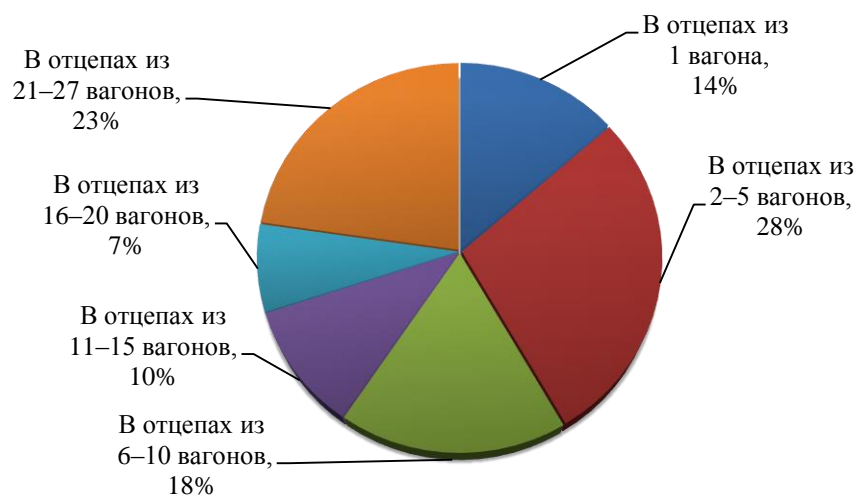


Рисунок 3.2 – Распределение количества вагонов в отцепе, перерабатываемых на сортировочной горке «Н»

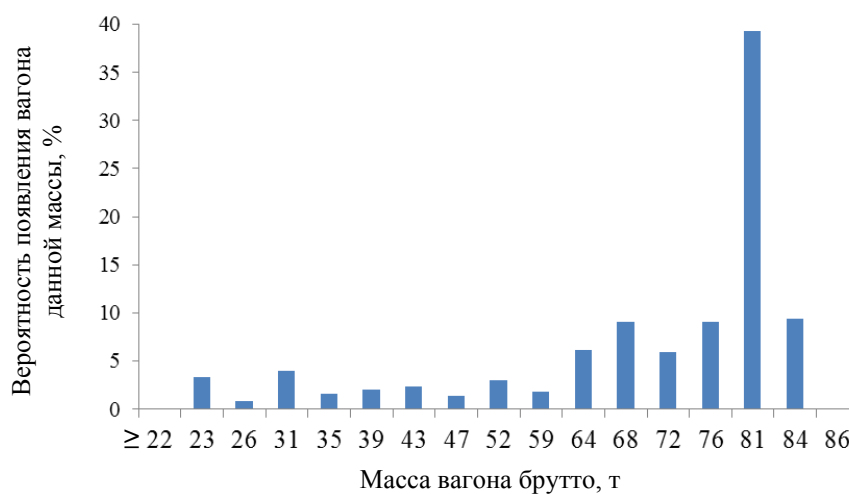


Рисунок 3.3 – Распределение массы четырехосных вагонов на сортировочной горке «Н», 1971 г.

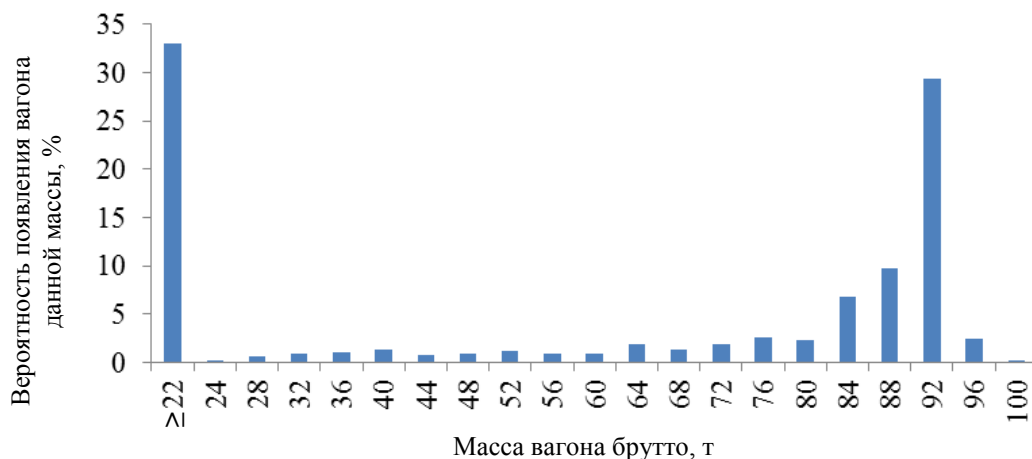


Рисунок 3.4 – Распределение массы четырехосных вагонов на сортировочной горке «Н», 2013 г.

Выполненный анализ показал, что произошло уменьшение доли вагонов массой от 28 до 80 т. Следовательно, увеличилась доля перерабатываемых вагонов, относящихся к легкой и тяжелой весовой категории (плохие и хорошие бегуны). Сдвиг пика загрузки груженых вагонов с 81 т до 92 т связан в том числе с переходом на новые тележки с повышенной допустимой нагрузкой на ось.

Задача определения типа вагона усложнилась при эксплуатации парка частных вагонов. Для расчета высоты сортировочной горки необходимы тип и масса расчетного бегуна. Но в сортировочных листках не указывается масса тары порожнего отцепа, а напротив вагона с легковесным грузом в графе масса отцепа ставится пометка «ЛВ». Для решения указанной задачи использованы данные из ТГНЛ (форма ДУ-1), сортировочного листка и баз данных сети Интернет. Для автоматизации решения этой задачи был разработан алгоритм (приложение В) и программа для ЭВМ [34].

По количеству осей исследуемое множество вагонов разделяется на пять типов – четырех, шести, восьми и двенадцатиосные вагоны, к категории «прочие» относятся специальный подвижной состав и локомотивы нерабочего парка. Данные о распределении представлены в таблице 3.9.

В исследуемом вагонопотоке было выявлено порядка 400 разных моделей вагонов, статистическая информация о которых приведена в таблице 3.10.

Таблица 3.9 – Результаты статистической обработки вагонопотока, перерабатываемого на сортировочной горке «Н», по количеству осей

Количество осей вагона	Количество вагонов, ваг.
4	22972
6	7
8	28
12	2
Прочие	27

Таблица 3.10 – Результаты статистической обработки вагонопотока, перерабатываемого на сортировочной горке «Н», по модели вагона

Модель вагона	Количество вагонов, ед.	Доля от общего числа, %	Доля нарастающим итогом, %
12-132	2304	10,00	10,00
12-132-03	1526	6,62	16,63
12-532	1214	5,27	21,90
12-296-01	1031	4,48	26,37
12-119	905	3,93	30,30
19-758	731	3,17	33,47
12-141	548	2,38	35,85
11-280	535	2,32	38,18
12-9046	452	1,96	40,14
13-9004	429	1,86	42,00
12-1704-04	386	1,68	43,68
12-1592	345	1,50	45,17
11-217	341	1,48	46,65
15-1547	341	1,48	48,13
13-401	337	1,46	49,60
15-1547-03	325	1,41	51,01
12-783	324	1,41	52,41
11-1807-01	299	1,30	53,71
12-9085	267	1,16	54,87
12-1505	253	1,10	55,97
13-470	252	1,09	57,06
15-1443	235	1,02	58,08
Прочие	9656	41,92	100,00

По длинам вагонов (по осям автосцепок) исследуемое множество делится на 60 типов, распределение которых приведено в таблице 3.11.

Таблица 3.11 – Результаты статистической обработки вагонопотока, перерабатываемого на сортировочной горке «Н», по длинам вагонов

Длина по осям автосцепок, мм	Количество вагонов, ед.	Доля от общего числа, %	Доля нарастающим итогом, %
12020	3280	14,24	14,24
12120	1112	4,83	19,07
13920	6536	28,37	47,44
13980	5266	22,86	70,30
14620	1340	5,82	76,12
14720	534	2,32	78,43
14730	827	3,59	82,02
16970	520	2,26	84,28
18840	378	1,64	85,92
19720	839	3,64	89,56
Прочие	2404	10,44	100,00

По массе тары исследуемое множество вагонов разделяется на 70 типов, статистические данные об их распределении указаны в таблице 3.12.

Таблица 3.12 – Статистическая обработка вагонопотока, перерабатываемого на сортировочной горке «Н», по массе тары

Масса тары вагона, т	Количество вагонов, ед.	Доля от общего числа, %	Доля нарастающим итогом, %
17,2	491	2,13	2,13
17,9	1095	4,75	6,88
19	5266	22,86	29,74
19,4	670	2,91	32,65
20,9	773	3,36	36,01
21,1	866	3,76	39,77
21,3	459	1,99	41,76
22	6119	26,56	68,32
23	345	1,50	69,82
24	719	3,12	72,94
24,2	459	1,99	74,93
24,6	378	1,64	76,58
25	2814	12,22	88,79
26	365	1,58	90,38
37	448	1,94	92,32
Прочие	1769	7,68	100,00

В исследуемом вагонопотоке было выделено 107 укрупненных типов вагонов с одинаковыми основными характеристиками, таблица 3.13.

Таблица 3.13 – Результаты статистической обработки вагонопотока, перерабатываемого на сортировочной горке «Н», по основным характеристикам

Тип вагона	Грузоподъемность, т	Масса тары, т	Количество осей, ед.	Длина вагона по осям автосцепок, мм	Количество вагонов, ед.
Крытый, вид 1	69	24,2	4	16970	459
Крытый, вид 2	78,0	23,0	4	14730	331
Крытый, вид 3	78,0	24,0	4	14730	451
Полувагон, вид 1	75,5	22,0	4	13920	5668
Полувагон, вид 2	80,0	21,1	4	13920	866
Полувагон, вид 3	80,0	19,0	4	13980	5266
Универсальная платформа, вид 1	80,0	20,9	4	14620	773
Универсальная платформа, вид 2	75,0	17,2	4	14620	284
Фитинговая платформа	75,0	19,4	4	19720	670
Хоппер, вид 1	71,0	21,3	4	14720	289
Хоппер, вид 2	74,0	17,9	4	12120	1075
Хоппер, вид 3	80,0	22,0	4	14720	241
Цистерна для нефтепродуктов	75,0	25,0	4	12020	2665
Цистерны для сжиженных газов	75,0	37,0	4	12020	448
Прочие	–	–	–	–	3550

В результате анализа отцепопотока наибольшее распространение (порядка 10 % или 2304 от общего числа вагонов) получила модель полувагона 12-132. Многоосных вагонов, проходящих через сортировочную горку «Н» – 0,28 %. Самые распространенные типы вагонов – с массой тары 19, 22 и 25 т. Через горку прошло 1995 длиннобазных вагонов (8,66 % от общего вагонопотока), 76,22 % вагонов имеют значение по грузоподъемности 75, 75,5 или 80 т.

3.3 Исследование параметров подвижной части сортировочной горки

На процесс отрыва от надвигаемого состава и начала свободного скатывания отцепа влияют такие факторы, как ходовые свойства, скорость роспуска, метеорологические условия, граница зоны работы горочного составителя, а также уклоны спускной и подвижной частей сортировочной горки. От параметров подвижной части зависит местоположение точки отрыва отцепа и, как следствие, образование временного интервала между смежными отцепами на разделительных элементах.

Рассмотрим нормативные значения элементов продольного профиля подвижной части горки без разделительного элемента. При длине участка пути непосредственно перед перевальной частью горки от 100 до 150 м допустимые значения уклона путей надвига устанавливаются не менее 12 ‰, с условием, что разница уклонов со смежным элементом будет не более 25 ‰. Диапазон допустимых значений элементов надвига ограничивается от 12 до 25* ‰ (рисунок 3.5).

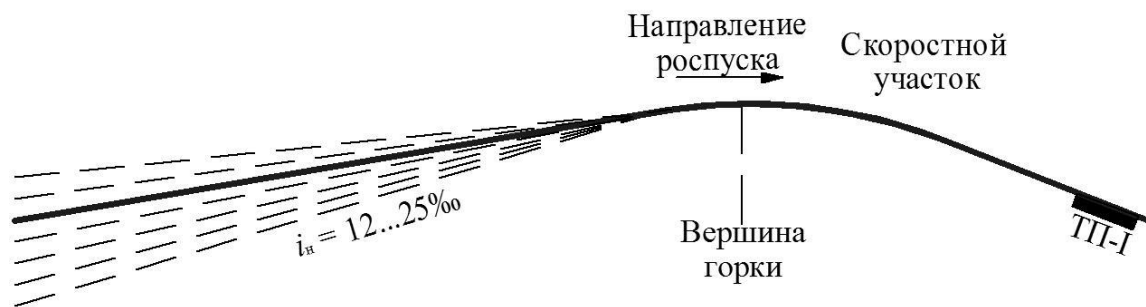


Рисунок 3.5 – Варианты уклона элемента надвига на горб сортировочной горки

Согласно проведенному анализу отцепопотока при моделировании процесса скатывания используются отцепы из четырехосных полувагонов массой 22 и 92 т. Имитационное моделирование применяется для оценки взаимосвязи между уклоном подвижной части горки и координатой точки отрыва от надвигаемого состава. Для моделирования приняты следующие исходные данные:

- погодные условия неблагоприятные;
- уклон элемента надвига от 12 до 25 ‰, с шагом в 1 ‰;
- уклон первого скоростного элемента 30 ‰;
- скорость роспуска 0,8 м/с;

* Значение обусловлено уклоном первого скоростного элемента.

- граница зоны работы горочного составителя 100 м от вершины горки;
- характеристика отцепов приведена в таблице 3.14.

Таблица 3.14 – Характеристика исследуемых отцепов при роспуске с сортировочной горки «Н»

Вагоны легкой весовой категории	Вагоны тяжелой весовой категории
1Л	1Т
2Л	2Т
4Л	4Т
8Л	8Т
12Л	12Т
14Л	14Т
16Л	16Т
20Л	20Т
24Л	24Т
27Л	27Т

Примечание – 2Л – отцеп, состоящий из двух порожних полувагонов; 2Т – отцеп, состоящий из двух груженых полувагонов.

При исследовании производилась оценка влияния скорости роспуска и уклона элемента надвигной части на положение точки отрыва отцепа. Величина смещения точек отрыва определялась при каждой скорости роспуска как разность точек отрыва при предельных значениях уклонов в диапазоне 12–25 ‰. Результаты эксперимента приведены на рисунках 3.6 и 3.7.

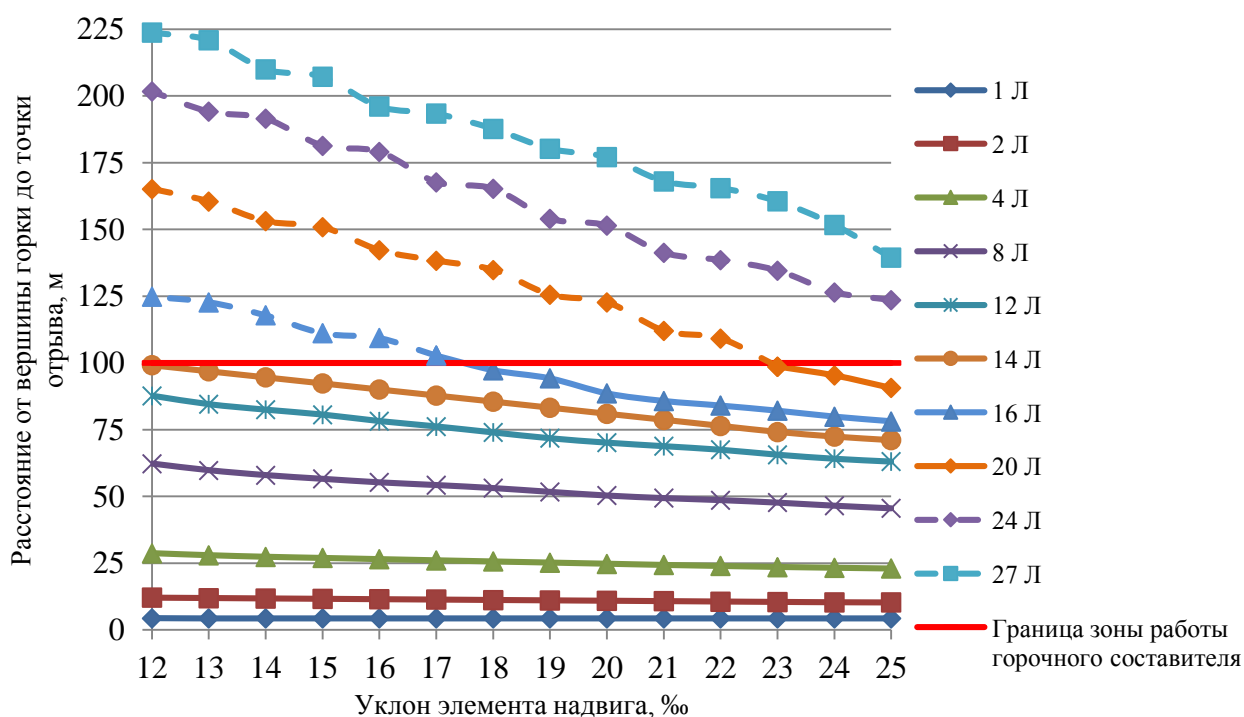


Рисунок 3.6 – Зависимость положения точки отрыва отцепа от уклона надвигной части для отцепов из вагонов легкой весовой категории

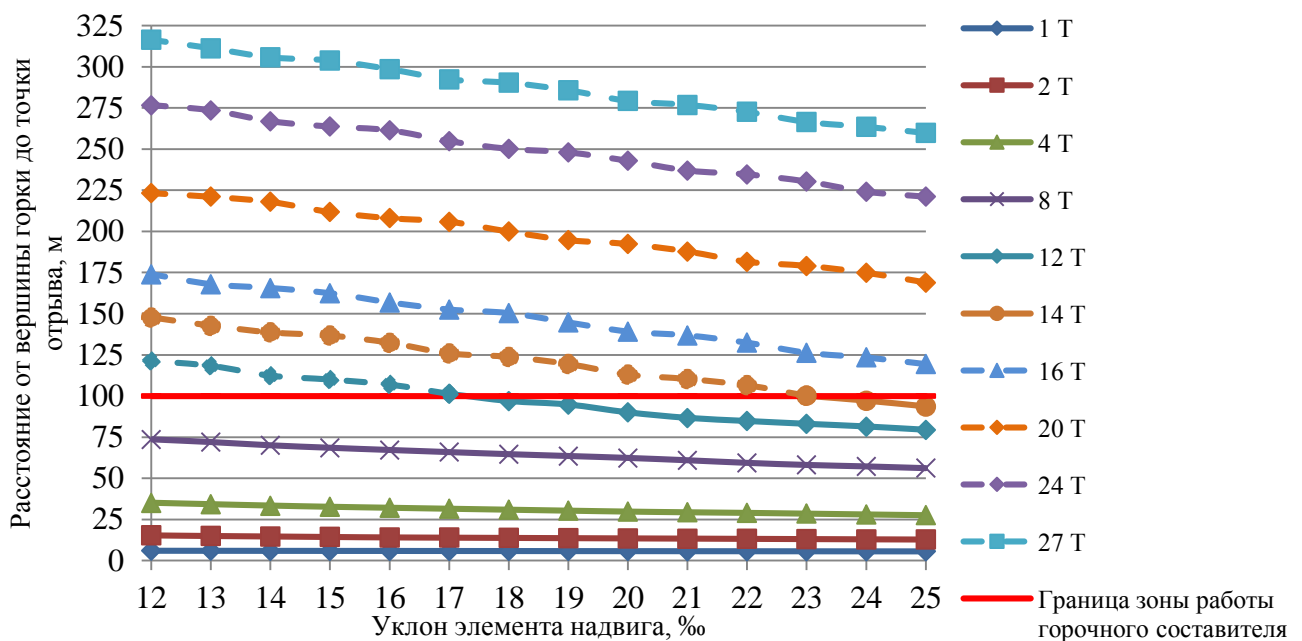


Рисунок 3.7 – Величина смещения точки отрыва для отцепов из вагонов тяжелой весовой категории

Установлено, что с увеличением уклона надвигной части точка отрыва сдвигается к вершине горки. Для пологих конструкций надвигной части происходит смещение точки отрыва (особенно для многовагонных отцепов) в сторону парка приема, что увеличивает зону работы горочного составителя.

Согласно выполненным для сортировочной горки «Н» расчетам также установлено, что точка отрыва может смещаться за пределы фактической зоны работы горочного составителя при роспуске отцепов длиной более:

- 14 вагонов и уклоне элемента надвигной части у ВГ менее 13 ‰ при скатывании вагонов легкой категории;
- 12 вагонов и уклоне элемента надвигной части у ВГ менее 17 ‰ при скатывании вагонов тяжелой категории.

При указанной конструкции продольного профиля надвигной части сортировочной горки повышается вероятность необходимости использования тормозных позиций для расцепки многовагонного отцепа.

3.4 Исследование динамики скатывания отцепов при изменении конфигурации плана и продольного профиля перевальной части горки

Параметры плана и продольного профиля надвигной части и первого скоростного элемента спускной части горки во многом определяют такие характеристики роспуска, как потребная мощность тормозных позиций, момент отрыва отцепов от состава и начало самостоятельного скатывания отцепа, условия и место выполнения расцепки вагонов, начальная скорость движения отцепа. Правилами и нормами устанавливается диапазон допустимых значений уклонов рассматриваемых элементов профиля и радиусов сопрягающих их вертикальных кривых.

Существующие методики в основном предназначены для анализа и определения оптимальных параметров при скатывании одиночных вагонов с сортировочной горки, при этом за точку отрыва принимается вершина горки. Большая часть вагонопотока перерабатывается в отцепах из нескольких вагонов. Допущения действующей методики могут приводить к погрешности при прогнозировании движения многовагонных отцепов по спускной части горки, поскольку точка отрыва и динамика скатывания отцепов из нескольких вагонов сильно отличается от аналогичных характеристик для одиночных отцепов.

Проведено исследование взаимосвязи ходовых характеристик перерабатываемых на сортировочной горке многовагонных отцепов и положения вершины горки. В ходе экспериментов на сортировочной горке «Н» методом имитационного моделирования исследовалась скорость входа отцепов на замедлители, а также возможность остановки многовагонного отцепа на ТП-II (при использовании наличной мощности всех вагонных замедлителей по маршруту скатывания). Исследования проводились для положений вершины горба горки при различных параметрах противоуклона и первого скоростного элемента (рисунок 3.8) с учетом соблюдения действующих правил и норм [75].

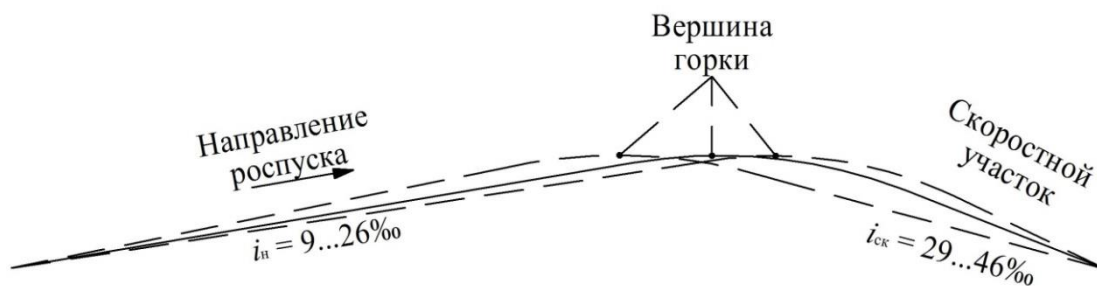


Рисунок 3.8 – Варианты конфигурации горба сортировочной горки

Условия эксперимента на имитационной модели:

- маршрут скатывания – легкий путь;
- условия скатывания – благоприятные;
- категория веса отцепа – Т;
- количество вагонов в отцепе – 1, 2, 4, 6, 8;
- скорость роспуска – 0,8; 1,0; 1,2; 1,4; 1,7; 2,0; 2,2 м/с;
- допустимая скорость входа отцепом на разделительный элемент – 8 м/с;
- допустимый диапазон уклона элемента надвига – от 9 до 26 ‰;
- допустимый диапазон уклона первого скоростного элемента – от 29 до 46 ‰;
- шаг изменения скоростного уклона – 1 ‰.

При изменении положения вершины горки высота горки оставалась неизменной. При этом величина элементов по вариантам надвигной и спускной части сортировочной горки (рисунок 3.9) определялась по следующей формуле:

$$L = l_n + l_{т.н} + l_{ск} + l_{т.ск}, \quad (3.11)$$

где l_n – длина противоуклона надвигной части сортировочной горки, м;

$l_{т.н}$ – тангенс вертикальной кривой со стороны надвигной части горки, м;

$l_{ск}$ – длина первого скоростного элемента, м;

$l_{т.ск}$ – тангенс вертикальной кривой со стороны спускной части, м.

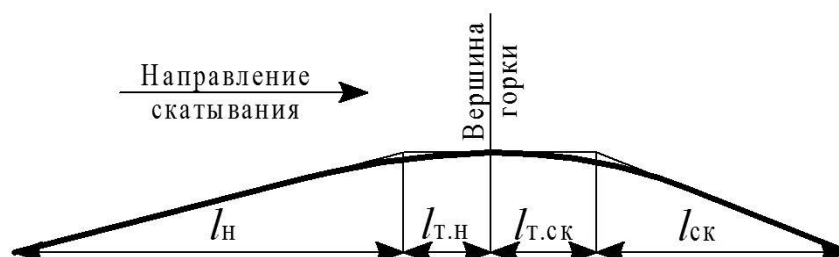


Рисунок 3.9 – Схема разбивки вершины сортировочной горки на элементы

Конструктивные элементы горба горки определяются по следующим формулам:

$$l_{т.н} = \frac{R_{н} \cdot \Delta i_{н}}{2000}, l_{т.ск} = \frac{R_{ск} \cdot \Delta i_{ск}}{2000}, \quad (3.12)$$

где $R_{н}$ – радиус надвигной части сортировочной горки, м;

$\Delta i_{н}$ – разница между противоуклоном надвигной части сортировочной горки и касательной в точке вершины сортировочной горки, ‰;

$R_{ск}$ – радиус скоростного элемента спускной части сортировочной горки, м;

$\Delta i_{ск}$ – разница между уклоном скоростного элемента спускной части сортировочной горки и касательной в точке вершины сортировочной горки, ‰.

$$\Delta L = L - (l_{ск} + l_{т.ск}), \quad (3.13)$$

$$i_{н} = 1000 \cdot \frac{\Delta L - \sqrt{\Delta L^2 - 2 \cdot h_{н} \cdot R_{н}}}{R_{н}}, \quad (3.14)$$

$$l_{н} = 1000 \cdot \frac{h_{н}}{i_{н}}, \quad (3.15)$$

где $h_{н}$ – высота противоуклона надвигной части сортировочной горки, м.

Конфигурация плана и продольного профиля перевальной части горки по принятым вариантам приведена в таблице 3.15. Положение точек отрыва относительно вершины горки по вариантам приведено на рисунке 3.10.

Таблица 3.15 – Конфигурация плана и продольного профиля перевальной части горки по вариантам

Вариант конфигурации плана и профиля	Конструктивные параметры элементов продольного профиля перевальной части горки			
	$l_{н}$, м	$i_{н}$, ‰	$l_{ск}$, м	$i_{ск}$, ‰
1	85,98	-20,94	44,48	29
2	87,40	-20,60	43,00	30
3	88,71	-20,29	41,61	31
4	89,93	-20,01	40,31	32
5	91,08	-19,76	39,09	33
6	92,14	-19,54	37,94	34
7	93,14	-19,33	36,86	35
8	94,07	-19,14	35,83	36
9	94,94	-18,96	34,86	37
10	95,76	-18,80	33,95	38
11	96,54	-18,65	33,08	39
12	97,26	-18,51	32,25	40
13	97,95	-18,38	31,46	41
14	98,59	-18,26	30,71	42

Продолжение таблицы 3.15

Вариант конфигурации плана и профиля	Конструктивные параметры элементов продольного профиля перевальной части горки			
15	99,20	-18,15	30,00	43
16	99,77	-18,04	29,32	44
17	100,32	-17,94	28,67	45
18	100,83	-17,85	28,04	46

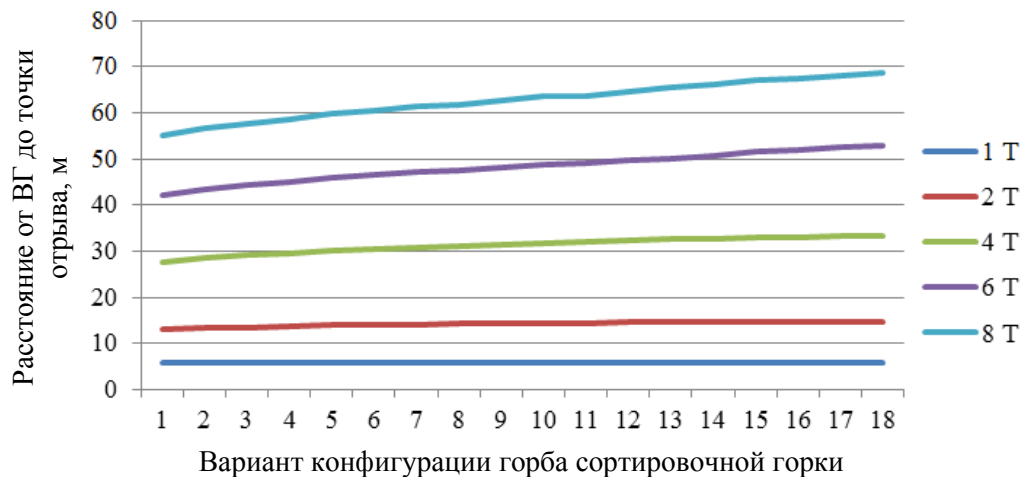


Рисунок 3.10 – Положение точек отрыва при различных вариантах конфигурации горба сортировочной горки

Согласно принятым условиям в системе «противоуклон подвижной части горки – первый скоростной элемент спускной части горки» ограничивающим параметром является уклон скоростного элемента. Допустимый диапазон значений противоуклона изменяется в диапазоне от 17,85 до 21,94 ‰.

В таблице 3.16 приведены результаты проверки конфигураций горба сортировочной горки по допустимой скорости входа на вагонный замедлитель при скатывании отцепа из одного вагона и скорости роспуска 0,8 м/с.

Итоги проверки достаточности имеющейся мощности тормозных позиций для остановки отцепа на парковой тормозной позиции приведены в таблице 3.17.

Результаты моделирования скатывания отцепов с другими характеристиками приведены в приложении Г.

Таблица 3.16 – Скорость входа на тормозные позиции и время скатывания отцепа из одного вагона, $v_{op} = 0,8$ м/с

Параметры эксперимента	ТП-0	ТП-I	ТП-II	Параметры эксперимента	ТП-0	ТП-I	ТП-II
Вариант конфигурации 1				Вариант конфигурации 10			
$v_{вх}$	4,67	6,78	8,05	$v_{вх}$	5,11	7,00	8,15
$t_{сп}$	19,58	31,16	44,52	$t_{сп}$	18,38	29,38	42,51
Вариант конфигурации 2				Вариант конфигурации 11			
$v_{вх}$	4,73	6,81	8,07	$v_{вх}$	5,14	7,02	8,15
$t_{сп}$	19,40	30,89	44,21	$t_{сп}$	18,29	29,24	42,35
Вариант конфигурации 3				Вариант конфигурации 12			
$v_{вх}$	4,79	6,84	8,08	$v_{вх}$	5,17	7,04	8,16
$t_{сп}$	19,25	30,65	43,94	$t_{сп}$	18,21	29,13	42,22
Вариант конфигурации 4				Вариант конфигурации 13			
$v_{вх}$	4,84	6,87	8,09	$v_{вх}$	5,19	7,05	8,16
$t_{сп}$	19,09	30,42	43,68	$t_{сп}$	18,13	29,01	42,09
Вариант конфигурации 5				Вариант конфигурации 14			
$v_{вх}$	4,90	6,90	8,10	$v_{вх}$	5,22	7,06	8,16
$t_{сп}$	18,95	30,21	43,44	$t_{сп}$	18,05	28,91	41,97
Вариант конфигурации 6				Вариант конфигурации 15			
$v_{вх}$	4,95	6,92	8,12	$v_{вх}$	5,24	7,07	8,17
$t_{сп}$	18,82	30,02	43,23	$t_{сп}$	18,00	28,82	41,87
Вариант конфигурации 7				Вариант конфигурации 16			
$v_{вх}$	5,00	6,95	8,12	$v_{вх}$	5,26	7,09	8,17
$t_{сп}$	18,69	29,84	43,02	$t_{сп}$	17,93	28,72	41,76
Вариант конфигурации 8				Вариант конфигурации 17			
$v_{вх}$	5,04	6,97	8,13	$v_{вх}$	5,28	7,10	8,18
$t_{сп}$	18,59	29,68	42,84	$t_{сп}$	17,87	28,64	41,66
Вариант конфигурации 9				Вариант конфигурации 18			
$v_{вх}$	5,08	6,99	8,14	$v_{вх}$	5,30	7,11	8,18
$t_{сп}$	18,48	29,52	42,66	$t_{сп}$	17,81	28,55	41,57

Таблица 3.17 – Результаты проверки достаточности имеющейся мощности тормозных позиций при скатывании отцепа из одного вагона, $v_{op} = 0,8$ м/с

Параметры эксперимента	ТП-0	ТП-I	ТП-II	Параметры эксперимента	ТП-0	ТП-I	ТП-II
Вариант конфигурации 1				Вариант конфигурации 10			
$v_{вх}$	4,67	4,88	4,83	$v_{вх}$	5,11	5,19	4,98
$v_{вых}$	2,88	3,33	0,00	$v_{вых}$	3,46	3,54	0,00
$t_{сп}$	19,58	37,01	61,61	$t_{сп}$	18,38	33,98	57,22
Вариант конфигурации 2				Вариант конфигурации 11			
$v_{вх}$	4,73	4,92	4,86	$v_{вх}$	5,14	5,21	4,99
$v_{вых}$	2,97	3,36	0,00	$v_{вых}$	3,50	3,56	0,00
$t_{сп}$	19,40	36,52	60,90	$t_{сп}$	18,29	33,76	56,91
Вариант конфигурации 3				Вариант конфигурации 12			
$v_{вх}$	4,79	4,97	4,88	$v_{вх}$	5,17	5,23	5,00
$v_{вых}$	3,05	3,40	0,00	$v_{вых}$	3,54	3,58	0,00
$t_{сп}$	19,25	36,09	60,28	$t_{сп}$	18,21	33,58	56,64

Продолжение таблицы 3.17

Параметры эксперимента	ТП-0	ТП-I	ТП-II	Параметры эксперимента	ТП-0	ТП-I	ТП-II
Вариант конфигурации 4				Вариант конфигурации 13			
$v_{\text{ВХ}}$	4,84	5,00	4,90	$v_{\text{ВХ}}$	5,19	5,25	5,01
$v_{\text{ВЫХ}}$	3,13	3,42	0,00	$v_{\text{ВЫХ}}$	3,58	3,60	0,00
$t_{\text{СП}}$	19,09	35,69	59,70	$t_{\text{СП}}$	18,13	33,39	56,38
Вариант конфигурации 5				Вариант конфигурации 14			
$v_{\text{ВХ}}$	4,90	5,04	4,92	$v_{\text{ВХ}}$	5,22	5,26	5,01
$v_{\text{ВЫХ}}$	3,20	3,45	0,00	$v_{\text{ВЫХ}}$	3,61	3,61	0,00
$t_{\text{СП}}$	18,95	35,33	59,18	$t_{\text{СП}}$	18,05	33,23	56,14
Вариант конфигурации 6				Вариант конфигурации 15			
$v_{\text{ВХ}}$	4,95	5,08	4,93	$v_{\text{ВХ}}$	5,24	5,28	5,02
$v_{\text{ВЫХ}}$	3,26	3,47	0,00	$v_{\text{ВЫХ}}$	3,64	3,63	0,00
$t_{\text{СП}}$	18,82	35,01	58,72	$t_{\text{СП}}$	18,00	33,09	55,92
Вариант конфигурации 7				Вариант конфигурации 16			
$v_{\text{ВХ}}$	5,00	5,11	4,95	$v_{\text{ВХ}}$	5,26	5,30	5,03
$v_{\text{ВЫХ}}$	3,31	3,49	0,00	$v_{\text{ВЫХ}}$	3,67	3,65	0,00
$t_{\text{СП}}$	18,69	34,71	58,29	$t_{\text{СП}}$	17,93	32,94	55,71
Вариант конфигурации 8				Вариант конфигурации 17			
$v_{\text{ВХ}}$	5,04	5,14	4,96	$v_{\text{ВХ}}$	5,28	5,31	5,03
$v_{\text{ВЫХ}}$	3,37	3,51	0,00	$v_{\text{ВЫХ}}$	3,69	3,66	0,00
$t_{\text{СП}}$	18,59	34,45	57,90	$t_{\text{СП}}$	17,87	32,82	55,53
Вариант конфигурации 9				Вариант конфигурации 18			
$v_{\text{ВХ}}$	5,08	5,16	4,97	$v_{\text{ВХ}}$	5,30	5,32	5,04
$v_{\text{ВЫХ}}$	3,42	3,53	0,00	$v_{\text{ВЫХ}}$	3,72	3,67	0,00
$t_{\text{СП}}$	18,48	34,20	57,54	$t_{\text{СП}}$	17,81	32,69	55,34

В ходе проведения экспериментов установлено, что при скатывании груженных одиночных бегунов без торможения при скорости роспуска 0,8 м/с и выше скорость входа на ТП-II превышает 8 м/с. При роспуске состава со скоростью 2,2 м/с скорость входа груженных отцепов из двух и более вагонов на ТП-II меньше предельно допустимых значений по условию обеспечения безопасности роспуска на сортировочной горке.

Во второй серии экспериментов определено, что на спускной части мощности тормозных позиций достаточно для остановки на ТП-II как одиночных, так и многовагонных отцепов тяжелой весовой категории во всем диапазоне рассматриваемых скоростей роспуска.

3.5 Исследование динамики скатывания смежных отцепов из нескольких вагонов в зависимости от распределения массы внутри отцепа

Для определения параметров сортировочных горок выполняются технологические расчеты по определению и анализу временных интервалов между смежными отцепами на первых разделительных элементах [73]. Расчет выполнен для двух вариантов размещения первого разделительного элемента – для стрелочного перевода и тормозной позиции.

Значения интервалов между отцепами на разделительных элементах для сочетаний расчетных бегунов, установленных Правилами и нормами [75], могут отличаться от реальных условий работы горок. Поэтому целесообразны дополнительные исследования по оценке влияния процесса скатывания многовагонных отцепов на конструкцию сортировочной горки.

Расчет продолжительности интервала между моментами отрыва смежных отцепов производится по следующей формуле:

$$t_{\text{отр}} = \frac{S_{\text{по}j+1} - S_{\text{то}j+1}}{v_{\text{ор}}}, \quad (3.16)$$

где $S_{\text{по}j+1}$ – расстояние оси последней колесной пары $(j+1)$ -го отцепа от вершины горки в момент отрыва j -го отцепа, м;

$S_{\text{то}j+1}$ – расстояние оси последней колесной пары $(j+1)$ -го отцепа от вершины горки в момент его отрыва, м.

Схема для описания положения смежных отцепов в момент отрыва приведена на рисунке 3.11.

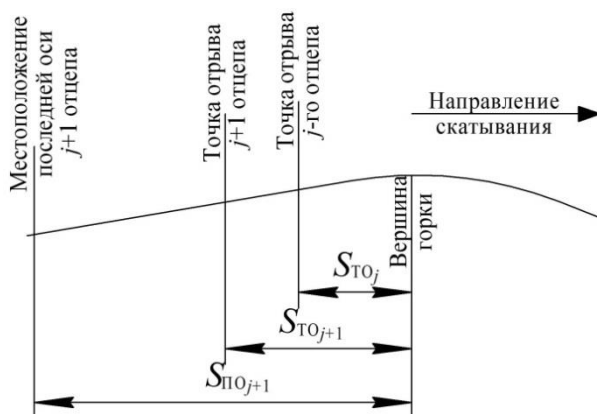


Рисунок 3.11 – Схема для описания положения смежных отцепов в момент отрыва

При исследовании использованы различные сочетания структуры смежных отцепов. В результате расчета определяется резерв времени $t_{рез}$ по первому разделительному элементу (стрелочному переводу или тормозной позиции). При этом сравниваются положения последней оси отцепа в моменты: отрыва ($S_{то\ j+1}$) и пересечения изостыка разделительного элемента на спускной части сортировочной горки $S_{н.сп\ j+1}$. Для нахождения времени, за которое отцеп докатится до первого изостыка разделительного элемента, $t_{по\ j+1}$, полученное расстояние делится на скорость роспуска $v_{ор}$. Резерв времени $t_{рез}$ в данном варианте рассчитывается как разность времени, за которое отцеп дойдет до начала разделительного элемента, и времени освобождения разделительного элемента впереди идущим отцепом $t_{к.сп\ j}$.

Фрагмент блок-схемы алгоритма для расчета резерва времени в программе «СКАТ-Отцеп» представлен на рисунке 3.12, расчетные схемы определения резерва времени приведены на рисунках 3.13, 3.14.

Исходные данные для моделирования: тип вагона – четырехосный полувагон (Л – порожний, массой 22 т; Т – груженный, массой 92 т, согласно выполненному анализу вагоно- и отцепопотока); максимальное число вагонов в отцепе – 8; расчетный маршрут – трудный путь; условия роспуска – неблагоприятные; значения скорости роспуска – 0,8; 1,0; 1,2; 1,4; 1,7; 2,0; 2,2 м/с.

Матрица экспериментов, учитывающая различную композицию отцепопотока, представлена в таблице 3.18.

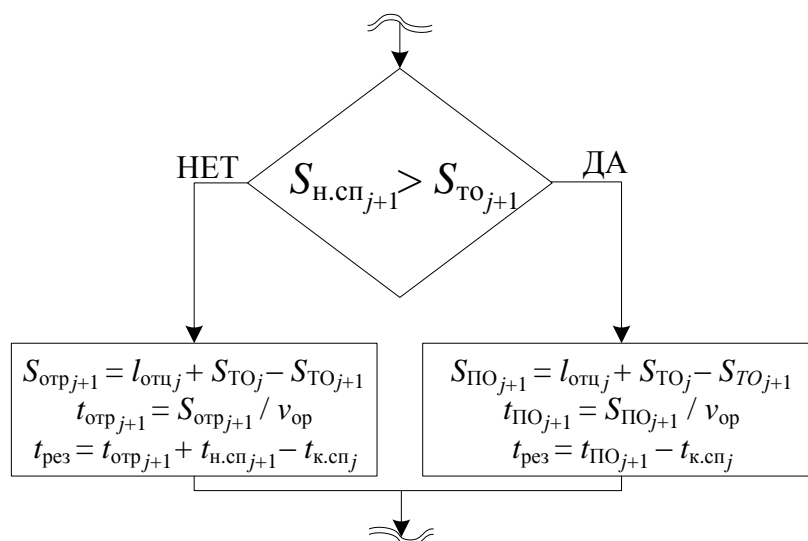


Рисунок 3.12 – Фрагмент блок-схемы алгоритма для определения резерва времени на разделительном элементе спускной части сортировочной горки

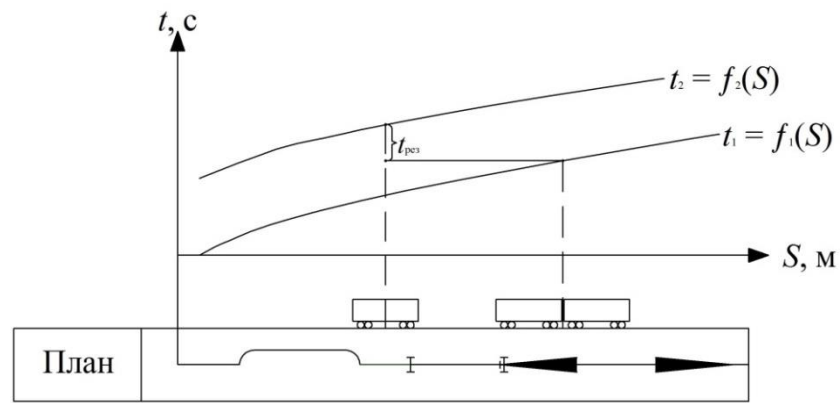


Рисунок 3.13 – Схема для определения временного интервала по разделительному элементу – стрелочному переводу

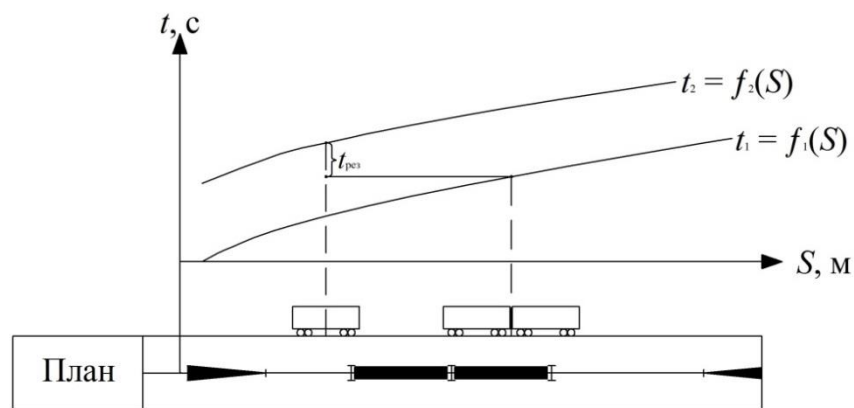


Рисунок 3.14 – Схема для определения временного интервала по разделительному элементу – тормозной позиции

Таблица 3.18 – Матрица плана экспериментов на имитационной модели

Номер отцепа	Структура смежных отцепов				
	первый	второй	третий	четвертый	пятый
Серия экспериментов 1					
Первый смежный отцеп	1Л	2Л	4Л	6Л	8Л
Второй смежный отцеп	1Т	1Т	1Т	1Т	1Т
Серия экспериментов 2					
Первый смежный отцеп	1Л	1Т–1Л	2Т–2Л	3Т–3Л	4Т–4Л
Второй смежный отцеп	1Т	1Т	1Т	1Т	1Т
Серия экспериментов 3					
Первый смежный отцеп	1Л	1Т–1Л	2Т–2Л	3Т–3Л	4Т–4Л
Второй смежный отцеп	1Т	2Т	4Т	6Т	8Т
Серия экспериментов 4					
Первый смежный отцеп	1Л	1Т–1Л	2Т–2Л	3Т–3Л	4Т–4Л
Второй смежный отцеп	1Т	1Л–1Т	2Л–2Т	3Л–3Т	4Л–4Т
Примечание – Л, Т – вагоны «легкой» и «тяжелой» весовой категории; 1, 2, 3, 4, 6, 8 – число вагонов в отцепе.					

Таким образом, экспериментально определены: точки отрыва отцепов различной длины, моменты занятия и освобождения отцепами разделительных элементов, местоположение смежных отцепов на подвижной части горки и время до отрыва следующего отцепа. Результаты моделирования приведены на рисунках 3.15–3.18 (в числителе – характеристика первого отцепа, в знаменателе – второго).

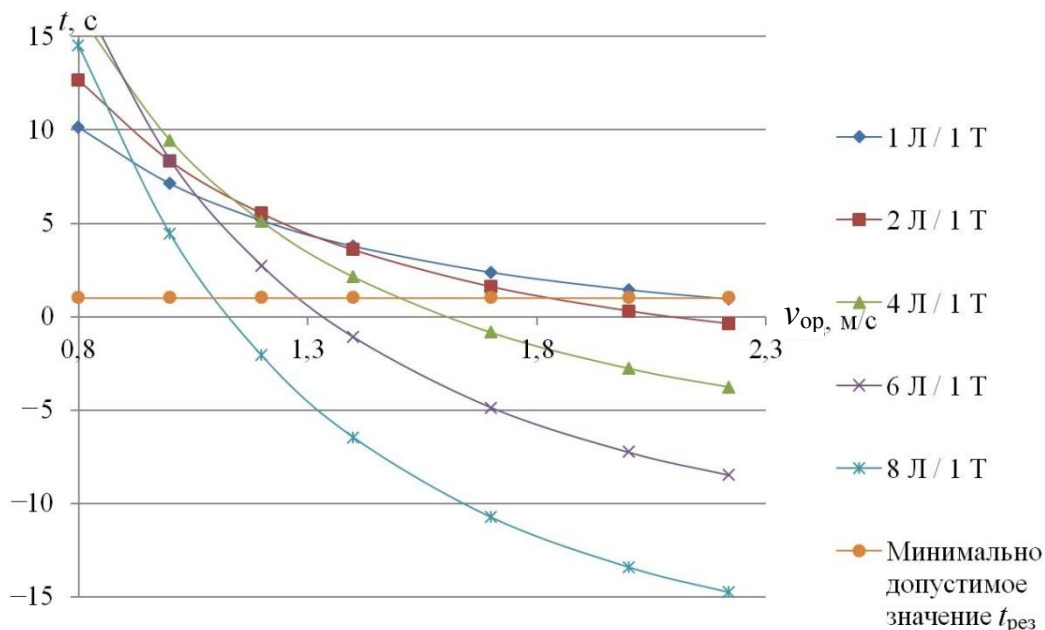


Рисунок 3.15 – Зависимости величины $t_{рез}$ от скорости роспуска по первому разделительному элементу, эксперименты серии 1

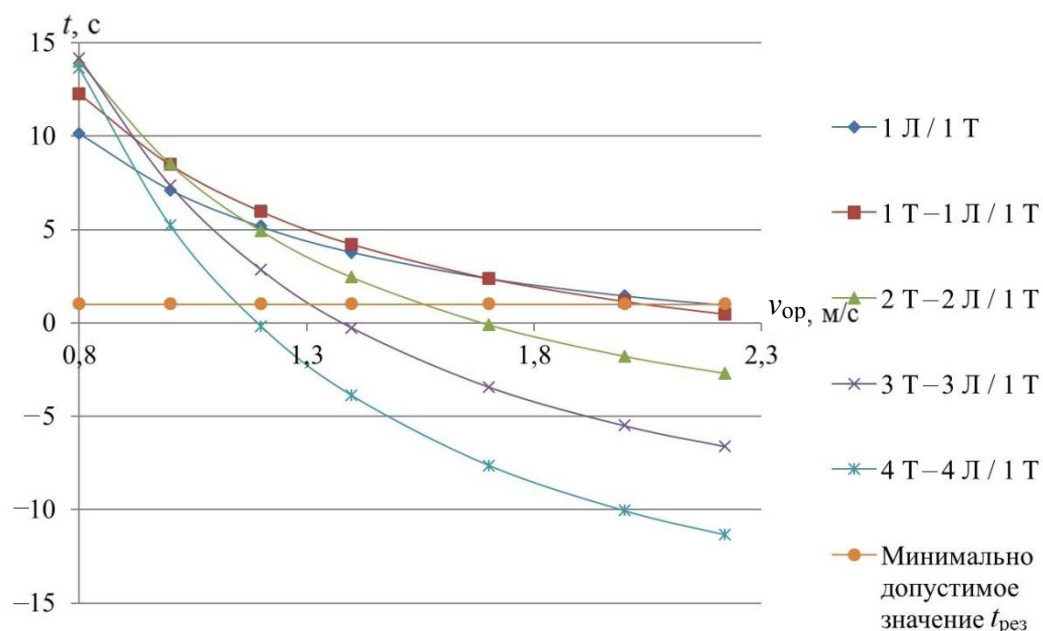


Рисунок 3.16 – Зависимости величины $t_{рез}$ от скорости роспуска по первому разделительному элементу, эксперименты серии 2

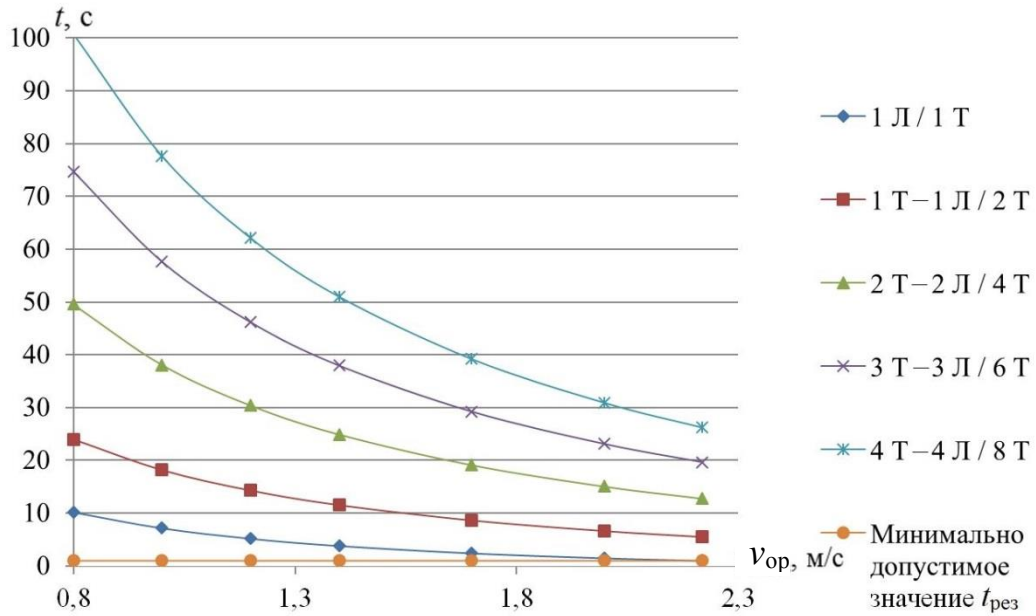


Рисунок 3.17 – Зависимости величины $t_{рез}$ от скорости роспуска по первому разделительному элементу, эксперименты серии 3

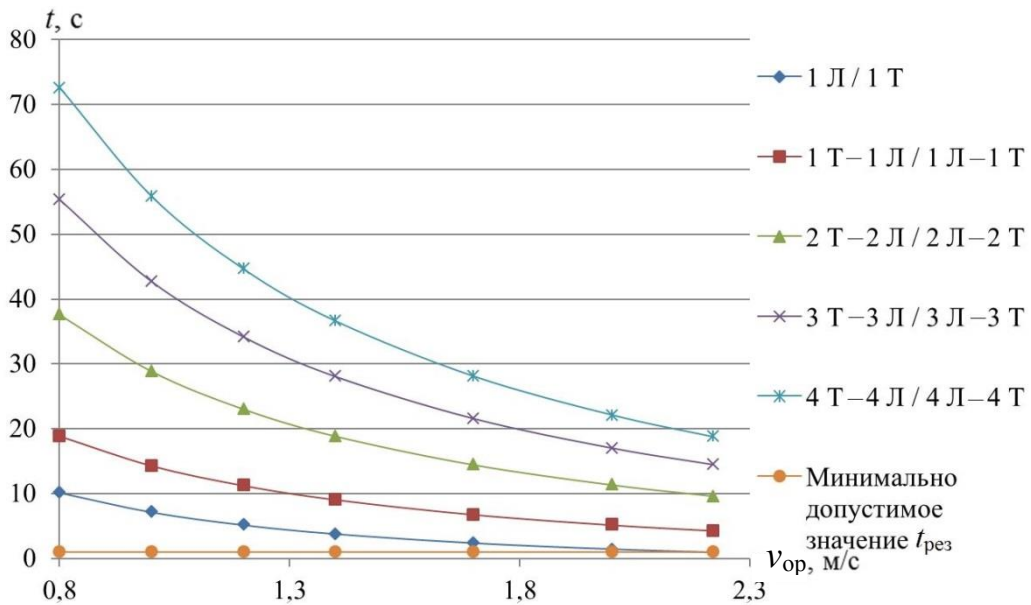


Рисунок 3.18 – Зависимости величины $t_{рез}$ от скорости роспуска по первому разделительному элементу, эксперименты серии 4

Для определения зависимости временных интервалов по данным, приведенным на рисунках 3.15–3.18, разработана регрессионная модель:

$$t = a \cdot v_{ор}^4 - b \cdot v_{ор}^3 + c \cdot v_{ор}^2 - d \cdot v_{ор} + e, \quad (3.17)$$

где a, b, c, d, e – коэффициенты уравнения аппроксимации (таблица 3.20).

Таблица 3.20 – Коэффициенты аппроксимации

Коэффициент	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	<i>e</i>
Серия экспериментов 1					
Вариант 1	2,30	17,24	50,10	69,86	41,84
Вариант 2	3,48	25,91	74,70	103,00	59,09
Вариант 3	5,61	41,75	120,12	164,58	90,09
Вариант 4	7,82	57,88	165,42	224,07	117,17
Вариант 5	7,81	58,98	172,58	239,92	122,98
Серия экспериментов 2					
Вариант 1	2,30	17,24	50,10	69,86	41,84
Вариант 2	2,90	21,64	62,70	87,46	51,98
Вариант 3	4,30	32,10	92,87	128,72	72,17
Вариант 4	4,91	37,25	109,67	154,91	84,96
Вариант 5	6,87	51,14	147,35	202,41	104,61
Серия экспериментов 3					
Вариант 1	2,30	17,24	50,10	69,86	41,84
Вариант 2	4,25	31,86	92,69	130,47	83,57
Вариант 3	8,22	61,67	179,81	254,17	165,9
Вариант 4	12,34	92,41	268,93	379,66	248,47
Вариант 5	16,68	124,98	363,80	513,71	335,90
Серия экспериментов 4					
Вариант 1	2,30	17,24	50,10	69,86	41,84
Вариант 2	3,39	25,36	73,57	103,30	66,00
Вариант 3	6,44	48,20	139,96	196,73	127,43
Вариант 4	8,76	66,11	194,16	276,85	182,82
Вариант 5	12,31	92,13	267,65	376,59	244,72

Выводы по третьей главе

Произведена верификация и валидация имитационной модели скатывания отцепов с сортировочной горки (программа «СКАТ-Отцеп»). Установлены следующие диапазоны погрешности результатов при моделировании:

- общая работа сил сопротивления различается на 0,04 м эн. в. или 0,87 % (сходимость результатов составляет 99,13 %);
- скорость отцепа в расчетной точке различается на 0,09 м/с или 4,71 % (сходимость результатов составляет 95,29 %);
- время скатывания от ВГ до расчетной точки различается на 0,82 с или 0,72 % (сходимость результатов составляет 99,28 %).

Поскольку максимальное расхождение соответствующих показателей не превышает 5 %, то можно сделать вывод о правильной реализации математической модели в программном коде и практической сходимости полученных результатов.

Для апробации модели при исследовании динамики многовагонных отцепов использован объект-аналог – сортировочная горка «Н». В результате выполненных исследований получены следующие выводы:

1. Анализ структуры вагоно- и отцепопотока показал, что среднее число вагонов в отцепе составляет 2,5. Доля вагонов, перерабатываемых в отцепках с числом вагонов более четырех, составляет 70 % от общего вагонопотока, что подтверждает необходимость учета результатов скатывания многовагонных отцепов при выполнении технологических и конструктивных расчетов.

2. Исследования пропуска многовагонных отцепов через горб сортировочной горки позволили определить конструктивные ограничения для элементов продольного профиля надвижной и спускной части горки, при которых возникает необходимость использования тормозных позиций для произведения расцепки многовагонного отцепа (особенно с большим числом вагонов в отцепе) горочным составителем.

3. Выполненная проверка скорости входа отцепов на разделительные элементы, расположенные на спускной части сортировочной горки показала, что проверку мощности тормозных средств целесообразно выполнять по результатам скатывания одиночного бегуна ОХ-100 (у многовагонных отцепов ходовые характеристики усредняются, а центр масс отцепа находится ниже ВГ, что приводит к снижению скорости скатывания отцепа).

4. Установлено, что на временные интервалы между смежными отцепами на первом разделительном элементе, существенное влияние оказывает скорость роспуска, длина и структура отцепопотока.

5. Временной интервал на первом разделительном элементе будет возрастать при увеличении количества вагонов в смежных отцепках вне зависимости от структуры многовагонных отцепов. В случае скатывания одиночного вагона вслед за многовагонным отцепом при высоких скоростях роспуска существует вероятность нагона на первом разделительном элементе и появления интервалов меньше нормативных значений на последующих разделительных элементах. Таким образом,

при анализе скатывания расчетных бегунов целесообразно дополнительно выполнять анализ скатывания многовагонных отцепов различного сочетания с учетом разных вариантов распределения массы внутри отцепов.

6. Исследования на объекте-аналоге показали, что на динамику скатывания многовагонных отцепов значительное влияние оказывают местные условия конкретной горки, что ограничивает возможность формулировки общих рекомендаций по оптимизации переработки многовагонных отцепов. Решение рассмотренных выше задач целесообразно проводить для каждой горки индивидуально с использованием имитационной модели.

4 СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДА РАСЧЕТА МАКСИМАЛЬНО ДОПУСТИМОГО ЧИСЛА ВАГОНОВ В ОТЦЕПЕ НА ОСНОВАНИИ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ РОСПУСКА СОСТАВОВ

4.1 Формулировка задачи

В главе 1 определены недостатки существующего метода определения максимально допустимого числа вагонов в отцепе, используемого на сортировочных горках станций общей сети железных дорог. Задачей данной главы является разработка предложений по совершенствованию методики расчета максимальной длины отцепа, в том числе с устранением недостатков, указанных в пункте 1.3.

Расчеты по существующей методике производятся аналитическим способом, что с учетом современного уровня развития техники и технологий является недостаточным. Использование аналитического метода приводит к погрешности при определении предельно допустимых параметров отцепа. Для повышения точности получаемых результатов, в том числе за счет учета в расчете большего числа влияющих факторов, предлагается использовать метод имитационного моделирования. Это также позволит учитывать в расчете динамически изменяющиеся факторы в процессе скатывания отцепа с горки.

Выполненные в главе 3 исследования показали, что уточнение существующей методики определения максимально допустимого числа вагонов в отцепе должно заключаться в обеспечении корректного учета всех влияющих факторов, для чего предлагается:

1. Определить величину ускорения свободного падения каждого отцепа с учетом инерции вращающихся частей вагонов g' .

2. Учесть не только работу сил сопротивления при торможении, но и потери энергетической высоты при преодолении отцепом неуправляемых сил сопротивления движению, рассматривая изменение энергии на всем маршруте скатывания.

Для разработки предложений по совершенствованию существующей методики необходимо выполнить дополнительные исследования:

- по оценке влияния массы отцепов, мощности и режимов работы тормозных позиций на спускной части горки на допустимое число вагонов в отцепе;
- оценке влияния скорости роспуска на динамику скатывания многовагонных отцепов;
- обоснованию расчетных параметров внешней среды и условий роспуска для использования в данной методике.

На сортировочных горках расформируется большое количество вагонов с различными ходовыми характеристиками и разных весовых категорий. При объединении вагонов формируются отцепы с уникальными характеристиками, вероятность повторения которых крайне низкая. Поэтому предлагается производить оценку максимально допустимого количества вагонов в отцепе при роспуске состава с сортировочной горки по следующим критериям:

- достаточность имеющейся мощности тормозных средств для контроля скорости на спускной части горки и в начале подгорочного парка при скатывании груженого многовагонного отцепа с хорошими ходовыми характеристиками K_1 ;
- достаточность суммарной энергетической высоты для освобождения многовагонным отцепом с плохими ходовыми характеристиками (как правило, состоявшего из порожних вагонов) стрелочной зоны спускной части горки и/или парковой тормозной позиции, K_2 .

4.2 Исследование ограничения по максимально допустимому числу вагонов в отцепе по мощности тормозных позиций

Метод определения максимального количества вагонов в отцепе при роспуске по мощности тормозных позиций основан на показателях, получаемых с использованием имитационной модели надвига и роспуска многовагонных отцепов (программа для ЭВМ «СКАТ-Отцеп»), представленной в главе 2. Первоначально определяется потребная мощность ТП сортировочной горки по расчетному маршруту для реализации заданной скорости роспуска и необходимой скорости выхода

отцепа в парк. При этом максимальная мощность ТП-I, согласно нормам [75], принимается на уровне 50 %. При выполнении расчетов учитывается, что часть многовагонного отцепа на момент отрыва уже прошла через отдельные тормозные позиции или замедлители без торможения, что приводит к снижению реализуемой мощности торможения.

В действующей методике по определению максимально допустимого числа вагонов в отцепе принят коэффициент неполного использования мощности тормозных средств $K_{тс}$, равный 0,67, который учитывает возможность использования тормозных средств в каждый момент времени движения отцепа по участку горки, и исключает случаи «выдавливания» вагонов на тормозных позициях. При имитационном моделировании скатывания многовагонных отцепов расчет этого коэффициента производится динамически в зависимости от точки отрыва отцепа.

В качестве объекта исследования принята сортировочная горка «Н» повышенной мощности, параметры плана, продольного профиля и мощности тормозных средств которой использованы при моделировании (рисунок 4.1).

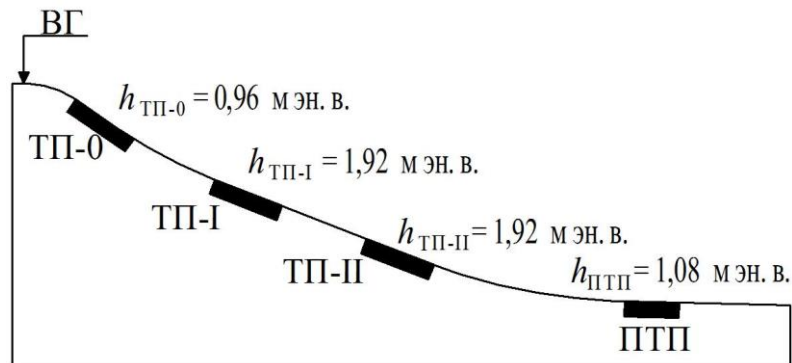


Рисунок 4.1 – Основные характеристики тормозных средств сортировочной горки «Н»

Для определения ограничения количества вагонов в сцепе по критерию K_1 рассматривается отцеп из четырехосных полувагонов модели 12-132-03 и подобных, оборудованных модернизированной автосцепкой СА-3 с поглощающим аппаратом типа ПМКП-110, ходом $S_{\max} = 110$ мм, длиной 13,92 м, имеющий размеры базы $l_6 = 8,65$ м.

Первоначально был выполнен ряд экспериментов по расчету минимальной потребной мощности тормозных позиций в зависимости от числа вагонов в отцепе, которая должна обеспечивать возможность остановки отцепа из груженых вагонов при выходе с парковой тормозной позиции. Расчет выполнен для благоприятных условий скатывания отцепа, включающих:

- маршрут скатывания на «легкий» путь сортировочного парка;
- скорость роспуска 2,2 м/с (максимальная по условиям работы горочного составителя);
- отцеп из полновесных груженых вагонов;
- основное удельное сопротивление движению многовагонного отцепа, определяемое согласно закону распределения случайной величины для вагонов тяжелой весовой категории [73];
- климатические условия: благоприятные (попутный ветер, расчетная температура наружного воздуха летнего периода).

При выполнении расчетов определялось, при каком количестве вагонов в отцепе обеспечивалась его остановка на выходе с парковой тормозной позиции (скорость выхода с ПТП равна 0 м/с).

Мощность ТП-0 при моделировании скатывания отцепов не использовалась, максимальная мощность ТП-I принималась на уровне не более 50 %, согласно требованиям [75]. При моделировании исследовались коэффициенты использования мощностей ТП-I, ТП-II и ПТП: производилось постепенное уменьшение реализуемой мощности тормозных позиций по маршруту скатывания отцепа при увеличении числа вагонов в отцепе. Основные результаты исследования приведены на рисунке 4.2.

Результаты эксперимента показывают, что с увеличением числа вагонов в отцепе уменьшается потребный уровень мощности тормозных позиций. Данный эффект обусловлен особенностью распределения массы отцепа в вертикальной плоскости: с увеличением числа вагонов в отцепе условный центр масс всего отцепа будет понижаться относительно вершины горки (рисунок 4.3).

Следовательно, суммарный запас энергетической высоты отцепа с увеличением числа вагонов будет уменьшаться.

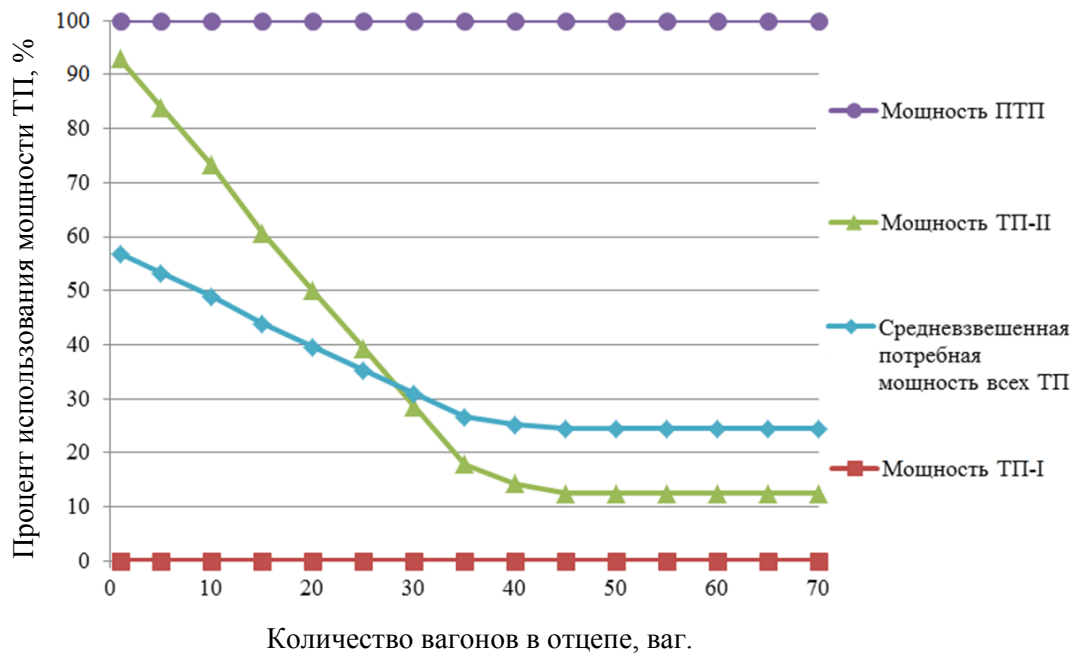


Рисунок 4.2 – Зависимость потребной мощности тормозных средств горки от числа вагонов в отцепе для остановки отцепа на выходе с ПТП

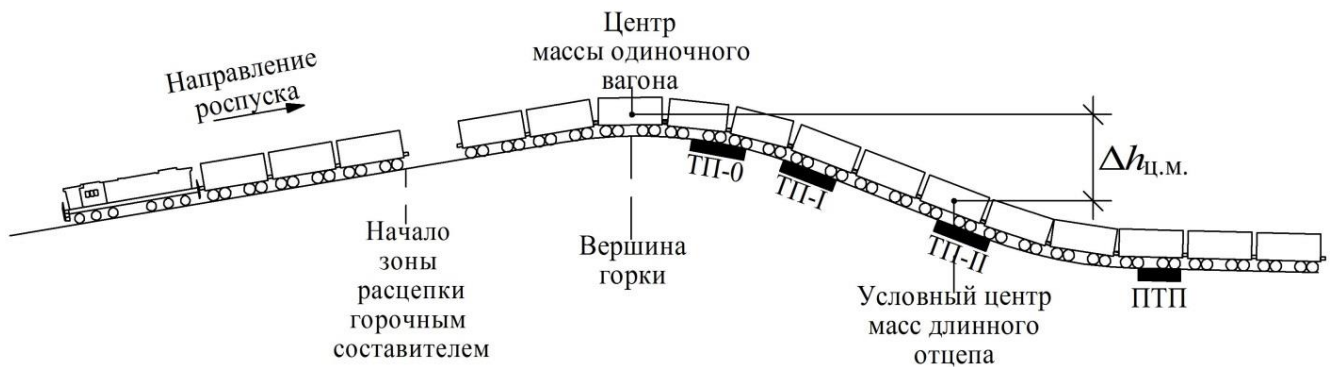


Рисунок 4.3 – Принципиальная схема для определения условного центра масс отцепа из нескольких вагонов

Полученный при имитационном моделировании результат (см. рисунок 4.2) показывает, что мощность тормозных позиций не является ограничением при решении задачи определения максимально допустимого числа вагонов в отцепе для рассматриваемой сортировочной горки. Для подтверждения гипотезы об отсутствии прямой связи между мощностью тормозных средств горки и максимально допустимой длиной отцепа был проведен натурный эксперимент. В ходе которого

были получены эмпирические данные о роспуске отцепов разной длины с сортировочной горки «Н».

Рассматривалась статистическая информация об использовании мощности тормозных позиций при роспуске отцепов длиной 1, 10, 20 и 27 вагонов, приведенная в приложении Б. Скорость роспуска варьировалась от 0,8 до 1,7 м/с, скорость выхода в парк – от 0,5 до 2 м/с в зависимости от оперативной обстановки.

Реализуемая мощность замедлителей по маршруту следования отцепа приведена в таблице 4.1 и на рисунках 4.4–4.7.

Таблица 4.1 – Реализуемая мощность тормозных средств сортировочной горки «Н» при скатывании отцепов разной длины

Количество вагонов в отцепе	Используемая мощность ТП для эксперимента, %										Среднее значение, %
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	22,09	35,62	19,41	24,92	28,84	38,42	30,71	26,66	29,45	16,95	27,31
10	33,11	34,08	22,41	27,30	25,70	25,41	20,85	23,91	18,05	21,47	25,23
20	21,03	20,56	17,62	17,73	30,20	17,54	14,07	9,43	20,83	15,44	18,45
27	20,97	13,77	16,13	17,73	16,57	15,96	12,77	16,20	16,70	18,90	16,57

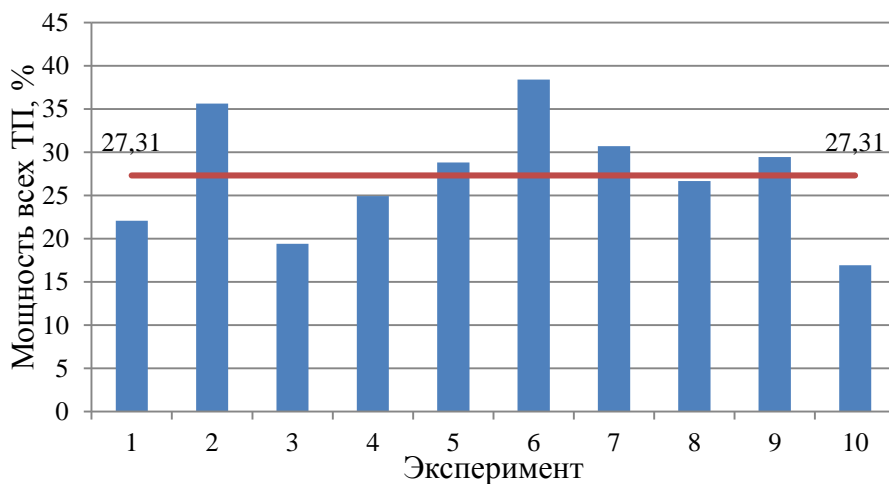


Рисунок 4.4 – Используемая мощность тормозных позиций при скатывании отцепа из одного груженого вагона с сортировочной горки «Н»

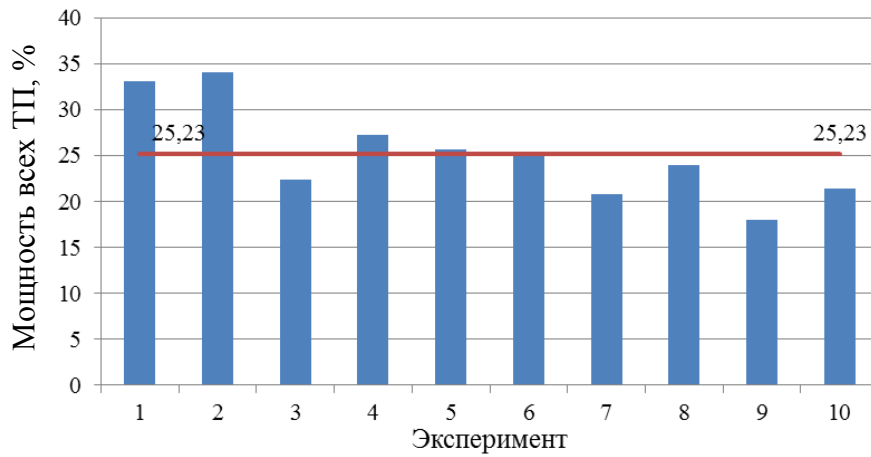


Рисунок 4.5 – Используемая мощность тормозных позиций при скатывании многовагонного отцепа (10 груженных вагонов)

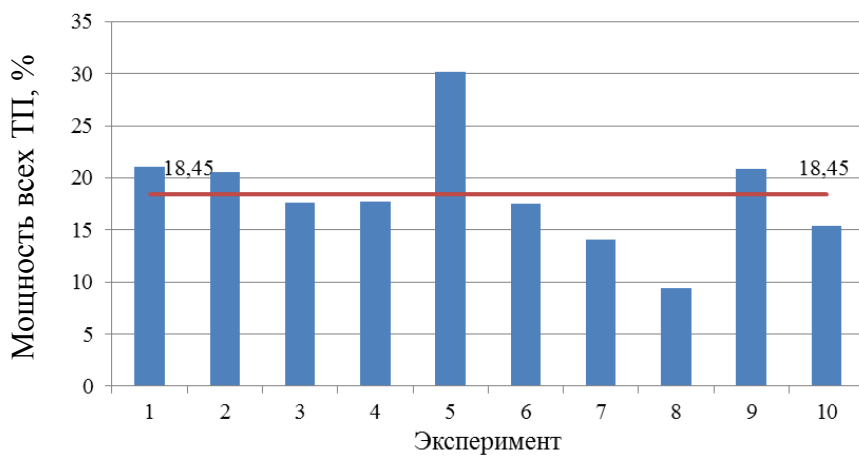


Рисунок 4.6 – Используемая мощность тормозных позиций при скатывании многовагонного отцепа (20 груженных вагонов)

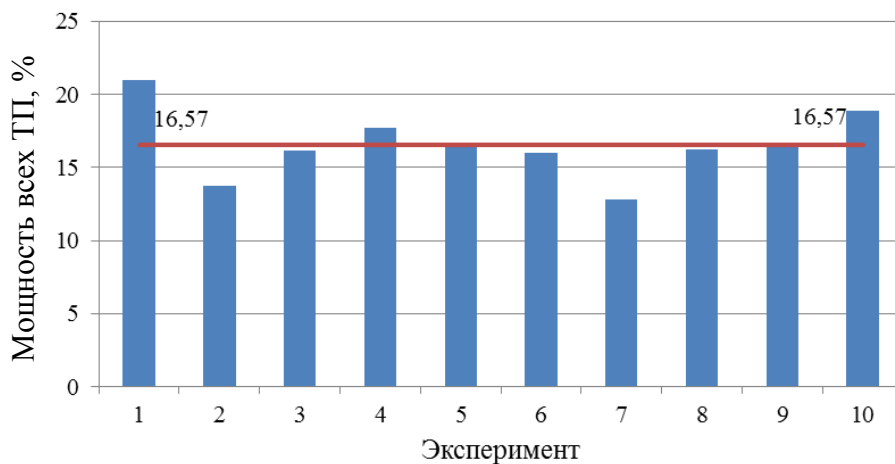


Рисунок 4.7 – Используемая мощность тормозных позиций при скатывании многовагонного отцепа (27 груженных вагонов)

Для определения достаточности мощности тормозных средств с точки зрения обеспечения необходимой скорости выхода отцепа в парк была определена дисперсия, среднеквадратическое отклонение и интервал, в который с вероятностью 99,73 % будет попадать требуемое значение погашаемой замедлителями энергии [75] (таблица 4.2).

Таблица 4.2 – Расчет предельно возможных уровней использования мощностей тормозных позиций сортировочной горки «Н»

Количество вагонов в отцепе	Дисперсия, D	Среднеквадратическое отклонение σ , %	Потребная мощность, %	
			min, $\bar{P} - 3\sigma$	max, $\bar{P} + 3\sigma$
1	41,41	6,43	8,00	46,61
10	23,95	4,89	10,55	39,91
20	26,65	5,16	2,96	33,93
27	4,91	2,22	9,92	23,22

Согласно данным, представленным в таблице 4.2, при увеличении количества вагонов в отцепе снижается требуемая мощность тормозных позиций горки. Полученные результаты показывают, что имеющейся мощности тормозных средств горки «Н» достаточно для контроля необходимой скорости выхода отцепов в парк.

Таким образом, эмпирические данные подтверждают положения, установленные на основании имитационного моделирования.

4.3 Исследование ограничения по максимально допустимому числу вагонов в отцепе по условию обеспечения потребной дальности пробега

По принятому критерию K_2 исследуются условия скатывания многовагонных отцепов, обеспечивающие проход и освобождения отцепом стрелочной зоны путей сортировочного парка. При решении данной задачи рассматривалось условие освобождения многовагонным отцепом при скатывании нижнего конца парковой тормозной позиции. Для исследования указанных условий рассматривалось скатывание отцепов из порожних (легковесных) вагонов как отцепов с потенциально наименьшим общим запасом энергии.

Оценка скорости отцепа в процессе скатывания производилась по последней колесной оси «хвостового» вагона. Скатывание отцепов выполнялось без торможения. В результате определялся массив данных по скорости выхода отцепа с ПТП $v_{\text{вых}}$ и вероятности полного освобождения отцепом ПТП $P_{\text{док}}$. Эксперименты выполнялись для следующих условий:

- маршрут скатывания: «трудный» путь подгорочного парка;
- при решении задачи рассматривались многовагонные отцепы, состоящие из вагонов легкой весовой категории;
- основное удельное сопротивление движению многовагонного отцепа определяется согласно закону распределения случайной величины для вагонов легкой весовой категории [75];
- климатические условия: неблагоприятные (встречный ветер, расчетная температура наружного воздуха для зимнего периода).

Вероятность выхода последнего вагона в отцепе за пределы ПТП определялась многократным моделированием скатывания различных многовагонных отцепов легкой весовой категории заданной длины. При решении данной задачи также выполнялись проверочные расчеты для одиночных вагонов со следующими значениями основного удельного сопротивления движению:

- очень плохого бегуна (ОП): 4,5 Н/кН;
- среднего в легкой весовой категории, равного 1,75 Н/кН.

Основные результаты эксперимента приведены в таблице 4.3.

Таблица 4.3 – Средняя скорость выхода с ПТП отцепов из порожних вагонов, скатывающихся без торможения

$v_{\text{ор}},$ м/с	Число вагонов в отцепе											
	1 ОП		1		30		40		50		60	
	$P_{\text{док}}$	$v_{\text{вых}},$ м/с	$P_{\text{док}}$	$v_{\text{вых}},$ м/с	$P_{\text{док}}$	$v_{\text{вых}},$ м/с	$P_{\text{док}}$	$v_{\text{вых}},$ м/с	$P_{\text{док}}$	$v_{\text{вых}},$ м/с	$P_{\text{док}}$	$v_{\text{вых}},$ м/с
1,0	1,00	1,79	1,00	4,30	1,00	2,61	0,98	1,30	0,09	0,58	0,00	–
1,5	1,00	1,90	1,00	4,35	1,00	2,70	1,00	1,48	0,26	0,59	0,00	–
2,0	1,00	2,05	1,00	4,42	1,00	2,89	1,00	1,84	0,71	0,87	0,00	–
2,5	1,00	2,23	1,00	4,53	1,00	3,09	1,00	2,17	0,98	1,26	0,25	0,64

Таким образом, из данных, представленных в таблице 4.3, следует, что в рассматриваемом примере при числе вагонов в отцепе более 40 вероятность освобождения отцепом ПТП ($P_{\text{док}}$) начинает уменьшаться. Следовательно, при большем числе вагонов в отцепе могут возникать случаи остановки таких отцепов на спускной части горки. Это может привести к перерывам в работе горки и повышению вероятности возникновения нештатных ситуаций, в том числе соударений вагонов с повышенными скоростями.

Таким образом, для рассматриваемой сортировочной горки «Н» ограничение по максимально допустимому числу вагонов в отцепе определяется по результатам скатывания многовагонных отцепов, состоящих из порожних вагонов, по условию обеспечения докатывания в сортировочный парк и освобождения ПТП – критерий K_2 . При определении точного значения максимально допустимого числа вагонов в отцепе на конкретной горке требуется выполнить дополнительные расчеты. При этом рекомендуется принимать допустимый уровень вероятности докатывания отцепов $P_{\text{док}} = 1,00$.

Произведена проверка выполнения критерия K_2 для многовагонных отцепов из груженых вагонов (таблица 4.4). Расчет выполнен для тех же неблагоприятных условий, при этом основное удельное сопротивление движению принято:

- для очень хорошего бегуна (ОХ) – равное 0,5 Н/кН;
- среднее для тяжелой весовой категории вагонов – равное 1,25 Н/кН;
- для многовагонного отцепов из груженых вагонов – согласно закону распределения случайной величины для тяжелой весовой категории [75].

Таблица 4.4 – Средняя скорость выхода с ПТП отцепов из груженых вагонов, скатывающихся без торможения

$v_{\text{ор}}$, м/с	Число вагонов в отцепе											
	1 ОХ		1		30		40		50		60	
	$P_{\text{док}}$	$v_{\text{вых}}$, м/с	$P_{\text{док}}$	$v_{\text{вых}}$, м/с	$P_{\text{док}}$	$v_{\text{вых}}$, м/с	$P_{\text{док}}$	$v_{\text{вых}}$, м/с	$P_{\text{док}}$	$v_{\text{вых}}$, м/с	$P_{\text{док}}$	$v_{\text{вых}}$, м/с
1,0	1,00	7,35	1,00	6,93	1,00	4,80	1,00	4,09	1,00	3,56	1,00	3,11
1,5	1,00	7,38	1,00	6,99	1,00	4,89	1,00	4,20	1,00	3,68	1,00	3,27
2,0	1,00	7,46	1,00	7,09	1,00	5,02	1,00	4,37	1,00	3,87	1,00	3,48
2,5	1,00	7,55	1,00	7,16	1,00	5,17	1,00	4,55	1,00	4,08	1,00	3,72

Данные таблицы 4.4 показывают, что для рассматриваемой сортировочной горки «Н» нет ограничения по числу груженных вагонов в отцепе по критерию K_2 . Следовательно, ограничение по допустимому количеству вагонов в отцепе по критерию K_2 целесообразно устанавливать для многовагонных отцепов, состоящих из порожних вагонов.

4.4 Разработка методики определения максимально допустимого числа вагонов в отцепе на основании имитационного моделирования роспуска составов

При определении максимально допустимого числа вагонов в отцепе целесообразно исследовать скатывание многовагонных отцепов по двум критериям.

1. K_1 – критерий характеризующий имеющуюся мощность тормозных средств при роспуске многовагонных груженных отцепов, которой должно быть достаточно для обеспечения остановки отцепа на ПТП.

Наличие ограничений по критерию K_1 проверяется путем скатывания многовагонных отцепов из груженных вагонов в благоприятных условиях. В основе предлагаемого метода определения максимального количества вагонов в отцепе N^{K_1} по критерию K_1 принят действующий принцип обеспечения условий безопасности сортировочного процесса – максимальная энергетическая высота отцепа $H_{отц}$ должна быть не более потребной суммарной мощности (энергетической высоты) тормозных средств горки по данному маршруту $H_{тс}$:

$$H_{тс} \geq H_{отц}. \quad (4.1)$$

При скатывании отцепа предусматривается возможность его торможения всеми имеющимися тормозными позициями горки. Расчетная скорость выпуска отцепа на сортировочный путь принимается не более 1,38 м/с, что соответствует допустимой скорости соударения вагонов на железных дорогах РФ [76].

В этом случае справедливо выражение

$$h_{пр} + h_0 = h_w + H_{отц} + h_k, \quad (4.2)$$

где $h_{пр}$ – энергетическая высота, эквивалентная разнице отметок вершины горки и наименьшей отметки нижнего конца ПТП, м эн. в.;

h_0 – энергетическая высота, соответствующая начальной скорости движения (скорости роспуска $v_{ор}$, м/с), м эн. в.;

h_w – энергетическая высота, эквивалентная суммарной работе неуправляемых сил сопротивления движению многовагонного отцепа, м эн. в.;

h_k – энергетическая высота, соответствующая конечной скорости движения на рассматриваемом участке (v_k не более 1,38 м/с), м эн. в.

Следовательно,

$$H_{отц} = h_{пр} + h_0 - h_w - h_k \text{ или } H_{тс} \geq h_{пр} + h_0 - h_w - h_k. \quad (4.3)$$

Значения $h_{пр}$ и $H_{тс}$ не зависят от числа вагонов в отцеpe. Мощность тормозных средств сортировочной горки определяется по формуле

$$H_{тс} = 0,5 \cdot n_{зам}^{ТП-I} \cdot h_{зам}^{ТП-I} + n_{зам}^{ТП-II} \cdot h_{зам}^{ТП-II} + n_{зам}^{ПТП} \cdot h_{зам}^{ПТП}, \quad (4.4)$$

где 0,5 – коэффициент, учитывающий возможность проведения ремонта одного из замедлителей первой тормозной позиции (ТП-I) для проведения регламентных работ и ремонта [75];

$n_{зам}^{ТП-I}$, $n_{зам}^{ТП-II}$, $n_{зам}^{ПТП}$ – число замедлителей на тормозных позициях спускной части (ТП-I и ТП-II), а также в сортировочном парке (ПТП);

$h_{зам}^{ТП-I}$, $h_{зам}^{ТП-II}$, $h_{зам}^{ПТП}$ – наличная мощность одного замедлителя, уложенного на ТП-I, ТП-II и ПТП соответственно, м эн. в.

Расчет потерь энергии на преодоление сил сопротивления движению отцепа h_w должен учитывать число вагонов и массу отцепа [132]. По предлагаемому методу расчета для определения максимального числа вагонов в отцеpe требуется выполнить ряд итерационных расчетов. Поэтому расчет величины $H_{отц}$ (параметров $h_{пр}$, h_0 , h_w , h_k) и проверка наличия ограничения по числу вагонов в отцеpe по критерию K_1 производится методом имитационного моделирования скатывания отцепов [132] с учетом следующих зависимостей:

$$\left\{ \begin{array}{l} H_{отц} = \varphi(h_{пр}, h_{осч}, h_{ск}, h_{св}, h_{сн}, h_0), \\ H_{отц}^{N^{K_1+1}} > H_{тс} \geq H_{отц}^{N^{K_1}}, \\ N^{K_1} \rightarrow \max, \\ P_{торм} = \frac{n_{торм}}{n_{эсп}} = 1. \end{array} \right. \quad (4.5)$$

Алгоритм определения наличия ограничения по максимально допустимому количеству вагонов в отцепе по критерию K_1 приведен на рисунке 4.8.

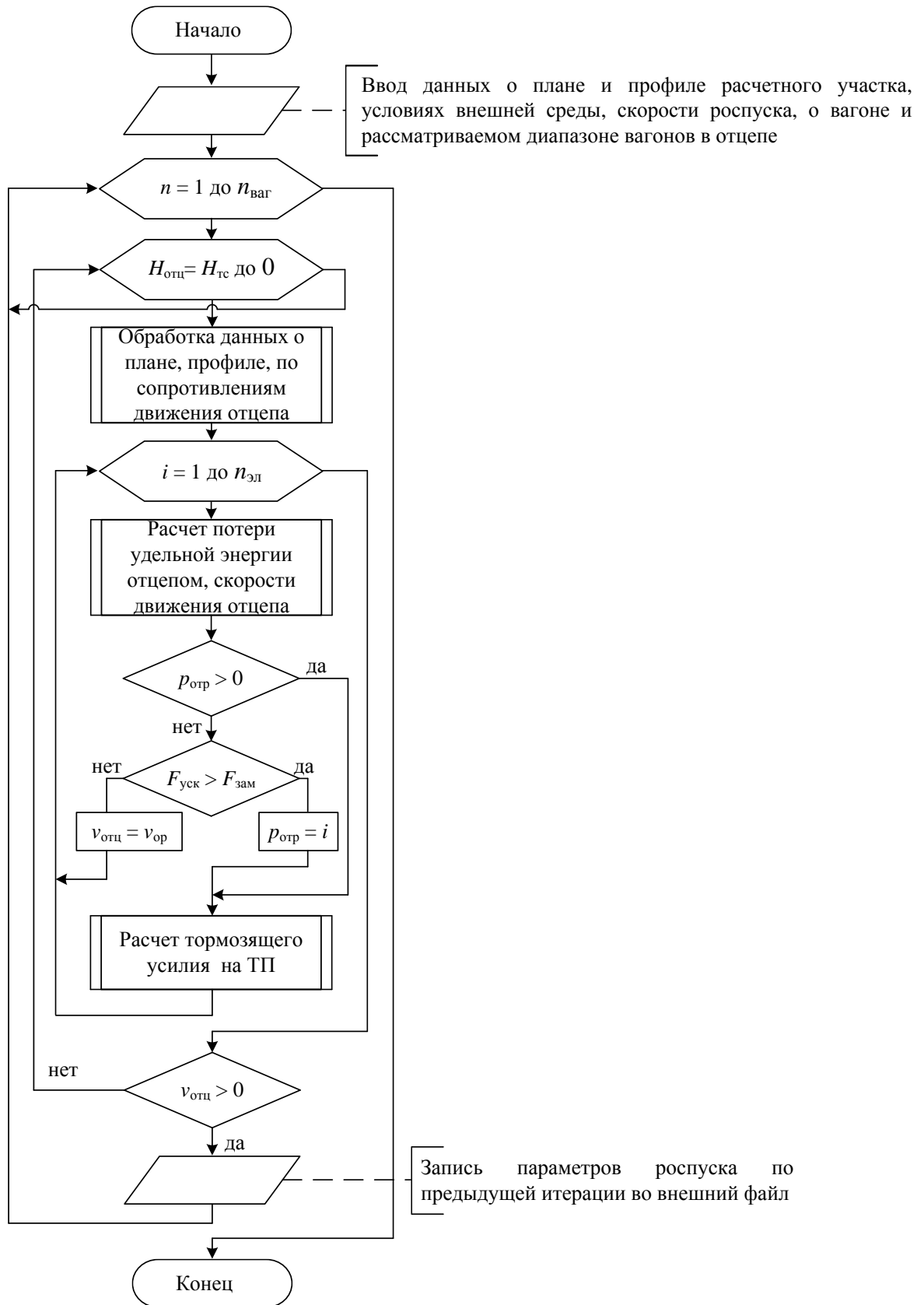


Рисунок 4.8 – Алгоритм определения наличия ограничения по максимально допустимому количеству вагонов в отцепе по критерию K_1

2. K_2 – критерий характеризующий возможность освобождения при скатывании многовагонными отцепами с плохими ходовыми качествами стрелочной зоны спускной части горки и/или парковой тормозной позиции.

Для проверки наличия ограничения числа вагонов в отцепе по критерию K_2 исследуется скатывание отцепов из порожних вагонов при неблагоприятных условиях без торможения. Решение данной задачи производится по результатам определения величины $P_{\text{док}}$, при этом рекомендуемый уровень вероятности докатывания многовагонного отцепа составляет $P_{\text{док}} = 1,00$ (в этом случае обеспечивается гарантированное освобождение отцепом стрелочной зоны).

Проверка наличия ограничения по числу вагонов в отцепе по критерию K_2 производится методом имитационного моделирования скатывания отцепов [132] с учетом следующих зависимостей:

$$\left\{ \begin{array}{l} S^{N^{K_2}} = \varphi(f_{\text{пр}}, w_o, w_{\text{ск}}, w_{\text{св}}, w_{\text{сн}}, r), \\ S^{N^{K_2+1}} < S_{\text{маршр}} \leq S^{N^{K_2}}, \\ N^{K_2} \rightarrow \max, \\ P_{\text{док}} = \frac{n_{\text{док}}}{n_{\text{эксп}}} = 1. \end{array} \right. \quad (4.6)$$

Алгоритм определения наличия ограничения по максимально допустимому количеству вагонов в отцепе по критерию K_2 приведен на рисунке 4.9.

Исходные данные для решения задач по определению ограничений числа вагонов в отцепе по критериям K_1 и K_2 приведены в таблице 4.5.

Таблица 4.5 – Условия проведения расчетов для проверки наличия ограничений по максимально допустимому числу вагонов в отцепе

Параметр	Единица измерения	Наименование критерия	
		K_1	K_2
Скорость роспуска	м/с	2,5	[0,8*;2,5]
Категория вагонов в отцепе	–	«тяжелая»	«легкая»
Используемая мощность всех ТП	м эн. в.	H_{max}	0
Коэффициент используемой мощности	–	1,0	–
Расчетный маршрут скатывания	–	Легкий путь	Трудный путь
Условия внешней среды	–	Благоприятные	Неблагоприятные
Скорость выхода с ПТП	м/с	0	[0, $v_{\text{вых}}^{**}$]
* Минимальное значение скорости роспуска (0,8 м/с) принято согласно нормам для горок малой мощности без тормозных позиций на спускной части, [75];			
** – Расчетная скорость выхода отцепа с ПТП.			

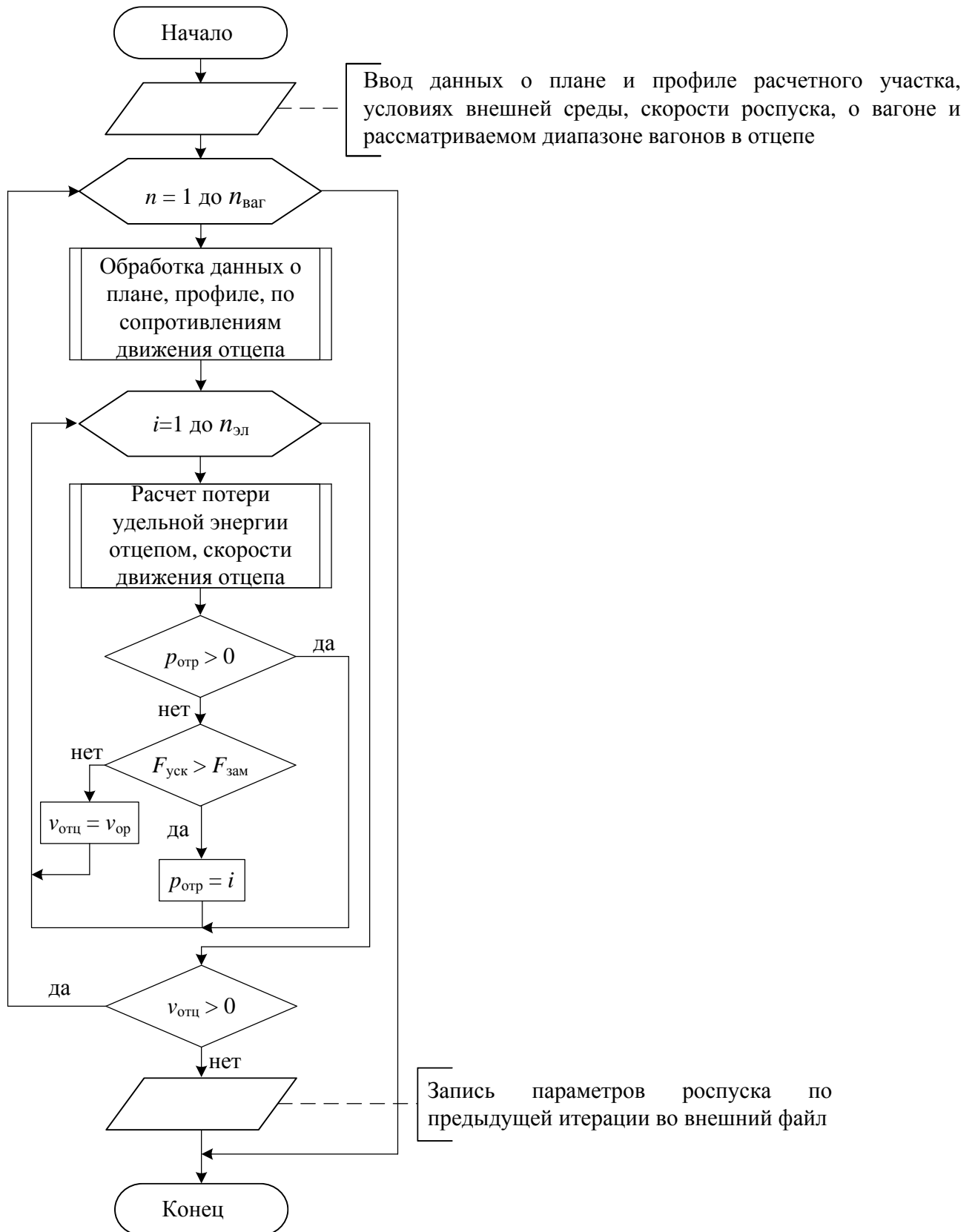


Рисунок 4.9 – Алгоритм определения наличия ограничения по максимально допустимому количеству вагонов в отцепе по критерию K_2

Расчеты рекомендуется выполнять с использованием программы «СКАТ-Отцеп» [50]. Итоговое ограничение по максимально допустимому числу вагонов в отцепе следует принимать по следующей формуле:

$$N_{\max} = \min(N^{K_1}, N^{K_2}). \quad (4.7)$$

Выводы по четвертой главе

В данной главе разработаны предложения по совершенствованию методики определения максимально допустимого числа вагонов в отцепе на основании использования аппарата имитационного моделирования процесса роспуска составов с сортировочной горки. Предложено определять ограничения по максимально допустимому количеству вагонов в отцепе по следующим критериям:

- достаточность имеющейся мощности тормозных средств для контроля скорости на спускной части горки и в начале подгорочного парка при скатывании груженого многовагонного отцепа (с хорошими ходовыми характеристиками) K_1 ;
- достаточность суммарной энергетической высоты для освобождения многовагонным отцепом с плохими ходовыми характеристиками (как правило, состоящим из порожних вагонов) стрелочной зоны спускной части горки и/или парковой тормозной позиции K_2 .

Полученные результаты показали, что максимальное число вагонов в отцепе зависит от конструкции продольного профиля и технического оснащения горки, а также от климатических характеристик местности ее расположения.

Установлено, что в качестве ограничения по допустимому числу вагонов в отцепе может являться не только потребный уровень мощности тормозных средств сортировочной горки, но и общий запас энергетической высоты многовагонного отцепа (как правило, состоящего из порожних вагонов). Поэтому, кроме проверки мощности тормозных средств, горки необходимо выполнять проверку докатывания отцепов из порожних вагонов в сортировочный парк (за пределы ПТП).

Предложенный метод расчета является более совершенным, чем применяемый в настоящее время, и позволяет увеличить максимально допустимое число вагонов в отцепе или снять ограничения по максимально допустимому числу вагонов в отцепе, которое должно рассчитываться для каждой конкретной сортировочной горки. В частности, выполненные исследования для сортировочной горки «Н» (имеющей в настоящее время ограничение по максимальному числу вагонов в отцепе, равное 27) показали следующее:

- многовагонные отцепы из груженных вагонов (с хорошими ходовыми характеристиками) не имеют ограничений по мощности тормозных средств;
- для многовагонных отцепов из порожних вагонов (с плохими ходовыми характеристиками) ограничения по максимально допустимому числу вагонов возникают при числе вагонов в отцепе более 40.

Таким образом, для рассматриваемой сортировочной горки ограничение по максимально допустимому числу вагонов в отцепе может быть пересмотрено в сторону увеличения, что приведет к сокращению числа расцепок, дополнительно выполняемых операций и, как следствие:

- к сокращению технологического горочного интервала и увеличению перерабатывающей способности горки;
- повышению уровня безопасности сортировочного процесса.

5 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ МАКСИМАЛЬНО ДОПУСТИМОГО ЧИСЛА ВАГОНОВ В ОТЦЕПЕ

5.1 Формулировка задачи

Сравнение вариантов технологии пропуска многовагонных отцепов через горку производится с учетом необходимости обеспечения потребной перерабатывающей способности горки и минимизации эксплуатационных затрат. Выполненные в данной работе исследования показали, что количество вагонов в отцепе влияет на следующие технологические параметры роспуска:

1. Реализуемую мощность тормозных позиций: она постепенно уменьшается с увеличением числа вагонов в отцепе (за счет уменьшения суммарного запаса энергетической высоты и понижения центра масс многовагонного отцепа относительно вершины горки). Уменьшение реализуемой мощности тормозных позиций происходит до момента, когда точка отрыва отцепа не совпадет с границей зоны работы горочного составителя. При дальнейшем увеличении длины отцепа реализуемая мощность ТП изменяется незначительно.

2. Число остановок роспуска в связи с необходимостью деления отцепа на части: оно должно определяться не только с учетом возможного ограничения по мощности тормозных средств, но и с учетом обеспечения потребной дальности пробега многовагонных отцепов из порожних вагонов.

3. Скорость роспуска: она может постепенно повышаться с учетом увеличения числа вагонов в отцепе (для компенсации энергетических потерь, возникающих за счет понижения центра масс многовагонного отцепа относительно вершины горки).

4. Случаи нагона отцепов на спускной части: они могут возникать чаще с увеличением числа дополнительных расцепок многовагонных отцепов. При делении многовагонного отцепа на части разделенные группы вагонов следуют по одному маршруту скатывания (на один сортировочный путь). Известно, что в данном случае вероятность нагона и сцепления вагонов на спускной части будет возрастать.

Если нагон отцепом впередиидущей группы вагонов происходит в кривых малого радиуса на спускной части горки, то может произойти зацентрирование осей автосцепки и, как следствие, повреждение подвижного состава, а в отдельных случаях и груза. Опыт эксплуатации сортировочных горок показывает, что данное явление наблюдается достаточно редко. Поэтому влияние данного фактора на перерабатывающую способность горки в данной методике не рассматривается.

Таким образом, основным фактором, влияющим на перерабатывающую способность сортировочной горки при пропуске многовагонных отцепов, являются случаи деления «сверхдлинных» отцепов (с числом вагонов более, чем максимально допустимое значение). Для оценки влияния вариантов технологии роспуска на перерабатывающую способность горки необходимо учитывать количество остановок роспуска при вынужденном делении «сверхдлинных» отцепов на части и изменение реализуемой скорости их роспуска.

При оценке различных вариантов технологии пропуска через горку многовагонных отцепов используются действующие методики для расчета перерабатывающей способности сортировочной горки, определения технологического горочного интервала и нормирования маневровых работ на железнодорожном транспорте. Апробация разрабатываемого метода для оптимизации технологических параметров сортировочной горки с учетом скатывания многовагонных отцепов произведена на примере эксплуатируемой сортировочной горки «Н».

5.2 Оценка времени роспуска многовагонных отцепов

Расформирование состава производится в соответствии с сортировочным листком, в который дежурный по горке может внести корректировку в зависимости от текущего заполнения сортировочных путей. При появлении отцепа выше установленной длины принимается одно из следующих решений:

1. Дежурный по горке дает команду произвести деление «сверхдлинного» отцепа на части с учетом действующего ограничения по количеству вагонов в отцепе.

В данном случае после отрыва первой части «сверхдлинного» отцепа от надвигаемого состава производится остановка роспуска на 1–2 минуты или снижение скорости роспуска (в зависимости от оперативной обстановки).

2. В случае если «сверхдлинный» отцеп располагается в хвосте расформируемого состава, дежурный по горке может осадить этот отцеп с горки маневровым локомотивом.

При этом деление «сверхдлинных» отцепов может производиться на группы любой длины (но не превышающей максимально допустимое число вагонов в отцеpe) в зависимости от оперативной обстановки.

Согласно действующей методике максимальное количество вагонов для сортировочной горки «Н» составляет 27. На основании натуральных наблюдений составлен сценарий роспуска отцепа из 35 вагонов, расположенного в середине состава, который состоит из 71 условного вагона. Последовательность и продолжительность выполнения операций приведены:

- при делении «сверхдлинного» отцепа в таблице 5.1 (с учетом фактической продолжительности выполнения операций);
- без деления «сверхдлинного» отцепа в таблице 5.2 (продолжительность указанных операций определена методом имитационного моделирования).

Таблица 5.1 – Последовательность технологических операций при роспуске состава с делением «сверхдлинного» отцепа на части

Продолжительность операции, мин	Время от начала роспуска, мин	Технологическая операция	Скорость роспуска, км/ч
4,3	4,3	Роспуск до «сверхдлинного» отцепа	5,8
2,1	6,4	Деление «сверхдлинного» отцепа на два из 8 и 27 вагонов соответственно. Скатывание первого отцепа	8,2
2,7	9,1	Снижение скорости надвига, скатывание второго отцепа	4,0
1,8	10,9	Остановка (производится, если следующий отцеп идет на соседний путь)	0,0
5,3	16,2	Роспуск оставшейся части	6,1

Таблица 5.2 – Последовательность технологических операций при роспуске состава без деления «сверхдлинного» отцепа на части

Продолжительность операции, мин	Время от начала роспуска, мин	Технологическая операция	Скорость роспуска, км/ч
4,1	4,1	Роспуск до «сверхдлинного» отцепа	6,2
2,9	7,0	Набор скорости, скатывание «сверхдлинного» отцепа	8,7
1,7	8,7	Остановка (производится, если следующий отцеп идет на соседний путь)	0,0
5,1	13,8	Роспуск оставшейся части	6,4

Таким образом, продолжительность операций по делению «сверхдлинного» отцепа на две части составляет 2,4 мин (разница данных таблиц 5.1 и 5.2).

На станции, где расположена рассматриваемая сортировочная горка, производится перелом массы и длины составов отдельных назначений. В результате в расформирование поступают составы назначением на один сортировочный путь для последующего пополнения до установленной нормы массы и длины. Все указанные составы имеют число вагонов более установленного ограничения по максимально допустимому числу вагонов в отцеpe. При их роспуске возникает необходимость выполнения дополнительных операций по пропуску через горку в связи с наличием ограничения по максимально допустимому числу вагонов в отцеpe, что приводит к увеличению технологического горочного интервала и сокращению перерабатывающей способности горки.

При проведении натуральных наблюдений рассмотрены следующие варианты технологии пропуска состава из 67 вагонов через горку:

- роспуск состава из 67 вагонов с делением на три части по 27, 20, 20 вагонов (таблица 5.3);
- роспуск состава без деления на части расчеты выполнены методом имитационного моделирования (таблица 5.4);
- осаживание состава на путь накопления (таблица 5.5).

Таблица 5.3 – Последовательность технологических операций при роспуске состава из 67 вагонов с делением на части

Продолжительность операции, мин	Время от начала роспуска, мин	Технологическая операция	Скорость роспуска, км/ч
3,3	3,3	Скатывание отцепа из 27 вагонов	5,9
1,9	5,2	Остановка, ожидание прохода первого отцепа в парк	0,0
3,1	8,3	Скатывание отцепа из 20 вагонов	6,1
2,0	10,3	Остановка, ожидание прохода первого отцепа в парк	0,0
3,4	13,7	Скатывание отцепа из 20 вагонов	5,9

Таблица 5.4 – Последовательность технологических операций при роспуске состава из 67 вагонов без деления на части

Продолжительность операции, мин	Время от начала роспуска, мин	Технологическая операция	Скорость роспуска, км/ч
3,8	3,8	Роспуск состава одним отцепом	8,4

Таблица 5.5 – Последовательность технологических операций при осаживании состава из 67 вагонов на сортировочный путь

Продолжительность операции, мин	Время от начала роспуска, мин	Технологическая операция	Скорость роспуска, км/ч
5,1	5,1	Осаживание состава с горба горки на путь	4,8
2,7	7,8	Возвращение горочного локомотива на горб горки	14,3

Таким образом, наиболее целесообразно пропускать состав без деления на части (при отсутствии ограничений по максимально допустимому числу вагонов в отцепе) или производить осаживание состава горочным локомотивом. В обоих случаях время на перестановку группы вагонов в парк примерно одинаково, однако при осаживании локомотивом предусматривается его возврат через горб горки и пути надвига в парк приема, что увеличивает непроизводительное использование маневрового локомотива и создает дополнительные перерывы в работе сортировочной горки.

5.3 Исследование влияния количества расцепок «сверхдлинных» отцепов на технологический горочный интервал

По результатам выполненных исследований разработаны предложения по корректировке действующей методики определения максимально допустимого числа вагонов в отцепе. С учетом разработанных предложений производится сравнение базовой технологии работы с многовагонными отцепами (с учетом действующих ограничений) с технологией роспуска отцепов при уменьшении числа расцепок.

Изменение среднего числа отцепов при расформировании одного состава с учетом предлагаемых корректировок будет незначительным (как правило, не более одной расцепки на состав). При делении «сверхдлинного» отцепа на части производится изменение технологического режима роспуска состава, связанное с уменьшением скорости роспуска или с необходимостью остановки роспуска для создания пространственно-временных интервалов между расцепленными частями «сверхдлинного» отцепа на спускной части горки.

При проследовании многовагонным отцепом горба горки существует вероятность «утягивания» надвигаемого отцепа другим отцепом, центр масс которого уже перевалил вершину горки. В таком случае происходит растягивание автосцепки между отцепляемой группой вагонов и надвигаемым составом раньше чем горочный составитель произведет расцепку. В таком случае используют первую тормозную позицию для временного подтормаживания многовагонного отцепа с целью сжатия автосцепок и создания условий для расцепления вагонов.

При уменьшении среднего числа расцепок, приходящихся на один состав при роспуске, увеличивается среднесуточное число дополнительно перерабатываемых на горке вагонов, ваг./сут [44]:

$$\Delta N = \left(\frac{1}{t_{ги} - \Delta t_{ги}} - \frac{1}{t_{ги}} \right) \cdot \frac{1440 \cdot \alpha_r - \sum T_{пост}^r}{(1 + \rho_{гор}) \cdot \mu_{повт}} \cdot \bar{m}_B, \quad (5.1)$$

где α_r – коэффициент, учитывающий перерывы в работе горки по враждебности маневров, равный 0,97 [44];

$\sum T_{\text{пост}}^{\Gamma} = \sum T_{\text{техн}}^{\Gamma} + \sum T_{\text{местн}}^{\Gamma}$ – время занятия горки для выполнения постоянных операций, мин/сут, [44];

$\sum T_{\text{техн}}^{\Gamma}$ – время технологических перерывов в работе горки, а также время занятия горки прочими операциями, при которых роспуск прекращается;

$\sum T_{\text{местн}}^{\Gamma}$ – время сортировки вагонов углового потока, сборных, местных, из вагонного депо и с путей ремонта, мин/сут;

$\rho_{\text{гор}}$ – коэффициент, учитывающий отказы технических устройств, нерасцепы вагонов и др. [44, 122];

$\mu_{\text{повт}}$ – коэффициент повторной сортировки [44];

\bar{m}_B – среднее число вагонов в составе, ваг.

Оценка влияния на технологический горочный интервал изменения случаев деления «сверхдлинного» отцепа на части определяется по следующей формуле:

$$\Delta t_{\text{ги}}^{\text{o.p.}} = \bar{n}_{\text{o.p.}} \cdot \bar{t}_{\text{o.p.}}, \quad (5.2)$$

где $\bar{t}_{\text{o.p.}}$ – среднее время задержки расформирования состава из-за деления «сверхдлинного» состава на части, определяемое методом хронометража, мин;

$\bar{n}_{\text{o.p.}}$ – среднее количество остановок роспуска из-за расцепок «сверхдлинных» отцепов на сортировочной горке, ед.

При оценке влияния изменения технологии работы с многовагонными отцепами на технологический горочный интервал и перерабатывающую способность горки в целом целесообразно учитывать среднее количество остановок на один состав. Изменение числа перерывов в роспуске, возникающих в случаях деления «сверхдлинных» групп вагонов назначением на один путь, при расформировании на сортировочной горке:

$$\bar{n}_{\text{o.p.}} = \frac{\Delta n_{\text{o.p.}}}{n_{\text{сост}}}, \quad (5.3)$$

где $\Delta \bar{n}_{\text{o.p.}}$ – изменение среднего числа остановок технологического цикла при изменении технологии работы с многовагонными отцепами на сортировочной горке;

$n_{\text{сост}}$ – количество расформированных составов за промежуток времени, сост.

Число остановок из-за деления «сверхдлинных» отцепов на части при расформировании с сортировочной горки рассчитывается по следующей формуле:

$$n_{\text{о.р.}} = \sum_{j=1}^k \left(\left\lceil \frac{N_{\text{в.д.о.}j}}{N_{\text{норм}}} \right\rceil - 1 \right), \quad (5.4)$$

где k – количество «сверхдлинных» отцепов в рассматриваемой выборке, ед.;

$N_{\text{в.д.о.}j}$ – количество вагонов в «сверхдлинном» отцепе j -го состава, ваг.;

$N_{\text{норм}}$ – нормативное ограничение по количеству вагонов в отцепе, ваг.

Среднее число вагонов в составе определяется по следующей формуле:

$$\bar{m}_{\text{в}} = \frac{N_{\text{ваг}}^{\text{поезд}}}{n_{\text{расф}}}, \quad (5.5)$$

где $N_{\text{ваг}}^{\text{поезд}}$ – число вагонов в поездах, прибывающих в парк приема в расформирование за промежуток времени, ваг.;

$n_{\text{расф}}$ – число составов, прибывающих в расформирование на станцию за промежуток времени, сост.

Пример реализации разработанных предложений выполнен для сортировочной горки «Н». Объем выборки составил 404 состава, в которых отцепы длиной более 27 вагонов встречаются 100 раз. Расчет числа остановок из-за отпуска «сверхдлинных» отцепов $n_{\text{о.р.}}$ по действующей и предлагаемой технологии приведен в таблицах 5.6, 5.7.

Было рассмотрено 6241 отцепов, количество отцепов длиной, превышающей нормативные значения в общем отцепопотоке, составляет 1,67 % от общего числа и встречается в 25,74 % составов, поступающих в расформирование на сортировочном устройстве. При этом при стандартной технологии отпуска отцепов длиной выше установленного значения с сортировочной горки было необходимо 137 раз выполнить снижение скорости или полную остановку отпуска.

Таблица 5.6 – Количество остановок отпуска при делении «сверхдлинных» отцепов на сортировочной горке «Н»

Количество вагонов в отцепе	Количество остановок при расформировании состава из-за «сверхдлинного» отцепа, ед.	Количество вагонов в отцепе	Количество остановок при расформировании состава из-за «сверхдлинного» отцепа, ед.
28	8	52	3
29	4	53	1
30	3	54	0
31	3	55	4
32	6	56	2
33	3	57	6
34	1	58	6

Продолжение таблицы 5.6

Количество вагонов в отцепе	Количество остановок при расформировании состава из-за «сверхдлинного» отцепа, ед.	Количество вагонов в отцепе	Количество остановок при расформировании состава из-за «сверхдлинного» отцепа, ед.
35	1	59	2
36	1	60	2
37	1	61	4
38	1	62	4
39	3	63	2
40	4	64	16
41	4	65	2
42	0	66	2
43	9	67	0
44	5	68	2
45	2	69	0
46	4	70	4
47	2	71	6
48	0	72	0
49	1	73	0
50	0	74	2
51	1	–	–
Всего			137

Таблица 5.7 – Количество остановок роспуска при предлагаемой технологии расформирования многовагонных отцепов на сортировочной горке «Н»

Количество вагонов в отцепе	Количество остановок при расформировании состава из-за «сверхдлинного» отцепа, ед.	Количество вагонов в отцепе	Количество остановок при расформировании состава из-за «сверхдлинного» отцепа, ед.
41	4	58	3
42	0	59	1
43	9	60	1
44	5	61	2
45	2	62	2
46	4	63	1
47	2	64	8
48	0	65	1
49	1	66	1
50	0	67	0
51	1	68	1
52	3	69	0
53	1	70	2
54	0	71	3
55	2	72	0
56	1	73	0
57	3	74	1
Всего			65

Расчетное количество остановок или снижения скорости роспуска, приходящихся на один расформировываемый состав:

$$\bar{n}_{\text{о.р.}} = \frac{(137-65)}{404} = 0,18 \text{ ост. росп./сост.}$$

Сокращение величины $t_{\text{ги}}^{\text{о.р.}}$:

$$\Delta t_{\text{ги}}^{\text{о.р.}} = 0,18 \cdot 1,2 = 0,21 \text{ мин/сост.}$$

Среднее число вагонов в составе:

$$\bar{m}_{\text{в}} = \frac{23056}{404} = 57,07 \text{ ваг./сост.}$$

График работы сортировочной горки «Н» при использовании четырех горочных локомотивов и при отсутствии вагонов запрещенных к роспуску с горки (ЗСГ), в расформируемом составе представлен на рисунке 5.1.

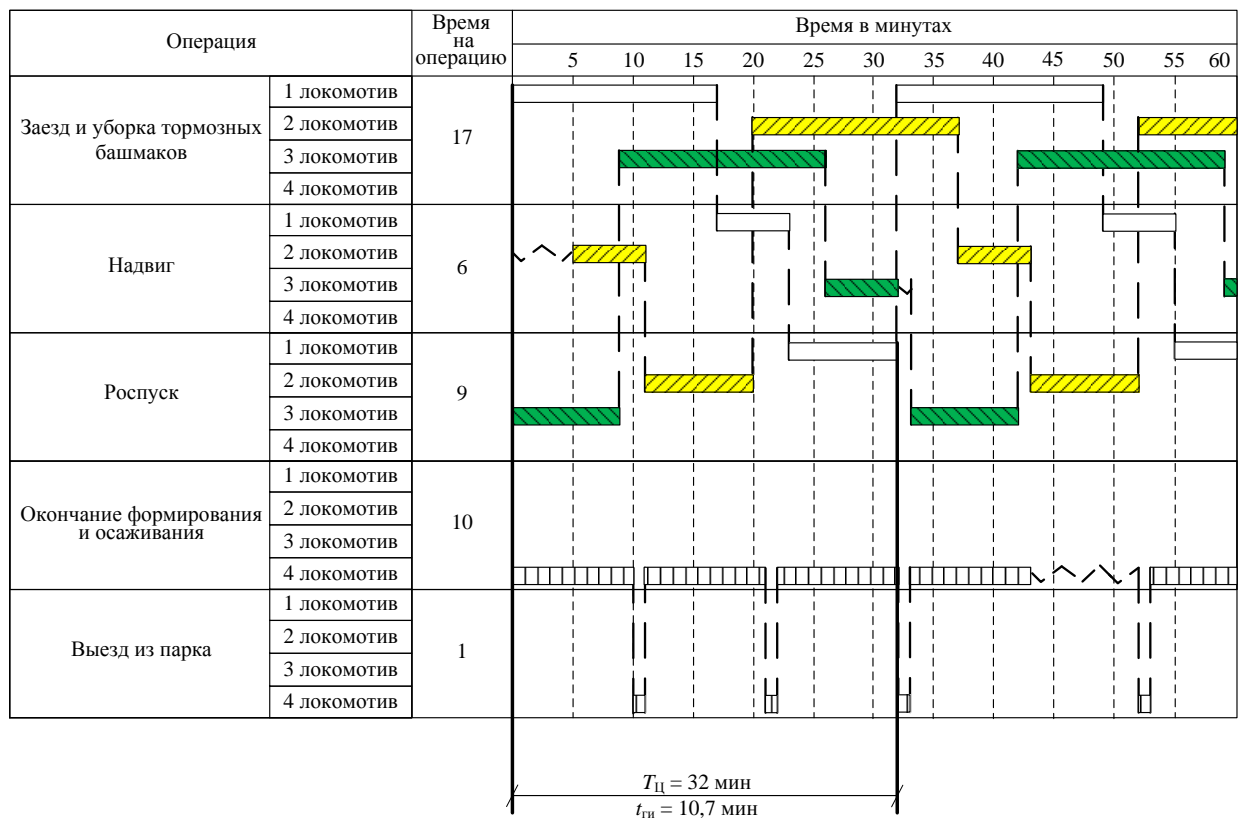


Рисунок 5.1 – Технологический график работы сортировочной горки для определения величины $t_{\text{ги}}$

Увеличение среднесуточного числа дополнительно перерабатываемых вагонов на сортировочной горке при сокращении технологического горочного интервала составит

$$\Delta N_{\text{ваг}}^{\text{пер}} = \left(\frac{1}{10,7-0,21} - \frac{1}{10,7} \right) \cdot \frac{1440 \cdot 0,97 - 172,5}{(1+0,08) \cdot 1,05} \cdot 57,07 = 117,44 \text{ ваг./сут.}$$

5.4 Влияние скорости роспуска на изменение технологического горочного интервала

Значение величины $t_{\text{ГИ}}$ определено по следующей формуле:

$$t_{\text{ГИ}}^{\text{р}} = \beta_0 + \beta_1 \cdot t_{\text{р}} + \beta_2 \cdot (t_{\text{н(св)}} + t_{\text{н(г)}}) + \beta_3 \cdot (t_{\text{з(пг)}} + t_{\text{з(пп)}} + t_{\text{лн}}) + \beta_4 \cdot t_{\text{ос}} - \beta_5 \cdot k_{\text{оп}} + \Delta t_{\text{зсг}}, \quad (5.6)$$

где $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4, \beta_5$ – коэффициенты регрессии [73];

$t_{\text{н(св)}}, t_{\text{н(г)}}$ – среднее время надвига составов из парка приема до горочного светофора и от горочного светофора до горба горки соответственно, мин;

$t_{\text{з(пг)}}, t_{\text{з(пп)}}$ – среднее время заезда локомотива в СП от выходной горловины парка приема до вершины горки и от вершины горки до состава в СП соответственно, мин;

$t_{\text{лн}}$ – среднее время выполнения маневров по ликвидации последствий нагона отцепов, мин;

$t_{\text{ос}}$ – среднее время осаживания в СП, приходящееся на один состав, мин;

$k_{\text{оп}}$ – коэффициент параллельности маневровых операций;

$\Delta t_{\text{зсг}}$ – увеличение величины $t_{\text{ГИ}}$, связанное с наличием вагонов ЗСГ, мин.

Изменение технологического горочного интервала можно определить, преобразовав формулу (5.6):

$$\Delta t_{\text{ГИ}}^{\text{р}} = \beta_1 \cdot \Delta t_{\text{р}} - \beta_5 \cdot \Delta k_{\text{оп}}, \quad (5.7)$$

где β_1, β_5 – коэффициенты регрессии [73];

$\Delta t_{\text{р}}$ – изменение среднего времени роспуска состава при изменении технологии роспуска и при ее изменении, мин/сост.;

$\Delta k_{\text{оп}}$ – изменение коэффициента параллельности выполнения маневровых операций при переходе от существующей к предлагаемой технологии работы.

Среднее время роспуска состава, определяется по следующей формуле:

$$t_{\text{р}} = \frac{l_{\text{с}}}{60 \cdot v_{\text{р}}} \cdot \left(1 - \frac{1}{2 \cdot n_{\text{отц}}}\right), \quad (5.8)$$

где $l_{\text{с}}$ – средняя длина состава, м;

$v_{\text{р}}$ – расчетная скорость роспуска составов, м/с;

$n_{\text{отц}}$ – среднее количество отцепов в расформировываемых составах.

Средняя скорость роспуска с учетом структуры отцепопотока для базовой технологии определяется по следующей формуле:

$$v_p = \frac{v_p^{\text{отц } 1-19} \cdot N_{\text{ваг}}^{\text{отц } 1-19} + v_p^{\text{отц } 20} \cdot N_{\text{ваг}}^{\text{отц } 20}}{N_{\text{ваг}}^{\text{отц}}}, \quad (5.9)$$

где $v_p^{\text{отц } 1-19}$ – средняя скорость роспуска отцепов из 1–19 вагонов, м/с;

$N_{\text{ваг}}^{\text{отц } 1-19}$ – количество вагонов, роспускаемых с сортировочной горки в отцепах из 1–19 вагонов, ваг.;

$v_p^{\text{отц } 20}$ – средняя скорость роспуска отцепов длиной 20 и более вагонов, м/с;

$N_{\text{ваг}}^{\text{отц } 20}$ – количество вагонов роспускаемых с сортировочной горки в отцепах длиной 20 и более вагонов, ваг.;

$N_{\text{ваг}}^{\text{отц}}$ – количество вагонов роспускаемых с сортировочной горки, ваг.

Среднее число отцепов в составе определяется по следующей формуле:

$$n_{\text{отц}} = \frac{m_{\text{отц}}}{n_{\text{сост}}}, \quad (5.10)$$

где $m_{\text{отц}}$ – число отцепов, перерабатываемых на горке за промежуток времени, отц.

Для определения расчетной скорости роспуска в таблицах 5.8, 5.9 произведен анализ структуры отцепопотока при базовой и предлагаемой технологии расформирования «сверхдлинных» отцепов.

Таблица 5.8 – Структура расформировываемого отцепопотока на сортировочной горке «Н» при базовой технологии расформирования «сверхдлинных» отцепов

Количество вагонов в отцепе	Количество отцепов	Количество вагонов, распущенных в отцепах	Количество вагонов в отцепе	Количество отцепов	Количество вагонов, распущенных в отцепах
1	3118	3118	15	25	375
2	1071	2142	16	33	528
3	549	1647	17	23	391
4	325	1300	18	18	324
5	278	1390	19	13	247
6	177	1062	20	10	200
7	120	840	21	7	147
8	98	784	22	13	286
9	78	702	23	3	69
10	73	730	24	12	288
11	64	704	25	13	325
12	46	552	26	10	260
13	28	364	27	143	3861
14	30	420	–	–	–
Всего				6378	23056

Таблица 5.9 – Структура расформировываемого отцепопотока на сортировочной горке «Н» при расформировании «сверхдлинных» отцепов по предлагаемой технологии

Количество вагонов в отцепе	Количество отцепов	Количество вагонов, распущенных в отцепках	Количество вагонов в отцепе	Количество отцепов	Количество вагонов, распущенных в отцепках
1	3108	3108	21	13	273
2	1066	2132	22	14	308
3	543	1629	23	13	299
4	319	1276	24	24	576
5	271	1355	25	13	325
6	173	1038	26	14	364
7	117	819	27	8	216
8	95	760	28	9	252
9	76	684	29	5	145
10	64	640	30	5	150
11	62	682	31	7	217
12	42	504	32	9	288
13	24	312	33	4	132
14	25	350	34	2	68
15	25	375	35	3	105
16	22	352	36	2	72
17	15	255	37	4	148
18	16	288	38	4	152
19	9	171	39	4	156
20	50	1000	40	27	1080
Всего				6306	23056

Средняя скорость роспуска при базовой технологии работы равна:

$$v_p = \frac{1,96 \cdot 17620 + 2,14 \cdot 5436}{23056} = 2,00 \text{ м/с.}$$

Средняя скорость роспуска по технологии работы с меньшим количеством расцепок:

$$v_p = \frac{1,96 \cdot 16730 + 2,14 \cdot 6326}{23056} = 2,01 \text{ м/с.}$$

Среднее число отцепов в составе при базовой технологии расформирования составило

$$n_{\text{отц.б.}} = \frac{6378}{404} = 15,79 \text{ отц./сост.}$$

Среднее число отцепов в составе при расформировании по предлагаемой технологии составило

$$n_{\text{отц.п.}} = \frac{6306}{404} = 15,61 \text{ отц./сост.}$$

Среднее время роспуска при стандартной технологии составило

$$t_p = \frac{994}{60 \cdot 2,00} \cdot \left(1 - \frac{1}{2 \cdot 15,79}\right) = 8,01 \text{ мин/сост.}$$

Среднее время роспуска по предлагаемой технологии составило

$$t_p = \frac{994}{60 \cdot 2,01} \cdot \left(1 - \frac{1}{2 \cdot 15,61}\right) = 7,98 \text{ мин/сост.}$$

Изменение среднего времени роспуска составило

$$\Delta t_p = 0,03 \text{ мин/сост.}$$

Необходимо отметить, что «сверхдлинные» отцепы имеются не в каждом составе, а расчет величины изменения среднего времени роспуска Δt_p произведен для каждого перерабатываемого состава.

Коэффициент параллельности выполнения маневровых операций определяется по формуле

$$k_{\text{оп}} = \frac{t_{\text{н(св)}} + t_{\text{н(г)}} + t_{\text{з(пр)}} + t_{\text{з(пп)}}}{t_p + t_{\text{н(св)}} + t_{\text{н(г)}} + t_{\text{з(пр)}} + t_{\text{з(пп)}} + t_{\text{ос}}} \quad (5.11)$$

По технологическому графику работы сортировочной горки «Н», представленному на рисунке 5.1, определены следующие параметры:

$$t_{\text{н}} = t_{\text{н(св)}} + t_{\text{н(г)}} = 6 \text{ мин/сост.},$$

$$t_{\text{з}} = t_{\text{з(пр)}} + t_{\text{з(пп)}} = 17 \text{ мин/сост.},$$

$$t_{\text{ос}} = 10 \text{ мин/сост.}$$

Коэффициент параллельности выполнения маневровых операций по базовой технологии работы с многовагонными отцепами составил

$$k_{\text{по}}^{\text{б}} = \frac{6+17}{8,01+6+17+10} = 0,56084.$$

Коэффициент параллельности выполнения маневровых операций при расформировании состава по предлагаемой технологии составил

$$k_{\text{по}}^{\text{пр}} = \frac{6+17}{7,98+6+17+10} = 0,56125.$$

Изменение коэффициента $k_{\text{по}}$ за счет изменения технологии расформирования многовагонных отцепов составило

$$\Delta k_{\text{по}} = k_{\text{по}}^{\text{б}} - k_{\text{по}}^{\text{пр}} = 0,56084 - 0,56125 = -0,00041.$$

Таким образом, изменение величины $t_{ги}$ за счет уменьшения среднего количества отцепов в составе равно:

$$\Delta t_{ги}^0 = 0,4 \cdot 0,03 - 7,64 \cdot (-0,00041) = 0,015 \text{ мин/сост.}$$

Увеличение среднего числа дополнительно перерабатываемых на горке вагонов в течение суток за счет увеличения скорости роспуска составит:

$$\Delta N_{ваг}^{пер} = \left(\frac{1}{10,7-0,015} - \frac{1}{10,7} \right) \cdot \frac{1440 \cdot 0,97 - 172,5}{(1+0,08) \cdot 1,05} \cdot 57,07 = 8,37 \text{ ваг./сут.}$$

5.5 Оценка экономического эффекта при сокращении количества случаев необходимого деления «сверхдлинных» отцепов

Экономический эффект $\mathcal{E}_{эф}$ от реализации мероприятий по совершенствованию пропуска через сортировочные горки многовагонных отцепов при сопоставимых стоимостных показателях включает экономию эксплуатационных расходов, р./г., [70]:

$$\mathcal{E}_{эф} = \Delta \mathcal{E}_{пп} + \Delta \mathcal{E}_{расф} + \Delta \mathcal{E}_{нак} + \Delta \mathcal{E}_{гл} + \Delta \mathcal{E}_{ман} + \Delta \mathcal{E}_{п} + \Delta \mathcal{E}_{доп}, \quad (5.12)$$

где $\Delta \mathcal{E}_{пп}$ – изменение расходов по простоям вагонов в парке приема;

$\Delta \mathcal{E}_{расф}$ – изменение расходов по простоям вагонов при расформировании;

$\Delta \mathcal{E}_{нак}$ – изменение расходов по простоям вагонов под накоплением;

$\Delta \mathcal{E}_{гл}$, $\Delta \mathcal{E}_{ман}$ – изменение расходов по содержанию и выполнению маневровой работы горочными и другими маневровыми локомотивами;

$\Delta \mathcal{E}_{п}$ – изменение расходов по занятию станционных путей;

$\Delta \mathcal{E}_{доп}$ – изменение расходов в связи с дополнительной переработкой вагонов.

Использование показателя «стоимость одного часа простоя вагона на станции» в настоящее время не предусмотрено при выполнении экономических расчетов для станций общей сети железных дорог. Поэтому соответствующие расходы в формуле (5.12) $\mathcal{E}_{пп}$, $\mathcal{E}_{расф}$, $\mathcal{E}_{нак}$ в расчетах не учитываются. При выполнении расчетов использованы следующие значения расходных ставок:

- час занятия 1 км станционных путей – 21,93 р.;
- локомотиво-час маневровой работы – 2202,94 р.;
- вагоно-час – 0 р.

Экономия расходов $\Delta \mathcal{E}_{\text{шт}}$, связанная с изменением простоя вагонов в парке приема (в ожидании расформирования), р./г., определяется по формуле [8]:

$$\Delta \mathcal{E}_{\text{шт}} = 365 \frac{\Delta t_{\text{ож}}}{60} e_{\text{в.-ч}} m_c n_p, \quad (5.13)$$

где $\Delta t_{\text{ож}}$ – сокращение среднего времени ожидания расформирования, мин/сост.;

$e_{\text{ваг-ч}}$ – стоимость вагоно-часа простоя, р.;

n_p – среднесуточное число поступающих в переработку составов.

Среднее время ожидания расформирования зависит от загрузки горки и величины $t_{\text{ги}}$ и определяется по формуле [46]

$$\Delta t_{\text{ож}} = \frac{K \cdot \Delta t_{\text{ги}} \cdot (1 + C_{\text{ги}}^2)}{2 \cdot (1 - K)}, \quad (5.14)$$

где K – коэффициент загрузки сортировочной горки;

$C_{\text{ги}}$ – коэффициент вариации технологического горочного интервала.

Количество перерабатываемых на горке вагонов в сутки определяется по формуле:

$$N_{\text{п}} = n_{\text{расф}} \cdot \bar{m}_{\text{в}} + m_{\text{м}} \cdot k_{\text{повт}}^{\text{м}} + m_{\text{пр}}, \quad (5.15)$$

где $n_{\text{расф}}$ – среднесуточное количество расформировываемых на горке составов;

$m_{\text{м}}$ – среднесуточное количество местных вагонов, перерабатываемых на горке;

$k_{\text{повт}}^{\text{м}}$ – коэффициент повторной сортировки местных вагонов;

$m_{\text{пр}}$ – количество прочих перерабатываемых на горке вагонов.

Определение среднесуточного числа вагонов, перерабатываемых на горке «Н», произведено в таблице 5.10.

Таблица 5.10 – Расчет объемов переработки на горке «Н»

Параметр	Единица измерения	Значение
$n_{\text{расф}}$	сост./сут	63
$m_{\text{м}}$	ваг./сут	50
$k_{\text{повт}}^{\text{м}}$	–	1,05
$m_{\text{пр}}$	ваг./сут	520
$N_{\text{ваг}}$	ваг./сут	4168

Наличная перерабатывающая способность горки составит

$$N_{\text{нал}} = \frac{1440 \cdot \alpha_{\text{г}} - \sum T_{\text{пост}}^{\text{г}}}{(t_{\text{ги}} - \Delta t_{\text{ги}}) \cdot (1 + \rho_{\text{гор}}) \cdot \mu_{\text{повт}}} \cdot \bar{m}_{\text{в}} + N_{\text{пост}}^{\text{г}}, \quad (5.16)$$

где $N_{\text{пост}}^{\Gamma}$ — количество местных вагонов, а также вагонов с путей ремонта и вагонного депо, углового потока и т. п., распускаемых за время $\sum T_{\text{местн}}^{\Gamma}$, ваг./сут.

Изменение технологического горочного интервала при переходе к новой технологии расформирования составит

$$\Delta t_{\text{ги}} = \Delta t_{\text{ги}}^{\text{o}} + \Delta t_{\text{ги}}^{\text{o.p.}}, \quad (5.17)$$

где $\Delta t_{\text{ги}}^{\text{o}}$ — изменение технологического горочного интервала, связанное с изменением количества отцепов в составе, мин/сост.;

$\Delta t_{\text{ги}}^{\text{o.p.}}$ — изменение технологического горочного интервала, связанное с уменьшением числа остановок роспуска, мин/сост.

$$\Delta t_{\text{ги}} = 0,016 + 0,21 = 0,226 \text{ мин/сост.}$$

$$N_{\text{нал}} = \left(\frac{1}{10,7 - 0,226} \right) \cdot \frac{1440 \cdot 0,97 - 172,5}{(1 + 0,08) \cdot 1,05} \cdot 57,07 + 570 = 6452,39 \approx 6452 \text{ ваг./сут.}$$

Коэффициент загрузки сортировочной горки «Н» определяется по формуле

$$K = \frac{N_{\text{п}}}{N_{\text{н}}}. \quad (5.18)$$

$$K = \frac{4168}{6452} = 0,65.$$

Сокращение времени ожидания расформирования составит

$$\Delta t_{\text{ож}} = \frac{0,226 \cdot 0,65 \cdot (1 + 0,25^2)}{2 \cdot (1 - 0,65)} = 0,22 \text{ мин/сост.}$$

Экономия расходов $\Delta \mathcal{E}_{\text{расф}}$ при уменьшении простоя подвижного состава при роспуске, определяется следующим образом [66], р./г.:

$$\Delta \mathcal{E}_{\text{расф}} = 365 \cdot \frac{\Delta t_{\text{ги}}}{60} \cdot e_{\text{в.-ч}} \cdot N_{\text{ваг}}. \quad (5.19)$$

Экономия расходов $\Delta \mathcal{E}_{\text{нак}}$ при сокращении продолжительности поступления на путь СП замыкающей группы вагонов, определяется по следующей формуле [66] р./г.:

$$\Delta \mathcal{E}_{\text{нак}} = 365 \cdot \frac{\Delta t_{\text{ги}}}{60 \cdot n_{\text{отц}}} \cdot e_{\text{в.-ч}} \cdot N_{\text{ваг}}. \quad (5.20)$$

Экономия расходов $\Delta \mathcal{E}_{\text{гл}}$ при уменьшении работы маневровых локомотивов из-за сокращения времени роспуска, определяется по формуле [66], р./г.:

$$\Delta \mathcal{E}_{\text{гл}} = 365 \cdot \frac{\Delta t_{\text{ги}}}{60} \cdot e_{\text{л.-ч(ман)}} \cdot n_{\text{с}}, \quad (5.21)$$

где $e_{\text{л-ч(ман)}}$ – стоимость локомотиво-часа маневровой работы, р.

Экономия расходов $\Delta \mathcal{E}_{\text{ман}}$, при уменьшении затрат за счет сокращения маневровой работы на перестановку «чужаков», р./г.:

$$\Delta \mathcal{E}_{\text{ман}} = 365 \cdot \Delta n_{\text{н}} \cdot \frac{t_{\text{ч}}}{60} \cdot e_{\text{л-ч(ман)}}, \quad (5.22)$$

где $\Delta n_{\text{н}}$ – сокращение количества «чужаков» из-за нерасцепа состава, ед./сут;

$t_{\text{ч}}$ – среднее время маневровой работы по перестановке «чужака» на необходимый путь накопления, мин.

«Чужаки» – это вагоны, переработанные на горке с нарушением плана формирования. Возникают из-за ошибок при торможении, нерасцепов на горбе горки, неисправности систем автоматики, что приводит к направлению отцепа на другой путь назначения и выполнению дополнительной маневровой работы по перестановке такого отцепа на сортировочный путь в соответствии с планом формирования поездов. Изменение максимально допустимого количества вагонов в отцепе влияет на возможное число нерасцепов вагонов. Количество нерасцепов определяется по формуле, ед./сут:

$$n_{\text{н}} = k_{\text{н}} \cdot P_{\text{н(Б)}} \cdot \frac{N_{\text{пер}} \cdot n_{\text{о(Б)}}}{m_{1050(\text{Б})} \cdot n_{\text{о}}}, \quad (5.23)$$

где $k_{\text{н}}$ – коэффициент, характеризующий конструкцию горба сортировочной горки по показателю нерасцепов вагонов;

$P_{\text{н(Б)}}$ – вероятность нерасцепа вагонов для нормативной конструкции продольного профиля горки, согласно [70], составляет 0,32;

$n_{\text{о}}, n_{\text{о(Б)}}$ – средняя длина отцепа для сортировочной горки «Н» и среднесетевое значение, ваг./отц.;

$m_{1050(\text{Б})}$ – среднее число вагонов в составе (для стандартного значения полезной длины приемо-отправочных путей, равной 1050 м), ваг./сост.

Среднее число нерасцепов при базовой технологии работы:

$$n_{\text{н}} = 0,745 \cdot 0,32 \cdot \frac{4168}{57,07} \cdot \frac{2}{3,61} = 9,65 \text{ ед./сут.}$$

Среднее число нерасцепов по предлагаемой технологии работы:

$$n_{\text{н}} = 0,745 \cdot 0,32 \cdot \frac{4168}{57,07} \cdot \frac{2}{3,66} = 9,51 \text{ ед./сут.}$$

$$\Delta n_{\text{н}} = 0,14 \text{ ед./сут.}$$

Экономия расходов $\Delta \mathcal{E}_{\text{п}}$, при сокращении времени занятия станционных путей в результате уменьшения величины $t_{\text{ги}}$ и сокращения времени ожидания ро-спуска в парке приема $t_{\text{ож}}$, определяется по следующей формуле, р./г.:

$$\Delta \mathcal{E}_{\text{п}} = 365 \cdot \frac{(\Delta t_{\text{ги}} + \Delta t_{\text{ож}})}{60} \cdot e_{\text{км-ч}} \cdot l_{\text{ваг}} \cdot 10^{-3} \cdot N_{\text{ваг}}, \quad (5.24)$$

где $e_{\text{км-ч}}$ – расходная ставка на 1 ч занятия 1 км станционных путей, р.;

$l_{\text{ваг}}$ – средняя длина перерабатываемого вагона, м, определяемая по формуле

$$l_{\text{ваг}} = \frac{(l_{\text{пол}} - l_{\text{лок}} - 10) \cdot n_{\text{поезд}}}{N_{\text{ваг}}^{\text{поезд}}}, \quad (5.25)$$

где $l_{\text{пол}}$ – полезная длина приемо-отправочных путей, равная 1050 м;

$l_{\text{лок}}$ – средняя длина поездного локомотива, равная 35 м.

$$l_{\text{ваг}} = \frac{(1050 - 35 - 10) \cdot 63}{3523} = 17,97 \text{ м.}$$

В результате сокращения технологического горочного интервала увеличивается перерабатывающая способность горки на величину $\sum \Delta n_{\text{ваг}}^{\text{пер}}$. Известно, что в ОАО «РЖД» реализуется принцип концентрации сортировочной работы, согласно которому основные объемы переработки вагонопотоков производят на меньшем числе хорошо технически оснащенных горочных станциях. В результате данный резерв перерабатывающей способности может быть использован как для переработки дополнительного вагонопотока, так и для детальной подборки переработанных групп вагонов. Расчет эффективности использования появившихся резервов перерабатывающей способности горки индивидуален для каждой станции и может быть произведен по формуле

$$\Delta \mathcal{E}_{\text{доп}} = 365 \cdot (C_{\text{пер.ст.1}} - C_{\text{пер.ст.2}} \pm \Delta \mathcal{E}_{\text{пр}}) \cdot \sum \Delta N_{\text{ваг}}^{\text{пер}}, \quad (5.26)$$

где $C_{\text{пер.ст.1}}$ – себестоимость переработки одного вагона на грузовой станции узла, для которой выполняется детальная подборка вагонов на сортировочной станции р./ваг.;

$C_{\text{пер.ст.2}}$ – себестоимость переработки одного вагона на рассматриваемой сортировочной станции, р./ваг.;

$\Delta \mathcal{E}_{\text{пр}}$ – разница расходов по дополнительному пробегу передаточных поездов в узле и по простоям перерабатываемых вагонов на станциях узла, р./ваг.;

$\sum \Delta N_{\text{ваг}}^{\text{пер}}$ – число дополнительно перерабатываемых вагонов на горке (определяется с учетом допустимой загрузки сортировочной горки), ваг./сут.

$$\sum \Delta N_{\text{ваг}}^{\text{пер}} = 117,44 + 8,37 = 125,81 \text{ ваг./сут.}$$

В данном случае рассмотрен вариант, при котором вагоны с рассматриваемой горочной станции в составе передаточного поезда поступают на грузовую станцию «И», где на вытяжном пути и ограниченном путевом развитии осаживанием выполняется расформирование состава и детальная подборка вагонов по местам погрузки-выгрузки. Себестоимость переработки одного вагона на грузовой станции зависит от ее технического оснащения и технологии работы и может изменяться в широких пределах. Себестоимость переработки одного вагона на сортировочной горке «Н» принята по данным ОАО «РЖД». Расчетные значения себестоимости переработки одного вагона приведены в таблице 5.11.

Таблица 5.11 – Себестоимость переработки одного вагона

Категория станций	$C_{\text{пер.ст.}}$, р./ваг.
Сортировочная горка «Н»	281,79
Сортировочное устройство на станции «И»	400–600

При наличии резервов перерабатывающей способности на горке целесообразно концентрировать выполнение операций по детальной подборке вагонов для грузовых станций узла. В данном случае изменение технологии переработки вагонов не вызывает дополнительных пробегов поездов, поэтому формула 5.26) принимает следующий вид:

$$\Delta \mathcal{E}_{\text{доп}} = 365 \cdot (C_{\text{пер.ст.1}} - C_{\text{пер.ст.2}}) \cdot \sum \Delta N_{\text{ваг}}^{\text{пер}}. \quad (5.27)$$

Результаты сводного экономического расчета по существующей и предлагаемой технологии роспуска многовагонных отцепов приведены в таблице 5.12.

Таблица 5.12 – Расчет изменения эксплуатационных расходов при изменении технологии роспуска «сверхдлинных» отцепов для сортировочной горки «Н»

Составляющий элемент экономического эффекта	Разница эксплуатационных расходов, р./г.	
	минимальное значение	максимальное значение
Разница эксплуатационных расходов по простоям вагонов в парке приема из-за ожидания расформирования $\Delta \mathcal{E}_{пп}$	0*	0*
Разница эксплуатационных расходов по простоям вагонов на станции при роспуске $\Delta \mathcal{E}_{расф}$	0*	0*
Разница эксплуатационных расходов по простоям вагонов под накоплением на состав $\Delta \mathcal{E}_{нак}$	0*	0*
Разница эксплуатационных расходов по маневровой работе горочных локомотивов $\Delta \mathcal{E}_{гл}$	0*	0*
Разница эксплуатационных расходов по маневровой работе с «чужаками» $\Delta \mathcal{E}_{ман}$	0*	0*
Разница эксплуатационных расходов по времени занятия станционных путей $\Delta \mathcal{E}_{п}$	267 388	267 388
Экономический эффект при использовании дополнительной перерабатывающей способности сортировочной горки $\Delta \mathcal{E}_{доп}$	5 428 280	14 612 410
Экономический эффект от реализации мероприятий по совершенствованию технологии работы сортировочных горок с многовагонными отцепами $\mathcal{E}_{эф}$	5 695 668	14 879 798
* Принимает нулевое значение, так как расчет выполнен для сортировочной станции общего пользования (ОАО «РЖД»).		

Установлено, что в результате применения новой технологии пропуска многовагонных отцепов через горку экономический эффект для сортировочной горки «Н» может составить от 5,70 до 14,88 млн р./г. при условии максимального использования резервов перерабатывающей способности. В реальных условиях эксплуатации эффективность предлагаемых мероприятий будет несколько ниже.

При отсутствии капитальных затрат на реализацию предлагаемых решений применение новой технологии является экономически целесообразным, в том числе и для других горочных станций сети.

Кроме того, при сокращении числа расцепок и, как следствие, числа отцепов, пропускаемых через горку, повышается уровень безопасности сортировочного процесса в целом. Снижается вероятность повреждения подвижного состава и находящихся в нем грузов за счет снижения возможных случаев нерасцепов вагонов и соединения отцепов на спускной части горки. Следует отметить сокращение возможных затрат на ликвидацию нештатных ситуаций на сортировочной горке.

Выводы по пятой главе

Установлено, что предлагаемые корректировки методики по определению максимально допустимого числа вагонов в отцепе приведут:

- к сокращению технологического горочного интервала;
- увеличению средней скорости роспуска;
- увеличению перерабатывающей способности сортировочной горки;
- повышению уровня безопасности сортировочного процесса за счет снижения вероятности нерасцепов вагонов, вагонов и соединения отцепов в пределах спускной части горки.

Разработан метод технико-экономического сравнения вариантов технологии пропуска «сверхдлинных» отцепов через горку, а также определения экономической эффективности от реализации мероприятий по изменению числа вагонов в отцепе.

Эффективность предлагаемых мероприятий определена на примере сортировочной горки «Н», для которой:

- уменьшается среднее значение технологического горочного интервала из-за снижения числа дополнительных остановок роспуска, связанных с делением «сверхдлинных» отцепов на части, в среднем на 0,23 мин/сост. (2,11 %);
- перерабатывающая способность горки увеличивается на 125 ваг./сут;
- экономический эффект, связанный с освоением дополнительных объемов переработки может достигнуть от 5,7 до 14,9 млн р./г.

Предлагаемые мероприятия являются технологическими и не требуют дополнительных затрат на их реализацию.

Предложенный метод определения эффективности мероприятий по изменению максимально допустимого числа вагонов в отцепе может использоваться для любых сортировочных горок сети железных дорог общего и необщего пользования.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам выполненных исследований в диссертационной работе можно сделать следующие выводы:

1. Исторический обзор развития теории проектирования и опыта эксплуатации сортировочных горок показал, что существующие принципы расчета конструктивных и технологических параметров горок базируются на анализе результатов скатывания одиночных вагонов. Этого недостаточно на современном этапе развития, так как в реальных условиях значительная часть вагонопотока перерабатывается в отцепах из нескольких вагонов. Поэтому на стадии проектирования и при определении путей совершенствования технологии работы сортировочных горок целесообразно дополнительно учитывать результаты роспуска многовагонных отцепов.

2. Действующая методика определения максимально допустимого числа вагонов в отцепе содержит ряд допущений, направленных на упрощение процедуры расчета, что может приводить к снижению точности получаемых результатов, в частности: многовагонный отцеп рассматривается в виде материальной точки, не учитываются потери энергетической высоты при преодолении отцепом неуправляемых сил сопротивления движению отцепа, не учитывается распределение массы внутри отцепа, не производится выбор расчетного маршрута и условий скатывания отцепа.

3. Разработана имитационная модель скатывания с сортировочной горки отцепов, учитывающая связи между вагонами внутри отцепа и динамическое изменение сил, действующих на многовагонный отцеп. Данная модель позволяет исследовать положение точки отрыва и динамику скатывания многовагонных отцепов с сортировочной горки в зависимости от внешних условий, конструктивных и технических особенностей сортировочной горки. Выполненная верификация имитационной модели показала, что расхождение данных имитационного моделирования и численного расчета не превышает 5 %. Данные имитационного моделирования сопоставимы с результатами натурных экспериментов при уровне статистической

значимости 0,05. Указанные результаты подтверждают адекватность имитационной модели и достоверность полученных при моделировании результатов.

4. Разработан новый метод расчета максимально допустимого количества вагонов в отцепе, основанный на использовании имитационного моделирования процесса скатывания отцепов с сортировочной горки. Установлено, что при определении максимально допустимого числа вагонов в отцепе необходимо рассматривать два критерия: обеспечение достаточной мощности тормозных средств и обеспечение необходимой дальности пробега отцепа в сортировочный парк. Выполненный по предлагаемой методике расчет для эксплуатируемой сортировочной горки показал возможность увеличения максимально допустимого числа вагонов в отцепе с 27 до 40.

5. Разработана методика технико-экономического сравнения вариантов технологии пропуска «сверхдлинных» отцепов через горку, а также методика определения экономической эффективности от реализации мероприятий по изменению максимально допустимого числа вагонов в отцепе. Реализация предлагаемой технологии пропуска многовагонных отцепов через горку не требует дополнительных затрат и позволит увеличить перерабатывающую способность сортировочных горок и станции в целом. Например, для сортировочной горки «Н» прирост перерабатывающей способности составил 1,95 % или 125 ваг./сут. Экономический эффект от реализации разработанных предложений может составить от 5,7 до 14,9 млн р./г. в зависимости от себестоимости переработки одного вагона на грузовой станции узла.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аветикян, А. А. Поточная групповая техническая маршрутизация – важный резерв сокращения простоя вагонов / А. А. Аветикян // Железнодорожный транспорт. – 1960. – № 5. – С. 29–34.
2. Автоматизация и механизация переработки вагонов на станциях / Ю. А. Муха [и др.]. – М. : Транспорт, 1985. – 248 с.
3. Актуализированная Схема размещения и Программа развития сортировочных станций, с учетом развития вспомогательных к ним (технических, предузловых) станций ОАО «РЖД» : утв. распоряжением ОАО «РЖД» 27.12.17 № 2762р. – 2017. – 242 с.
4. Арнольд, В. Л. Аналитическое исследование условий скатывания вагона с сортировочной горки / В. Л. Арнольд. – СПб., 1905. – 42 с.
5. Бакалов, М. М. Определение точки отрыва отцепов при роспуске их с горки / М. М. Бакалов // Труды ДИИТ. – Днепропетровск, 1963. – Вып. 43. – С. 136–162.
6. Бевзюк, Ф. Ф. О ходовых свойствах длинных отцепов при скатывании их с горки // Вестник ВНИИЖТ. – 1963. – № 6. – С. 50–52.
7. Беляев, В. И. Сцепные и автосцепные устройства железнодорожного подвижного состава / В. И. Беляев, Д. А. Ступин. – М. : Трансинфо, 2012. – 414 с.
8. Бессоненко, С. А. Теория расчета сортировочных горок для различных климатических зон : дис. ... д-ра техн. наук : 05.22.08 / Бессоненко Сергей Анатольевич. – М., 2011. – 418 с.
9. Бледный, А. М. Исследование отрыва восьмиосных вагонов на сортировочных горках / А. М. Бледный, Л. М. Болвановская, В. И. Кривенкин // Совершенствование технических устройств и технологии управления процессом расформирования составов на сортировочных горках : межвуз. сб. науч. тр. – Днепропетровск : ДИИТ, 1986. – С. 64–71.
10. Бобровский, В. И. Анализ влияния параметров продольного профиля сортировочной горки на динамику скатывания отцепов / В. И. Бобровский,

А. И. Колесник // Транспортні системи та технології перевезень. – № 3. – Днепропетровск : ДНУЖТ, 2012. – С. 10–14.

11. Бобровский, В. И. Моделирование процесса скатывания отцепов с сортировочной горки / В. И. Бобровский, Д. Н. Козаченко // Сб. науч. тр. ГЭТУТ. Серия «Транспортные системы и технологии». – Киев : ГЭТУТ, 2010. – № 16. – С. 20–29.

12. Бобровский, В. И. Оптимизация режимов торможения отцепов расчетной группы состава / В. И. Бобровский, А. С. Дорош // Наука та прогрес транспорту. – Днепропетровск : ДНУЖТ, 2013. – № 1 (43). – С. 104–112.

13. Бобровский, В. И. Оценка эффективности систем автоматизации сортировочного процесса методом моделирования : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.22.08 / Бобровский Владимир Ильич. – Днепропетровск, 1973. – 38 с.

14. Бобровський, В. І. Моделирование процесса надвига и роспуска составов на сортировочной горке / В. І. Бобровський, Є. Б. Демченко // Транспортні системи та технології перевезень. – Днепропетровск : ДНУЖТ, 2012. – № 4. – С. 13–18.

15. Болотный, В. Я. Совершенствование схем и технологии работы железнодорожных станций / В. Я. Болотный. – М. : Транспорт, 1986. – 280 с.

16. Бондаренко, И. С. Оптимизация технических параметров сортировочных устройств / И. С. Бондаренко // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2012. – № 2 (34). – С. 129–132.

17. Боровиков, В. П. STATISTICA: искусство анализа данных на компьютере / В. П. Боровиков. – 2-е изд. – СПб. : Питер, 2003. – 688 с.

18. Брехов, Н. И. О скатывании длинных отцепов на сортировочных горках / Н. И. Брехов // Вопросы проектирования и организации работы железнодорожных станций и узлов : межвуз. сб. науч. тр. – Новосибирск, 1985. – С. 67–71.

19. Бузанов, С. П. Проектирование механизированных и автоматизированных сортировочных устройств / С. П. Бузанов, А. М. Карпов, М. А. Рыцарев. – М. : Транспорт, 1965. – 232 с.

20. Бузанов, С. П. Проектирование сортировочных горок и полугонок и их устройство / С. П. Бузанов, А. М. Карпов. – М. : Трансжелдориздат, 1954. – 240 с.

21. Буянова, В. К. Моделирование на ЭЦВМ процесса роспуска вагонов с сортировочной горки / В. К. Буянова // Вестник ВНИИЖТа. – 1965. – № 6. – С. 60–64.

22. Быкадоров, А. В. Интервалы между отцепами при переменной скорости составов / А. В. Быкадоров // Вопросы проектирования и организации работы железнодорожных станций : тр. Новосиб. ин-та инженеров ж.-д. трансп. – Новосибирск, 1965. – Вып. 45. – С. 144–150.

23. Быкадоров, А. В. Некоторые особенности скатывания отцепов из нескольких вагонов / А. В. Быкадоров // Вопросы эксплуатации железных дорог : тр. Новосиб. ин-та инженеров ж.-д. трансп. – Новосибирск, 1959. – Вып. 20. – С. 150–157.

24. Быкадоров, А. В. Переменная скорость роспуска составов на сортировочных горках / А. В. Быкадоров, Н. И. Федотов // Вопросы равномерной работы железных дорог : тр. Новосиб. ин-та инженеров ж.-д. трансп. – Новосибирск, 1961. – Вып. 25. – С. 135–164.

25. Быкадоров, А. В. Расчет времени скатывания отцепа на сортировочной горке / А. В. Быкадоров // Вопросы проектирования и организации работы железнодорожных станций : тр. Новосиб. ин-та инженеров ж.-д. трансп. – Новосибирск, 1968. – Вып. 81. – С. 104–118.

26. Быкадоров, А. В. Расчет пункта отрыва отцепов от состава на сортировочных горках / А. В. Быкадоров // Вопросы проектирования и организации работы железнодорожных станций : тр. Новосиб. ин-та инженеров ж.-д. трансп. – Новосибирск, 1967. – Вып. 65. – С. 28–35.

27. Быкадоров, А. В. Расчетные отцепы при переменной скорости роспуска составов на горках / А. В. Быкадоров // Вопросы равномерной работы железных дорог : тр. Новосиб. ин-та инженеров ж.-д. трансп. – Новосибирск, 1961. – Вып. 25. – С. 191–204.

28. Быкадоров, А. В. Скатывание отцепов из нескольких вагонов на механизированных и автоматизированных горках : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.22.08 / Быкадоров Александр Васильевич. – М., 1963. – 21 с.

29. Быкадоров, А. В. Экспериментальное определение скорости скатывания отцепов по горке / А. В. Быкадоров // Вопросы равномерной работы железных дорог : тр. Новосиб. ин-та инженеров ж.-д. трансп. – Новосибирск, 1961. – Вып. 25. – С. 207–217.

30. Быкадоров, А. В. Графический способ расчета энергетических высот для отцепов из нескольких вагонов / А. В. Быкадоров // Вопросы проектирования и организации работы железнодорожных станций : тр. Новосиб. ин-та инженеров ж.-д. трансп. – Новосибирск, 1965. – Вып. 45. – С. 118–130.

31. Гибшман, Е. А. Об устройстве пассажирских и сортировочных станций : учеб. пособие для втузов / Е. А. Гибшман. – М. : Транспечать НКПС, 1929. – 273 с.

32. Грау, Б. Проектирование железнодорожных станций / Б. Грау ; сокр. пер. с нем. В. И. Шейко ; ред. В. Я. Болотный. – М. : Транспорт, 1978. – 487 с.

33. Гунбин, А. А. Алгоритм имитационного моделирования скатывания с горки многовагонных отцепов / А. А. Гунбин // Транспортная инфраструктура Сибирского региона. – 2016. – Т. 1. – С. 334–337.

34. Гунбин, А. А. Анализ структуры вагонопотока нечетной сортировочной системы ст. И / А. А. Гунбин // Научные проблемы реализации транспортных проектов в Сибири и на Дальнем Востоке : сб. тр. IX Междунар. науч.-техн. конф. «Политранспортные системы». – Новосибирск : Изд-во СГУПС, 2017. – С. 321–328.

35. Гунбин, А. А. Исследование интервалов на разделительных элементах сортировочной горки при скатывании отцепов дифференцированной длины / А. А. Гунбин // Вестник УрГУПС. – 2017. – № 3 (35). – С. 108–117.

36. Гунбин, А. А. Образование временных интервалов на первом стрелочном переводе сортировочной горки при роспуске отцепов дифференцированной длины / А. А. Гунбин // Вестник СГУПС. – 2018. – № 1 (44). – С. 5–13.

37. Дашков, М. Г. Вопросы проектирования и выправки профиля сортировочных горок : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.22.08 / Дашков Михаил Григорьевич. – Л., 1980. – 18 с.

38. Дашков, М. Г. Проектирование и содержание профиля горба сортировочной горки / М. Г. Дашков, А. М. Макуха // Проблемы наращивания мощности станций и узлов : межвуз. сб. науч. тр. – М. : Моск. ин-т инженеров ж.-д. трансп., 1985. – Вып. 765. – С. 53–54.

39. Дубелир, Г. Д. О проектировании горок для сортировочных станций / Г. Д. Дубелир. – СПб. : [б. и.], 1910. – 9 с.

40. Запорожец, Г. И. К вопросу о повышении перерабатывающей способности горок / Г. И. Запорожец // Техника железных дорог. – 1955. – № 6. – С. 23–27.

41. Земблинов, С. В. Станции и узлы / С. В. Земблинов, И. И. Страковский. – М. : Трансжелдориздат, 1963. – 348 с.

42. Инструкция по проектированию станций и узлов на железных дорогах Союза ССР : ВСН 56–78. – Введ. 1979–01–01 / Минтрансстрой СССР, МПС СССР. – М. : Транспорт, 1978. – 175 с.

43. Инструкция по расчету максимально допустимой длины отцепа при спуске на сортировочных горках № ЦД49-р от 01.04.2013 г. – 12 с.

44. Инструкция по расчету наличной пропускной способности железных дорог : утв. ОАО «РЖД» 10.11.10. – М. : Техинформ, 2011. – 289 с.

45. Каракашьян, З. О. Теория работы механизмов автосцепок типа СА-3 / З. О. Каракашьян. – М. : Трансжелдориздат, 1957. – 167 с.

46. Карасев, С. В. Влияние конструкции горки, структуры вагонопотока и внешней среды на качество заполнения путей сортировочного парка : дис. ... канд. техн. наук : 05.22.08 / Карасев Сергей Владимирович. – Новосибирск, 2003. – 203 с.

47. 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. : Изд-во ФГНУ «ГосКоор-Центр» – 2007. – № 3 (26). – С. 2.

48. Карейша, С. Д. Железнодорожные станции / С. Д. Карейша. – М. : Транспечать НКПС, 1930. – 305 с.

49. Климов, А. А. Моделирование проходимости вагонов без саморасцепа по перевальной части сортировочной горки / А. А. Климов, Д. В. Осипов // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2015. – № 3 (47). – С. 154–160.

50. Климов, А. А. Моделирование процесса скатывания отцепов из нескольких вагонов с сортировочной горки при роспуске / А. А. Климов, А. А. Гунбин // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. – 2011. – № 2 (38). – С. 88–91.

51. Климов, А. А. Совершенствование сортировочных устройств, специализированных для порожних вагонов : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.22.08 / Климов Александр Александрович. – Новосибирск, 2001. – 24 с.

52. Лapidус, Б. М. О научной платформе стратегии развития железнодорожного транспорта в России до 2050 года / Б. М. Лapidус, А. С. Мишарин, Н. А. Махутов, В. М. Фомин, А. А. Зайцев, Д. А. Мачерет // Бюллетень объединенного ученого совета ОАО «РЖД». – 2017. – № 2. – С. 1–20.

53. Лапицкий, Х. М. Сопротивление среды при скатывании вагонов с сортировочной горки / Х. М. Лапицкий // Транспортное строительство. – 1967. – № 4. – С. 41–42.

54. Лоу, А. М. Имитационное моделирование / А. М. Лоу, В. Д. Кельтон. – 3-е изд. – СПб. : ГПП «Печатный двор», 2004. – 846 с.

55. Максимов, В. Н. Силы, действующие на вагон на сортировочных горках / В. Н. Максимов // Вестник ВНИИЖТ. – 1963. – № 4. – С. 36–40.

56. Мацкель, С. С. Проектирование продольного профиля сортировочных станций с помощью математического моделирования маневровых процессов на ЭЦВМ : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 434 / Мацкель Станислав Станиславович. – М., 1968. – 23 с.

57. Механизация сортировочных горок: проблемы механизации сортировочных горок и опыт постройки первой механизированной горки в СССР / ред. И. А. Грач, Л. А. Мамендос. – М. : Изд-во Редбюро Локомотивпроекта, 1935. – 336 с.

58. Механизированные сортировочные горки / под ред. А. А. Смольянинова // Труды Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта. – М. : Трансжелдориздат, 1937. – Вып. 32. – 204 с.

59. Муха, Ю. А. Алгоритмы и библиотека программ для моделирования на ЭВМ «Наири-К» сортировочного процесса на горках / Ю. А. Муха, В. И. Бобровский // Механизация и автоматизация сортировочного процесса на станциях : тр. ДИИТа. – Днепропетровск : ДИИТ, 1977. – Вып. 194/11. – С. 53–102.

60. Муха, Ю. А. Динамика скатывания отцепов с горки и проблема оценки их ходовых свойств / Ю. А. Муха, А. И. Павловский // Труды ДИИТ. – Днепропетровск, 1981. – Вып. 216/14. – С. 37–47.

61. Муха, Ю. А. Имитационное моделирование процесса скатывания отцепов при выполнении горочных расчетов / Ю. А. Муха, А. А. Муратов // Механизация и автоматизация сортировочного процесса на станциях : межвуз. сб. науч. тр. – Днепропетровск : ДИИТ, 1990. – С. 11–20.

62. Муха, Ю. А. Моделирование на ЭЦВМ процесса скатывания отцепов с сортировочной горки / Ю. А. Муха, В. И. Бобровский // Вопросы механизации и автоматизации сортировочного процесса на станциях : тр. ДИИТ. – Днепропетровск, 1969. – Вып. 90/6. – С. 53–63.

63. Муха, Ю. А. Описание процесса скатывания отцепов с горки при помощи метода планирования эксперимента / Ю. А. Муха // Труды ДИИТ. – Днепропетровск, 1975. – Вып. 168/9. – С. 3–19.

64. Муха, Ю. А. Построение кривых скорости скатывания длинных отцепов с сортировочной горки и сравнение этих кривых с опытными / Ю. А. Муха // Вопросы механизации и автоматизации сортировочных горок : тр. ДИИТ. – Днепропетровск, 1962. – Вып. 41. – С. 53–85.

65. Муха, Ю. А. Цифровая модель процесса роспуска составов на автоматизированных сортировочных горках / Ю. А. Муха, В. И. Бобровский, С. А. Попов // Труды ДИИТ. – Днепропетровск, 1976. – Вып. 181/10. – С. 23–40.

66. Негрей, В. Я. Обоснование уровня технического оснащения и оптимизация параметров конструкции сортировочных комплексов железнодорожных станций / В. Я. Негрей, С. А. Пожидаев, Е. А. Филатов // Транспортные системы и технологии перевозок. – 2014. – № 8. – С. 110–119.

67. Новиков, И. Н. Анализ работы механизма автосцепки / И. Н. Новиков, С. П. Бялынович // Труды ВНИИ ж.-д. трансп. – М. : Трансжелдориздат, 1952. – Вып. 61.– 96 с.

68. Об идентификации процесса скатывания отцепов с сортировочной горки / Ю. А. Муха, В. И. Бобровский, А. А. Муратов, В. Э. Бондаренко // Вопросы проектирования и организации работы железнодорожных станций и узлов : сб. науч. тр. Новосиб. ин-та инженеров ж.-д. трансп. – Новосибирск, 1985. – С. 41–46.

69. Осипов, В. Т. Эксплуатация железных дорог за рубежом / В. Т. Осипов. – М. : Наука, 1976. – 312 с.

70. Осипов, Д. В. Совершенствование методов расчета параметров перевальной части сортировочных горок : дис. ... канд. техн. наук : 05.22.08 / Осипов Дмитрий Валентинович. – Новосибирск, 2017. – 191 с.

71. Павловский, А. И. Исследование и оценка сопротивлений движению вагонов на сортировочных горках : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.22.08 / Павловский Александр Иванович. – М., 1989. – 24 с.

72. Петерс, П. Современные сортировочные устройства на государственных железных дорогах ФРГ / П. Петерс, П. Дебушевич // Железные дороги мира. – 1991. – № 3. – С. 10–14.

73. Пособие по применению правил и норм проектирования сортировочных устройств / Л. Б. Тишков [и др.]. – М. : Транспорт, 1994. – 220 с.

74. Правила и нормы проектирования сортировочных устройств на железных дорогах Союза ССР : ВСН 207–89 / МПС СССР. – М. : Транспорт, 1992. – 104 с.

75. Правила и нормы проектирования сортировочных устройств на железных дорогах колеи 1520 мм : утв. МПС РФ 10.10.03. – М. : Техинформ, 2003. – 168 с.

76. Правила технической эксплуатации железных дорог Российской Федерации : утв. приказом Минтранса России 21.12.10 № 286. – М. : ТРАНСИНФО ЛТД, 2016. – 287 с.

77. Пугачевский, Ф. В. Механизированные сортировочные горки и их расчет : учеб. пособие для вузов ж.-д. транспорта / Ф. В. Пугачевский. – М. : Госжелдориздат, 1933. – 135 с.

78. Рогинский, Н. О. Механизация сортировочных горок : учеб. пособие для вузов / Н. О. Рогинский, Б. А. Родимов, Г. И. Зубрилин. – М. : [б. и.], 1949. – 248 с.

79. Родимов, Б. А. Проектирование механизированных и автоматизированных сортировочных горок / Б. А. Родимов, В. Е. Павлов, В. Д. Прокинова. – М. : Транспорт, 1980. – 97 с.

80. Рыбин, П. К. Особенности организации маневровой работы на станции Лужская / П. К. Рыбин, Н. В. Ершиков, А. А. Дегтярев // Интеллектуальные системы на транспорте: сб. IV Междунар. науч.-практ. конф. «ИНТЕЛЛЕКТТРАНС-2014». – СПб. : Изд-во ПГУПС, 2014. – С. 431–438.

81. Смагин, Ю. С. Система MSR32 на станции Лужская-Сортировочная / Ю. С. Смагин, О. В. Подсосонная // Железные дороги мира. – 2017. – № 8. – С. 63–71.

82. Смирнов, В. И. Динамика скатывания многовагонных отцепов с сортировочной горки / В. И. Смирнов // Транспорт: наука, техника, управление. – 1994. – № 1. – С. 17–23.

83. Смольянинов, А. А. Сортировочные горки / А. А. Смольянинов. – М. : Трансжелдориздат, 1938. – 112 с.

84. Сопротивление движению грузовых вагонов при скатывании с горок : тр. ЦНИИ МПС / ред. Е. А. Сотников. – М. : Транспорт, 1975. – Вып. 545. – 102 с.

85. Сортировочные станции зарубежных железных дорог / В. Д. Никитин [и др.]. – М. : [б. и.], 1957. – 175 с.

86. Сортировочные станции, их устройство, оборудование и обслуживание / пер. с нем. С. Д. Карейша. – СПб. : Тип. МПС, 1901. – 62 с.
87. Сотников, Е. А. Железные дороги мира из XIX в XXI век / Е. А. Сотников. – М. : Транспорт, 1993. – 200 с.
88. 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.
89. Станции и узлы : учеб. для трансп. вузов / В. Н. Образцов [и др.] ; ред. В. И. Образцов. – М. : Трансжелдориздат, 1949. – 540 с.
90. Стратегия развития холдинга «РЖД» на период до 2030 года (основные положения) [Электронный ресурс] : утв. советом директоров ОАО «РЖД», протокол 23.12.13 №19. – Электрон. дан. – Режим доступа: http://doc.rzd.ru/doc/public/ru?STRUCTURE_ID=704&layer_id=5104&refererLayerId=5103&id=6396. – Загл. с экрана.
91. Технические указания на проектирование станций и узлов : утв. МПС СССР 24.11.1947 / ВНИИ ж.-д. трансп. – М. : Трансжелдориздат, 1948. – 124 с.
92. Технические указания по проектированию станций и узлов на железных дорогах нормальной колеи : утв. 28.10.1953 / МПС СССР. – М. : Трансжелдориздат, 1954. – 120 с.
93. Технические указания по проектированию станций и узлов на железных дорогах общей сети Союза ССР : ВСН 56-61 : утв. МПС СССР 12.06.1961 г. – М. : Трансжелдориздат, 1961. – 151 с.
94. Технические указания по проектированию станций и узлов на железных дорогах общей сети Союза ССР : изменения и дополнения № 1 : ВСН 56-65 : утв. МПС СССР 30.07.1965. – М. : Оргтрансстрой, 1965. – 26 с.
95. Технические условия проектирования станций для дорог нормальной колеи. М. : Госжелдориздат, 1933. – 128 с.
96. Тишков, Л. Б. К установлению теоретических основ и исходных данных прогнозного расчета значений скорости роспуска состава на автоматизированных горках / Л. Б. Тишков // Вестник ВНИИЖТ. – 2000. – № 2. – С. 11–14.

97. Тишков, Л. Б. Повышение сохранности вагонов на сортировочных станциях / Л. Б. Тишков, В. М. Рудановский, В. П. Шейкин [и др.] // Железнодорожный транспорт. – 1983. – № 12. – С. 7–13.

98. Тишков, Л. Б. Теоретические и методологические основы корректировки алгоритмов расчета высоты, продольного профиля сортировочных горок и систем управления расформированием составов / Л. Б. Тишков // Вестник ВНИИЖТ. – 1996. – № 6. – С. 22–25.

99. Туранов, Х. Т. Аналитическое определение времени скатывания вагона на втором скоростном участке сортировочной горки при воздействии попутного ветра малой величины / Х. Т. Туранов, А. А. Гордиенко // Наука и техника транспорта. – 2015. – № 2. – С. 73–81.

100. Туранов, Х. Т. Выбор рационального режима роспуска «очень плохого бегуна» с сортировочной горки / Х. Т. Туранов, А. А. Гордиенко, О. В. Молчанова // Транспорт: наука, техника, управление. – 2018. – № 11. – С. 9–13.

101. Туранов, Х. Т. Графическое представление результатов исследований движения вагона попусковой части сортировочной горки при попутном ветре / Х. Т. Туранов, А. А. Гордиенко, И. С. Плахотич // Транспорт: наука, техника, управление. – 2017. – № 3. – С. 7–12.

102. Туранов, Х. Т. К критическому анализу теоретических положений движения вагона с сортировочной горки / Х. Т. Туранов, А. А. Гордиенко, Ш. Б. Джабборов // Транспорт: наука, техника, управление. – 2018. – № 11. – С. 26–31.

103. Туранов, Х. Т. Математическое описание движения вагона на участках тормозных позиций сортировочной горки / Х. Т. Туранов, А. А. Гордиенко // Транспорт Урала. – 2018. – № 2 (57). – С. 3–8.

104. Туранов, Х. Т. Некоторые проблемы теоретической предпосылки динамики скатывания вагона по уклону сортировочной горки / Х. Т. Туранов, А. А. Гордиенко // Бюллетень транспортной информации. – 2015. – № 3 (237). – С. 29–36.

105. Туранов, Х. Т. Новая методика расчета времени и скорости скатывания вагона на первом скоростном участке сортировочной горки / Х. Т. Туранов, А. А. Гордиенко // Бюллетень транспортной информации. – 2015. – № 8 (242). – С. 27–32.

106. Туранов, Х. Т. О попытке доказательства корректности нового подхода к исследованию движения вагона по спускной части сортировочной горки / Х. Т. Туранов, А. А. Гордиенко // Бюллетень транспортной информации. – 2016. – № 10 (256). – С. 19–24.

107. Туранов, Х. Т. Пример вычислений времени движения и скорости вагона в стрелочной зоне сортировочной горки при воздействии попутного ветра / Х. Т. Туранов, А. А. Гордиенко, Л. А. Рыкова // Транспорт: наука, техника, управление. – 2016. – № 5. – С. 39–45.

108. Туранов, Х. Т. Пример расчета времени движения и скорости вагона на промежуточном участке сортировочной горки при воздействии встречного ветра / Х. Т. Туранов, А. А. Гордиенко // Транспорт: наука, техника, управление. – 2016. – № 3. – С. 23–28.

109. Туранов, Х. Т. Пример расчета времени, скорости и пути торможения вагона на участке второй тормозной позиции сортировочной горки при воздействии встречного ветра малой величины / Х. Т. Туранов, А. А. Гордиенко // Вестник НИИЖТ. – 2016. – Т. 75, № 2. – С. 123–128.

110. Туранов, Х. Т. Результаты расчета времени, скорости и пути торможения вагона на участке первой тормозной позиции сортировочной горки при воздействии встречного ветра малой величины / Х. Т. Туранов, А. А. Гордиенко // Транспорт: наука, техника, управление. – 2016. – № 6. – С. 66–72.

111. Туранов, Х. Т. Упрощенная математическая модель движения вагона на промежуточном участке сортировочной горки при воздействии встречного ветра малой величины / Х. Т. Туранов, А. А. Гордиенко // Транспорт: наука, техника, управление. – 2016. – № 1. – С. 13–18.

112. Туранов, Х. Т. Уточненные математические модели движения вагона на промежуточном участке сортировочной горки при воздействии попутного ветра

малой величины / Х. Т. Туранов, А. А. Гордиенко // Вестник Транспорта Урала. – 2016. – № 2 (56). – С. 56–63.

113. Тюрин, Ю. Н. Статистический анализ данных на компьютере / Ю. Н. Тюрин, А. А. Макаров. – М. : Инфра-М, 1998. – 528 с.

114. Федотов, Н. И. Исследование процессов работы и проектирования транспортных систем при колебаниях транспортных потоков: дис. ... докт. техн. наук : 05.434 / Федотов Николай Иванович. – Новосибирск, 1971. – 470 с.

115. Федотов, Н. И. Распределение сопротивлений движению вагонов на сортировочных горках / Н. И. Федотов // Повышение эффективности эксплуатационной работы железных дорог : межвуз. сб. науч. тр. Новосиб. ин-т инженеров ж.-д. трансп. – Новосибирск, 1987. – С. 72–83.

116. Фролов, А. Н. Сборник статей, касающихся станций и маневров / А. Н. Фролов. – Саратов : Тип. Саратов. отд. Техн. о-ва, 1906. – 143 с.

117. Шабельников, А. Н. Теория разработки и техническая реализация многофункциональной системы автоматизации процессов расформирования поездов / А. Н. Шабельников, В. Н. Иванченко. – Ростов н/Д : РГУПС, 2012. – 415 с.

118. Шавкин, Г. Б. Сортировочные станции железных дорог США / Г. Б. Шавкин. – М. : Трансжелдориздат, 1956. – 88 с.

119. Шавкин, Г. Б. Схемы и оснащение сортировочных станций железных дорог США и Западной Европы / Г. Б. Шавкин ; ред. К. К. Тихонов. – М. : [б. и.], 1960. – 64 с.

120. Шафит, Е. М. Дифференциальные уравнения скатывания отцепов с сортировочной горки при различных способах аппроксимации продольного профиля / Е. М. Шафит // Вопросы механизации и автоматизации сортировочных горок : тр. ДИИТ. – М. : Транспорт, 1965. – Вып. 52. – С. 55–72.

121. Шафит, Е. М. Машинное решение дифференциальных уравнений скатывания отцепов с сортировочной горки / Е. М. Шафит // Вопросы механизации и автоматизации сортировочных горок : тр. ДИИТ. – М. : Транспорт, 1965. – Вып. 52. – С. 73–95.

122. Шейкин, В. П. Эксплуатация механизированных сортировочных горок / В. П. Шейкин. – М. : Транспорт, 1992. – 240 с.

123. Шмаль, С. Н. Методы совершенствования расчета параметров горочных сортировочных устройств : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.22.08 / Шмаль Сергей Николаевич. – М., 2015. – 21 с.

124. Controlling the speed of rolling cuts in conditions of reduction of brake power of car retarders / D. M. Kozachenko, V. I. Bobrovskyi, S. V. Grevtsov, M. I. Berezovyi // Наука та прогрес транспорту. – 2016. – № 3 (63). – P. 28–40.

125. Naahr, J. T. A Matheuristic Approach for Solving the Railroad Hump Yard Block-to-Track Assignment [Электронный ресурс] / J. T. Naahr, R. M. Lusby // DTU Management Engineering. – 2015. – Электрон. дан. – Режим доступа: http://orbit.dtu.dk/files/106894424/A_Matheuristic_Approach.pdf. – Загл. с экрана.

126. Kozachenko, D. M. A method for optimization of time intervals between rolling cuts on sorting humps / D. M. Kozachenko, V. I. Bobrovskyi, Y. B. Demchenko // Journal of modern transportation. – 2018. – Vol. 26, № 3. – P. 189–199.

127. Kraft, E. R. Priority-Based Classification for Improving Connection Reliability in Railroad Yards. Part I of II: Integration with Car Scheduling / E. R. Kraft // Journal of the Transportation Research Forum. – 2002. – Vol. 56, № 1. – P. 93–105.

128. Kraft, E. R. Priority-Based Classification for Improving Connection Reliability in Railroad Yards. Part II of II: Dynamic Block to Track Assignment / E. R. Kraft // Journal of the Transportation Research Forum. – 2002. – Vol. 56, № 1. – P. 107–119.

129. Kube, K. Modernization of Marshalling Yards in North America / K. Kube // Progressive Railroading. – 2002. – № 7. – P. 50–52.

130. Kutz, M. Handbook of transportation engineering / M. Kutz. – Boston : McGraw-Hill Professional, 2004. – 937 p.

131. Logan, P. Role of Yard or Terminal in Operating Performance and Capacity / P. Logan // Presented at 85th Annual Meeting of the Transportation Research Board. Washington, D.C., 2006.

132. Method for calculating the maximum number of railway cars in a cut [Электронный ресурс] / A. Klimov, A. Gunbin, D. Osipov, P. Burdyak // MATEC Web of Conf. X International Scientific and Technical Conference “Polytransport Systems”. – 2018. – Vol. 216, № 02011. – Режим доступа: https://www.matec-conferences.org/articles/matecconf/pdf/2018/75/matecconf_pts2018_02011.pdf. – Загл. с экрана.

133. Prokop, J. Design of Hump Profile in Railroad Classification Yard / J. Prokop, Sh. Myojin // Memoirs of the Faculty of Engineering. – Okayama : Okayama University, 1993. – Vol. 27, № 2. – P. 41–58.

134. Ribeill, G. Exploitation: du triage par gravite a l'attelage automatique (2de partie) / G. Ribeill // La Vie du Rail. – 2015. – № 3529. – P. 13–25.

135. Ytuarte, C. Getting Over the Hump / C. Ytuarte // Railway Age. – 2001. – № 10. – P. 29–30.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ «СКАТ-Отцеп»


 ГОСУДАРСТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
 РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ ОБРАЗОВАНИЯ
 ИНСТИТУТ НАУЧНОЙ И ПЕДАГОГИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ
 ОБЪЕДИНЕННЫЙ ФОНД ЭЛЕКТРОННЫХ РЕСУРСОВ "НАУКА И ОБРАЗОВАНИЕ"

**СВИДЕТЕЛЬСТВО О РЕГИСТРАЦИИ
 ЭЛЕКТРОННОГО РЕСУРСА**

№ 18663



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

**Программа имитационного моделирования скатывания отцепов из
 нескольких вагонов с сортировочной горки «СКАТ-Отцеп»**

Дата регистрации: 12 ноября 2012 года

Авторы: Климов А.А., Гунбин А.А.

Организация-разработчик: ФГБОУ ВПО Сибирский государственный
 университет путей сообщения

Директор ИНИПИ РАО,
 академик РАО, д.ю.н., проф.  В.Е. Усанов

Руководитель ОФЭРНиО, почетный
 работник науки и техники РФ  А.И. Галкина

Дата выдачи 12.11.2012



ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Статистические данные по реализуемой мощности тормозных позиций при скатывании многовагонных отцепов

Таблица Б.1 – Реализуемая мощность тормозных позиций при скатывании 1-го груженого отцепа из 27 вагонов на 36 путь

Характеристика замедлителя		ТП-0			
		Ступень торможения			
		1	2	3	4
Расчетная погашаемая энергетическая высота отцепов, м эн. в.		1,12			
Время прохождения отцепа по ТП, с		119			
Время работы замедлителя в заданном режиме, с		0,0	0,4	5,1	20,8
Работа замедлителя в заданном режиме, %		0,00	0,34	4,29	17,48
Использование мощности ТП		м эн. в.	0,23		
		%	20,86		
Характеристика замедлителя		ТП-1			
		Ступень торможения			
		1	2	3	4
Расчетная погашаемая энергетическая высота отцепов, м эн. в.		2,24			
Время прохождения отцепа по ТП, с		226			
Время работы замедлителя в заданном режиме, с		0,4	3,3	7,0	39,2
Работа замедлителя в заданном режиме, %		0,18	1,46	3,10	17,35
Использование мощности ТП		м эн. в.	0,46		
		%	20,44		
Характеристика замедлителя		ТП-2			
		Ступень торможения			
		1	2	3	4
Расчетная погашаемая энергетическая высота отцепов, м эн. в.		2,24			
Время прохождения отцепа по ТП, с		230,8			
Время работы замедлителя в заданном режиме, с		44,2	5,3	11,9	7,5
Работа замедлителя в заданном режиме, %		19,15	2,30	5,16	3,25
Использование мощности ТП		м эн. в.	0,29		
		%	13,05		
Характеристика замедлителя		ПТП			
		Ступень торможения			
		1	2	3	4
Расчетная погашаемая энергетическая высота отцепов, м эн. в.		1,08			
Время прохождения отцепа по ТП, с		154,1			
Время работы замедлителя в заданном режиме, с		9,7	53,9	19,2	15,7
Работа замедлителя в заданном режиме, %		6,29	34,98	12,46	10,19
Использование мощности ТП		м эн. в.	0,42		
		%	38,60		
Использование мощности всех ТП, %		20,97			

Таблица Б.2 – Реализуемая мощность тормозных позиций при скатывании 2-го груженого отцепа из 27 вагонов на 36 путь

Характеристика замедлителя		ТП-0			
		Ступень торможения			
		1	2	3	4
Расчетная погашаемая энергетическая высота отцепов, м эн. в.		1,12			
Время прохождения отцепа по ТП, с		174,8			
Время работы замедлителя в заданном режиме, с		1,3	17,6	19,6	26,7
Работа замедлителя в заданном режиме, %		0,74	10,07	11,21	15,27
Использование мощности ТП		м эн. в.	0,32		
		%	28,90		
Характеристика замедлителя		ТП-1			
		Ступень торможения			
		1	2	3	4
Расчетная погашаемая энергетическая высота отцепов, м эн. в.		2,24			
Время прохождения отцепа по ТП, с		350,6			
Время работы замедлителя в заданном режиме, с		12,5	0,1	17,4	0,0
Работа замедлителя в заданном режиме, %		3,57	0,03	4,96	0,00
Использование мощности ТП		м эн. в.	0,10		
		%	4,63		
Характеристика замедлителя		ТП-2			
		Ступень торможения			
		1	2	3	4
Расчетная погашаемая энергетическая высота отцепов, м эн. в.		2,24			
Время прохождения отцепа по ТП, с		330,4			
Время работы замедлителя в заданном режиме, с		68,1	0,0	0,0	0,0
Работа замедлителя в заданном режиме, %		20,61	0,00	0,00	0,00
Использование мощности ТП		м эн. в.	0,12		
		%	5,15		
Характеристика замедлителя		ПТП			
		Ступень торможения			
		1	2	3	4
Расчетная погашаемая энергетическая высота отцепов, м эн. в.		1,08			
Время прохождения отцепа по ТП, с		208			
Время работы замедлителя в заданном режиме, с		0,0	0,0	0,0	72,6
Работа замедлителя в заданном режиме, %		0,00	0,00	0,00	34,90
Использование мощности ТП		м эн. в.	0,38		
		%	34,90		
Использование мощности всех ТП, %		13,77			

Таблица Б.3 – Реализуемая мощность тормозных позиций при скатывании 3-го груженого отцепа из 27 вагонов на 36 путь

Характеристика замедлителя		ТП-0			
		Ступень торможения			
		1	2	3	4
Расчетная погашаемая энергетическая высота отцепов, м эн. в.		1,12			
Время прохождения отцепа по ТП, с		149			
Время работы замедлителя в заданном режиме, с		0,0	0,0	0,0	27,4
Работа замедлителя в заданном режиме, %		0,00	0,00	0,00	18,39
Использование мощности ТП		м эн. в.	0,21		
		%	18,39		
Характеристика замедлителя		ТП-1			
		Ступень торможения			
		1	2	3	4
Расчетная погашаемая энергетическая высота отцепов, м эн. в.		2,24			
Время прохождения отцепа по ТП, с		262,4			
Время работы замедлителя в заданном режиме, с		0,0	0,6	1,4	32,2
Работа замедлителя в заданном режиме, %		0,00	0,23	0,53	12,27
Использование мощности ТП		м эн. в.	0,29		
		%	12,79		
Характеристика замедлителя		ТП-2			
		Ступень торможения			
		1	2	3	4
Расчетная погашаемая энергетическая высота отцепов, м эн. в.		2,24			
Время прохождения отцепа по ТП, с		268			
Время работы замедлителя в заданном режиме, с		13,3	12,3	12,3	10,3
Работа замедлителя в заданном режиме, %		4,96	4,59	4,59	3,84
Использование мощности ТП		м эн. в.	0,24		
		%	10,82		
Характеристика замедлителя		ПТП			
		Ступень торможения			
		1	2	3	4
Расчетная погашаемая энергетическая высота отцепов, м эн. в.		1,08			
Время прохождения отцепа по ТП, с		227,4			
Время работы замедлителя в заданном режиме, с		0,0	0,0	0,0	72,1
Работа замедлителя в заданном режиме, %		0,00	0,00	0,00	31,71
Использование мощности ТП		м эн. в.	0,34		
		%	31,71		
Использование мощности всех ТП, %		16,13			

Таблица Б.4 – Реализуемая мощность тормозных позиций при скатывании 4-го груженого отцепа из 27 вагонов на 36 путь

Характеристика замедлителя		ТП-0			
		Ступень торможения			
		1	2	3	4
Расчетная погашаемая энергетическая высота отцепов, м эн. в.		1,12			
Время прохождения отцепа по ТП, с		135,4			
Время работы замедлителя в заданном режиме, с		0,0	0,0	0,9	13,7
Работа замедлителя в заданном режиме, %		0,00	0,00	0,66	10,12
Использование мощности ТП		м эн. в.	0,12		
		%	10,62		
Характеристика замедлителя		ТП-1			
		Ступень торможения			
		1	2	3	4
Расчетная погашаемая энергетическая высота отцепов, м эн. в.		2,24			
Время прохождения отцепа по ТП, с		268,6			
Время работы замедлителя в заданном режиме, с		13,7	5,3	15,2	7,3
Работа замедлителя в заданном режиме, %		5,10	1,97	5,66	2,72
Использование мощности ТП		м эн. в.	0,21		
		%	9,22		
Характеристика замедлителя		ТП-2			
		Ступень торможения			
		1	2	3	4
Расчетная погашаемая энергетическая высота отцепов, м эн. в.		2,24			
Время прохождения отцепа по ТП, с		263,4			
Время работы замедлителя в заданном режиме, с		0,0	0,8	4,6	49,3
Работа замедлителя в заданном режиме, %		0,00	0,30	1,75	18,72
Использование мощности ТП		м эн. в.	0,45		
		%	20,18		
Характеристика замедлителя		ПТП			
		Ступень торможения			
		1	2	3	4
Расчетная погашаемая энергетическая высота отцепов, м эн. в.		1,08			
Время прохождения отцепа по ТП, с		200,4			
Время работы замедлителя в заданном режиме, с		0,0	0,0	1,5	74,4
Работа замедлителя в заданном режиме, %		0,00	0,00	0,75	37,13
Использование мощности ТП		м эн. в.	0,41		
		%	37,69		
Использование мощности всех ТП, %		17,73			

Таблица Б.5 – Реализуемая мощность тормозных позиций при скатывании 5-го груженого отцепа из 27 вагонов на 36 путь

Характеристика замедлителя		ТП-0			
		Ступень торможения			
		1	2	3	4
Расчетная погашаемая энергетическая высота отцепов, м эн. в.		1,12			
Время прохождения отцепа по ТП, с		162,1			
Время работы замедлителя в заданном режиме, с		0,0	0,0	2,3	41,0
Работа замедлителя в заданном режиме, %		0,00	0,00	1,42	25,29
Использование мощности ТП		м эн. в.	0,30		
		%	26,36		
Характеристика замедлителя		ТП-I			
		Ступень торможения			
		1	2	3	4
Расчетная погашаемая энергетическая высота отцепов, м эн. в.		2,24			
Время прохождения отцепа по ТП, с		309,6			
Время работы замедлителя в заданном режиме, с		11,4	12,5	7,7	16,0
Работа замедлителя в заданном режиме, %		3,68	4,04	2,49	5,17
Использование мощности ТП		м эн. в.	0,22		
		%	9,97		
Характеристика замедлителя		ТП-II			
		Ступень торможения			
		1	2	3	4
Расчетная погашаемая энергетическая высота отцепов, м эн. в.		2,24			
Время прохождения отцепа по ТП, с		304			
Время работы замедлителя в заданном режиме, с		55,9	5,2	5,2	9,2
Работа замедлителя в заданном режиме, %		18,39	1,71	1,71	3,03
Использование мощности ТП		м эн. в.	0,22		
		%	9,76		
Характеристика замедлителя		ПТП			
		Ступень торможения			
		1	2	3	4
Расчетная погашаемая энергетическая высота отцепов, м эн. в.		1,08			
Время прохождения отцепа по ТП, с		203,7			
Время работы замедлителя в заданном режиме, с		0,0	0,0	0,5	69,3
Работа замедлителя в заданном режиме, %		0,00	0,00	0,25	34,02
Использование мощности ТП		м эн. в.	0,37		
		%	34,20		
Использование мощности всех ТП, %		16,57			

Таблица Б.6 – Реализуемая мощность тормозных позиций при скатывании 6-го груженого отцепа из 27 вагонов на 36 путь

Характеристика замедлителя		ТП-0			
		Ступень торможения			
		1	2	3	4
Расчетная погашаемая энергетическая высота отцепов, м эн. в.		1,12			
Время прохождения отцепа по ТП, с		147			
Время работы замедлителя в заданном режиме, с		0,0	0,0	0,0	47,9
Работа замедлителя в заданном режиме, %		0,00	0,00	0,00	32,59
Использование мощности ТП		м эн. в.	0,36		
		%	32,59		
Характеристика замедлителя		ТП-1			
		Ступень торможения			
		1	2	3	4
Расчетная погашаемая энергетическая высота отцепов, м эн. в.		2,24			
Время прохождения отцепа по ТП, с		306,4			
Время работы замедлителя в заданном режиме, с		0,0	0,0	0,1	33,9
Работа замедлителя в заданном режиме, %		0,00	0,00	0,03	11,06
Использование мощности ТП		м эн. в.	0,25		
		%	11,09		
Характеристика замедлителя		ТП-2			
		Ступень торможения			
		1	2	3	4
Расчетная погашаемая энергетическая высота отцепов, м эн. в.		2,24			
Время прохождения отцепа по ТП, с		320,2			
Время работы замедлителя в заданном режиме, с		50,3	17	0,0	0,4
Работа замедлителя в заданном режиме, %		15,71	5,31	0,00	0,12
Использование мощности ТП		м эн. в.	0,15		
		%	6,71		
Характеристика замедлителя		ПТП			
		Ступень торможения			
		1	2	3	4
Расчетная погашаемая энергетическая высота отцепов, м эн. в.		1,08			
Время прохождения отцепа по ТП, с		204			
Время работы замедлителя в заданном режиме, с		0,0	0,0	0,0	57,1
Работа замедлителя в заданном режиме, %		0,00	0,00	0,00	27,99
Использование мощности ТП		м эн. в.	0,30		
		%	27,99		
Использование мощности всех ТП, %		15,96			

Таблица Б.7 – Реализуемая мощность тормозных позиций при скатывании 7-го груженого отцепа из 27 вагонов на 36 путь

Характеристика замедлителя		ТП-0			
		Ступень торможения			
		1	2	3	4
Расчетная погашаемая энергетическая высота отцепов, м эн. в.		1,12			
Время прохождения отцепа по ТП, с		149,2			
Время работы замедлителя в заданном режиме, с		2,3	11,6	0,2	3,3
Работа замедлителя в заданном режиме, %		1,54	7,77	0,13	2,21
Использование мощности ТП		м эн. в.	0,07		
		%	6,59		
Характеристика замедлителя		ТП-1			
		Ступень торможения			
		1	2	3	4
Расчетная погашаемая энергетическая высота отцепов, м эн. в.		2,24			
Время прохождения отцепа по ТП, с		292,6			
Время работы замедлителя в заданном режиме, с		6,2	1,4	2,4	40,2
Работа замедлителя в заданном режиме, %		2,12	0,48	0,82	13,74
Использование мощности ТП		м эн. в.	0,34		
		%	15,12		
Характеристика замедлителя		ТП-2			
		Ступень торможения			
		1	2	3	4
Расчетная погашаемая энергетическая высота отцепов, м эн. в.		2,24			
Время прохождения отцепа по ТП, с		290,4			
Время работы замедлителя в заданном режиме, с		25,4	5,2	5,7	6,2
Работа замедлителя в заданном режиме, %		8,75	1,79	1,96	2,13
Использование мощности ТП		м эн. в.	0,15		
		%	6,69		
Характеристика замедлителя		ПТП			
		Ступень торможения			
		1	2	3	4
Расчетная погашаемая энергетическая высота отцепов, м эн. в.		1,08			
Время прохождения отцепа по ТП, с		175,8			
Время работы замедлителя в заданном режиме, с		0,0	0,0	0,0	47,3
Работа замедлителя в заданном режиме, %		0,00	0,00	0,00	26,91
Использование мощности ТП		м эн. в.	0,29		
		%	26,91		
Использование мощности всех ТП, %		12,77			

Таблица Б.8 – Реализуемая мощность тормозных позиций при скатывании 8-го груженого отцепа из 27 вагонов на 36 путь

Характеристика замедлителя		ТП-0			
		Ступень торможения			
		1	2	3	4
Расчетная погашаемая энергетическая высота отцепов, м эн. в.		1,12			
Время прохождения отцепа по ТП, с		114,9			
Время работы замедлителя в заданном режиме, с		0,0	0,0	0,3	15,1
Работа замедлителя в заданном режиме, %		0,00	0,00	0,26	13,14
Использование мощности ТП		м эн. в.	0,15		
		%	13,34		
Характеристика замедлителя		ТП-1			
		Ступень торможения			
		1	2	3	4
Расчетная погашаемая энергетическая высота отцепов, м эн. в.		2,24			
Время прохождения отцепа по ТП, с		233,8			
Время работы замедлителя в заданном режиме, с		0,0	1,8	8,0	35,7
Работа замедлителя в заданном режиме, %		0,00	0,77	3,42	15,27
Использование мощности ТП		м эн. в.	0,41		
		%	18,22		
Характеристика замедлителя		ТП-2			
		Ступень торможения			
		1	2	3	4
Расчетная погашаемая энергетическая высота отцепов, м эн. в.		2,24			
Время прохождения отцепа по ТП, с		243			
Время работы замедлителя в заданном режиме, с		17,8	1,4	5,9	6,4
Работа замедлителя в заданном режиме, %		7,33	0,58	2,43	2,63
Использование мощности ТП		м эн. в.	0,15		
		%	6,57		
Характеристика замедлителя		ПТП			
		Ступень торможения			
		1	2	3	4
Расчетная погашаемая энергетическая высота отцепов, м эн. в.		1,08			
Время прохождения отцепа по ТП, с		205			
Время работы замедлителя в заданном режиме, с		0,0	0,0	2,4	69,8
Работа замедлителя в заданном режиме, %		0,00	0,00	1,17	34,05
Использование мощности ТП		м эн. в.	0,38		
		%	34,93		
Использование мощности всех ТП, %		16,20			

Таблица Б.9 – Реализуемая мощность тормозных позиций при скатывании 9-го груженого отцепа из 27 вагонов на 36 путь

Характеристика замедлителя		ТП-0			
		Ступень торможения			
		1	2	3	4
Расчетная погашаемая энергетическая высота отцепов, м эн. в.		1,12			
Время прохождения отцепа по ТП, с		179,9			
Время работы замедлителя в заданном режиме, с		0,0	1,0	3,2	68,0
Работа замедлителя в заданном режиме, %		0,00	0,56	1,78	37,80
Использование мощности ТП		м эн. в.	0,44		
		%	39,41		
Характеристика замедлителя		ТП-1			
		Ступень торможения			
		1	2	3	4
Расчетная погашаемая энергетическая высота отцепов, м эн. в.		2,24			
Время прохождения отцепа по ТП, с		374,6			
Время работы замедлителя в заданном режиме, с		2,6	0,0	0,0	39
Работа замедлителя в заданном режиме, %		0,69	0,00	0,00	10,41
Использование мощности ТП		м эн. в.	0,24		
		%	10,58		
Характеристика замедлителя		ТП-2			
		Ступень торможения			
		1	2	3	4
Расчетная погашаемая энергетическая высота отцепов, м эн. в.		2,24			
Время прохождения отцепа по ТП, с		369,2			
Время работы замедлителя в заданном режиме, с		59	10,2	3,3	7,4
Работа замедлителя в заданном режиме, %		15,98	2,76	0,89	2,00
Использование мощности ТП		м эн. в.	0,18		
		%	8,05		
Характеристика замедлителя		ПТП			
		Ступень торможения			
		1	2	3	4
Расчетная погашаемая энергетическая высота отцепов, м эн. в.		1,08			
Время прохождения отцепа по ТП, с		249,2			
Время работы замедлителя в заданном режиме, с		0,0	0,0	0,0	59,2
Работа замедлителя в заданном режиме, %		0,00	0,00	0,00	23,76
Использование мощности ТП		м эн. в.	0,26		
		%	23,76		
Использование мощности всех ТП, %		16,70			

Таблица Б.10 – Реализуемая мощность тормозных позиций при скатывании 10-го груженого отцепа из 27 вагонов на 36 путь

Характеристика замедлителя		ТП-0			
		Ступень торможения			
		1	2	3	4
Расчетная погашаемая энергетическая высота отцепов, м эн. в.		1,12			
Время прохождения отцепа по ТП, с		183			
Время работы замедлителя в заданном режиме, с		0,1	0,0	0,0	70,5
Работа замедлителя в заданном режиме, %		0,05	0,00	0,00	38,52
Использование мощности ТП		м эн. в.	0,43		
		%	38,54		
Характеристика замедлителя		ТП-I			
		Ступень торможения			
		1	2	3	4
Расчетная погашаемая энергетическая высота отцепов, м эн. в.		2,24			
Время прохождения отцепа по ТП, с		346			
Время работы замедлителя в заданном режиме, с		2,3	2,2	0,0	58,9
Работа замедлителя в заданном режиме, %		0,66	0,64	0,00	17,02
Использование мощности ТП		м эн. в.	0,39		
		%	17,51		
Характеристика замедлителя		ТП-II			
		Ступень торможения			
		1	2	3	4
Расчетная погашаемая энергетическая высота отцепов, м эн. в.		2,24			
Время прохождения отцепа по ТП, с		346			
Время работы замедлителя в заданном режиме, с		79,5	12,7	3,3	2,2
Работа замедлителя в заданном режиме, %		22,98	3,67	0,95	0,64
Использование мощности ТП		м эн. в.	0,20		
		%	8,93		
Характеристика замедлителя		ПТП			
		Ступень торможения			
		1	2	3	4
Расчетная погашаемая энергетическая высота отцепов, м эн. в.		1,08			
Время прохождения отцепа по ТП, с		227,2			
Время работы замедлителя в заданном режиме, с		0,0	0,0	0,0	50,2
Работа замедлителя в заданном режиме, %		0,00	0,00	0,00	22,10
Использование мощности ТП		м эн. в.	0,24		
		%	22,10		
Использование мощности всех ТП, %		18,90			

Таблица Б.11 – Реализуемая мощность тормозных позиций при скатывании 11-го груженого отцепа из 27 вагонов на 36 путь

Характеристика замедлителя		ТП-0			
		Ступень торможения			
		1	2	3	4
Расчетная погашаемая энергетическая высота отцепов, м эн. в.		1,12			
Время прохождения отцепа по ТП, с		135			
Время работы замедлителя в заданном режиме, с		0,3	0,6	1,0	19,6
Работа замедлителя в заданном режиме, %		0,22	0,44	0,74	14,52
Использование мощности ТП		м эн. в.	0,17		
		%	15,35		
Характеристика замедлителя		ТП-1			
		Ступень торможения			
		1	2	3	4
Расчетная погашаемая энергетическая высота отцепов, м эн. в.		2,24			
Время прохождения отцепа по ТП, с		272,4			
Время работы замедлителя в заданном режиме, с		4,7	9,9	7,0	42,9
Работа замедлителя в заданном режиме, %		1,73	3,63	2,57	15,75
Использование мощности ТП		м эн. в.	0,45		
		%	19,92		
Характеристика замедлителя		ТП-2			
		Ступень торможения			
		1	2	3	4
Расчетная погашаемая энергетическая высота отцепов, м эн. в.		2,24			
Время прохождения отцепа по ТП, с		280			
Время работы замедлителя в заданном режиме, с		26,3	5,3	5,3	4,2
Работа замедлителя в заданном режиме, %		9,39	1,89	1,89	1,50
Использование мощности ТП		м эн. в.	0,14		
		%	6,21		
Характеристика замедлителя		ПТП			
		Ступень торможения			
		1	2	3	4
Расчетная погашаемая энергетическая высота отцепов, м эн. в.		1,08			
Время прохождения отцепа по ТП, с		194,1			
Время работы замедлителя в заданном режиме, с		0,0	0,0	0,0	70,2
Работа замедлителя в заданном режиме, %		0,00	0,00	0,00	36,17
Использование мощности ТП		м эн. в.	0,39		
		%	36,17		
Использование мощности всех ТП, %		17,19			

Таблица Б.12 – Реализуемая мощность тормозных позиций при скатывании 12-го груженого отцепа из 27 вагонов на 36 путь

Характеристика замедлителя		ТП-0			
		Ступень торможения			
		1	2	3	4
Расчетная погашаемая энергетическая высота отцепов, м эн. в.		1,12			
Время прохождения отцепа по ТП, с		169,5			
Время работы замедлителя в заданном режиме, с		0,8	0,3	26	35,2
Работа замедлителя в заданном режиме, %		0,47	0,18	15,34	20,77
Использование мощности ТП		м эн. в.	0,36		
		%	32,48		
Характеристика замедлителя		ТП-1			
		Ступень торможения			
		1	2	3	4
Расчетная погашаемая энергетическая высота отцепов, м эн. в.		2,24			
Время прохождения отцепа по ТП, с		348,2			
Время работы замедлителя в заданном режиме, с		22,8	26,3	16,2	0,0
Работа замедлителя в заданном режиме, %		6,55	7,55	4,65	0,00
Использование мощности ТП		м эн. в.	0,20		
		%	8,90		
Характеристика замедлителя		ТП-2			
		Ступень торможения			
		1	2	3	4
Расчетная погашаемая энергетическая высота отцепов, м эн. в.		2,24			
Время прохождения отцепа по ТП, с		359			
Время работы замедлителя в заданном режиме, с		103,1	0,0	0,0	0,0
Работа замедлителя в заданном режиме, %		28,72	0,00	0,00	0,00
Использование мощности ТП		м эн. в.	0,16		
		%	7,18		
Характеристика замедлителя		ПТП			
		Ступень торможения			
		1	2	3	4
Расчетная погашаемая энергетическая высота отцепов, м эн. в.		1,08			
Время прохождения отцепа по ТП, с		263,7			
Время работы замедлителя в заданном режиме, с		0,0	0,0	0,0	63,7
Работа замедлителя в заданном режиме, %		0,00	0,00	0,00	24,16
Использование мощности ТП		м эн. в.	0,26		
		%	24,16		
Использование мощности всех ТП, %		14,74			

Таблица Б.13 – Реализуемая мощность тормозных позиций при скатывании 13-го груженого отцепа из 27 вагонов на 36 путь

Характеристика замедлителя		ТП-0			
		Ступень торможения			
		1	2	3	4
Расчетная погашаемая энергетическая высота отцепов, м эн. в.		1,12			
Время прохождения отцепа по ТП, с		143,1			
Время работы замедлителя в заданном режиме, с		0,0	4,9	4,9	37,5
Работа замедлителя в заданном режиме, %		0,00	3,42	3,42	26,21
Использование мощности ТП		м эн. в.	0,34		
		%	30,49		
Характеристика замедлителя		ТП-1			
		Ступень торможения			
		1	2	3	4
Расчетная погашаемая энергетическая высота отцепов, м эн. в.		2,24			
Время прохождения отцепа по ТП, с		264,8			
Время работы замедлителя в заданном режиме, с		10,6	9,0	7,9	34,0
Работа замедлителя в заданном режиме, %		4,00	3,40	2,98	12,84
Использование мощности ТП		м эн. в.	0,40		
		%	17,78		
Характеристика замедлителя		ТП-2			
		Ступень торможения			
		1	2	3	4
Расчетная погашаемая энергетическая высота отцепов, м эн. в.		2,24			
Время прохождения отцепа по ТП, с		281			
Время работы замедлителя в заданном режиме, с		37,4	4,9	9,3	37,8
Работа замедлителя в заданном режиме, %		13,31	1,74	3,31	13,45
Использование мощности ТП		м эн. в.	0,45		
		%	20,13		
Характеристика замедлителя		ПТП			
		Ступень торможения			
		1	2	3	4
Расчетная погашаемая энергетическая высота отцепов, м эн. в.		1,08			
Время прохождения отцепа по ТП, с		220,8			
Время работы замедлителя в заданном режиме, с		0,0	0,0	0,0	22
Работа замедлителя в заданном режиме, %		0,00	0,00	0,00	9,96
Использование мощности ТП		м эн. в.	0,11		
		%	9,96		
Использование мощности всех ТП, %		19,43			

Таблица Б.14 – Реализуемая мощность тормозных позиций при скатывании 14-го груженого отцепа из 27 вагонов на 36 путь

Характеристика замедлителя		ТП-0			
		Ступень торможения			
		1	2	3	4
Расчетная погашаемая энергетическая высота отцепов, м эн. в.		1,12			
Время прохождения отцепа по ТП, с		131,6			
Время работы замедлителя в заданном режиме, с		0,0	0,0	0,0	25,8
Работа замедлителя в заданном режиме, %		0,00	0,00	0,00	19,60
Использование мощности ТП		м эн. в.	0,22		
		%	19,60		
Характеристика замедлителя		ТП-1			
		Ступень торможения			
		1	2	3	4
Расчетная погашаемая энергетическая высота отцепов, м эн. в.		2,24			
Время прохождения отцепа по ТП, с		316			
Время работы замедлителя в заданном режиме, с		0,8	0,3	1,3	76
Работа замедлителя в заданном режиме, %		0,25	0,09	0,41	24,05
Использование мощности ТП		м эн. в.	0,55		
		%	24,47		
Характеристика замедлителя		ТП-2			
		Ступень торможения			
		1	2	3	4
Расчетная погашаемая энергетическая высота отцепов, м эн. в.		2,24			
Время прохождения отцепа по ТП, с		326			
Время работы замедлителя в заданном режиме, с		7,7	0,0	0,0	44,7
Работа замедлителя в заданном режиме, %		2,36	0,00	0,00	13,71
Использование мощности ТП		м эн. в.	0,32		
		%	14,30		
Характеристика замедлителя		ПТП			
		Ступень торможения			
		1	2	3	4
Расчетная погашаемая энергетическая высота отцепов, м эн. в.		1,08			
Время прохождения отцепа по ТП, с		226,4			
Время работы замедлителя в заданном режиме, с		0,0	5,9	16,8	41,5
Работа замедлителя в заданном режиме, %		0,00	2,61	7,42	18,33
Использование мощности ТП		м эн. в.	0,27		
		%	25,20		
Использование мощности всех ТП, %		20,36			

Таблица Б.15 – Реализуемая мощность тормозных позиций при скатывании 15-го груженого отцепа из 27 вагонов на 36 путь

Характеристика замедлителя		ТП-0			
		Ступень торможения			
		1	2	3	4
Расчетная погашаемая энергетическая высота отцепов, м эн. в.		1,12			
Время прохождения отцепа по ТП, с		136,1			
Время работы замедлителя в заданном режиме, с		0,0	0,1	0,6	23,1
Работа замедлителя в заданном режиме, %		0,00	0,07	0,44	16,97
Использование мощности ТП		м эн. в.	0,19		
		%	17,34		
Характеристика замедлителя		ТП-1			
		Ступень торможения			
		1	2	3	4
Расчетная погашаемая энергетическая высота отцепов, м эн. в.		2,24			
Время прохождения отцепа по ТП, с		262,5			
Время работы замедлителя в заданном режиме, с		0,0	1,6	1,2	54
Работа замедлителя в заданном режиме, %		0,00	0,61	0,46	20,57
Использование мощности ТП		м эн. в.	0,48		
		%	21,22		
Характеристика замедлителя		ТП-2			
		Ступень торможения			
		1	2	3	4
Расчетная погашаемая энергетическая высота отцепов, м эн. в.		2,24			
Время прохождения отцепа по ТП, с		263,6			
Время работы замедлителя в заданном режиме, с		42,2	0,1	9,7	12,8
Работа замедлителя в заданном режиме, %		16,01	0,04	3,68	4,86
Использование мощности ТП		м эн. в.	0,26		
		%	11,64		
Характеристика замедлителя		ПТП			
		Ступень торможения			
		1	2	3	4
Расчетная погашаемая энергетическая высота отцепов, м эн. в.		1,08			
Время прохождения отцепа по ТП, с		213			
Время работы замедлителя в заданном режиме, с		0,0	0,0	0,0	58,4
Работа замедлителя в заданном режиме, %		0,00	0,00	0,00	27,42
Использование мощности ТП		м эн. в.	0,30		
		%	27,42		
Использование мощности всех ТП, %		18,36			

ПРИЛОЖЕНИЕ В

**Свидетельство о регистрации алгоритма
«Автоматизированный анализ структуры вагонного парка»**


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**

№ 22008

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

**Алгоритм
«Автоматизированный анализ структуры вагонного парка»**

Дата регистрации: 14 июля 2016 года
Автор: Гунбин А.А.



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

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



ПРИЛОЖЕНИЕ Г

Результаты проверки конфигураций горба сортировочной горки по допустимой скорости входа и достаточности мощности тормозных позиций

Таблица Г.1 – Скорость входа на тормозные позиции и время скатывания отцепа из одного вагона, $v_{op} = 1,0$ м/с

Параметры эксперимента	ТП-0	ТП-I	ТП-II	Параметры эксперимента	ТП-0	ТП-I	ТП-II
Вариант конфигурации 1				Вариант конфигурации 10			
v_{BX}	4,70	6,80	8,07	v_{BX}	5,14	7,03	8,16
$t_{СП}$	18,21	29,73	43,05	$t_{СП}$	17,11	28,05	41,14
Вариант конфигурации 2				Вариант конфигурации 11			
v_{BX}	4,77	6,84	8,09	v_{BX}	5,17	7,04	8,17
$t_{СП}$	18,05	29,48	42,76	$t_{СП}$	17,01	27,92	40,99
Вариант конфигурации 3				Вариант конфигурации 12			
v_{BX}	4,82	6,87	8,10	v_{BX}	5,20	7,06	8,17
$t_{СП}$	17,91	29,26	42,51	$t_{СП}$	16,94	27,81	40,86
Вариант конфигурации 4				Вариант конфигурации 13			
v_{BX}	4,88	6,90	8,11	v_{BX}	5,23	7,07	8,18
$t_{СП}$	17,76	29,03	42,26	$t_{СП}$	16,86	27,70	40,74
Вариант конфигурации 5				Вариант конфигурации 14			
v_{BX}	4,93	6,92	8,12	v_{BX}	5,25	7,09	8,18
$t_{СП}$	17,63	28,84	42,03	$t_{СП}$	16,80	27,60	40,62
Вариант конфигурации 6				Вариант конфигурации 15			
v_{BX}	4,98	6,95	8,13	v_{BX}	5,27	7,10	8,19
$t_{СП}$	17,51	28,66	41,83	$t_{СП}$	16,74	27,51	40,53
Вариант конфигурации 7				Вариант конфигурации 16			
v_{BX}	5,03	6,97	8,14	v_{BX}	5,30	7,11	8,19
$t_{СП}$	17,39	28,48	41,63	$t_{СП}$	16,67	27,42	40,42
Вариант конфигурации 8				Вариант конфигурации 17			
v_{BX}	5,07	6,99	8,15	v_{BX}	5,31	7,12	8,19
$t_{СП}$	17,30	28,33	41,46	$t_{СП}$	16,62	27,34	40,33
Вариант конфигурации 9				Вариант конфигурации 18			
v_{BX}	5,11	7,01	8,16	v_{BX}	5,33	7,13	8,20
$t_{СП}$	17,19	28,18	41,29	$t_{СП}$	16,56	27,25	40,24

Таблица Г.2 – Скорость входа на тормозные позиции и время скатывания отцепа из одного вагона, $v_{op} = 1,2$ м/с

Параметры эксперимента	ТП-0	ТП-I	ТП-II	Параметры эксперимента	ТП-0	ТП-I	ТП-II
Вариант конфигурации 1				Вариант конфигурации 10			
v_{BX}	4,75	6,83	8,10	v_{BX}	5,19	7,06	8,19
$t_{СП}$	17,07	28,51	41,79	$t_{СП}$	16,05	26,93	39,98
Вариант конфигурации 2				Вариант конфигурации 11			

Продолжение таблицы Г.2

Параметры эксперимента	ТП-0	ТП-I	ТП-II	Параметры эксперимента	ТП-0	ТП-I	ТП-II
v_{BX}	4,81	6,87	8,11	v_{BX}	5,22	7,07	8,19
$t_{СП}$	16,92	28,28	41,52	$t_{СП}$	15,96	26,81	39,84
Вариант конфигурации 3				Вариант конфигурации 12			
v_{BX}	4,87	6,90	8,12	v_{BX}	5,24	7,09	8,20
$t_{СП}$	16,79	28,07	41,27	$t_{СП}$	15,89	26,70	39,71
Вариант конфигурации 4				Вариант конфигурации 13			
v_{BX}	4,92	6,93	8,14	v_{BX}	5,27	7,10	8,20
$t_{СП}$	16,66	27,86	41,04	$t_{СП}$	15,82	26,60	39,59
Вариант конфигурации 5				Вариант конфигурации 14			
v_{BX}	4,98	6,95	8,15	v_{BX}	5,29	7,11	8,21
$t_{СП}$	16,54	27,68	40,83	$t_{СП}$	15,76	26,50	39,48
Вариант конфигурации 6				Вариант конфигурации 15			
v_{BX}	5,03	6,98	8,16	v_{BX}	5,32	7,13	8,21
$t_{СП}$	16,43	27,50	40,63	$t_{СП}$	15,71	26,42	39,39
Вариант конфигурации 7				Вариант конфигурации 16			
v_{BX}	5,07	7,00	8,17	v_{BX}	5,34	7,14	8,21
$t_{СП}$	16,32	27,34	40,44	$t_{СП}$	15,64	26,33	39,29
Вариант конфигурации 8				Вариант конфигурации 17			
v_{BX}	5,12	7,02	8,17	v_{BX}	5,35	7,15	8,22
$t_{СП}$	16,23	27,20	40,28	$t_{СП}$	15,59	26,25	39,20
Вариант конфигурации 9				Вариант конфигурации 18			
v_{BX}	5,15	7,04	8,18	v_{BX}	5,37	7,16	8,22
$t_{СП}$	16,13	27,06	40,12	$t_{СП}$	15,54	26,17	39,11

Таблица Г.3 – Скорость входа на тормозные позиции и время скатывания отцепа из одного вагона, $v_{op} = 1,4$ м/с

Параметры эксперимента	ТП-0	ТП-I	ТП-II	Параметры эксперимента	ТП-0	ТП-I	ТП-II
Вариант конфигурации 1				Вариант конфигурации 10			
v_{BX}	4,80	6,87	8,12	v_{BX}	5,24	7,09	8,21
$t_{СП}$	16,08	27,44	40,66	$t_{СП}$	15,14	25,96	38,95
Вариант конфигурации 2				Вариант конфигурации 11			
v_{BX}	4,86	6,90	8,14	v_{BX}	5,26	7,11	8,22
$t_{СП}$	15,95	27,22	40,41	$t_{СП}$	15,07	25,84	38,82
Вариант конфигурации 3				Вариант конфигурации 12			
v_{BX}	4,92	6,93	8,15	v_{BX}	5,29	7,12	8,22
$t_{СП}$	15,83	27,02	40,18	$t_{СП}$	15,00	25,74	38,70
Вариант конфигурации 4				Вариант конфигурации 13			
v_{BX}	4,98	6,96	8,16	v_{BX}	5,32	7,14	8,23
$t_{СП}$	15,70	26,83	39,95	$t_{СП}$	14,93	25,64	38,58
Вариант конфигурации 5				Вариант конфигурации 14			
v_{BX}	5,03	6,99	8,17	v_{BX}	5,34	7,15	8,23
$t_{СП}$	15,60	26,66	39,75	$t_{СП}$	14,87	25,55	38,48
Вариант конфигурации 6				Вариант конфигурации 15			
v_{BX}	5,08	7,01	8,18	v_{BX}	5,36	7,16	8,24

Продолжение таблицы Г.3

Параметры эксперимента	ТП-0	ТП-I	ТП-II	Параметры эксперимента	ТП-0	ТП-I	ТП-II
$t_{\text{сп}}$	15,49	26,50	39,57	$t_{\text{сп}}$	14,82	25,47	38,39
Вариант конфигурации 7				Вариант конфигурации 16			
$v_{\text{вх}}$	5,12	7,03	8,19	$v_{\text{вх}}$	5,38	7,17	8,24
$t_{\text{сп}}$	15,39	26,34	39,39	$t_{\text{сп}}$	14,77	25,38	38,29
Вариант конфигурации 8				Вариант конфигурации 17			
$v_{\text{вх}}$	5,17	7,06	8,20	$v_{\text{вх}}$	5,40	7,18	8,24
$t_{\text{сп}}$	15,31	26,21	39,24	$t_{\text{сп}}$	14,72	25,31	38,21
Вариант конфигурации 9				Вариант конфигурации 18			
$v_{\text{вх}}$	5,20	7,07	8,21	$v_{\text{вх}}$	5,42	7,19	8,25
$t_{\text{сп}}$	15,22	26,08	39,09	$t_{\text{сп}}$	14,67	25,23	38,12

Таблица Г.4 – Скорость входа на тормозные позиции и время скатывания отцепа из одного вагона, $v_{\text{ор}} = 1,7$ м/с

Параметры эксперимента	ТП-0	ТП-I	ТП-II	Параметры эксперимента	ТП-0	ТП-I	ТП-II
Вариант конфигурации 1				Вариант конфигурации 10			
$v_{\text{вх}}$	4,90	6,93	8,17	$v_{\text{вх}}$	5,32	7,15	8,26
$t_{\text{сп}}$	14,82	26,03	39,15	$t_{\text{сп}}$	13,99	24,68	37,58
Вариант конфигурации 2				Вариант конфигурации 11			
$v_{\text{вх}}$	4,96	6,96	8,19	$v_{\text{вх}}$	5,35	7,17	8,27
$t_{\text{сп}}$	14,70	25,83	38,92	$t_{\text{сп}}$	13,92	24,57	37,46
Вариант конфигурации 3				Вариант конфигурации 12			
$v_{\text{вх}}$	5,01	6,99	8,20	$v_{\text{вх}}$	5,38	7,18	8,27
$t_{\text{сп}}$	14,59	25,65	38,71	$t_{\text{сп}}$	13,86	24,48	37,35
Вариант конфигурации 4				Вариант конфигурации 13			
$v_{\text{вх}}$	5,07	7,02	8,21	$v_{\text{вх}}$	5,40	7,20	8,28
$t_{\text{сп}}$	14,49	25,48	38,51	$t_{\text{сп}}$	13,80	24,38	37,24
Вариант конфигурации 5				Вариант конфигурации 14			
$v_{\text{вх}}$	5,12	7,05	8,22	$v_{\text{вх}}$	5,42	7,21	8,28
$t_{\text{сп}}$	14,39	25,32	38,32	$t_{\text{сп}}$	13,75	24,30	37,14
Вариант конфигурации 6				Вариант конфигурации 15			
$v_{\text{вх}}$	5,17	7,07	8,23	$v_{\text{вх}}$	5,45	7,22	8,28
$t_{\text{сп}}$	14,30	25,17	38,15	$t_{\text{сп}}$	13,70	24,23	37,06
Вариант конфигурации 7				Вариант конфигурации 16			
$v_{\text{вх}}$	5,21	7,10	8,24	$v_{\text{вх}}$	5,47	7,23	8,29
$t_{\text{сп}}$	14,21	25,03	37,99	$t_{\text{сп}}$	13,65	24,15	36,97
Вариант конфигурации 8				Вариант конфигурации 17			
$v_{\text{вх}}$	5,25	7,12	8,25	$v_{\text{вх}}$	5,49	7,24	8,29
$t_{\text{сп}}$	14,14	24,91	37,84	$t_{\text{сп}}$	13,61	24,08	36,89
Вариант конфигурации 9				Вариант конфигурации 18			
$v_{\text{вх}}$	5,29	7,14	8,26	$v_{\text{вх}}$	5,50	7,25	8,30
$t_{\text{сп}}$	14,06	24,79	37,71	$t_{\text{сп}}$	13,56	24,01	36,81

Таблица Г.5 – Скорость входа на тормозные позиции и время скатывания отцепа из одного вагона, $v_{op} = 2,0$ м/с

Параметры эксперимента	ТП-0	ТП-I	ТП-II	Параметры эксперимента	ТП-0	ТП-I	ТП-II
Вариант конфигурации 1				Вариант конфигурации 10			
v_{BX}	5,01	7,00	8,23	v_{BX}	5,42	7,22	8,32
$t_{СП}$	13,74	24,79	37,80	$t_{СП}$	13,01	23,56	36,35
Вариант конфигурации 2				Вариант конфигурации 11			
v_{BX}	5,06	7,04	8,24	v_{BX}	5,45	7,24	8,32
$t_{СП}$	13,64	24,61	37,58	$t_{СП}$	12,95	23,46	36,24
Вариант конфигурации 3				Вариант конфигурации 12			
v_{BX}	5,12	7,07	8,26	v_{BX}	5,48	7,25	8,33
$t_{СП}$	13,54	24,44	37,39	$t_{СП}$	12,90	23,37	36,14
Вариант конфигурации 4				Вариант конфигурации 13			
v_{BX}	5,17	7,10	8,27	v_{BX}	5,50	7,27	8,33
$t_{СП}$	13,45	24,28	37,20	$t_{СП}$	12,85	23,29	36,04
Вариант конфигурации 5				Вариант конфигурации 14			
v_{BX}	5,22	7,12	8,28	v_{BX}	5,52	7,28	8,34
$t_{СП}$	13,37	24,14	37,04	$t_{СП}$	12,80	23,21	35,95
Вариант конфигурации 6				Вариант конфигурации 15			
v_{BX}	5,27	7,15	8,29	v_{BX}	5,55	7,29	8,34
$t_{СП}$	13,29	24,01	36,88	$t_{СП}$	12,76	23,14	35,87
Вариант конфигурации 7				Вариант конфигурации 16			
v_{BX}	5,31	7,17	8,30	v_{BX}	5,56	7,30	8,35
$t_{СП}$	13,21	23,88	36,73	$t_{СП}$	12,71	23,07	35,79
Вариант конфигурации 8				Вариант конфигурации 17			
v_{BX}	5,35	7,19	8,31	v_{BX}	5,58	7,31	8,35
$t_{СП}$	13,14	23,77	36,60	$t_{СП}$	12,67	23,01	35,72
Вариант конфигурации 9				Вариант конфигурации 18			
v_{BX}	5,39	7,21	8,31	v_{BX}	5,60	7,32	8,35
$t_{СП}$	13,08	23,66	36,47	$t_{СП}$	12,63	22,95	35,64

Таблица Г.6 – Скорость входа на тормозные позиции и время скатывания отцепа из одного вагона, $v_{op} = 2,22$ м/с

Параметры эксперимента	ТП-0	ТП-I	ТП-II	Параметры эксперимента	ТП-0	ТП-I	ТП-II
Вариант конфигурации 1				Вариант конфигурации 10			
v_{BX}	5,10	7,07	8,28	v_{BX}	5,51	7,28	8,37
$t_{СП}$	13,03	23,95	36,87	$t_{СП}$	12,38	22,80	35,51
Вариант конфигурации 2				Вариант конфигурации 11			
v_{BX}	5,15	7,10	8,29	v_{BX}	5,53	7,30	8,37
$t_{СП}$	12,94	23,78	36,67	$t_{СП}$	12,32	22,71	35,41
Вариант конфигурации 3				Вариант конфигурации 12			
v_{BX}	5,21	7,13	8,31	v_{BX}	5,56	7,31	8,38
$t_{СП}$	12,86	23,63	36,49	$t_{СП}$	12,27	22,63	35,31
Вариант конфигурации 4				Вариант конфигурации 13			
v_{BX}	5,26	7,16	8,32	v_{BX}	5,58	7,33	8,38
$t_{СП}$	12,77	23,48	36,31	$t_{СП}$	12,22	22,55	35,22

Продолжение таблицы Г.6

Параметры эксперимента	ТП-0	ТП-I	ТП-II	Параметры эксперимента	ТП-0	ТП-I	ТП-II
Вариант конфигурации 5				Вариант конфигурации 14			
v_{BX}	5,31	7,18	8,33	v_{BX}	5,61	7,34	8,39
$t_{СП}$	12,70	23,35	36,15	$t_{СП}$	12,18	22,48	35,13
Вариант конфигурации 6				Вариант конфигурации 15			
v_{BX}	5,36	7,21	8,34	v_{BX}	5,63	7,35	8,39
$t_{СП}$	12,63	23,22	36,01	$t_{СП}$	12,14	22,42	35,06
Вариант конфигурации 7				Вариант конфигурации 16			
v_{BX}	5,40	7,23	8,35	v_{BX}	5,65	7,36	8,39
$t_{СП}$	12,56	23,10	35,87	$t_{СП}$	12,10	22,35	34,98
Вариант конфигурации 8				Вариант конфигурации 17			
v_{BX}	5,44	7,25	8,36	v_{BX}	5,66	7,37	8,40
$t_{СП}$	12,49	23,00	35,74	$t_{СП}$	12,06	22,29	34,91
Вариант конфигурации 9				Вариант конфигурации 18			
v_{BX}	5,47	7,27	8,36	v_{BX}	5,68	7,38	8,40
$t_{СП}$	12,43	22,90	35,62	$t_{СП}$	12,02	22,23	34,84

Таблица Г.7 – Скорость входа на тормозные позиции и время скатывания из двух вагонов, $v_{op} = 0,8$ м/с

Параметры эксперимента	ТП-0	ТП-I	ТП-II	Параметры эксперимента	ТП-0	ТП-I	ТП-II
Вариант конфигурации 1				Вариант конфигурации 10			
v_{BX}	4,07	6,40	7,52	v_{BX}	4,54	6,62	7,60
$t_{СП}$	20,05	32,60	46,66	$t_{СП}$	19,49	31,29	45,10
Вариант конфигурации 2				Вариант конфигурации 11			
v_{BX}	4,13	6,43	7,53	v_{BX}	4,57	6,64	7,61
$t_{СП}$	20,00	32,44	46,46	$t_{СП}$	19,40	31,15	44,94
Вариант конфигурации 3				Вариант конфигурации 12			
v_{BX}	4,19	6,46	7,55	v_{BX}	4,61	6,66	7,61
$t_{СП}$	19,98	32,31	46,29	$t_{СП}$	19,29	30,99	44,76
Вариант конфигурации 4				Вариант конфигурации 13			
v_{BX}	4,24	6,49	7,56	v_{BX}	4,65	6,67	7,62
$t_{СП}$	19,95	32,18	46,13	$t_{СП}$	19,16	30,81	44,56
Вариант конфигурации 5				Вариант конфигурации 14			
v_{BX}	4,30	6,52	7,56	v_{BX}	4,68	6,68	7,62
$t_{СП}$	19,93	32,08	46,00	$t_{СП}$	19,03	30,63	44,37
Вариант конфигурации 6				Вариант конфигурации 15			
v_{BX}	4,35	6,54	7,57	v_{BX}	4,71	6,70	7,63
$t_{СП}$	19,92	31,98	45,88	$t_{СП}$	18,90	30,47	44,19
Вариант конфигурации 7				Вариант конфигурации 16			
v_{BX}	4,40	6,56	7,58	v_{BX}	4,74	6,71	7,63
$t_{СП}$	19,79	31,78	45,65	$t_{СП}$	18,80	30,33	44,03
Вариант конфигурации 8				Вариант конфигурации 17			
v_{BX}	4,45	6,58	7,59	v_{BX}	4,76	6,72	7,63
$t_{СП}$	19,69	31,61	45,45	$t_{СП}$	18,70	30,20	43,89
Вариант конфигурации 9				Вариант конфигурации 18			
v_{BX}	4,49	6,60	7,60	v_{BX}	4,79	6,73	7,64
$t_{СП}$	19,58	31,44	45,26	$t_{СП}$	18,60	30,07	43,75

Таблица Г.8 – Скорость входа на тормозные позиции и время скатывания из двух вагонов, $v_{op} = 1,0$ м/с

Параметры эксперимента	ТП-0	ТП-I	ТП-II	Параметры эксперимента	ТП-0	ТП-I	ТП-II
Вариант конфигурации 1				Вариант конфигурации 10			
v_{BX}	4,11	6,42	7,54	v_{BX}	4,57	6,65	7,62
$t_{cп}$	18,34	30,82	44,83	$t_{cп}$	17,87	29,61	43,37
Вариант конфигурации 2				Вариант конфигурации 11			
v_{BX}	4,17	6,45	7,55	v_{BX}	4,61	6,66	7,62
$t_{cп}$	18,30	30,66	44,64	$t_{cп}$	17,80	29,48	43,23
Вариант конфигурации 3				Вариант конфигурации 12			
v_{BX}	4,23	6,48	7,56	v_{BX}	4,65	6,68	7,63
$t_{cп}$	18,28	30,54	44,48	$t_{cп}$	17,71	29,34	43,07
Вариант конфигурации 4				Вариант конфигурации 13			
v_{BX}	4,28	6,51	7,57	v_{BX}	4,68	6,69	7,63
$t_{cп}$	18,25	30,41	44,33	$t_{cп}$	17,59	29,18	42,89
Вариант конфигурации 5				Вариант конфигурации 14			
v_{BX}	4,34	6,54	7,58	v_{BX}	4,71	6,71	7,64
$t_{cп}$	18,24	30,31	44,20	$t_{cп}$	17,48	29,03	42,73
Вариант конфигурации 6				Вариант конфигурации 15			
v_{BX}	4,39	6,56	7,59	v_{BX}	4,75	6,72	7,64
$t_{cп}$	18,22	30,22	44,07	$t_{cп}$	17,38	28,89	42,57
Вариант конфигурации 7				Вариант конфигурации 16			
v_{BX}	4,44	6,59	7,60	v_{BX}	4,77	6,73	7,65
$t_{cп}$	18,12	30,05	43,88	$t_{cп}$	17,29	28,76	42,43
Вариант конфигурации 8				Вариант конфигурации 17			
v_{BX}	4,49	6,61	7,61	v_{BX}	4,80	6,75	7,65
$t_{cп}$	18,03	29,89	43,70	$t_{cп}$	17,21	28,65	42,30
Вариант конфигурации 9				Вариант конфигурации 18			
v_{BX}	4,53	6,63	7,61	v_{BX}	4,82	6,76	7,65
$t_{cп}$	17,95	29,74	43,52	$t_{cп}$	17,12	28,53	42,17

Таблица Г.9 – Скорость входа на тормозные позиции и время скатывания из двух вагонов, $v_{op} = 1,2$ м/с

Параметры эксперимента	ТП-0	ТП-I	ТП-II	Параметры эксперимента	ТП-0	ТП-I	ТП-II
Вариант конфигурации 1				Вариант конфигурации 10			
v_{BX}	4,16	6,45	7,56	v_{BX}	4,62	6,68	7,64
$t_{cп}$	16,95	29,33	43,30	$t_{cп}$	16,55	28,22	41,93
Вариант конфигурации 2				Вариант конфигурации 11			
v_{BX}	4,22	6,48	7,57	v_{BX}	4,66	6,69	7,65
$t_{cп}$	16,92	29,19	43,12	$t_{cп}$	16,49	28,10	41,80
Вариант конфигурации 3				Вариант конфигурации 12			
v_{BX}	4,28	6,51	7,58	v_{BX}	4,69	6,71	7,65
$t_{cп}$	16,89	29,07	42,96	$t_{cп}$	16,41	27,97	41,66
Вариант конфигурации 4				Вариант конфигурации 13			
v_{BX}	4,33	6,54	7,59	v_{BX}	4,73	6,72	7,66
$t_{cп}$	16,87	28,95	42,81	$t_{cп}$	16,32	27,83	41,50
Вариант конфигурации 5				Вариант конфигурации 14			

Продолжение таблицы Г.9

Параметры эксперимента	ТП-0	ТП-I	ТП-II	Параметры эксперимента	ТП-0	ТП-I	ТП-II
v_{BX}	4,39	v_{BX}	4,39	v_{BX}	4,39	v_{BX}	4,39
$t_{СП}$	16,86	$t_{СП}$	16,86	$t_{СП}$	16,86	$t_{СП}$	16,86
Вариант конфигурации 6				Вариант конфигурации 15			
v_{BX}	4,44	6,59	7,61	v_{BX}	4,79	6,75	7,66
$t_{СП}$	16,85	28,76	42,57	$t_{СП}$	16,14	27,57	41,21
Вариант конфигурации 7				Вариант конфигурации 16			
v_{BX}	4,49	6,62	7,62	v_{BX}	4,82	6,76	7,67
$t_{СП}$	16,76	28,61	42,39	$t_{СП}$	16,06	27,46	41,08
Вариант конфигурации 8				Вариант конфигурации 17			
v_{BX}	4,54	6,64	7,63	v_{BX}	4,84	6,77	7,67
$t_{СП}$	16,69	28,47	42,23	$t_{СП}$	15,99	27,36	40,96
Вариант конфигурации 9				Вариант конфигурации 18			
v_{BX}	4,58	6,66	7,63	v_{BX}	4,87	6,79	7,68
$t_{СП}$	16,62	28,33	42,07	$t_{СП}$	15,91	27,25	40,85

Таблица Г.10 – Скорость входа на тормозные позиции и время скатывания из двух вагонов, $v_{op} = 1,4$ м/с

Параметры эксперимента	ТП-0	ТП-I	ТП-II	Параметры эксперимента	ТП-0	ТП-I	ТП-II
Вариант конфигурации 1				Вариант конфигурации 10			
v_{BX}	4,22	6,49	7,59	v_{BX}	4,67	6,71	7,67
$t_{СП}$	15,78	28,05	41,96	$t_{СП}$	15,44	27,02	40,68
Вариант конфигурации 2				Вариант конфигурации 11			
v_{BX}	4,28	6,52	7,60	v_{BX}	4,71	6,73	7,67
$t_{СП}$	15,75	27,92	41,79	$t_{СП}$	15,39	26,91	40,56
Вариант конфигурации 3				Вариант конфигурации 12			
v_{BX}	4,34	6,55	7,61	v_{BX}	4,75	6,74	7,68
$t_{СП}$	15,73	27,80	41,64	$t_{СП}$	15,32	26,80	40,43
Вариант конфигурации 4				Вариант конфигурации 13			
v_{BX}	4,39	6,58	7,62	v_{BX}	4,78	6,76	7,68
$t_{СП}$	15,71	27,69	41,50	$t_{СП}$	15,24	26,67	40,28
Вариант конфигурации 5				Вариант конфигурации 14			
v_{BX}	4,45	6,60	7,63	v_{BX}	4,81	6,77	7,68
$t_{СП}$	15,71	27,60	41,38	$t_{СП}$	15,16	26,55	40,15
Вариант конфигурации 6				Вариант конфигурации 15			
v_{BX}	4,50	6,63	7,64	v_{BX}	4,84	6,78	7,69
$t_{СП}$	15,69	27,52	41,27	$t_{СП}$	15,08	26,44	40,02
Вариант конфигурации 7				Вариант конфигурации 16			
v_{BX}	4,55	6,65	7,65	v_{BX}	4,87	6,80	7,69
$t_{СП}$	15,62	27,38	41,10	$t_{СП}$	15,02	26,34	39,90
Вариант конфигурации 8				Вариант конфигурации 17			
v_{BX}	4,59	6,67	7,65	v_{BX}	4,89	6,81	7,70
$t_{СП}$	15,56	27,25	40,95	$t_{СП}$	14,95	26,24	39,80
Вариант конфигурации 9				Вариант конфигурации 18			
v_{BX}	4,63	6,69	7,66	v_{BX}	4,92	6,82	7,70
$t_{СП}$	15,50	27,13	40,81	$t_{СП}$	14,89	26,15	39,69

Таблица Г.11 – Скорость входа на тормозные позиции и время скатывания из двух вагонов, $v_{op} = 1,7$ м/с

Параметры эксперимента	ТП-0	ТП-I	ТП-II	Параметры эксперимента	ТП-0	ТП-I	ТП-II
Вариант конфигурации 1				Вариант конфигурации 10			
v_{BX}	4,33	6,55	7,63	v_{BX}	4,77	6,77	7,71
$t_{СП}$	14,31	26,40	40,21	$t_{СП}$	14,06	25,48	39,05
Вариант конфигурации 2				Вариант конфигурации 11			
v_{BX}	4,38	6,58	7,64	v_{BX}	4,81	6,79	7,72
$t_{СП}$	14,29	26,28	40,05	$t_{СП}$	14,01	25,39	38,94
Вариант конфигурации 3				Вариант конфигурации 12			
v_{BX}	4,44	6,61	7,66	v_{BX}	4,84	6,80	7,72
$t_{СП}$	14,28	26,17	39,91	$t_{СП}$	13,96	25,29	38,82
Вариант конфигурации 4				Вариант конфигурации 13			
v_{BX}	4,49	6,64	7,66	v_{BX}	4,87	6,82	7,73
$t_{СП}$	14,26	26,08	39,78	$t_{СП}$	13,89	25,18	38,69
Вариант конфигурации 5				Вариант конфигурации 14			
v_{BX}	4,55	6,67	7,67	v_{BX}	4,90	6,83	7,73
$t_{СП}$	14,26	25,99	39,67	$t_{СП}$	13,82	25,08	38,58
Вариант конфигурации 6				Вариант конфигурации 15			
v_{BX}	4,60	6,69	7,68	v_{BX}	4,93	6,84	7,73
$t_{СП}$	14,26	25,92	39,57	$t_{СП}$	13,76	24,98	38,46
Вариант конфигурации 7				Вариант конфигурации 16			
v_{BX}	4,64	6,71	7,69	v_{BX}	4,96	6,86	7,74
$t_{СП}$	14,20	25,79	39,42	$t_{СП}$	13,71	24,89	38,36
Вариант конфигурации 8				Вариант конфигурации 17			
v_{BX}	4,69	6,73	7,70	v_{BX}	4,99	6,87	7,74
$t_{СП}$	14,15	25,68	39,29	$t_{СП}$	13,65	24,80	38,27
Вариант конфигурации 9				Вариант конфигурации 18			
v_{BX}	4,73	6,75	7,70	v_{BX}	5,01	6,88	7,75
$t_{СП}$	14,10	25,57	39,16	$t_{СП}$	13,60	24,72	38,17

Таблица Г.12 – Скорость входа на тормозные позиции и время скатывания из двух вагонов, $v_{op} = 2,0$ м/с

Параметры эксперимента	ТП-0	ТП-I	ТП-II	Параметры эксперимента	ТП-0	ТП-I	ТП-II
Вариант конфигурации 1				Вариант конфигурации 10			
v_{BX}	4,45	6,62	7,69	v_{BX}	4,88	6,84	7,76
$t_{СП}$	13,09	24,98	38,67	$t_{СП}$	12,91	24,16	37,61
Вариант конфигурации 2				Вариант конфигурации 11			
v_{BX}	4,51	6,66	7,70	v_{BX}	4,92	6,86	7,77
$t_{СП}$	13,08	24,87	38,52	$t_{СП}$	12,87	24,08	37,51
Вариант конфигурации 3				Вариант конфигурации 12			
v_{BX}	4,56	6,69	7,71	v_{BX}	4,95	6,87	7,77
$t_{СП}$	13,08	24,78	38,40	$t_{СП}$	12,83	23,99	37,41
Вариант конфигурации 4				Вариант конфигурации 13			
v_{BX}	4,61	6,71	7,72	v_{BX}	4,98	6,89	7,78
$t_{СП}$	13,07	24,69	38,28	$t_{СП}$	12,77	23,90	37,30
Вариант конфигурации 5				Вариант конфигурации 14			
v_{BX}	4,66	6,74	7,73	v_{BX}	5,01	6,90	7,78
$t_{СП}$	13,07	24,61	38,18	$t_{СП}$	12,72	23,81	37,19

Продолжение таблицы Г.12

Параметры эксперимента	ТП-0	ТП-I	ТП-II	Параметры эксперимента	ТП-0	ТП-I	ТП-II
Вариант конфигурации 6				Вариант конфигурации 15			
v_{BX}	4,71	6,76	7,74	v_{BX}	5,04	6,92	7,79
$t_{СП}$	13,07	24,54	38,08	$t_{СП}$	12,67	23,72	37,09
Вариант конфигурации 7				Вариант конфигурации 16			
v_{BX}	4,76	6,79	7,74	v_{BX}	5,07	6,93	7,79
$t_{СП}$	13,02	24,44	37,95	$t_{СП}$	12,62	23,64	37,00
Вариант конфигурации 8				Вариант конфигурации 17			
v_{BX}	4,80	6,81	7,75	v_{BX}	5,09	6,94	7,79
$t_{СП}$	12,98	24,34	37,83	$t_{СП}$	12,57	23,57	36,92
Вариант конфигурации 9				Вариант конфигурации 18			
v_{BX}	4,84	6,83	7,76	v_{BX}	5,11	6,95	7,80
$t_{СП}$	12,94	24,24	37,71	$t_{СП}$	12,53	23,49	36,83

Таблица Г.13 – Скорость входа на тормозные позиции и время скатывания из двух вагонов, $v_{op} = 2,22$ м/с

Параметры эксперимента	ТП-0	ТП-I	ТП-II	Параметры эксперимента	ТП-0	ТП-I	ТП-II
Вариант конфигурации 1				Вариант конфигурации 10			
v_{BX}	4,55	6,69	7,73	v_{BX}	4,97	6,90	7,81
$t_{СП}$	12,32	24,04	37,63	$t_{СП}$	12,17	23,29	36,65
Вариант конфигурации 2				Вариант конфигурации 11			
v_{BX}	4,61	6,72	7,74	v_{BX}	5,01	6,92	7,81
$t_{СП}$	12,31	23,94	37,49	$t_{СП}$	12,14	23,21	36,56
Вариант конфигурации 3				Вариант конфигурации 12			
v_{BX}	4,66	6,75	7,75	v_{BX}	5,04	6,93	7,82
$t_{СП}$	12,31	23,85	37,37	$t_{СП}$	12,11	23,13	36,46
Вариант конфигурации 4				Вариант конфигурации 13			
v_{BX}	4,71	6,77	7,76	v_{BX}	5,07	6,95	7,82
$t_{СП}$	12,30	23,77	37,26	$t_{СП}$	12,06	23,05	36,36
Вариант конфигурации 5				Вариант конфигурации 14			
v_{BX}	4,76	6,80	7,77	v_{BX}	5,10	6,96	7,83
$t_{СП}$	12,31	23,70	37,17	$t_{СП}$	12,01	22,96	36,26
Вариант конфигурации 6				Вариант конфигурации 15			
v_{BX}	4,81	6,82	7,78	v_{BX}	5,13	6,97	7,83
$t_{СП}$	12,31	23,64	37,08	$t_{СП}$	11,96	22,88	36,17
Вариант конфигурации 7				Вариант конфигурации 16			
v_{BX}	4,85	6,85	7,79	v_{BX}	5,16	6,99	7,83
$t_{СП}$	12,27	23,54	36,96	$t_{СП}$	11,92	22,81	36,09
Вариант конфигурации 8				Вариант конфигурации 17			
v_{BX}	4,89	6,87	7,80	v_{BX}	5,18	7,00	7,84
$t_{СП}$	12,24	23,45	36,85	$t_{СП}$	11,88	22,75	36,01
Вариант конфигурации 9				Вариант конфигурации 18			
v_{BX}	4,94	6,89	7,80	v_{BX}	5,20	7,01	7,84
$t_{СП}$	12,20	23,36	36,74	$t_{СП}$	11,84	22,68	35,93

Таблица Г.14 – Скорость входа на тормозные позиции и время скатывания из четырех вагонов, $v_{op} = 0,8$ м/с

Параметры эксперимента	ТП-0	ТП-I	ТП-II	Параметры эксперимента	ТП-0	ТП-I	ТП-II
Вариант конфигурации 1				Вариант конфигурации 10			
v_{BX}	2,48	5,64	6,80	v_{BX}	2,90	5,88	6,87
$t_{cп}$	19,36	35,33	50,94	$t_{cп}$	20,29	34,89	50,18
Вариант конфигурации 2				Вариант конфигурации 11			
v_{BX}	2,53	5,67	6,81	v_{BX}	2,93	5,90	6,88
$t_{cп}$	19,66	35,42	50,97	$t_{cп}$	20,38	34,89	50,15
Вариант конфигурации 3				Вариант конфигурации 12			
v_{BX}	2,59	5,71	6,82	v_{BX}	2,97	5,92	6,88
$t_{cп}$	19,79	35,36	50,87	$t_{cп}$	20,35	34,77	50,00
Вариант конфигурации 4				Вариант конфигурации 13			
v_{BX}	2,64	5,74	6,83	v_{BX}	3,00	5,93	6,88
$t_{cп}$	19,83	35,22	50,69	$t_{cп}$	20,33	34,66	49,88
Вариант конфигурации 5				Вариант конфигурации 14			
v_{BX}	2,69	5,77	6,84	v_{BX}	3,03	5,95	6,89
$t_{cп}$	20,01	35,24	50,67	$t_{cп}$	20,32	34,57	49,77
Вариант конфигурации 6				Вариант конфигурации 15			
v_{BX}	2,73	5,79	6,85	v_{BX}	3,06	5,96	6,89
$t_{cп}$	20,03	35,11	50,51	$t_{cп}$	20,29	34,47	49,65
Вариант конфигурации 7				Вариант конфигурации 16			
v_{BX}	2,78	5,82	6,85	v_{BX}	3,08	5,97	6,89
$t_{cп}$	20,03	34,98	50,34	$t_{cп}$	20,20	34,31	49,48
Вариант конфигурации 8				Вариант конфигурации 17			
v_{BX}	2,82	5,84	6,86	v_{BX}	3,11	5,99	6,90
$t_{cп}$	20,06	34,88	50,21	$t_{cп}$	20,12	34,17	49,32
Вариант конфигурации 9				Вариант конфигурации 18			
v_{BX}	2,86	5,86	6,87	v_{BX}	3,13	6,00	6,90
$t_{cп}$	20,16	34,87	50,18	$t_{cп}$	20,06	34,04	49,18

Таблица Г.15 – Скорость входа на тормозные позиции и время скатывания из четырех вагонов, $v_{op} = 1,0$ м/с

Параметры эксперимента	ТП-0	ТП-I	ТП-II	Параметры эксперимента	ТП-0	ТП-I	ТП-II
Вариант конфигурации 1				Вариант конфигурации 10			
v_{BX}	2,55	5,67	6,82	v_{BX}	2,96	5,91	6,89
$t_{cп}$	17,12	32,91	48,46	$t_{cп}$	18,12	32,59	47,82
Вариант конфигурации 2				Вариант конфигурации 11			
v_{BX}	2,60	5,70	6,83	v_{BX}	2,99	5,92	6,89
$t_{cп}$	17,39	32,98	48,49	$t_{cп}$	18,21	32,58	47,80
Вариант конфигурации 3				Вариант конфигурации 12			
v_{BX}	2,66	5,73	6,84	v_{BX}	3,03	5,94	6,90
$t_{cп}$	17,54	32,94	48,40	$t_{cп}$	18,20	32,49	47,68
Вариант конфигурации 4				Вариант конфигурации 13			
v_{BX}	2,70	5,77	6,85	v_{BX}	3,06	5,96	6,90
$t_{cп}$	17,60	32,83	48,25	$t_{cп}$	18,20	32,41	47,58
Вариант конфигурации 5				Вариант конфигурации 14			
v_{BX}	2,75	5,79	6,86	v_{BX}	3,09	5,97	6,90
$t_{cп}$	17,78	32,85	48,23	$t_{cп}$	18,21	32,34	47,49

Продолжение таблицы Г.15

Параметры эксперимента	ТП-0	ТП-I	ТП-II	Параметры эксперимента	ТП-0	ТП-I	ТП-II
Вариант конфигурации 6				Вариант конфигурации 15			
v_{BX}	2,80	5,82	6,86	v_{BX}	3,12	5,99	6,91
$t_{СП}$	17,82	32,75	48,10	$t_{СП}$	18,20	32,26	47,39
Вариант конфигурации 7				Вариант конфигурации 16			
v_{BX}	2,84	5,84	6,87	v_{BX}	3,14	6,00	6,91
$t_{СП}$	17,85	32,65	47,97	$t_{СП}$	18,14	32,13	47,25
Вариант конфигурации 8				Вариант конфигурации 17			
v_{BX}	2,89	5,87	6,88	v_{BX}	3,16	6,01	6,91
$t_{СП}$	17,89	32,57	47,86	$t_{СП}$	18,08	32,02	47,12
Вариант конфигурации 9				Вариант конфигурации 18			
v_{BX}	2,92	5,89	6,88	v_{BX}	3,19	6,02	6,92
$t_{СП}$	18,00	32,57	47,83	$t_{СП}$	18,04	31,92	47,00

Таблица Г.16 – Скорость входа на тормозные позиции и время скатывания из четырех вагонов, $v_{ор} = 1,0$ м/с

Параметры эксперимента	ТП-0	ТП-I	ТП-II	Параметры эксперимента	ТП-0	ТП-I	ТП-II
Вариант конфигурации 1				Вариант конфигурации 10			
v_{BX}	2,55	5,67	6,82	v_{BX}	2,96	5,91	6,89
$t_{СП}$	17,12	32,91	48,46	$t_{СП}$	18,12	32,59	47,82
Вариант конфигурации 2				Вариант конфигурации 11			
v_{BX}	2,60	5,70	6,83	v_{BX}	2,99	5,92	6,89
$t_{СП}$	17,39	32,98	48,49	$t_{СП}$	18,21	32,58	47,80
Вариант конфигурации 3				Вариант конфигурации 12			
v_{BX}	2,66	5,73	6,84	v_{BX}	3,03	5,94	6,90
$t_{СП}$	17,54	32,94	48,40	$t_{СП}$	18,20	32,49	47,68
Вариант конфигурации 4				Вариант конфигурации 13			
v_{BX}	2,70	5,77	6,85	v_{BX}	3,06	5,96	6,90
$t_{СП}$	17,60	32,83	48,25	$t_{СП}$	18,20	32,41	47,58
Вариант конфигурации 5				Вариант конфигурации 14			
v_{BX}	2,75	5,79	6,86	v_{BX}	3,09	5,97	6,90
$t_{СП}$	17,78	32,85	48,23	$t_{СП}$	18,21	32,34	47,49
Вариант конфигурации 6				Вариант конфигурации 15			
v_{BX}	2,80	5,82	6,86	v_{BX}	3,12	5,99	6,91
$t_{СП}$	17,82	32,75	48,10	$t_{СП}$	18,20	32,26	47,39
Вариант конфигурации 7				Вариант конфигурации 16			
v_{BX}	2,84	5,84	6,87	v_{BX}	3,14	6,00	6,91
$t_{СП}$	17,85	32,65	47,97	$t_{СП}$	18,14	32,13	47,25
Вариант конфигурации 8				Вариант конфигурации 17			
v_{BX}	2,89	5,87	6,88	v_{BX}	3,16	6,01	6,91
$t_{СП}$	17,89	32,57	47,86	$t_{СП}$	18,08	32,02	47,12
Вариант конфигурации 9				Вариант конфигурации 18			
v_{BX}	2,92	5,89	6,88	v_{BX}	3,19	6,02	6,92
$t_{СП}$	18,00	32,57	47,83	$t_{СП}$	18,04	31,92	47,00

Таблица Г.17 – Скорость входа на тормозные позиции и время скатывания из четырех вагонов, $v_{op} = 1,2$ м/с

Параметры эксперимента	ТП-0	ТП-I	ТП-II	Параметры эксперимента	ТП-0	ТП-I	ТП-II
Вариант конфигурации 1				Вариант конфигурации 10			
$v_{вх}$	2,63	5,70	6,84	$v_{вх}$	3,03	5,94	6,91
$t_{сп}$	15,35	30,93	46,41	$t_{сп}$	16,38	30,70	45,87
Вариант конфигурации 2				Вариант конфигурации 11			
$v_{вх}$	2,69	5,73	6,85	$v_{вх}$	3,07	5,95	6,91
$t_{сп}$	15,60	30,99	46,43	$t_{сп}$	16,47	30,70	45,85
Вариант конфигурации 3				Вариант конфигурации 12			
$v_{вх}$	2,74	5,77	6,86	$v_{вх}$	3,10	5,97	6,92
$t_{сп}$	15,75	30,96	46,36	$t_{сп}$	16,48	30,62	45,76
Вариант конфигурации 4				Вариант конфигурации 13			
$v_{вх}$	2,78	5,80	6,87	$v_{вх}$	3,13	5,99	6,92
$t_{сп}$	15,83	30,88	46,23	$t_{сп}$	16,50	30,56	45,67
Вариант конфигурации 5				Вариант конфигурации 14			
$v_{вх}$	2,83	5,83	6,88	$v_{вх}$	3,16	6,00	6,92
$t_{сп}$	16,00	30,90	46,22	$t_{сп}$	16,51	30,50	45,60
Вариант конфигурации 6				Вариант конфигурации 15			
$v_{вх}$	2,88	5,85	6,88	$v_{вх}$	3,18	6,02	6,93
$t_{сп}$	16,06	30,82	46,11	$t_{сп}$	16,51	30,43	45,51
Вариант конфигурации 7				Вариант конфигурации 16			
$v_{вх}$	2,92	5,87	6,89	$v_{вх}$	3,21	6,03	6,93
$t_{сп}$	16,10	30,74	46,00	$t_{сп}$	16,48	30,33	45,39
Вариант конфигурации 8				Вариант конфигурации 17			
$v_{вх}$	2,96	5,90	6,90	$v_{вх}$	3,23	6,04	6,93
$t_{сп}$	16,15	30,68	45,91	$t_{сп}$	16,44	30,24	45,28
Вариант конфигурации 9				Вариант конфигурации 18			
$v_{вх}$	3,00	5,92	6,90	$v_{вх}$	3,25	6,05	6,94
$t_{сп}$	16,26	30,68	45,88	$t_{сп}$	16,41	30,15	45,19

Таблица Г.18 – Скорость входа на тормозные позиции и время скатывания из четырех вагонов, $v_{op} = 1,4$ м/с

Параметры эксперимента	ТП-0	ТП-I	ТП-II	Параметры эксперимента	ТП-0	ТП-I	ТП-II
Вариант конфигурации 1				Вариант конфигурации 10			
$v_{вх}$	2,73	5,74	6,86	$v_{вх}$	3,12	5,97	6,93
$t_{сп}$	13,90	29,24	44,65	$t_{сп}$	14,94	29,09	44,20
Вариант конфигурации 2				Вариант конфигурации 11			
$v_{вх}$	2,78	5,77	6,87	$v_{вх}$	3,15	5,99	6,93
$t_{сп}$	14,14	29,30	44,67	$t_{сп}$	15,04	29,09	44,18
Вариант конфигурации 3				Вариант конфигурации 12			
$v_{вх}$	2,83	5,80	6,88	$v_{вх}$	3,18	6,01	6,94
$t_{сп}$	14,29	29,28	44,61	$t_{сп}$	15,06	29,03	44,10
Вариант конфигурации 4				Вариант конфигурации 13			
$v_{вх}$	2,88	5,83	6,89	$v_{вх}$	3,21	6,02	6,94
$t_{сп}$	14,37	29,21	44,50	$t_{сп}$	15,08	28,98	44,03
Вариант конфигурации 5				Вариант конфигурации 14			
$v_{вх}$	2,92	5,86	6,90	$v_{вх}$	3,24	6,04	6,95

Продолжение таблицы Г.18

Параметры эксперимента	ТП-0	ТП-I	ТП-II	Параметры эксперимента	ТП-0	ТП-I	ТП-II
$t_{\text{сп}}$	14,54	29,24	44,49	$t_{\text{сп}}$	15,11	28,94	43,97
Вариант конфигурации 6				Вариант конфигурации 15			
$v_{\text{вх}}$	2,97	5,89	6,91	$v_{\text{вх}}$	3,26	6,05	6,95
$t_{\text{сп}}$	14,61	29,18	44,40	$t_{\text{сп}}$	15,12	28,88	43,89
Вариант конфигурации 7				Вариант конфигурации 16			
$v_{\text{вх}}$	3,01	5,91	6,91	$v_{\text{вх}}$	3,29	6,06	6,95
$t_{\text{сп}}$	14,66	29,11	44,30	$t_{\text{сп}}$	15,09	28,80	43,79
Вариант конфигурации 8				Вариант конфигурации 17			
$v_{\text{вх}}$	3,05	5,93	6,92	$v_{\text{вх}}$	3,31	6,08	6,96
$t_{\text{сп}}$	14,72	29,06	44,22	$t_{\text{сп}}$	15,07	28,72	43,70
Вариант конфигурации 9				Вариант конфигурации 18			
$v_{\text{вх}}$	3,08	5,95	6,93	$v_{\text{вх}}$	3,33	6,09	6,96
$t_{\text{сп}}$	14,83	29,07	44,20	$t_{\text{сп}}$	15,05	28,65	43,61

Таблица Г.19 – Скорость входа на тормозные позиции и время скатывания из четырех вагонов, $v_{\text{оп}} = 1,7$ м/с

Параметры эксперимента	ТП-0	ТП-I	ТП-II	Параметры эксперимента	ТП-0	ТП-I	ТП-II
Вариант конфигурации 1				Вариант конфигурации 10			
$v_{\text{вх}}$	2,90	5,81	6,90	$v_{\text{вх}}$	3,26	6,04	6,97
$t_{\text{сп}}$	12,15	27,10	42,39	$t_{\text{сп}}$	13,20	27,05	42,04
Вариант конфигурации 2				Вариант конфигурации 11			
$v_{\text{вх}}$	2,94	5,84	6,91	$v_{\text{вх}}$	3,29	6,05	6,98
$t_{\text{сп}}$	12,37	27,16	42,41	$t_{\text{сп}}$	13,29	27,06	42,03
Вариант конфигурации 3				Вариант конфигурации 12			
$v_{\text{вх}}$	2,99	5,87	6,92	$v_{\text{вх}}$	3,32	6,07	6,98
$t_{\text{сп}}$	12,52	27,16	42,36	$t_{\text{сп}}$	13,32	27,02	41,97
Вариант конфигурации 4				Вариант конфигурации 13			
$v_{\text{вх}}$	3,03	5,90	6,93	$v_{\text{вх}}$	3,35	6,09	6,98
$t_{\text{сп}}$	12,62	27,11	42,28	$t_{\text{сп}}$	13,36	26,98	41,91
Вариант конфигурации 5				Вариант конфигурации 14			
$v_{\text{вх}}$	3,08	5,93	6,94	$v_{\text{вх}}$	3,38	6,10	6,99
$t_{\text{сп}}$	12,77	27,14	42,27	$t_{\text{сп}}$	13,39	26,95	41,86
Вариант конфигурации 6				Вариант конфигурации 15			
$v_{\text{вх}}$	3,12	5,95	6,95	$v_{\text{вх}}$	3,40	6,11	6,99
$t_{\text{сп}}$	12,85	27,09	42,19	$t_{\text{сп}}$	13,41	26,91	41,81
Вариант конфигурации 7				Вариант конфигурации 16			
$v_{\text{вх}}$	3,16	5,98	6,96	$v_{\text{вх}}$	3,42	6,13	6,99
$t_{\text{сп}}$	12,91	27,05	42,12	$t_{\text{сп}}$	13,40	26,84	41,73
Вариант конфигурации 8				Вариант конфигурации 17			
$v_{\text{вх}}$	3,20	6,00	6,96	$v_{\text{вх}}$	3,45	6,14	7,00
$t_{\text{сп}}$	12,98	27,02	42,06	$t_{\text{сп}}$	13,39	26,78	41,65
Вариант конфигурации 9				Вариант конфигурации 18			
$v_{\text{вх}}$	3,23	6,02	6,97	$v_{\text{вх}}$	3,47	6,15	7,00
$t_{\text{сп}}$	13,09	27,03	42,04	$t_{\text{сп}}$	13,39	26,73	41,58

Таблица Г.20 – Скорость входа на тормозные позиции и время скатывания из четырех вагонов, $v_{op} = 2,0$ м/с

Параметры эксперимента	ТП-0	ТП-I	ТП-II	Параметры эксперимента	ТП-0	ТП-I	ТП-II
Вариант конфигурации 1				Вариант конфигурации 10			
v_{BX}	3,08	5,88	6,95	v_{BX}	3,43	6,11	7,02
$t_{СП}$	10,77	25,31	40,46	$t_{СП}$	11,80	25,33	40,19
Вариант конфигурации 2				Вариант конфигурации 11			
v_{BX}	3,13	5,92	6,96	v_{BX}	3,46	6,13	7,02
$t_{СП}$	10,98	25,37	40,47	$t_{СП}$	11,89	25,35	40,19
Вариант конфигурации 3				Вариант конфигурации 12			
v_{BX}	3,17	5,95	6,97	v_{BX}	3,48	6,15	7,03
$t_{СП}$	11,13	25,37	40,44	$t_{СП}$	11,93	25,32	40,14
Вариант конфигурации 4				Вариант конфигурации 13			
v_{BX}	3,21	5,98	6,98	v_{BX}	3,51	6,16	7,03
$t_{СП}$	11,22	25,34	40,37	$t_{СП}$	11,97	25,29	40,09
Вариант конфигурации 5				Вариант конфигурации 14			
v_{BX}	3,25	6,01	6,99	v_{BX}	3,53	6,17	7,04
$t_{СП}$	11,37	25,37	40,37	$t_{СП}$	12,01	25,27	40,05
Вариант конфигурации 6				Вариант конфигурации 15			
v_{BX}	3,29	6,03	7,00	v_{BX}	3,56	6,19	7,04
$t_{СП}$	11,45	25,35	40,31	$t_{СП}$	12,03	25,24	40,01
Вариант конфигурации 7				Вариант конфигурации 16			
v_{BX}	3,33	6,05	7,00	v_{BX}	3,58	6,20	7,04
$t_{СП}$	11,52	25,31	40,25	$t_{СП}$	12,03	25,19	39,94
Вариант конфигурации 8				Вариант конфигурации 17			
v_{BX}	3,36	6,07	7,01	v_{BX}	3,60	6,21	7,04
$t_{СП}$	11,60	25,29	40,20	$t_{СП}$	12,03	25,14	39,88
Вариант конфигурации 9				Вариант конфигурации 18			
v_{BX}	3,40	6,09	7,02	v_{BX}	3,62	6,22	7,05
$t_{СП}$	11,70	25,31	40,19	$t_{СП}$	12,04	25,10	39,82

Таблица Г.21 – Скорость входа на тормозные позиции и время скатывания из четырех вагонов, $v_{op} = 2,22$ м/с

Параметры эксперимента	ТП-0	ТП-I	ТП-II	Параметры эксперимента	ТП-0	ТП-I	ТП-II
Вариант конфигурации 1				Вариант конфигурации 10			
v_{BX}	3,23	5,95	6,99	v_{BX}	3,56	6,17	7,06
$t_{СП}$	9,93	24,15	39,17	$t_{СП}$	10,94	24,22	38,97
Вариант конфигурации 2				Вариант конфигурации 11			
v_{BX}	3,27	5,98	7,01	v_{BX}	3,59	6,19	7,06
$t_{СП}$	10,13	24,21	39,19	$t_{СП}$	11,02	24,24	38,97
Вариант конфигурации 3				Вариант конфигурации 12			
v_{BX}	3,31	6,01	7,01	v_{BX}	3,61	6,21	7,07
$t_{СП}$	10,27	24,22	39,16	$t_{СП}$	11,07	24,21	38,92
Вариант конфигурации 4				Вариант конфигурации 13			
v_{BX}	3,35	6,04	7,02	v_{BX}	3,64	6,22	7,07
$t_{СП}$	10,37	24,20	39,11	$t_{СП}$	11,11	24,19	38,89
Вариант конфигурации 5				Вариант конфигурации 14			
v_{BX}	3,39	6,07	7,03	v_{BX}	3,66	6,24	7,08

Продолжение таблицы Г.21

Параметры эксперимента	ТП-0	ТП-I	ТП-II	Параметры эксперимента	ТП-0	ТП-I	ТП-II
$t_{\text{сп}}$	10,51	24,23	39,11	$t_{\text{сп}}$	11,14	24,18	38,85
Вариант конфигурации 6				Вариант конфигурации 15			
$v_{\text{вх}}$	3,43	6,09	7,04	$v_{\text{вх}}$	3,68	6,25	7,08
$t_{\text{сп}}$	10,59	24,21	39,06	$t_{\text{сп}}$	11,18	24,15	38,81
Вариант конфигурации 7				Вариант конфигурации 16			
$v_{\text{вх}}$	3,46	6,12	7,04	$v_{\text{вх}}$	3,71	6,26	7,08
$t_{\text{сп}}$	10,66	24,19	39,01	$t_{\text{сп}}$	11,18	24,11	38,76
Вариант конфигурации 8				Вариант конфигурации 17			
$v_{\text{вх}}$	3,50	6,14	7,05	$v_{\text{вх}}$	3,72	6,27	7,08
$t_{\text{сп}}$	10,74	24,17	38,97	$t_{\text{сп}}$	11,19	24,07	38,70
Вариант конфигурации 9				Вариант конфигурации 18			
$v_{\text{вх}}$	3,53	6,16	7,06	$v_{\text{вх}}$	3,74	6,28	7,09
$t_{\text{сп}}$	10,83	24,19	38,96	$t_{\text{сп}}$	11,19	24,03	38,65

Таблица Г.22 – Скорость входа на тормозные позиции и время скатывания из шести вагонов, $v_{\text{ор}} = 0,8$ м/с

Параметры эксперимента	ТП-0	ТП-I	ТП-II	Параметры эксперимента	ТП-0	ТП-I	ТП-II
Вариант конфигурации 1				Вариант конфигурации 10			
$v_{\text{вх}}$	1,18	4,82	6,25	$v_{\text{вх}}$	1,57	5,10	6,30
$t_{\text{сп}}$	12,62	37,27	54,71	$t_{\text{сп}}$	17,23	38,35	55,35
Вариант конфигурации 2				Вариант конфигурации 11			
$v_{\text{вх}}$	1,23	4,86	6,26	$v_{\text{вх}}$	1,60	5,13	6,31
$t_{\text{сп}}$	13,86	37,95	55,31	$t_{\text{сп}}$	17,43	38,32	55,29
Вариант конфигурации 3				Вариант конфигурации 12			
$v_{\text{вх}}$	1,28	4,90	6,27	$v_{\text{вх}}$	1,63	5,15	6,31
$t_{\text{сп}}$	14,57	38,13	55,44	$t_{\text{сп}}$	17,87	38,54	55,48
Вариант конфигурации 4				Вариант конфигурации 13			
$v_{\text{вх}}$	1,32	4,94	6,27	$v_{\text{вх}}$	1,66	5,16	6,31
$t_{\text{сп}}$	14,87	37,96	55,21	$t_{\text{сп}}$	18,10	38,58	55,49
Вариант конфигурации 5				Вариант конфигурации 14			
$v_{\text{вх}}$	1,37	4,97	6,28	$v_{\text{вх}}$	1,68	5,18	6,31
$t_{\text{сп}}$	15,53	38,20	55,40	$t_{\text{сп}}$	18,58	38,89	55,78
Вариант конфигурации 6				Вариант конфигурации 15			
$v_{\text{вх}}$	1,41	5,00	6,29	$v_{\text{вх}}$	1,71	5,20	6,32
$t_{\text{сп}}$	16,08	38,38	55,54	$t_{\text{сп}}$	19,24	39,37	56,23
Вариант конфигурации 7				Вариант конфигурации 16			
$v_{\text{вх}}$	1,46	5,03	6,29	$v_{\text{вх}}$	1,73	5,21	6,32
$t_{\text{сп}}$	16,38	38,33	55,44	$t_{\text{сп}}$	19,55	39,53	56,37
Вариант конфигурации 8				Вариант конфигурации 17			
$v_{\text{вх}}$	1,50	5,06	6,30	$v_{\text{вх}}$	1,76	5,23	6,32
$t_{\text{сп}}$	16,65	38,30	55,37	$t_{\text{сп}}$	19,91	39,74	56,56
Вариант конфигурации 9				Вариант конфигурации 18			
$v_{\text{вх}}$	1,53	5,08	6,30	$v_{\text{вх}}$	1,78	5,24	6,32
$t_{\text{сп}}$	16,93	38,30	55,33	$t_{\text{сп}}$	20,21	39,90	56,70

Таблица Г.23 – Скорость входа на тормозные позиции и время скатывания из шести вагонов, $v_{op} = 1,0$ м/с

Параметры эксперимента	ТП-0	ТП-I	ТП-II	Параметры эксперимента	ТП-0	ТП-I	ТП-II
Вариант конфигурации 1				Вариант конфигурации 10			
v_{BX}	1,32	4,85	6,27	v_{BX}	1,68	5,13	6,32
$t_{СП}$	10,53	34,26	51,63	$t_{СП}$	14,81	35,42	52,36
Вариант конфигурации 2				Вариант конфигурации 11			
v_{BX}	1,37	4,89	6,28	v_{BX}	1,71	5,15	6,32
$t_{СП}$	11,61	34,84	52,14	$t_{СП}$	15,02	35,41	52,32
Вариант конфигурации 3				Вариант конфигурации 12			
v_{BX}	1,41	4,93	6,28	v_{BX}	1,74	5,17	6,32
$t_{СП}$	12,25	35,03	52,27	$t_{СП}$	15,41	35,61	52,49
Вариант конфигурации 4				Вариант конфигурации 13			
v_{BX}	1,45	4,97	6,29	v_{BX}	1,76	5,19	6,33
$t_{СП}$	12,56	34,94	52,12	$t_{СП}$	15,63	35,65	52,51
Вариант конфигурации 5				Вариант конфигурации 14			
v_{BX}	1,49	5,00	6,30	v_{BX}	1,79	5,21	6,33
$t_{СП}$	13,17	35,16	52,30	$t_{СП}$	16,06	35,92	52,75
Вариант конфигурации 6				Вариант конфигурации 15			
v_{BX}	1,53	5,03	6,30	v_{BX}	1,81	5,23	6,33
$t_{СП}$	13,67	35,34	52,43	$t_{СП}$	16,62	36,32	53,13
Вариант конфигурации 7				Вариант конфигурации 16			
v_{BX}	1,57	5,06	6,31	v_{BX}	1,83	5,24	6,33
$t_{СП}$	13,97	35,33	52,38	$t_{СП}$	16,91	36,47	53,26
Вариант конфигурации 8				Вариант конфигурации 17			
v_{BX}	1,61	5,09	6,31	v_{BX}	1,86	5,25	6,34
$t_{СП}$	14,25	35,33	52,34	$t_{СП}$	17,24	36,66	53,42
Вариант конфигурации 9				Вариант конфигурации 18			
v_{BX}	1,65	5,11	6,31	v_{BX}	1,88	5,27	6,34
$t_{СП}$	14,52	35,35	52,33	$t_{СП}$	17,51	36,81	53,55

Таблица Г.24 – Скорость входа на тормозные позиции и время скатывания из шести вагонов, $v_{op} = 1,2$ м/с

Параметры эксперимента	ТП-0	ТП-I	ТП-II	Параметры эксперимента	ТП-0	ТП-I	ТП-II
Вариант конфигурации 1				Вариант конфигурации 10			
v_{BX}	1,48	4,89	6,29	v_{BX}	1,80	5,17	6,34
$t_{СП}$	9,01	31,80	49,08	$t_{СП}$	12,96	33,00	49,87
Вариант конфигурации 2				Вариант конфигурации 11			
v_{BX}	1,52	4,93	6,30	v_{BX}	1,83	5,19	6,34
$t_{СП}$	9,95	32,32	49,54	$t_{СП}$	13,15	33,01	49,85
Вариант конфигурации 3				Вариант конфигурации 12			
v_{BX}	1,56	4,97	6,30	v_{BX}	1,86	5,21	6,34
$t_{СП}$	10,54	32,51	49,67	$t_{СП}$	13,51	33,19	50,00
Вариант конфигурации 4				Вариант конфигурации 13			
v_{BX}	1,60	5,00	6,31	v_{BX}	1,88	5,23	6,35
$t_{СП}$	10,85	32,46	49,57	$t_{СП}$	13,73	33,24	50,03
Вариант конфигурации 5				Вариант конфигурации 14			
v_{BX}	1,63	5,04	6,32	v_{BX}	1,91	5,24	6,35
$t_{СП}$	11,39	32,68	49,74	$t_{СП}$	14,11	33,48	50,24

Продолжение таблицы Г.24

Параметры эксперимента	ТП-0	ТП-I	ТП-II	Параметры эксперимента	ТП-0	ТП-I	ТП-II
Вариант конфигурации 6				Вариант конфигурации 15			
v_{BX}	1,67	5,07	6,32	v_{BX}	1,93	5,26	6,35
$t_{СП}$	11,86	32,85	49,87	$t_{СП}$	14,60	33,83	50,56
Вариант конфигурации 7				Вариант конфигурации 16			
v_{BX}	1,71	5,10	6,33	v_{BX}	1,95	5,27	6,35
$t_{СП}$	12,15	32,87	49,84	$t_{СП}$	14,87	33,97	50,68
Вариант конфигурации 8				Вариант конфигурации 17			
v_{BX}	1,74	5,12	6,33	v_{BX}	1,97	5,29	6,36
$t_{СП}$	12,41	32,89	49,82	$t_{СП}$	15,17	34,14	50,83
Вариант конфигурации 9				Вариант конфигурации 18			
v_{BX}	1,77	5,15	6,33	v_{BX}	1,99	5,30	6,36
$t_{СП}$	12,68	32,93	49,83	$t_{СП}$	15,42	34,28	50,95

Таблица Г.25 – Скорость входа на тормозные позиции и время скатывания из шести вагонов, $v_{OP} = 1,4$ м/с

Параметры эксперимента	ТП-0	ТП-I	ТП-II	Параметры эксперимента	ТП-0	ТП-I	ТП-II
Вариант конфигурации 1				Вариант конфигурации 10			
v_{BX}	1,64	4,93	6,31	v_{BX}	1,94	5,21	6,36
$t_{СП}$	7,86	29,73	46,92	$t_{СП}$	11,49	30,95	47,73
Вариант конфигурации 2				Вариант конфигурации 11			
v_{BX}	1,68	4,97	6,32	v_{BX}	1,97	5,23	6,36
$t_{СП}$	8,69	30,20	47,33	$t_{СП}$	11,68	30,97	47,72
Вариант конфигурации 3				Вариант конфигурации 12			
v_{BX}	1,72	5,01	6,33	v_{BX}	1,99	5,25	6,37
$t_{СП}$	9,23	30,40	47,46	$t_{СП}$	12,00	31,14	47,86
Вариант конфигурации 4				Вариант конфигурации 13			
v_{BX}	1,75	5,05	6,33	v_{BX}	2,02	5,27	6,37
$t_{СП}$	9,52	30,38	47,39	$t_{СП}$	12,21	31,20	47,89
Вариант конфигурации 5				Вариант конфигурации 14			
v_{BX}	1,79	5,08	6,34	v_{BX}	2,04	5,28	6,37
$t_{СП}$	10,02	30,59	47,55	$t_{СП}$	12,55	31,41	48,08
Вариант конфигурации 6				Вариант конфигурации 15			
v_{BX}	1,82	5,11	6,34	v_{BX}	2,06	5,30	6,37
$t_{СП}$	10,45	30,76	47,68	$t_{СП}$	13,00	31,72	48,37
Вариант конфигурации 7				Вариант конфигурации 16			
v_{BX}	1,85	5,14	6,35	v_{BX}	2,08	5,31	6,38
$t_{СП}$	10,72	30,79	47,67	$t_{СП}$	13,25	31,85	48,48
Вариант конфигурации 8				Вариант конфигурации 17			
v_{BX}	1,89	5,16	6,35	v_{BX}	2,10	5,33	6,38
$t_{СП}$	10,98	30,82	47,67	$t_{СП}$	13,52	32,01	48,62
Вариант конфигурации 9				Вариант конфигурации 18			
v_{BX}	1,92	5,19	6,36	v_{BX}	2,12	5,34	6,38
$t_{СП}$	11,23	30,88	47,69	$t_{СП}$	13,75	32,14	48,73

Таблица Г.26 – Скорость входа на тормозные позиции и время скатывания из шести вагонов, $v_{op} = 1,7$ м/с

Параметры эксперимента	ТП-0	ТП-I	ТП-II	Параметры эксперимента	ТП-0	ТП-I	ТП-II
Вариант конфигурации 1				Вариант конфигурации 10			
v_{BX}	1,91	5,01	6,35	v_{BX}	2,17	5,28	6,40
$t_{СП}$	6,58	27,15	44,16	$t_{СП}$	9,79	28,37	45,00
Вариант конфигурации 2				Вариант конфигурации 11			
v_{BX}	1,94	5,05	6,36	v_{BX}	2,19	5,30	6,40
$t_{СП}$	7,29	27,56	44,52	$t_{СП}$	9,97	28,40	45,00
Вариант конфигурации 3				Вариант конфигурации 12			
v_{BX}	1,97	5,09	6,37	v_{BX}	2,21	5,32	6,40
$t_{СП}$	7,76	27,75	44,66	$t_{СП}$	10,25	28,56	45,13
Вариант конфигурации 4				Вариант конфигурации 13			
v_{BX}	2,00	5,12	6,37	v_{BX}	2,24	5,34	6,41
$t_{СП}$	8,03	27,76	44,62	$t_{СП}$	10,44	28,62	45,17
Вариант конфигурации 5				Вариант конфигурации 14			
v_{BX}	2,03	5,15	6,38	v_{BX}	2,25	5,35	6,41
$t_{СП}$	8,46	27,96	44,77	$t_{СП}$	10,74	28,80	45,33
Вариант конфигурации 6				Вариант конфигурации 15			
v_{BX}	2,06	5,18	6,38	v_{BX}	2,27	5,37	6,41
$t_{СП}$	8,84	28,13	44,89	$t_{СП}$	11,13	29,08	45,58
Вариант конфигурации 7				Вариант конфигурации 16			
v_{BX}	2,09	5,21	6,39	v_{BX}	2,29	5,38	6,41
$t_{СП}$	9,09	28,18	44,90	$t_{СП}$	11,35	29,20	45,68
Вариант конфигурации 8				Вариант конфигурации 17			
v_{BX}	2,12	5,24	6,39	v_{BX}	2,31	5,40	6,42
$t_{СП}$	9,32	28,23	44,92	$t_{СП}$	11,59	29,34	45,81
Вариант конфигурации 9				Вариант конфигурации 18			
v_{BX}	2,14	5,26	6,40	v_{BX}	2,33	5,41	6,42
$t_{СП}$	9,55	28,29	44,95	$t_{СП}$	11,80	29,46	45,91

Таблица Г.27 – Скорость входа на тормозные позиции и время скатывания из шести вагонов, $v_{op} = 2,0$ м/с

Параметры эксперимента	ТП-0	ТП-I	ТП-II	Параметры эксперимента	ТП-0	ТП-I	ТП-II
Вариант конфигурации 1				Вариант конфигурации 10			
v_{BX}	2,18	5,10	6,40	v_{BX}	2,41	5,37	6,45
$t_{СП}$	5,65	25,01	41,84	$t_{СП}$	8,51	26,22	42,67
Вариант конфигурации 2				Вариант конфигурации 11			
v_{BX}	2,21	5,14	6,41	v_{BX}	2,43	5,39	6,45
$t_{СП}$	6,27	25,39	42,16	$t_{СП}$	8,67	26,26	42,69
Вариант конфигурации 3				Вариант конфигурации 12			
v_{BX}	2,23	5,18	6,41	v_{BX}	2,45	5,40	6,45
$t_{СП}$	6,68	25,57	42,29	$t_{СП}$	8,93	26,40	42,81
Вариант конфигурации 4				Вариант конфигурации 13			
v_{BX}	2,26	5,21	6,42	v_{BX}	2,47	5,42	6,45
$t_{СП}$	6,92	25,60	42,27	$t_{СП}$	9,10	26,47	42,85
Вариант конфигурации 5				Вариант конфигурации 14			
v_{BX}	2,29	5,24	6,43	v_{BX}	2,49	5,44	6,46
$t_{СП}$	7,31	25,79	42,42	$t_{СП}$	9,36	26,64	43,00

Продолжение таблицы Г.27

Параметры эксперимента	ТП-0	ТП-I	ТП-II	Параметры эксперимента	ТП-0	ТП-I	ТП-II
Вариант конфигурации 6				Вариант конфигурации 15			
v_{BX}	2,31	5,27	6,43	v_{BX}	2,51	5,45	6,46
$t_{СП}$	7,64	25,95	42,53	$t_{СП}$	9,70	26,88	43,22
Вариант конфигурации 7				Вариант конфигурации 16			
v_{BX}	2,34	5,30	6,44	v_{BX}	2,52	5,46	6,46
$t_{СП}$	7,87	26,01	42,56	$t_{СП}$	9,90	26,99	43,31
Вариант конфигурации 8				Вариант конфигурации 17			
v_{BX}	2,37	5,32	6,44	v_{BX}	2,54	5,48	6,46
$t_{СП}$	8,09	26,07	42,58	$t_{СП}$	10,12	27,12	43,43
Вариант конфигурации 9				Вариант конфигурации 18			
v_{BX}	2,39	5,34	6,44	v_{BX}	2,55	5,49	6,47
$t_{СП}$	8,30	26,14	42,62	$t_{СП}$	10,31	27,24	43,52

Таблица Г.28 – Скорость входа на тормозные позиции и время скатывания из шести вагонов, $v_{op} = 2,22$ м/с

Параметры эксперимента	ТП-0	ТП-I	ТП-II	Параметры эксперимента	ТП-0	ТП-I	ТП-II
Вариант конфигурации 1				Вариант конфигурации 10			
v_{BX}	2,38	5,18	6,44	v_{BX}	2,60	5,43	6,48
$t_{СП}$	5,11	23,64	40,31	$t_{СП}$	7,75	24,84	41,16
Вариант конфигурации 2				Вариант конфигурации 11			
v_{BX}	2,41	5,21	6,45	v_{BX}	2,62	5,45	6,49
$t_{СП}$	5,68	24,00	40,62	$t_{СП}$	7,90	24,88	41,18
Вариант конфигурации 3				Вариант конфигурации 12			
v_{BX}	2,43	5,25	6,45	v_{BX}	2,64	5,47	6,49
$t_{СП}$	6,06	24,18	40,75	$t_{СП}$	8,14	25,02	41,29
Вариант конфигурации 4				Вариант конфигурации 13			
v_{BX}	2,46	5,28	6,46	v_{BX}	2,65	5,49	6,49
$t_{СП}$	6,28	24,22	40,74	$t_{СП}$	8,30	25,09	41,33
Вариант конфигурации 5				Вариант конфигурации 14			
v_{BX}	2,48	5,31	6,47	v_{BX}	2,67	5,50	6,49
$t_{СП}$	6,63	24,40	40,88	$t_{СП}$	8,54	25,25	41,47
Вариант конфигурации 6				Вариант конфигурации 15			
v_{BX}	2,51	5,34	6,47	v_{BX}	2,69	5,52	6,50
$t_{СП}$	6,94	24,55	41,00	$t_{СП}$	8,85	25,47	41,68
Вариант конфигурации 7				Вариант конфигурации 16			
v_{BX}	2,53	5,37	6,47	v_{BX}	2,70	5,53	6,50
$t_{СП}$	7,16	24,62	41,03	$t_{СП}$	9,04	25,58	41,77
Вариант конфигурации 8				Вариант конфигурации 17			
v_{BX}	2,56	5,39	6,48	v_{BX}	2,72	5,54	6,50
$t_{СП}$	7,35	24,68	41,06	$t_{СП}$	9,24	25,71	41,88
Вариант конфигурации 9				Вариант конфигурации 18			
v_{BX}	2,58	5,41	6,48	v_{BX}	2,73	5,56	6,50
$t_{СП}$	7,55	24,76	41,10	$t_{СП}$	9,42	25,81	41,97

Таблица Г.29 – Скорость входа на тормозные позиции и время скатывания из восьми вагонов, $v_{op} = 0,8$ м/с

Параметры эксперимента	ТП-0	ТП-I	ТП-II	Параметры эксперимента	ТП-0	ТП-I	ТП-II
Вариант конфигурации 1				Вариант конфигурации 10			
v_{BX}	0,80	3,80	5,71	v_{BX}	0,86	4,11	5,77
$t_{СП}$	0,01	37,80	57,73	$t_{СП}$	6,29	40,87	60,10
Вариант конфигурации 2				Вариант конфигурации 11			
v_{BX}	0,80	3,84	5,72	v_{BX}	0,87	4,13	5,77
$t_{СП}$	0,01	38,62	58,44	$t_{СП}$	6,61	40,68	59,86
Вариант конфигурации 3				Вариант конфигурации 12			
v_{BX}	0,80	3,88	5,73	v_{BX}	0,89	4,16	5,77
$t_{СП}$	0,01	39,12	58,85	$t_{СП}$	7,56	41,15	60,28
Вариант конфигурации 4				Вариант конфигурации 13			
v_{BX}	0,80	3,92	5,74	v_{BX}	0,90	4,18	5,77
$t_{СП}$	0,47	39,34	58,97	$t_{СП}$	8,76	41,90	60,99
Вариант конфигурации 5				Вариант конфигурации 14			
v_{BX}	0,81	3,96	5,74	v_{BX}	0,91	4,20	5,78
$t_{СП}$	1,73	39,72	59,27	$t_{СП}$	9,53	42,25	61,30
Вариант конфигурации 6				Вариант конфигурации 15			
v_{BX}	0,81	3,99	5,75	v_{BX}	0,93	4,22	5,78
$t_{СП}$	2,77	39,96	59,43	$t_{СП}$	10,35	42,66	61,67
Вариант конфигурации 7				Вариант конфигурации 16			
v_{BX}	0,83	4,02	5,75	v_{BX}	0,94	4,23	5,78
$t_{СП}$	3,81	40,24	59,64	$t_{СП}$	10,82	42,75	61,73
Вариант конфигурации 8				Вариант конфигурации 17			
v_{BX}	0,84	4,05	5,76	v_{BX}	0,95	4,25	5,78
$t_{СП}$	4,30	40,04	59,39	$t_{СП}$	11,33	42,91	61,85
Вариант конфигурации 9				Вариант конфигурации 18			
v_{BX}	0,85	4,08	5,76	v_{BX}	0,96	4,27	5,79
$t_{СП}$	5,31	40,45	59,73	$t_{СП}$	12,14	43,39	62,30

Таблица Г.30 – Скорость входа на тормозные позиции и время скатывания из восьми вагонов, $v_{op} = 1,0$ м/с

Параметры эксперимента	ТП-0	ТП-I	ТП-II	Параметры эксперимента	ТП-0	ТП-I	ТП-II
Вариант конфигурации 1				Вариант конфигурации 10			
v_{BX}	1,00	3,84	5,73	v_{BX}	1,05	4,15	5,78
$t_{СП}$	0,01	34,24	54,06	$t_{СП}$	5,07	37,12	56,25
Вариант конфигурации 2				Вариант конфигурации 11			
v_{BX}	1,00	3,88	5,74	v_{BX}	1,06	4,17	5,79
$t_{СП}$	0,01	34,95	54,66	$t_{СП}$	5,35	36,99	56,08
Вариант конфигурации 3				Вариант конфигурации 12			
v_{BX}	1,00	3,92	5,75	v_{BX}	1,07	4,19	5,79
$t_{СП}$	0,01	35,42	55,04	$t_{СП}$	6,12	37,39	56,44
Вариант конфигурации 4				Вариант конфигурации 13			
v_{BX}	1,00	3,96	5,75	v_{BX}	1,08	4,21	5,79
$t_{СП}$	0,38	35,65	55,18	$t_{СП}$	7,10	38,02	57,02
Вариант конфигурации 5				Вариант конфигурации 14			
v_{BX}	1,00	4,00	5,76	v_{BX}	1,09	4,23	5,79

Продолжение таблицы Г.30

Параметры эксперимента	ТП-0	ТП-I	ТП-II	Параметры эксперимента	ТП-0	ТП-I	ТП-II
$t_{\text{сп}}$	1,39	36,01	55,45	$t_{\text{сп}}$	7,73	38,33	57,29
Вариант конфигурации 6				Вариант конфигурации 15			
$v_{\text{вх}}$	1,01	4,03	5,77	$v_{\text{вх}}$	1,10	4,25	5,80
$t_{\text{сп}}$	2,22	36,24	55,62	$t_{\text{сп}}$	8,42	38,68	57,61
Вариант конфигурации 7				Вариант конфигурации 16			
$v_{\text{вх}}$	1,02	4,06	5,77	$v_{\text{вх}}$	1,11	4,27	5,80
$t_{\text{сп}}$	3,06	36,51	55,82	$t_{\text{сп}}$	8,82	38,79	57,68
Вариант конфигурации 8				Вариант конфигурации 17			
$v_{\text{вх}}$	1,03	4,09	5,78	$v_{\text{вх}}$	1,12	4,29	5,80
$t_{\text{сп}}$	3,46	36,40	55,64	$t_{\text{сп}}$	9,26	38,94	57,80
Вариант конфигурации 9				Вариант конфигурации 18			
$v_{\text{вх}}$	1,04	4,12	5,78	$v_{\text{вх}}$	1,14	4,30	5,80
$t_{\text{сп}}$	4,28	36,75	55,94	$t_{\text{сп}}$	9,93	39,35	58,18

Таблица Г.31 – Скорость входа на тормозные позиции и время скатывания из восьми вагонов, $v_{\text{оп}} = 1,2$ м/с

Параметры эксперимента	ТП-0	ТП-I	ТП-II	Параметры эксперимента	ТП-0	ТП-I	ТП-II
Вариант конфигурации 1				Вариант конфигурации 10			
$v_{\text{вх}}$	1,20	3,89	5,75	$v_{\text{вх}}$	1,24	4,19	5,80
$t_{\text{сп}}$	0,01	31,36	51,04	$t_{\text{сп}}$	4,25	34,07	53,10
Вариант конфигурации 2				Вариант конфигурации 11			
$v_{\text{вх}}$	1,20	3,93	5,76	$v_{\text{вх}}$	1,25	4,22	5,80
$t_{\text{сп}}$	0,01	31,99	51,58	$t_{\text{сп}}$	4,48	33,99	52,97
Вариант конфигурации 3				Вариант конфигурации 12			
$v_{\text{вх}}$	1,20	3,97	5,77	$v_{\text{вх}}$	1,26	4,24	5,81
$t_{\text{сп}}$	0,01	32,43	51,92	$t_{\text{сп}}$	5,13	34,34	53,28
Вариант конфигурации 4				Вариант конфигурации 13			
$v_{\text{вх}}$	1,20	4,01	5,77	$v_{\text{вх}}$	1,27	4,26	5,81
$t_{\text{сп}}$	0,32	32,66	52,07	$t_{\text{сп}}$	5,96	34,89	53,78
Вариант конфигурации 5				Вариант конфигурации 14			
$v_{\text{вх}}$	1,20	4,05	5,78	$v_{\text{вх}}$	1,28	4,28	5,81
$t_{\text{сп}}$	1,16	33,00	52,33	$t_{\text{сп}}$	6,50	35,17	54,02
Вариант конфигурации 6				Вариант конфигурации 15			
$v_{\text{вх}}$	1,21	4,08	5,79	$v_{\text{вх}}$	1,29	4,30	5,82
$t_{\text{сп}}$	1,85	33,23	52,49	$t_{\text{сп}}$	7,08	35,48	54,30
Вариант конфигурации 7				Вариант конфигурации 16			
$v_{\text{вх}}$	1,22	4,11	5,79	$v_{\text{вх}}$	1,30	4,32	5,82
$t_{\text{сп}}$	2,55	33,49	52,68	$t_{\text{сп}}$	7,43	35,59	54,38
Вариант конфигурации 8				Вариант конфигурации 17			
$v_{\text{вх}}$	1,23	4,14	5,79	$v_{\text{вх}}$	1,31	4,33	5,82
$t_{\text{сп}}$	2,89	33,42	52,56	$t_{\text{сп}}$	7,81	35,74	54,50
Вариант конфигурации 9				Вариант конфигурации 18			
$v_{\text{вх}}$	1,23	4,17	5,80	$v_{\text{вх}}$	1,31	4,35	5,82
$t_{\text{сп}}$	3,58	33,74	52,82	$t_{\text{сп}}$	8,38	36,10	54,83

Таблица Г.32 – Скорость входа на тормозные позиции и время скатывания из восьми вагонов, $v_{op} = 1,4$ м/с

Параметры эксперимента	ТП-0	ТП-I	ТП-II	Параметры эксперимента	ТП-0	ТП-I	ТП-II
Вариант конфигурации 1				Вариант конфигурации 10			
v_{BX}	1,40	3,95	5,78	v_{BX}	1,44	4,25	5,82
$t_{СП}$	0,01	28,94	48,48	$t_{СП}$	3,65	31,53	50,43
Вариант конфигурации 2				Вариант конфигурации 11			
v_{BX}	1,40	3,99	5,78	v_{BX}	1,44	4,27	5,83
$t_{СП}$	0,01	29,52	48,96	$t_{СП}$	3,86	31,48	50,33
Вариант конфигурации 3				Вариант конфигурации 12			
v_{BX}	1,40	4,03	5,79	v_{BX}	1,45	4,29	5,83
$t_{СП}$	0,01	29,93	49,28	$t_{СП}$	4,42	31,80	50,61
Вариант конфигурации 4				Вариант конфигурации 13			
v_{BX}	1,40	4,07	5,80	v_{BX}	1,46	4,31	5,83
$t_{СП}$	0,27	30,17	49,44	$t_{СП}$	5,13	32,28	51,05
Вариант конфигурации 5				Вариант конфигурации 14			
v_{BX}	1,40	4,10	5,80	v_{BX}	1,47	4,33	5,84
$t_{СП}$	0,99	30,49	49,68	$t_{СП}$	5,60	32,54	51,27
Вариант конфигурации 6				Вариант конфигурации 15			
v_{BX}	1,41	4,14	5,81	v_{BX}	1,48	4,35	5,84
$t_{СП}$	1,59	30,72	49,84	$t_{СП}$	6,11	32,83	51,52
Вариант конфигурации 7				Вариант конфигурации 16			
v_{BX}	1,41	4,17	5,81	v_{BX}	1,48	4,37	5,84
$t_{СП}$	2,19	30,97	50,03	$t_{СП}$	6,41	32,94	51,60
Вариант конфигурации 8				Вариант конфигурации 17			
v_{BX}	1,42	4,19	5,82	v_{BX}	1,49	4,38	5,84
$t_{СП}$	2,49	30,93	49,93	$t_{СП}$	6,74	33,08	51,71
Вариант конфигурации 9				Вариант конфигурации 18			
v_{BX}	1,43	4,22	5,82	v_{BX}	1,50	4,40	5,84
$t_{СП}$	3,08	31,23	50,18	$t_{СП}$	7,24	33,40	52,01

Таблица Г.33 – Скорость входа на тормозные позиции и время скатывания из восьми вагонов, $v_{op} = 1,7$ м/с

Параметры эксперимента	ТП-0	ТП-I	ТП-II	Параметры эксперимента	ТП-0	ТП-I	ТП-II
Вариант конфигурации 1				Вариант конфигурации 10			
v_{BX}	1,70	4,05	5,82	v_{BX}	1,73	4,34	5,86
$t_{СП}$	0,01	25,96	45,25	$t_{СП}$	3,02	28,38	47,07
Вариант конфигурации 2				Вариант конфигурации 11			
v_{BX}	1,70	4,09	5,82	v_{BX}	1,74	4,36	5,87
$t_{СП}$	0,01	26,48	45,67	$t_{СП}$	3,19	28,36	47,00
Вариант конфигурации 3				Вариант конфигурации 12			
v_{BX}	1,70	4,13	5,83	v_{BX}	1,74	4,38	5,87
$t_{СП}$	0,01	26,86	45,96	$t_{СП}$	3,65	28,64	47,24
Вариант конфигурации 4				Вариант конфигурации 13			
v_{BX}	1,70	4,17	5,84	v_{BX}	1,75	4,40	5,87
$t_{СП}$	0,22	27,09	46,12	$t_{СП}$	4,24	29,06	47,62
Вариант конфигурации 5				Вариант конфигурации 14			
v_{BX}	1,70	4,20	5,84	v_{BX}	1,75	4,42	5,87

Продолжение таблицы Г.33

Параметры эксперимента	ТП-0	ТП-I	ТП-II	Параметры эксперимента	ТП-0	ТП-I	ТП-II
$t_{\text{СП}}$	0,82	27,39	46,34	$t_{\text{СП}}$	4,63	29,29	47,82
Вариант конфигурации 6				Вариант конфигурации 15			
$v_{\text{ВХ}}$	1,71	4,23	5,85	$v_{\text{ВХ}}$	1,76	4,44	5,88
$t_{\text{СП}}$	1,31	27,61	46,50	$t_{\text{СП}}$	5,06	29,55	48,04
Вариант конфигурации 7				Вариант конфигурации 16			
$v_{\text{ВХ}}$	1,71	4,26	5,85	$v_{\text{ВХ}}$	1,77	4,46	5,88
$t_{\text{СП}}$	1,81	27,84	46,68	$t_{\text{СП}}$	5,32	29,66	48,12
Вариант конфигурации 8				Вариант конфигурации 17			
$v_{\text{ВХ}}$	1,72	4,29	5,86	$v_{\text{ВХ}}$	1,78	4,47	5,88
$t_{\text{СП}}$	2,05	27,84	46,62	$t_{\text{СП}}$	5,59	29,79	48,23
Вариант конфигурации 9				Вариант конфигурации 18			
$v_{\text{ВХ}}$	1,72	4,32	5,86	$v_{\text{ВХ}}$	1,78	4,49	5,88
$t_{\text{СП}}$	2,54	28,11	46,84	$t_{\text{СП}}$	6,01	30,08	48,48

Таблица Г.34 – Скорость входа на тормозные позиции и время скатывания из восьми вагонов, $v_{\text{оп}} = 2,0$ м/с

Параметры эксперимента	ТП-0	ТП-I	ТП-II	Параметры эксперимента	ТП-0	ТП-I	ТП-II
Вариант конфигурации 1				Вариант конфигурации 10			
$v_{\text{ВХ}}$	2,00	4,17	5,87	$v_{\text{ВХ}}$	2,03	4,45	5,91
$t_{\text{СП}}$	0,01	23,54	42,54	$t_{\text{СП}}$	2,57	25,82	44,26
Вариант конфигурации 2				Вариант конфигурации 11			
$v_{\text{ВХ}}$	2,00	4,21	5,87	$v_{\text{ВХ}}$	2,03	4,47	5,91
$t_{\text{СП}}$	0,01	24,00	42,92	$t_{\text{СП}}$	2,72	25,82	44,22
Вариант конфигурации 3				Вариант конфигурации 12			
$v_{\text{ВХ}}$	2,00	4,25	5,88	$v_{\text{ВХ}}$	2,04	4,49	5,92
$t_{\text{СП}}$	0,01	24,36	43,19	$t_{\text{СП}}$	3,11	26,07	44,43
Вариант конфигурации 4				Вариант конфигурации 13			
$v_{\text{ВХ}}$	2,00	4,28	5,89	$v_{\text{ВХ}}$	2,04	4,51	5,92
$t_{\text{СП}}$	0,19	24,58	43,35	$t_{\text{СП}}$	3,62	26,44	44,77
Вариант конфигурации 5				Вариант конфигурации 14			
$v_{\text{ВХ}}$	2,00	4,31	5,89	$v_{\text{ВХ}}$	2,05	4,52	5,92
$t_{\text{СП}}$	0,69	24,86	43,56	$t_{\text{СП}}$	3,95	26,65	44,94
Вариант конфигурации 6				Вариант конфигурации 15			
$v_{\text{ВХ}}$	2,01	4,34	5,90	$v_{\text{ВХ}}$	2,05	4,54	5,92
$t_{\text{СП}}$	1,11	25,08	43,71	$t_{\text{СП}}$	4,31	26,89	45,15
Вариант конфигурации 7				Вариант конфигурации 16			
$v_{\text{ВХ}}$	2,01	4,37	5,90	$v_{\text{ВХ}}$	2,06	4,56	5,92
$t_{\text{СП}}$	1,54	25,30	43,88	$t_{\text{СП}}$	4,53	27,00	45,23
Вариант конфигурации 8				Вариант конфигурации 17			
$v_{\text{ВХ}}$	2,02	4,40	5,90	$v_{\text{ВХ}}$	2,07	4,57	5,93
$t_{\text{СП}}$	1,74	25,32	43,85	$t_{\text{СП}}$	4,77	27,12	45,33
Вариант конфигурации 9				Вариант конфигурации 18			
$v_{\text{ВХ}}$	2,02	4,42	5,91	$v_{\text{ВХ}}$	2,07	4,59	5,93
$t_{\text{СП}}$	2,16	25,57	44,05	$t_{\text{СП}}$	5,13	27,38	45,55

Таблица Г.35 – Скорость входа на тормозные позиции и время скатывания из восьми вагонов, $v_{op} = 2,22$ м/с

Параметры эксперимента	ТП-0	ТП-I	ТП-II	Параметры эксперимента	ТП-0	ТП-I	ТП-II
Вариант конфигурации 1				Вариант конфигурации 10			
v_{BX}	2,22	4,27	5,90	v_{BX}	2,24	4,53	5,95
$t_{cп}$	0,00	22,01	40,79	$t_{cп}$	2,31	24,20	42,45
Вариант конфигурации 2				Вариант конфигурации 11			
v_{BX}	2,22	4,30	5,91	v_{BX}	2,25	4,55	5,95
$t_{cп}$	0,00	22,45	41,15	$t_{cп}$	2,45	24,21	42,42
Вариант конфигурации 3				Вариант конфигурации 12			
v_{BX}	2,22	4,34	5,92	v_{BX}	2,25	4,57	5,95
$t_{cп}$	0,00	22,79	41,41	$t_{cп}$	2,80	24,45	42,62
Вариант конфигурации 4				Вариант конфигурации 13			
v_{BX}	2,22	4,37	5,92	v_{BX}	2,26	4,59	5,96
$t_{cп}$	0,17	23,01	41,56	$t_{cп}$	3,26	24,80	42,93
Вариант конфигурации 5				Вариант конфигурации 14			
v_{BX}	2,22	4,40	5,93	v_{BX}	2,26	4,61	5,96
$t_{cп}$	0,63	23,28	41,77	$t_{cп}$	3,56	24,99	43,10
Вариант конфигурации 6				Вариант конфигурации 15			
v_{BX}	2,23	4,43	5,94	v_{BX}	2,27	4,62	5,96
$t_{cп}$	1,00	23,48	41,91	$t_{cп}$	3,89	25,21	43,29
Вариант конфигурации 7				Вариант конфигурации 16			
v_{BX}	2,23	4,46	5,94	v_{BX}	2,28	4,64	5,96
$t_{cп}$	1,38	23,70	42,08	$t_{cп}$	4,09	25,32	43,37
Вариант конфигурации 8				Вариант конфигурации 17			
v_{BX}	2,24	4,48	5,94	v_{BX}	2,28	4,65	5,96
$t_{cп}$	1,57	23,73	42,06	$t_{cп}$	4,30	25,44	43,46
Вариант конфигурации 9				Вариант конфигурации 18			
v_{BX}	2,24	4,51	5,95	v_{BX}	2,29	4,67	5,97
$t_{cп}$	1,95	23,97	42,25	$t_{cп}$	4,63	25,68	43,67

ПРИЛОЖЕНИЕ Д

Акты о внедрении 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

28 марта 2019 г. № 3СЗСД-21

На № _____ от _____

АКТ

о внедрении результатов диссертационной работы Гунбина Антона Андреевича

Результаты, полученные Гунбиным А.А. при выполнении диссертационной работы на тему «Совершенствование технологии работы сортировочных горок с многовагонными отцепами», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.22.08 – «Управление процессами перевозок», имеют прикладное значение для горочных железнодорожных станций.

Выполнена апробация разработанной имитационной модели скатывания отцепов с горки и предлагаемой методики расчета максимальной длины отцепа при роспуске на станции Инская Западно-Сибирской железной дороги – филиала ОАО «РЖД». Сопоставление результатов проведенных натуральных наблюдений и имитационного моделирования скатывания отцепов с горки подтвердили адекватность разработанной в диссертационной работе имитационной модели и возможность ее использования при решении практических задач.

Апробация разработанной методики расчета максимально допустимого числа вагонов в отцепе при расформировании составов на сортировочных горках показала, что ограничение по длине отцепа должно определяться не только с учетом мощности тормозных средств горки, но и по критерию обеспечения необходимой дальности пробега многовагонных отцепов. В результате на горке может сократиться количество расцепок и число дополнительно выполняемых операций, связанных с необходимостью деления отцепа на части, что приведет к сокращению горочного технологического интервала и увеличению перерабатывающей способности сортировочной горки. Для станции Инская возможный прирост перерабатывающей способности нечетной сортировочной горки после реализации предлагаемых мероприятий может составить 2% (125 ваг./сут.).

Разработанная в диссертации модель и предложенная методика определения максимально допустимого количества вагонов в отцепе представляют практическую ценность и могут быть использованы для совершенствования работы горочных сортировочных устройств других станций ОАО «РЖД».

Первый заместитель
начальника дирекции



Е.К. Смагулов

Е.К. Смагулов



РОСЖЕЛДОР
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

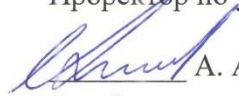
**“СИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ” (СГУПС)**

✉ 630049, г. Новосибирск-49, ☎ тел.: (383) 328-04-70, 328-05-75 📧 e-mail: public@stu.ru
ул. Дуси Ковальчук, 191 факс: (383) 226-79-78 http://www.stu.ru
ОГРН 1025401011680 ИНН / КПП 5402113155 / 540201001

11.04.19 № 748
на № _____ от _____

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе

 А. А. Новоселов

«__» _____ 20__ г.



Акт о внедрении результатов диссертационной работы Гунбина Антона Андреевича в учебный процесс

Настоящий акт подтверждает использование материалов диссертационной работы Гунбина А. А. на тему «Совершенствование технологии работы сортировочных горок с многовагонными отцепами», выполненной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.22.08 – «Управление процессами перевозок» (технические науки), в учебном процессе кафедры «Железнодорожные станции и узлы» ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет путей сообщения».

Научные результаты диссертационной работы используются при обучении студентов направления подготовки 23.05.04 «Эксплуатация железных дорог», специализаций «Магистральный транспорт», «Транспортный бизнес и логистика». Материалы диссертационной работы, касающиеся особенностей технологии переработки многовагонных отцепов на сортировочных горках, включены в учебный курс рабочей программы Б1.О.27 дисциплины «Железнодорожные станции и узлы» (раздел 3 «Сортировочные устройства»). Разработанная в рамках подготовки диссертационной работы программа для ЭВМ «СКАТ-Отцеп» используются при выполнении выпускных квалификационных работ студентами направления подготовки 23.05.04 «Эксплуатация железных дорог».

Зав. каф. ЖДСУ,
к.т.н., доцент

 С. В. Карасев

051292