

На правах рукописи



Осипов Дмитрий Валентинович

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ
ПЕРЕВАЛЬНОЙ ЧАСТИ СОРТИРОВОЧНЫХ ГОРОК**

05.22.08 – Управление процессами перевозок
(технические науки)

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Новосибирск – 2017

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

Научный руководитель: кандидат технических наук, доцент
Климов Александр Александрович

Официальные оппоненты:

Числов Олег Николаевич, доктор технических наук, доцент, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ростовский государственный университет путей сообщения», заведующий кафедрой «Станции и грузовая работа» (ФГБОУ ВО РГУПС)

Ситников Сергей Анатольевич, кандидат технических наук, доцент, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Уральский государственный университет путей сообщения», доцент кафедры «Станции, узлы и грузовая работа» (ФГБОУ ВО УрГУПС)

Ведущая организация: федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I» (ФГБОУ ВО ПГУПС)

Защита состоится «29» сентября 2017 г. в 14 часов 00 минут на заседании диссертационного совета Д 218.013.01 на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Уральский государственный университет путей сообщения» по адресу: 620034, г. Екатеринбург, ул. Колмогорова, д. 66, ауд. Б2-15 – зал диссертационных советов.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Уральский государственный университет путей сообщения». Адрес сайта, на котором размещена диссертация и автореферат: <http://www.usurt.ru>.

Автореферат разослан «29» июня 2017 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Тимухина Елена Николаевна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Сортировочные горки являются важнейшими элементами технологических систем переработки вагонопотоков и во многом определяют эффективность, надежность и результаты их функционирования. В ОАО «РЖД» реализуется Программа совершенствования работы и развития сортировочных станций, в рамках которой проведен комплекс мероприятий по механизации, автоматизации, модернизации путевого развития горок, внедрению новейших технических средств и технологий. Дальнейшая интенсификация переработки вагонов на горках связана с оптимизацией параметров их отдельных элементов.

Важнейшим параметром сортировочной горки является продольный профиль, от конструкции которого зависит производительность и безопасность работы всего сортировочного комплекса. Особое значение имеет перевальная часть горки, где происходит деление состава на отцепы и образование начальных пространственных интервалов между ними, что во многом определяет показатели всего сортировочного процесса, такие как: скорость роспуска, горочный технологический интервал и перерабатывающая способность горки.

Отдельной задачей является обеспечение соответствия параметров продольного профиля эксплуатируемых горок проекту. Возникающие при эксплуатации искажения профиля могут приводить не только к уменьшению производительности горки, но и к снижению уровня безопасности сортировочного процесса. Поэтому одним из важных направлений исследований является определение влияния искажений продольного профиля перевальной части на эксплуатационные свойства горки и определение целесообразности проведения ее выправки, в том числе по экономическим критериям.

В действующих правилах и нормах проектирования сортировочных устройств представлены диапазоны допустимых значений для определения конструктивных параметров перевальной части горок, при этом методов и рекомендаций по определению оптимальных значений не приведено. Таким образом, совершенствование методов расчета параметров перевальной части горок является актуальным направлением научных исследований.

Степень разработанности темы исследования. Значительный вклад в развитие теории проектирования и совершенствование технологии работы сортировочных горок внесли такие ученые и специалисты, как Е. В. Архангельский, С. А. Бессоненко, В. И. Бобровский, С. П. Бузанов, А. В. Быкадоров, М. Г. Дашков, А. М. Долаберидзе, Ю. И. Ефименко, В. И. Жуков, В. Н. Иванченко, С. В. Карасев, А. М. Карпов, А. А. Климов, В. А. Кобзев, С. С. Мацкель, Ю. А. Муха, Е. В. Нагорный, В. Д. Никитин, В. Е. Павлов, А. И. Павловский, Н. В. Правдин, В. Д. Ратников, В. М. Рудановский, А. Г. Савицкий, Е. А. Сотников, И. П. Старшов, И. И. Страковский, Л. Б. Тиш-

ков, Х. Т. Туранов, Н. И. Федотов, Н. М. Фонарев, А. Н. Шабельников, В. П. Шейкин, В. Н. Шелухин и др.

Ранее выполненные исследования в основном были направлены на оптимизацию конструктивных и технологических параметров спускной части горок. При этом исследованию процесса прохождения отцепов через горб горки и определению рациональных конструктивных параметров перевальной части уделялось меньшее внимание.

Целью диссертационной работы является совершенствование методов расчета параметров продольного профиля перевальной части сортировочных горок для интенсификации переработки вагонопотоков и повышения безопасности сортировочного процесса.

Для достижения указанной цели потребовалось решить следующие **задачи**:

1. Выполнить анализ современного состояния теории и практики проектирования продольного профиля перевальной части сортировочных горок.
2. Разработать аналитическую и имитационную модели определения положения отцепов в момент их отрыва от состава при роспуске с сортировочной горки.
3. Выполнить исследования процесса отрыва отцепов от состава при роспуске и разработать предложения для совершенствования методики расчета горок.
4. Разработать имитационную модель и исследовать процесс прохождения сцепленными вагонами перевальной части сортировочной горки.
5. Разработать методику определения рационального варианта продольного профиля перевальной части сортировочной горки.

Объект исследования. Линейные предприятия транспортной сети.

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

Методология и методы исследования. Методологической и теоретической основой проводимых исследований являются труды отечественных и зарубежных ученых в области проектирования и эксплуатации сортировочных горок. При решении задач выполнялись сбор и обработка данных о работе сортировочных горок, анализ материалов съемки продольных профилей, проведение натурных наблюдений за сортировочным процессом. Построение имитационных моделей процесса проследования отцепами перевальной части горки выполнено на основе теории расчета и проектирования сортировочных горок с использованием аппарата теории вероятностей и математической статистики. При выполнении работы использовались положения теории планирования эксперимента, теории надежности и методы технико-экономического сравнения вариантов проектных решений.

Научная новизна диссертационной работы.

1. Разработан новый аналитический метод определения положения одновагон-

ных отцепов в момент их отрыва от состава при роспуске с горки, обеспечивающий точность расчетов, соизмеримую с имитационным моделированием.

2. Предложена методика учета дополнительного сопротивления движению отцепа при разъединении автосцепок смежных вагонов на горбе горки для уточнения положения отцепов в момент их отрыва от состава при роспуске.

3. Разработана новая имитационная модель, позволяющая рассчитывать вероятностные показатели проходимости сцепленных вагонов через горб сортировочной горки при роспуске.

4. Разработана методика определения рационального варианта продольного профиля перевальной части как проектируемых, так и эксплуатируемых сортировочных горок, позволяющая производить сравнение вариантов по эксплуатационным и экономическим критериям.

Теоретическая и практическая значимость работы. Результаты исследований могут быть использованы при корректировке норм проектирования и содержания сортировочных горок. Использование разработанных методик, аналитических и имитационных моделей позволит повысить уровень обоснования проектных решений при проектировании или реконструкции продольного профиля сортировочных горок. Разработанные методики и математические модели могут быть использованы для анализа работы эксплуатируемых сортировочных горок и принятия решения о необходимости выправки или реконструкции перевальной части, что позволит получить экономический эффект от уменьшения затрат на проведение маневровой работы, а также повысить уровень безопасности сортировочного процесса.

Реализация и внедрение результатов работы. Разработанные практические рекомендации приняты к использованию Западно-Сибирской дирекцией управления движением – структурным подразделением Центральной дирекции управления движением – филиала ОАО «РЖД» для оценки конструкции и технологических параметров существующих сортировочных горок. Результаты работы использованы при разработке проектов выправки горбов сортировочных горок. Получены свидетельства о государственной регистрации объектов интеллектуальной собственности:

1. Программа для оценки качества продольного профиля горочных путей «Горб горки - Проверка профиля».

2. Программа для расчета параметров сортировочных горок методом имитационного моделирования скатывания отцепов «Спуск-2».

Созданные модели и методики используются в учебном процессе кафедры «Железнодорожные станции и узлы» и научно-исследовательских работах НИЛ «Совершенствование перевозочного процесса» СГУПС.

Положения, выносимые на защиту:

1. Аналитическая и имитационная модели определения положения отцепов на перевальной части горки в момент отрыва от состава при роспуске.
2. Методика расчета показателей прохождения отцепами через перевальную часть сортировочной горки при роспуске.
3. Методика определения рационального варианта продольного профиля перевальной части сортировочной горки.

Степень достоверности и апробация работы. Достоверность приведенных в диссертации исследований основана на корректном применении основных положений фундаментальных и прикладных наук, методов исследования, что подтверждается соответствием разработанных теоретических положений и результатов расчетов результатам натуральных наблюдений за процессом роспуска составов на эксплуатируемых сортировочных горках. Основные положения диссертационной работы доложены и получили одобрение на научных конференциях: VII Всероссийской научно-технической конференции «Политранспортные системы» (СФУ, Красноярск, 2010 г.); Международной научно-практической конференции «Инновационные факторы развития Транссиба на современном этапе» (СГУПС, Новосибирск, 2012 г.); Международной научно-практической конференции «Совершенствование технологии перевозочного процесса» (СГУПС, Новосибирск, 2014 г.); IX Международной научно-технической конференции «Политранспортные системы» (СГУПС, Новосибирск, 2016 г.). Результаты диссертационного исследования были представлены и получили одобрение на заседаниях кафедры «Железнодорожные станции и узлы» (СГУПС, Новосибирск, 2010–2016 гг.), научно-технического совета факультета «Управление процессами перевозок» (СГУПС, Новосибирск, 2013, 2016 г.), на расширенном заседании кафедры «Станции, узлы и грузовая работа» (УрГУПС, Екатеринбург, 2017 г.), на сетевой школе передового опыта ОАО «РЖД» «Прогрессивные методы управления эксплуатационной работой, направленные на выполнение показателей работы сортировочных станций» (ОАО «РЖД», Зап.-Сиб. ж. д., Новосибирск, 2016 г.).

Публикации. Основные результаты диссертационной работы опубликованы в 14 научных работах, в том числе четыре статьи опубликованы в журналах, входящих в перечень ведущих рецензируемых изданий, рекомендованных ВАК Минобрнауки России. Получены свидетельства о регистрации электронного ресурса № 21573 ОФЭРНиО и об отраслевой регистрации разработки № 7848 ОФАП.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы, включающего 158 наименований, шести приложений. Содержание работы изложено на 152 страницах основного текста. Диссертационная работа включает 17 таблиц и 37 рисунков.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

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

В первой главе выполнен анализ развития теории и норм проектирования, а также опыта эксплуатации перевальной части сортировочных горок. Анализ показал, что первоначально выбор параметров продольного профиля перевальной части горки основывался на оценке вертикальной вписываемости подвижного состава и практическом опыте эксплуатации. Впоследствии получила развитие теория определения предельных параметров продольного профиля горба сортировочной горки, основанная на учете особенностей автосцепных устройств вагонов.

Основные эксплуатационные требования к продольному профилю перевальной части горки можно разделить на две группы: обеспечение безопасного прохождения подвижного состава через горб горки и предотвращение его самопроизвольного расцепления, а также обеспечение реализации максимальной скорости роспуска и, как следствие, наибольшей перерабатывающей способности. Действующие нормы проектирования устанавливают диапазоны допустимых значений параметров продольного профиля перевальной части горки, при этом не приведены рекомендации по определению оптимальных значений.

Выполненный анализ нормативов и научных исследований в области определения параметров перевальной части горки, а также изучение опыта эксплуатации показали, что актуальной задачей совершенствования сортировочной работы является исследование процесса отрыва отцепов от состава для выявления и учета наиболее значимых факторов и создания адекватных моделей роспуска. Кроме этого, для более обоснованного выбора параметров продольного профиля при проектировании, а также оценки качества профиля на эксплуатируемых горках, актуальной задачей является определение показателей процесса прохождения отцепов через перевальную часть при роспуске, таких как: скорость роспуска, возможное число нерасцепов, саморасцепов и повреждений вагонов, с учетом вероятностного характера этих явлений.

Вторая глава посвящена теоретическому исследованию процесса отрыва отцепов от состава на перевальной части горки при роспуске. Для этого разработаны аналитический метод определения координат точек отрыва одновагонных отцепов (рисунок 1) и имитационная модель для определения положения любых отцепов в момент отрыва от состава, основанная на шарнирно-осевом представлении отцепов и учитывающая дополнительное сопротивление, возникающее в контурах зацепления разъединяемых автосцепок.

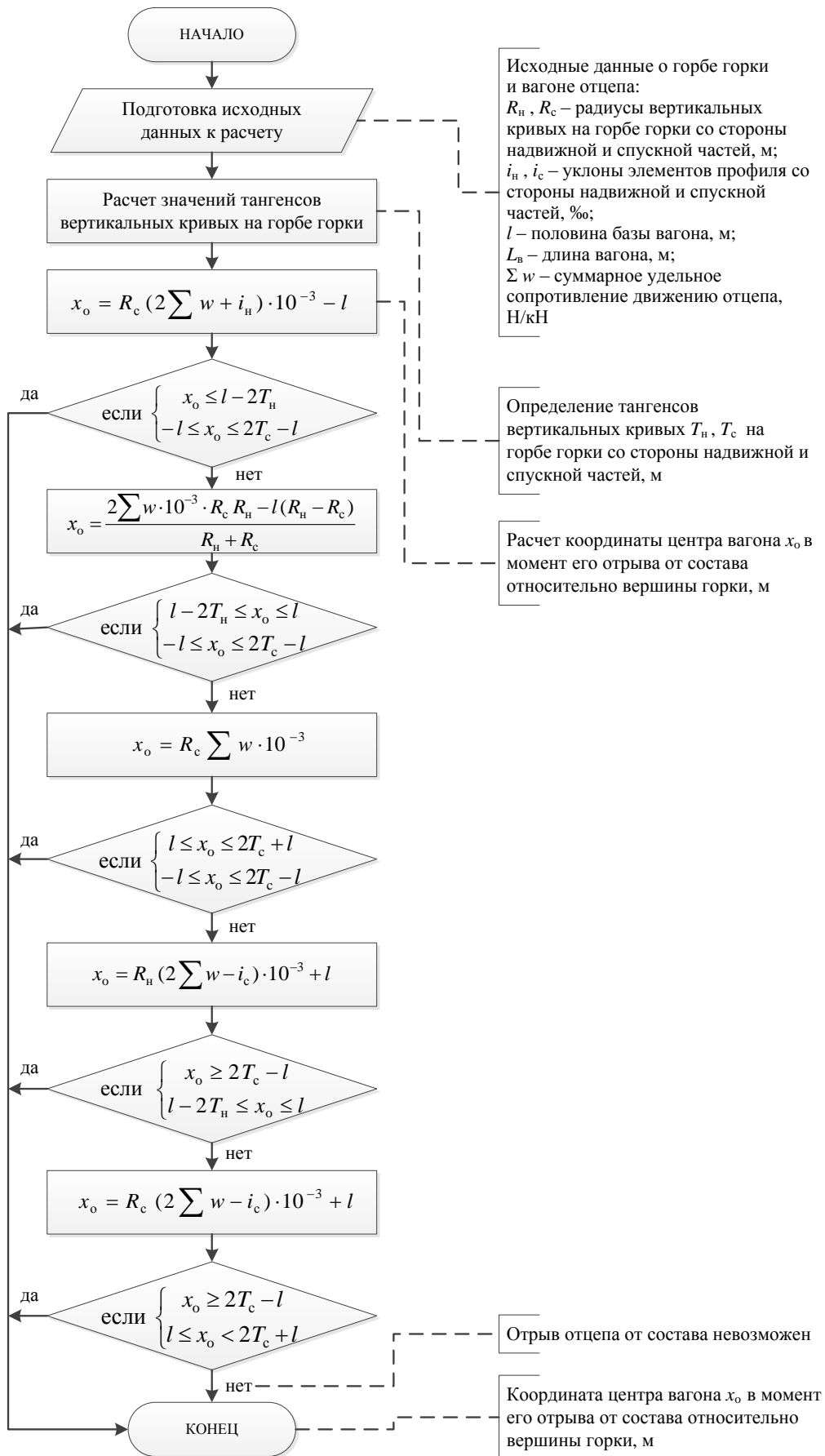


Рисунок 1 – Блок-схема алгоритма расчета координаты положения отцепа в момент отрыва от состава аналитическим методом

Сравнение результатов, полученных с использованием разработанного аналитического метода, с результатами, полученными методом имитационного моделирования скатывания вагонов с горки, показало, что отклонение в положениях координат точек отрыва одновагонных отцепов, полученное двумя этими методами является незначительным и находится в диапазоне от 0,01 до 0,2 м.

Имитационная модель позволяет определять совместное влияние возможных сил сопротивления разъединению автосцепок и параметров продольного профиля горба горки на положение отцепов в момент их отрыва от состава. Установлено, что наличие сил сопротивления при разъединении автосцепок, не учитываемое в существующих методах расчета, приводит к расширению диапазона рассеивания координат точек отрыва отцепов от состава, особенно при пологой перевальной части горки. Для уточнения методов расчета предлагается ввести дополнительное слагаемое в суммарном удельном сопротивлении движению отцепа Σw – *удельное сопротивление разъединению автосцепок* w_a .

Разработан программный комплекс, позволяющий исследовать процесс отрыва отцепов от состава при роспуске на сортировочных горках, имеющих перевальную часть произвольной конфигурации, а также может быть использован для экспериментального нахождения сил сопротивления разъединению автосцепок на эксплуатируемых горках и определения степени их влияния на сортировочный процесс.

Третья глава посвящена исследованию процесса отрыва отцепов от состава на перевальной части эксплуатируемых сортировочных горок и выявлению основных факторов, влияющих на своевременное отделение отцепов при роспуске. С использованием натуральных наблюдений, выполненных на горках Западно-Сибирской железной дороги, определено, что фактические положения отцепов в момент отрыва от состава удалены в сторону спускной части горки от расчетных координат, полученных как аналитическими методами, так и имитационным моделированием (рисунок 2).

Установлено, что на задержку отделения отцепов от состава значительное влияние оказывает процесс разъединения расцепленных автосцепок вагонов. При этом с ростом температуры и уменьшением влажности воздуха увеличивается число случаев запаздывания разъединения расцепленных автосцепок, из-за чего снижается скорость роспуска составов. В ряде случаев для недопущения «нагонов» на спускной части горки из-за задержки разъединения автосцепок производят вынужденную остановку роспуска.

При моделировании определено, что в контурах зацепления разъединяемых автосцепок возникают усилия, задерживающие отрыв отцепов. Значения этих усилий, как правило, для порожних вагонов составляют не менее 1000 Н, а для полновесных груженых вагонов не менее 3000 Н. Нередко задерживающая сила в автосцепках превышает значения 10000 Н, а в ряде случаев достигает значений, при которых отрыв

вагонов становится уже невозможен, что приводит к «утягиванию» за вершину горки последующего отцепа, чем нарушается программа роспуска.

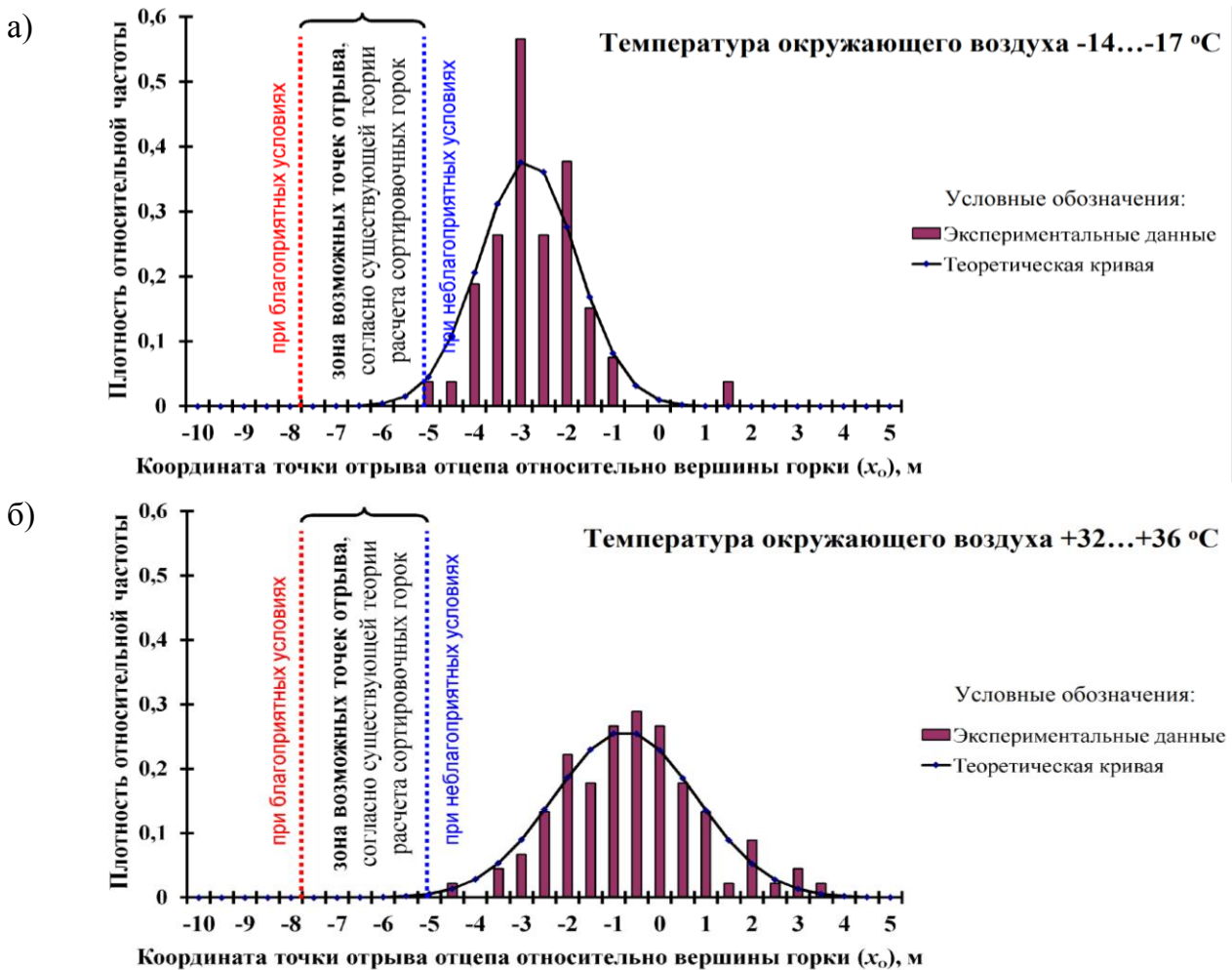


Рисунок 2 – Относительные частоты координат точек отрыва отцепов из одиночных полувагонов на сортировочной горке по результатам натуральных наблюдений

Для учета задержки отрыва отцепов из-за влияния автосцепок разработана математическая модель отделения отцепов от состава, учитывающая процесс разъединения автосцепок. Данный процесс рассматривается в виде трех последовательных фаз: *фазы перехода автосцепок из сжатого состояния в равновесное, фазы растягивания автосцепок и фазы разведения автосцепок*. Использование этой модели позволяет оценивать возможное влияние на положение отцепов в момент их отрыва от состава ряда факторов, в частности: скорости роспуска, сопротивления движению отцепов, состояния автосцепок вагонов. Достоверность модели подтверждена результатами натуральных наблюдений, проведенных на сортировочных горках реальных станций.

Таким образом, представляется целесообразным ввести в методику горочных расчетов дополнительный вид сопротивления – *удельное сопротивление при разъединении автосцепок вагонов* w_a . Указанное сопротивление следует учитывать до момента фактического отрыва отцепа от состава как дополнительное слагаемое к суммар-

ному сопротивлению движению. Сопротивление w_a – случайная величина, зависящая от множества факторов: температуры окружающей среды и влажности воздуха, типа и состояния автосцепок вагонов, характеристик разделяемых отцепов и др. В результате этого, формализация процессов, происходящих при разведении автосцепок, достаточно сложна, в настоящее время полностью не проработана и требует дополнительных исследований. По результатам натуральных наблюдений предлагается при имитационном моделировании скатывания отцепов расчет случайной величины w_a выполнять по формуле, соответствующей смещенному экспоненциальному закону распределения, Н/кН:

$$w_a = -(\bar{w}_a - w_a^{\text{мин}}) \cdot \ln(R) + w_a^{\text{мин}}, \quad (1)$$

где \bar{w}_a и $w_a^{\text{мин}}$ – среднее и минимальное значение удельного сопротивления при разъединении автосцепок (можно принять, соответственно, 6 и 2 Н/кН); R – случайная величина, равномерно распределенная в интервале (0; 1).

В аналитических расчетах величину w_a , в зависимости от решаемых задач, следует принимать как среднее или как экстремальные значения. Суммарное удельное сопротивление движению одиночного отцепа, а также для расчетных бегунов ОП (П) и ОХ (Х), будет определяться, соответственно, по формулам:

$$\sum \bar{w} = \bar{w}_o + \bar{w}_{\text{св}} + \bar{w}_{\text{ск}} + \bar{w}_a, \quad (2)$$

$$\sum w^{\text{ОП}} = w_o^{\text{ОП}} + w_{\text{св}}^{\text{ОП}} + w_{\text{ск}}^{\text{ОП}} + w_a^{\text{макс}}, \quad (3)$$

$$\sum w^{\text{ОХ}} = w_o^{\text{ОХ}} + w_{\text{св}}^{\text{ОХ}} + w_{\text{ск}}^{\text{ОХ}} + w_a^{\text{мин}}, \quad (4)$$

где \bar{w} – среднее значение удельного сопротивления движению, Н/кН; w_o , $w_{\text{св}}$, $w_{\text{ск}}$ – удельные сопротивления движению бегуна, соответственно, основное, от воздушной среды и ветра, от стрелочных переводов и кривых, Н/кН; $w_a^{\text{мин}}$ – минимальное значение удельного сопротивления при разъединении автосцепок вагонов, Н/кН; $w_a^{\text{макс}}$ – значение удельного сопротивления при разъединении автосцепок, соответствующее средним неблагоприятным условиям расцепления, Н/кН.

Также установлено, что одной из причин расхождения расчетных и фактических координат точек отрыва отцепов от состава при роспуске является упрощенное представление воздействия воздушной среды и ветра на скатывающиеся отцепы. Разработана методика для моделирования ветровых нагрузок на вагоны при роспуске, учитывающая случайный характер воздействия воздушного потока на отцепы. Для моделирования воздействия ветра предлагается рассматривать мгновенную скорость ветра $v(t)$ как сумму средней скорости ветра $v_{\text{ср}}$ и переменной (пульсационной) составляющей скорости ветра $\Delta v_{\text{п}}(t)$:

$$v(t) = v_{cp} + \Delta v_{п}(t). \quad (5)$$

Пульсационную составляющую скорости ветра $\Delta v_{п}(t)$ можно представлять в виде канонического разложения случайной функции:

$$\Delta v_{п}(t) = \sum_{i=1}^n k_i \cdot \eta_i(t), \quad (6)$$

где n – число рассматриваемых пульсаций ветра; k_i – коэффициенты разложения, случайные величины; $\eta_i(t)$ – координатные функции, например, тригонометрические.

Четвертая глава посвящена разработке имитационной модели для исследования прохождения отцепов через горб сортировочной горки и определения эксплуатационных показателей данного процесса. Модель позволяет исследовать продольный профиль горба горки и прилегающих к нему участков надвигной и спускной частей произвольного проектного очертания, а также фактический профиль эксплуатируемых горок.

Основным показателем, характеризующим проход сцепленных вагонов через горб горки без саморасцепа и сверхнормативных нагрузок на узлы вагона, является величина дополнительного вертикального смещения центров взаимодействующих автосцепок $\Delta h_{геом}$. На рисунке 3 представлены зависимости величины $\Delta h_{геом}$ от координаты оси зацепления автосцепок $x_{сц}$ при проходе сцепленных длиннобазных платформ по: а) горбу «идеальной» горки с параметрами $R_c = 250$ м, $R_H = 350$ м, $i_H = 8 \text{ ‰}$, $i_c = 47 \text{ ‰}$; б) горбу эксплуатируемой горки.

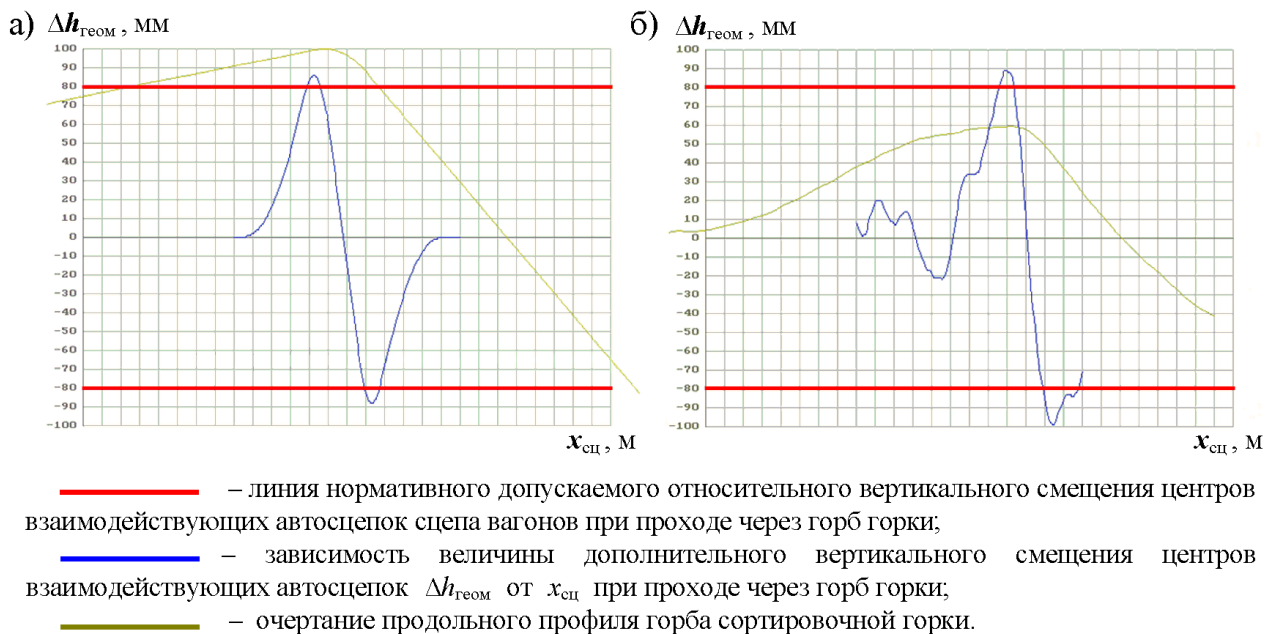


Рисунок 3 – Результаты моделирования прохождения отцепа через горб горки

При моделировании процесса прохождения сцепленных вагонов через перевальную часть горки определяются экстремумы $\Delta h_{геом}^{\max(+)}$ и $\Delta h_{геом}^{\min(-)}$ величины $\Delta h_{геом}$. Для оценки продольного профиля горба горки на основании данных значений вычис-

ляются вероятности возникновения случаев самопроизвольного расцепа вагонов и появления сверхнормативных нагрузок на их автосцепные устройства при проследовании горба сортировочной горки (рисунок 4).

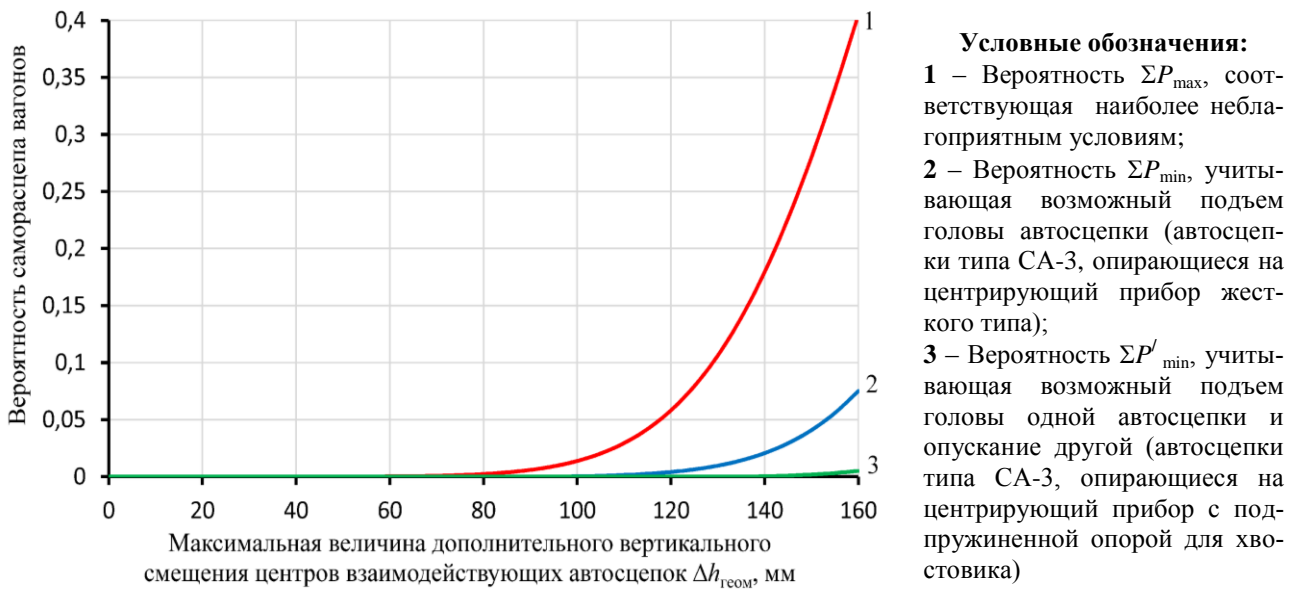


Рисунок 4 – Зависимость вероятности саморасцепа вагонов от экстремальных значений величины $\Delta h_{\text{геом}}$ при проходе горба горки ¹

Проведено моделирование прохождения сцепленных вагонов по перевальной части горки с различными предельными вариантами продольного профиля. Установлено, что по условиям прохода вагонов без саморасцепа и сверхнормативных нагрузок на автосцепные устройства самым трудным является вариант профиля без разделительного профильного элемента и с максимальной крутизной первого скоростного элемента. Таким образом, для проектирования рекомендуется вариант продольного профиля с разделительным профильным элементом, обеспечивающий более благоприятные условия прохода длиннобазных вагонов, а также лучшие условия для отделения отцепов. Для данного варианта установлена целесообразность уменьшения величины радиуса вертикальной кривой со стороны надвижной части до 250 м.

Для проверки имитационной модели произведено сопоставление результатов моделирования прохода сцепленных вагонов через горбы эксплуатируемых сортировочных горок и результатов натуральных наблюдений. Установлено, что на ряде горок имеют место такие негативные явления, как саморасцепы вагонов при проходе горба, а также повреждение подвижного состава. Основной причиной является значительное несоответствие фактических параметров продольного профиля горбов горок нормативным требованиям, вследствие несвоевременной выправки или недостаточного

¹ При расчете вероятностей принято: все автосцепки без ограничителей вертикальных перемещений; экстремальные значения $\Delta h_{\text{геом}}$ (т. е. $\Delta h_{\text{геом}}^{\max(+)}$ и $\Delta h_{\text{геом}}^{\min(-)}$) по модулю равны.

контроля за состоянием профиля, особенно за соблюдением радиусов вертикальных кривых, сопрягающих надвижную (R_n) и спускную части горки (R_c). Установлено, что результаты фактических наблюдений согласуются с результатами моделирования. При этом фактическая вероятность саморасцепа вагонов определяется в большей степени нижним уровнем ΣP_c^{\min} , а не верхним ΣP_c^{\max} .

Существующий норматив показателя $\Delta h_{\text{доп}}$ (допускаемое по конструкции автосцепок дополнительное вертикальное смещение их осей, при котором обеспечивается движение вагонов без саморасцепа), равный 80 мм для обычных автосцепок СА-3, имеет значительный резерв. Результаты натуральных наблюдений показали, что для сцепленных вагонов с обычными автосцепками типа СА-3 (не имеющими ограничителей вертикальных перемещений) при проходе горбов горок, параметр которых $\Delta h_{\text{геом}}$ достигает 90 мм, а в ряде случаев и выше, явление саморасцепа не характерно.

Таким образом, установленные нормами проектирования сортировочных устройств предельные требования к параметрам продольного профиля перевальной части горки, при условии соблюдения норм ее содержания, в современных условиях исключают такие явления, как саморасцепы и повреждение автосцепных устройств вагонов. Поэтому при проектировании следует руководствоваться предельными значениями $R_c = 250$ м и $R_n = 350$ м для получения лучших эксплуатационных показателей по критерию реализуемой скорости роспуска и перерабатывающей способности горки. Введенное в нормы в 1948 г. минимальное значение $R_n = 350$ м в настоящее время целесообразно скорректировать до значения 250 м, что улучшит условия образования пространственных интервалов и разъединение отцепов при роспуске.

Пятая глава посвящена разработке методов технико-экономического сравнения вариантов продольного профиля перевальной части горки. Разработана новая методика оценки влияния конструктивных параметров продольного профиля перевальной части на эксплуатационные свойства сортировочной горки. Методика основана на имитационном моделировании процесса прохождения отцепов через горб горки и позволяет производить оценку качества продольного профиля горбов горок по следующим основным критериям:

- прохождение отцепов по перевальной части сортировочной горки без саморасцепов и сверхнормативного нагружения узлов вагонов (K_1);
- своевременное отделение отцепов от состава и создание условий для уменьшения разницы интервалов между плохими и хорошими бегунами (K_2).

Установлено, что параметры продольного профиля горба горки влияют на следующие показатели: число случаев саморасцепа вагонов на горбе горке; число случаев повреждения автосцепного устройства вагонов; число случаев нерасцепов вагонов; положения отцепов в момент отрыва от состава.

Для оценки качества профиля разработан программный комплекс «Горб горки – Проверка профиля», позволяющий получать следующие показатели: $\Delta h_{\text{геом}}^{\max(+)}$, $\Delta h_{\text{геом}}^{\max(-)}$, вероятности саморасцепа вагонов ΣP_c^{\min} , ΣP_c^{\max} , вероятность возникновения сверхнормативных нагрузок на автосцепные устройства вагонов ΣP_n , вероятность нерасцепа вагонов P_n , величину «эквивалентного» радиуса сопрягающей кривой горба горки R_3 . Величина R_3 характеризует не только значение усредненного радиуса вертикальной кривой, сопрягающей надвижную и спускную части, но и искажения прямолинейных элементов профиля, непосредственного примыкающих к ней.

При сравнении вариантов продольного профиля по критерию K_1 оцениваются показатели ΣP_c^{\min} , ΣP_c^{\max} и ΣP_n , а по критерию K_2 – показатели P_n и R_3 . Показатели определяются для трех расчетных моделей вагонов, отличающихся размерами и типом автосцепного устройства. Анализ состояния перевальной части эксплуатируемых горок производится сравнением показателей $\Delta h_{\text{геом}}^{\max(+)}$, $\Delta h_{\text{геом}}^{\max(-)}$ и R_3 , получаемых моделированием прохождения расчетных моделей по исследуемому горбу, с показателями для «эталонного» горба (очертание которого соответствует проектной линии продольного профиля исследуемой горки). Методикой предусмотрено определение предельных значений $\Delta h_{\text{крит}}^{\max}$ и $\Delta h_{\text{крит}}^{\min}$, при выходе за границу которых величины $\Delta h_{\text{геом}}^{\max}$ следует производить выправку профиля. Например, превышение фактических значений $\Delta h_{\text{геом}}^{\max}$ над «эталонными» показывает, что значения радиусов вертикальных кривых меньше проектных. Представленная методика позволяет оценивать профиль горба горки с учетом местных отклонений пути в условиях, когда применение аналитических методов затруднено.

Также разработана методика технико-экономического сравнения вариантов продольного профиля перевальной части сортировочной горки. В методике для оценки влияния конструкции продольного профиля перевальной части на перерабатывающую способность горки учитывается изменение горочного технологического интервала $t_{\text{гн}}$. Для этого определяется изменение двух основных показателей: числа нерасцепов вагонов на горбе горки и реализуемой скорости роспуска. Изменение $t_{\text{гн}}$ в результате корректировки продольного профиля горба горки составит:

$$\Delta t_{\text{гн}} = \Delta t_{\text{гн}}^{\text{н}} + \Delta t_{\text{гн}}^{\text{д}}, \quad (7)$$

где $\Delta t_{\text{гн}}^{\text{н}}$ – разница $t_{\text{гн}}$ в результате изменения числа нерасцепов вагонов; $\Delta t_{\text{гн}}^{\text{д}}$ – разница $t_{\text{гн}}$ в результате изменения скорости роспуска составов.

При сравнении вариантов конструкции перевальной части сортировочной горки по экономическому критерию учитываются:

- затраты на приведение продольного профиля к проектному очертанию.

– разница эксплуатационных расходов, связанных: с простоем вагонов в парке приема $\Delta \mathcal{E}_{\text{пр}}$; с нахождением вагонов в процессе расформирования $\Delta \mathcal{E}_{\text{расф}}$; с простоем вагонов под накоплением $\Delta \mathcal{E}_{\text{нак}}$; с содержанием и работой горочных и других маневровых локомотивов $\Delta \mathcal{E}_{\text{гл}}$, $\Delta \mathcal{E}_{\text{ман}}$; с дополнительной переработкой вагонов на горке $\Delta \mathcal{E}_{\text{доп}}$; с занятием станционных путей $\Delta \mathcal{E}_{\text{п}}$.

Выполнено сравнение различных вариантов продольного профиля перевальной части горки. Установлено, что при проектировании горбов горок по действующим нормативам следует применять вертикальные кривые наименьших радиусов: 250 м – со стороны спускной части, 350 м – со стороны надвигной части горки.

Выполнен расчет целесообразности проведения выправки продольного профиля перевальной части на примере эксплуатируемой горки, имеющей увеличенные радиусы вертикальных кривых. Экономический эффект в результате выправки горки, имеющей три горба, составил более 700 тыс. р./год при расчетном объеме переработки – 4060 ваг./сут. Таким образом, проведение выправки профиля горбов эксплуатируемых горок (в том числе и внеплановой) с уменьшением радиусов вертикальных кривых до минимальных допустимых значений экономически целесообразно.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

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

1. Выполнен аналитический обзор развития норм проектирования продольного профиля перевальной части сортировочных горок. Установлено, что предельные значения параметров горбов горок определялись исходя из проходимости подвижного состава через горб горки и создания необходимых интервалов между отцепами.

2. Анализ теоретических исследований, а также проведенные натурные наблюдения за процессом прохождения отцепами перевальной части горки показали, что в настоящее время методы расчета положения отцепов в момент их отрыва от состава требуют уточнения, поскольку не учитывают дополнительное сопротивление движению из-за усилий в автосцепках и случайный характер ветровых нагрузок. Кроме того, аналитические методы оценки прохождения сцепленных вагонов через горб горки не учитывают местные отклонения продольного профиля на эксплуатируемых горках, что может приводить к погрешностям расчета.

3. На основании натуральных наблюдений и результатов экспериментов, выполненных с использованием разработанной имитационной модели процесса отрыва отцепов от состава, обоснована целесообразность включения в горочные расчеты нового вида сопротивления – *удельного сопротивления при разъединении автосцепок вагонов* w_a . Указанное сопротивление следует учитывать до момента фактического

отрыва отцепов от состава. Разработана математическая модель для определения величины w_a , основанная на рассмотрении процесса разъединения автосцепок при отделении отцепов от состава в виде трех последовательных фаз.

4. Предложена методика учета в горочных расчетах случайного характера воздействия ветра на отцепы при роспуске. Уточненный расчет ветровых нагрузок предусматривает определение пульсационной составляющей скорости ветра $v_n(t)$. Установлено, что диапазон рассеивания координат точек отрыва отцепов в результате воздействия порывистого ветра увеличивается с ростом его средней скорости и при экстремальных скоростях ветра может превышать 15 м.

5. Разработана имитационная модель прохождения отцепов через горб горки при роспуске, позволяющая рассчитывать вероятностные показатели проходимости сцепленных вагонов, в частности, вероятности появления саморасцепов и сверхнормативных нагрузок на автосцепные устройства. Выполнено сравнение различных вариантов конструкции продольного профиля перевальной части горки. Установлено, что при значительной разнице сопрягаемых на горбе горки уклонов наилучшим вариантом по условиям прохождения вагонов является продольный профиль с наличием разделительного элемента и радиусами вертикальных кривых, равными 250 м.

6. Для оценки влияния конструктивных параметров продольного профиля перевальной части на эксплуатационные свойства сортировочной горки разработана методика, учитывающая критерии: проходимость отцепов по перевальной части горки без самопроизвольного расцепления и сверхнормативных нагрузок на узлы вагонов; своевременность отделения отцепов и создание условий для уменьшения разницы интервалов следования между смежными отцепами. Методика обеспечивает учет местных отклонений профиля пути при анализе конструкции перевальной части эксплуатируемых горок.

7. Разработана методика технико-экономического сравнения вариантов продольного профиля перевальной части горки, позволяющая определять рациональную конструкцию по экономическим критериям. Методика позволяет производить оценку изменения перерабатывающей способности при выправке и корректировке параметров продольного профиля перевальной части с учетом обеспечения безопасности функционирования эксплуатируемых сортировочных горок.

8. Выполнено сравнение нормативных вариантов продольного профиля перевальной части горки. Установлено, что при проектировании горбов горок по действующим нормативам следует применять вертикальные кривые наименьших радиусов: 250 м – со стороны спускной части, 350 м – со стороны надвижной части горки. Для повышения перерабатывающей способности горки целесообразна корректировка существующих норм с уменьшением радиуса со стороны надвижной части до 250 м.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ АВТОРОМ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ**Публикации в ведущих научных рецензируемых периодических изданиях,
рекомендованных ВАК Минобрнауки России:**

1. Осипов, Д. В. 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.
2. Осипов, Д. В. Методика оценки качества продольного профиля перевальной части сортировочной горки / Д. В. Осипов, А. А. Климов // Транспорт Урала. – 2015. – № 4(47). – С. 63–68.
3. Осипов, Д. В. Метод расчета координат точек отрыва одновагонных отцепов на перевальной части сортировочных горок / Д. В. Осипов // Транспорт: наука, техника, управление. – 2016. – № 3. – С. 62–66.
4. Осипов, Д. В. Влияние продольного профиля перевальной части сортировочной горки на перерабатывающую способность / Д. В. Осипов, А. А. Климов // Транспорт Урала. – 2016. – № 4(51). – С. 71–76.

Публикации в журналах и научных сборниках:

5. Осипов, Д. В. Аналитический метод расчета положения одновагонных отцепов на перевальной части сортировочных горок в момент их отрыва от состава / Д. В. Осипов // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. – 2010. – №2. – С. 9–13.
6. Осипов, Д. В. Влияние метеорологических условий на отрыв отцепов от состава на перевальной части сортировочной горки / Д. В. Осипов // Модернизация процессов перевозок, систем автоматизации и телекоммуникаций на транспорте : материалы Межрегиональной науч.-практ. конф. с междунар. участием. – Хабаровск : Изд-во ДВГУПС, 2010. – Том 1. – С. 93–98.
7. Осипов, Д. В. Экспериментальное исследование процесса отрыва отцепов на перевальной части сортировочных горок Западно-Сибирской железной дороги / Д. В. Осипов // Политранспортные системы : материалы VII Всерос. науч.-техн. конф. – Новосибирск : Изд-во СГУПС, 2010. – С. 476–484.
8. Осипов, Д. В. Особенности расчета удельных сил сопротивления движению отцепа при имитационном моделировании процесса расформирования составов / Д. В. Осипов, А. А. Климов // Современные проблемы и пути их решения в науке, транспорте, производстве и образовании : материалы Междунар. науч.-практ. конф. – Одесса : Черноморье, 2010. – Том 1. – С. 69–75.
9. Осипов, Д. В. К вопросу об условии отрыва одновагонных отцепов на перевальной части сортировочной горки / Д. В. Осипов // Инновационные факторы развития Транссиба на современном этапе : материалы Междунар. науч.-практ. конф.,

посвящ. 80-летию Сиб. гос. ун-та путей сообщ. – Новосибирск : Изд-во СГУПС, 2013. – Ч. 1. – С. 380–386.

10. Осипов, Д. В. Уточнение методики расчета сортировочных горок в части определения точек отрыва отцепов от состава / Д. В. Осипов // Наука и современность : сб. науч. тр. Междунар. науч.-практ. конф. – Уфа : РИО МЦИИ «Омега сайнс», 2014. – С. 40–44.

11. Осипов, Д. В. Анализ развития методов расчета положений точек отрыва отцепов от состава / Д. В. Осипов // Совершенствование технологии перевозочного процесса : сб. науч. тр. – Новосибирск : Изд-во СГУПС, 2015. – С. 99–105.

12. Осипов, Д. В. Влияние искажений продольного профиля перевальной части сортировочной горки на проход отцепов без саморасцепа / Д. В. Осипов // Современная наука: теоретический и практический взгляд : сб. ст. Междунар. науч.-техн. конф. – Уфа : АЭТЕРНА, 2015. – Ч. 1. – С. 32–36.

13. Осипов, Д. В. Методика оценки экономического эффекта при сравнении вариантов продольного профиля перевальной части горок / Д. В. Осипов // Научные проблемы реализации транспортных проектов в Сибири и на Дальнем Востоке : тез. IX Междунар. науч.-техн. конф. «Политранспортные системы». – Новосибирск : Изд-во СГУПС, 2016. – С. 34–37.

14. Осипов, Д. В. Анализ развития норм проектирования продольного профиля перевальной части сортировочной горки / Д. В. Осипов // Интеграция науки, общества, производства и промышленности : сб. ст. Междунар. науч.-практ. конф. – Уфа : АЭТЕРНА, 2017. – С. 138–142.

Свидетельства о регистрации электронного ресурса:

15. Осипов, Д. В. Программа для расчета параметров сортировочных горок «Спуск-2» / С. В. Карасев, Д. В. Осипов // Свидетельство об отраслевой регистрации разработки ОФАП №7848 от 05.03.2007. Инв. номер ВНТИЦ №50200700522 от 05.03.2007.

16. Осипов, Д. В. Программа для оценки качества продольного профиля горочных путей «Горб горки – Проверка профиля» / Д. В. Осипов, А. А. Климов // Свидетельство о регистрации электронного ресурса ОФЭРНиО №21573 от 29.12.2015. Инв. номер ВНТИЦ №50201650031 от 29.12.2015.

Основные положения и результаты исследований самостоятельно получены автором. Статьи [3, 5-7, 9-14] подготовлены единолично. Личный вклад автора в работах, опубликованных в соавторстве, заключается в следующем: [1, 2, 4, 8] – разработка моделей и алгоритмов реализации, проведение расчетов, анализ и обобщение полученных результатов; [15] – разработка модели и алгоритма определения положения отцепов при отрыве от состава; [16] – разработка модели, алгоритма и программного кода.

Осипов Дмитрий Валентинович

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ
ПЕРЕВАЛЬНОЙ ЧАСТИ СОРТИРОВОЧНЫХ ГОРОК**

Специальность 05.22.08 – Управление процессами перевозок
(технические науки)

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Подписано в печать 26.05.2017

Формат 60 x 84 1/16

Объем 1,0 усл. печ. л.

Заказ № 400

Тираж 100 экз.

ФГБОУ ВО «Уральский государственный университет путей сообщения»

620034, г. Екатеринбург, ул. Колмогорова, 66
