

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

На правах рукописи



Бурдяк Павел Станиславович

**РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ
НЕГОРОЧНЫХ СОРТИРОВОЧНЫХ УСТРОЙСТВ**

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 – 2015

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
1 СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ТЕОРИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ОПЫТ ЭКСПЛУАТАЦИИ НЕГОРОЧНЫХ СОРТИРОВОЧНЫХ УСТРОЙСТВ	12
1.1 Основные этапы развития сортировочных устройств	12
1.2 Развитие теории проектирования и опыта эксплуатации негорочных сортировочных устройств	16
1.3 Анализ современного состояния теории проектирования и перспективы использования негорочных сортировочных устройств	29
1.5 Выводы по главе	34
2 РАЗРАБОТКА ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ПРОЦЕССА РАСФОРМИРОВАНИЯ СОСТАВОВ ОДИНОЧНЫМИ ИЗОЛИРОВАННЫМИ ТОЛЧКАМИ	36
2.1 Постановка задачи	36
2.2 Моделирование движения маневрового состава при выполнении одиночных изолированных толчков	42
2.3 Разработка имитационной модели скатывания отцепов при расформировании одиночными изолированными толчками	49
2.4 Выводы по главе	65
3 ИССЛЕДОВАНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ВЫТЯЖНОГО ПУТИ ДЛЯ РАСФОРМИРОВАНИЯ СОСТАВОВ ОДИНОЧНЫМИ ИЗОЛИРОВАННЫМИ ТОЛЧКАМИ	67
3.1 Постановка задачи	67
3.2 Исследование длины вытяжного пути при расформировании составов одиночными изолированными толчками	70
3.3 Исследование продольного профиля вытяжного пути при расформировании составов одиночными изолированными толчками	80
3.4 Выводы по главе	84

4 РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ СТРЕЛОЧНОЙ ЗОНЫ И ПУТЕЙ ПАРКА.....	85
4.1 Общие положения.....	85
4.2 Исследование потребной дальности пробега отцепа в парк после толчка....	89
4.3 Исследование условий образования интервалов между отцепами и маневровым составом после толчка	103
4.4 Проверка обеспечения условий остановки отцепов в парке с соблюдением допустимых технологических параметров	109
4.5 Методика определения параметров стрелочной зоны и путей парка для расформирования составов одиночными изолированными толчками	112
4.6 Выводы по главе	116
5 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ НЕГОРОЧНЫХ СОРТИРОВОЧНЫХ УСТРОЙСТВ ПРИ РАСФОРМИРОВАНИИ СОСТАВОВ ОДИНОЧНЫМИ ИЗОЛИРОВАННЫМИ ТОЛЧКАМИ	118
5.1 Постановка задачи	118
5.2 Методика расчета приведенных расходов на расформирование составов одиночными изолированными толчками	119
5.3 Перерабатывающая способность НГСУ для работы ОИТ	128
5.4 Выводы по главе	130
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	131
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	133
ПРИЛОЖЕНИЕ А. Определение конструктивных параметров стрелочной зоны и путей парка при расформировании составов одиночными изолированными толчками.....	145
ПРИЛОЖЕНИЕ Б. Оптимизация параметров НГСУ	150
ПРИЛОЖЕНИЕ В. Определение оптимальных параметров стрелочной зоны и путей парка негорочного сортировочного устройства станции Тайга.....	155

ПРИЛОЖЕНИЕ Г. Справка о результатах исследования параметров сортировочного устройства на железнодорожной станции Тайга.....	165
ПРИЛОЖЕНИЕ Д. Справка о внедрении результатов диссертационного исследования.....	166

ВВЕДЕНИЕ

На современном этапе функционирования экономики транспорта повышение эффективности производственно-экономической деятельности, обеспечение качества технологических процессов и безопасности перевозок относятся к стратегическим целям развития железных дорог РФ. Достижение этих целей планируется путем рационализации использования всех видов производственных ресурсов на основе совершенствования технологии перевозочного процесса, содержания, ремонта и модернизации основных фондов при гарантированном обеспечении безопасности перевозок и труда [80].

В соответствии с «Белой книгой» ОАО «РЖД» к актуальным направлениям научно-технического развития холдинга относится разработка новых и совершенствование существующих технологий перевозочного процесса на основе принципов комплексной эффективности [79].

Одним из основных элементов перевозочного процесса является сортировочная работа с вагонами на железнодорожных станциях. Массовая переработка вагонопотоков производится, как правило, на крупных технических станциях с использованием горочной технологии. Значительный объем сортировочной работы выполняется и на более мелких станциях (в частности, грузовых), обеспечивающих, в основном, переработку местных вагонопотоков. При этом для сортировки вагонов в основном используются негорочные сортировочные устройства (НГСУ), производительность которых зависит как от конструктивных параметров, так и от технологии работы, в том числе от способа расформирования составов.

Наиболее простым с точки зрения реализации и широко распространенным способом выполнения маневров при расформировании является работа на вытяжном пути методом осаживания. Однако при увеличении объемов переработки, в том числе при организации многогруппной сортировки вагонов, такая технология оказывается недостаточно эффективной, поскольку не обеспечивает необходимой перерабатывающей способности НГСУ и темпа сортировки. В связи с этим на

станциях общей сети, а также на промышленных станциях при объеме переработки, недостаточном для сооружения сортировочной горки, но большем, чем перерабатывающая способность НГСУ, применяется способ сортировки вагонов методом толчков, который является промежуточным между методом осаживания и горочной технологией. Особенно это распространено на грузовых станциях со значительной внутригодовой неравномерностью объемов переработки. На сегодняшний день на Западно-Сибирской железной дороге такая работа производится на 20 грузовых станциях.

Правила и нормы проектирования сортировочных устройств [66] устанавливают диапазоны допустимых значений уклонов и протяженности элементов продольного профиля НГСУ, специализированных для работы осаживанием и толчками. При этом имеются следующие недостатки существующих нормативов:

- установлены одинаковые требования к параметрам НГСУ при работе толчками, при этом не делается различие в способе выполнения толчков (одиночные, серийные, многогруппные);

- не изложены методика расчета и требования к длине вытяжного пути НГСУ при работе толчками;

- отсутствует взаимосвязь между структурой перерабатываемого вагонотока и применением тех или иных нормативов (имеются только указания по изменению параметров элементов НГСУ при переработке преимущественно порожних вагонов);

- не изложена методика определения скорости выполнения толчков;

- конструкция плана и продольного профиля НГСУ не связывается с технологией расформирования и формирования составов (деление состава на части, порядок использования путей накопления – сортировочные, группировочные, сортировочно-группировочные);

- отсутствуют указания по использованию значений уклонов различных участков сортировочного устройства из рекомендуемых диапазонов.

Указанные недостатки могут иметь следующие негативные последствия при выполнении маневровой работы толчками:

- увеличение времени выполнения операций;
- увеличение пробега подвижного состава;
- увеличение затрат на содержание сортировочного устройства и эксплуатационных расходов;
- снижение возможности эффективного применения интенсивных способов работы.

При расформировании составов толчками на железнодорожных станциях, как правило, используют метод изолированных одиночных толчков¹. Эффективное использование такой технологии требует совершенствования методов расчета параметров НГСУ, чем определяется актуальность темы диссертационной работы.

Целью диссертационной работы является разработка методики определения конструктивных и технологических параметров НГСУ, используемых для расформирования составов одиночными изолированными толчками.

Для достижения указанной цели потребовалось решить следующие задачи:

1. Выполнить анализ современного состояния теории проектирования НГСУ с точки зрения обоснования нормативов их конструкции и особенностей технологии сортировочной работы.
2. Разработать математическую и имитационную модель сортировки вагонов на НГСУ одиночными изолированными толчками.
3. Разработать методику определения допустимых конструктивных и технологических параметров НГСУ при расформировании составов одиночными изолированными толчками.
4. Разработать методику оптимизации конструктивных и технологических параметров НГСУ при расформировании составов одиночными изолированными толчками.

Объект исследования. Линейные предприятия транспортной сети.

¹ Другие разновидности технологии работы толчками используются гораздо реже. Одна из причин состоит в том, что для гарантии безопасности сортировочного процесса в условиях усложнения технологии и высокого темпа работы требуется постоянная концентрация внимания для обеспечения четкой согласованности действий, в результате чего возрастает как физическая, так и психоэмоциональная нагрузка на работников маневровой бригады, увеличиваются риски, вероятность и цена ошибки [31; 57; 71].

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

Методология и методы исследования. Построение имитационных моделей элементов сортировочного процесса при работе НГСУ выполнено на основе теории тяговых расчетов, а также численных методов решения дифференциального уравнения движения вагона. Моделирование реальных процессов на основе созданных имитационных моделей выполнялось с использованием положений теории планирования экспериментов [34; 94]. Статистическая оценка получаемых результатов выполнялась с использованием аппарата теории вероятности и математической статистики [46; 62; 78; 90]. Помимо этого использовались положения действующей теории расчета и проектирования сортировочных горок и методы технико-экономического сравнения вариантов проектных решений [53]. Теоретической основой исследований являются труды отечественных и зарубежных ученых в области изучения маневровых процессов, в частности, режимов работы маневрового локомотива и динамики свободного движения отцепов [51].

Наиболее существенные научные результаты. Разработана методология моделирования процесса сортировки вагонов с использованием НГСУ методом одиночных изолированных толчков, создана соответствующая имитационная модель, позволяющая решать широкий спектр задач, связанных с определением оптимальных параметров конструкции НГСУ и технологии сортировочной работы.

Научная новизна диссертационной работы.

1. Предложены новые принципы и методы исследования процесса расформирования составов одиночными изолированными толчками на основе имитационного моделирования.

2. Разработана методика определения условий отрыва отцепа от состава при выполнении толчка для различных вариантов конструкции НГСУ, массы маневрового состава и параметров движения отцепов.

3. Разработана методика определения допустимых конструктивных параметров вытяжного пути, стрелочной зоны и путей парка для реализации технологии расформирования составов одиночными изолированными толчками.

4. Разработана методика определения оптимальных параметров конструкции и технологии (НГСУ) при расформировании составов одиночными изолированными толчками.

Теоретическая и практическая значимость научного исследования. Результаты исследований могут быть использованы при корректировке норм проектирования НГСУ для расформирования составов одиночными изолированными толчками.

Внедрение разработанной модели позволит обосновывать проектные решения при строительстве новых НГСУ, специализированных для расформирования толчками, а также для оптимизации технологических параметров процесса расформирования на существующих сортировочных устройствах.

Основные методологические положения, разработанные в диссертационной работе, использованы при выполнении госбюджетных и поисковых научно-исследовательских работ.

Реализация и внедрение результатов работы. Разработанные практические рекомендации приняты к использованию дирекцией управления движением Западно-Сибирской железной дороги для оценки конструкции и технологии работы существующих НГСУ на станциях Тайга и Клещиха.

Получены свидетельства о государственной регистрации объектов интеллектуальной собственности:

1. Программа для расчета показателей маневровых полурейсов методом имитационного моделирования с элементами виртуального управления «Маневры-2».

2. Программа имитационного моделирования движения отцепов при выполнении маневров толчками «Скат-1».

Разработанная методика определения конструктивных и технологических параметров НГСУ используется в учебном процессе и научно-методических работах и исследованиях кафедры «Железнодорожные станции и узлы» Сибирского государственного университета путей сообщения.

Положения, выносимые на защиту:

1) Имитационные модели и алгоритмы движения маневрового состава и отдельных отцепов при расформировании состава одиночными изолированными толчками.

2) Методика определения допустимых конструктивных параметров вытяжного пути, стрелочной зоны и путей парка для реализации технологии расформирования составов одиночными изолированными толчками с учетом дифференцированных значений масс (длин) и скоростей движения маневрового состава и отцепов.

3) Методика расчета оптимальных конструктивных и технологических параметров НГСУ при расформировании составов одиночными изолированными толчками.

Апробация работы. Основные результаты исследования доложены и получили одобрение на Международной научно-практической конференции «Инновационные факторы развития Транссиба на современном этапе» (28-29 ноября 2012 г., г. Новосибирск), Международной научно-практической конференции «Современные проблемы и пути их решения в науке, транспорте, производстве и образовании 2010» (20-27 декабря 2010 г., г. Одесса), VII Всероссийской научно-технической конференции «Политранспортные системы» (25-27 ноября 2010 г., г. Красноярск), на Международной научно-практической конференции, посвященной 80-летию факультета «Управление процессами перевозок» (27-28 ноября 2014 г., г. Новосибирск), на заседаниях кафедры «Железнодорожные станции и узлы» Сибирского государственного университета путей сообщения, научно-технического совета факультета «Управление процессами перевозок» Сибирского государственного университета путей сообщения, на заседании кафедры «Станции, узлы и грузовая работа» Уральского государственного университета путей сообщения.

Публикации. Основные результаты диссертационной работы опубликованы в 10 научных трудах, в том числе 5 статей опубликовано в журналах, входящих в перечень ведущих рецензируемых изданий, рекомендованных ВАК при министерстве образования и науки РФ.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы, включающего 104 источника. Содержание работы изложено на 131 странице основного текста, включающего 11 таблиц, 42 рисунка, и 5 приложений.

1 СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ТЕОРИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ОПЫТ ЭКСПЛУАТАЦИИ НЕГОРОЧНЫХ СОРТИРОВОЧНЫХ УСТРОЙСТВ

1.1 Основные этапы развития сортировочных устройств

Потребность в сортировке вагонов возникла вместе с появлением сети железных дорог. Первая железная дорога в России длиной 800 м была построена в 1834 году отцом и сыном Е.А. и М.Е. Черепановыми на Урале, а в 1837 г. была введена в действие линия Петербург – Царское село длиной 26 км. К концу 19 века Россия вышла на второе место в мире по темпам строительства железных дорог. Последующее развитие сети железных дорог сопровождалось увеличением объемов маневровой работы по сортировке вагонов.

В стране за последнее десятилетие 19 века было построено 24 тыс. км железнодорожных линий, столько же, сколько в Германии, Франции, Австрии, Венгрии и Великобритании вместе взятых. Железнодорожное строительство велось на всех континентах, и темп его достигал 10 тыс. км в год [4].

Новые технические решения были реализованы на паровозах и вагонах в начале развития железнодорожного транспорта. Первые грузовые вагоны были двухосными, имели небольшую грузоподъемность (8-10 т), позже появились трех и четырехосные вагоны. В России первые серийные грузовые вагоны появились в четырехосном исполнении в 1846 г. Раму и кузов вагонов выполняли деревянными. Тормозные устройства вагонов были примитивные – например рычаг, прижимаемый тормозильщиком вручную к ободу колеса. Позже на вагонах применялись тормозные пружины, управляемые машинистом паровоза через натянутый трос. Была создана винтовая сцепка, которую в течение длительного времени применяли на железных дорогах мира. Необходимо отметить, что данный принцип соединения вагонов имеет место на некоторых типах вагонов и в наши дни.

С увеличением количества подвижного состава и объемов перевозимых грузов возникла проблема сортировки вагонов. Маневры выполняли осаживанием. Растущие объемы производства и развитие сети железных дорог положили

начало применению новых способов выполнения маневровой работы. Эти способы были направлены на увеличение её производительности за счет сокращения времени на маневровые передвижения.

Первые попытки сокращения маневровых передвижений локомотива были осуществлены на железных дорогах США (на станциях Ист-Детройт, Хортон, Пекертон): локомотив, оборудованный шестом, следовал по соседнему пути и подталкивал вагоны. Вагоны после толчка следовали на путь назначения, а локомотив после остановки выполнял возвратное движение для следующего толчка. Однако с увеличением массы вагонов использование шеста оказалось неэффективным и при выполнении толчка стали использовать непосредственно локомотив. Эта технология оказалась более производительной, несмотря на наличие некоторых проблем: недостаточная мощность локомотива, несовершенство расцепного устройства, параметров путевого развития; привлечения дополнительного штата работников.

Применение данной технологии на наклонных путях позволило, кроме силы тяги локомотива, использовать и силу тяжести вагонов, что дало возможность повысить эффективность рассматриваемого способа маневровой работы. Впоследствии с накоплением опыта эксплуатации и развитием железнодорожной техники и теории расчета сортировочных устройств появились разновидности технологии расформирования составов толчками [10; 75; 87].

Первоначально, когда сортировка велась на горизонтальных путях, вагоны тормозились деревянными рычагами – вагами, которые подкладывал под колеса тормозильщик. Такое торможение было возможно на низких скоростях. На уклоне вагоны двигались значительно быстрее, и ваги уже не обеспечивали нужный темп сортировки и безопасность маневров.

Впервые использование силы тяжести вагонов было применено в 1846 г. в Германии на станции Дрезден-Фридрихштадт, расположенной на уклоне [87]. Состав подавался на вытяжной путь, закреплялся; далее производилась уборка поездного локомотива. Вагоны, последовательно отцепляемые с хвоста состава, направлялись на сортировочные пути за счет силы тяжести. При такой технологии

возникли проблемы безопасности для работников подвижного состава и перевозимых грузов из-за движения и соударения вагонов с повышенными скоростями.

В 1863 г. во Франции была сооружена на уклоне железнодорожная станция Сен-Этьен, в Англии в – 1873 г. Эдж-Хилл. В США некоторые станции или отдельные парки также сооружались на уклоне, например станции Гринвиль, Логанспорт, Шеридан. На таких станциях маневры осуществлялись «самотеком» под действием силы тяжести вагонов [4].

Наряду с этим способом передвижение отцепов на соответствующие пути в ряде стран выполнялось с помощью конной тяги, например в России.

Необходимость создания сортировочных станций на железных дорогах России выявилась во время войны 1877–1878 гг. когда блокада черноморских портов заставила направлять большое количество грузов через балтийские порты и Николаевская железная дорога начала испытывать серьезные затруднения [4]. Исследование задержек позволило сделать вывод, что их главной причиной явилось недостаточное развитие Петербургской станции. Стесненность территории не позволяла увеличить число путей и переустроить станцию, что заставило построить в 10 км от старой станции новую сортировочную станцию (ныне станция Ленинград-Сортировочный). Было признано выгодным укладывать как вытяжные, так и примыкающие сортировочные пути не горизонтально, а с некоторым уклоном, чтобы обеспечить отдельным вагонам или группам вагонов непрерывное и достаточно равномерное движение под действием силы тяжести на сортировочные пути.

Поворотным моментом стало появление в мире станций с сортировочными горками: в 1876 г. – ст. Шпельдорф, Германия, в 1888 г. ст. Тер-Наур, Франция, в 1889 г. – ст. Ртищево, Россия.

Появление сортировочных горок позволило устранить основной недостаток наклонных вытяжек – необходимость расцеплять вагоны на уклоне используя для этого ручные тормозные средства. На сортировочной горке для этой цели имеется надвижная часть, расположенная на подъеме.

Работа по совершенствованию тормозных средств привела к созданию в 1857 г. в Германии устройства, отличающегося компактностью, универсальностью, эффективностью, нашедшего впоследствии широкое распространение на железных дорогах мира. Этим устройством явился ручной тормозной башмак, укладываемый на рельс перед движущимися вагонами и оказывающий значительное тормозное воздействие при наезде на него колеса. Наряду с торможением, такие башмаки стали применять для закрепления вагонов и составов на путях.

В 1914 г. на станции Герне, Германия, был осуществлен автоматический перевод стрелок. В США на двусторонней станции Потомак стрелки горочной горловины были оборудованы электропневматическими приводами, управляемыми с горочных постов. На многих станциях многогруппные составы поездов формировались в группировочных парках с вытяжками или горками.

Появление первых башмакосбрасывателей, а впоследствии и первых балочных замедлителей было обусловлено необходимостью управления скоростью движения вагонов при скатывании с горки.

Значительно повысить скорость роспуска, а соответственно, и перерабатывающую способность сортировочной горки, позволило внедрение электрической централизации стрелок и сигналов в процесс роспуска составов. Такое новшество стало начальным этапом автоматизации сортировочных систем, а также автоматизации работы сортировочных станций в целом.

В настоящее время используются как горочная технология, так и осаживание, при этом наиболее безопасным способом является осаживание. Безопасность этого способа обусловлена низкими скоростями движения маневрового состава и возможностью контроля скорости передвижения на всем участке перемещения посредством управления локомотивом. При этом передвижения маневрового состава приводят к значительным затратам времени, в том числе при выполнении разгона и торможения, что ограничивает перерабатывающую способность сортировочного устройства.

На сети железных дорог широко применяется расформирование составов на вытяжных путях с использованием толчков. Данный способ производства ма-

невровой работы имеет более высокую производительность по сравнению с осаживанием и является промежуточной технологией между осаживанием и горочной технологией. Применение такого способа характерно, например, для станций с сезонной неравномерностью переработки в случаях, когда сооружение сортировочной горки необосновано, а применение осаживания как способа выполнения маневровой работы не обеспечивает необходимую перерабатывающую способность в периоды пиковых нагрузок.

На сегодняшний день маневровая работа, выполняемая с использованием горочной технологии, наиболее совершенна по сравнению с работой на вытяжных путях. Высокая перерабатывающая способность горок позволяет реализовывать высокую скорость расформирования составов за счет специализированного путевого развития, централизации и автоматизации горочного комплекса, использования необходимого числа локомотивов. Сооружение сортировочных горок вызвано необходимостью переработки значительного вагонопотока и требует больших капитальных вложений.

1.2 Развитие теории проектирования и опыта эксплуатации негорочных сортировочных устройств

В начале XX века появляются первые научные исследования по организации сортировочной работы и проектированию сортировочных устройств на станциях: в 1906 г. издан труд проф. А.Н. Фролова «Сборник статей о станциях и маневрах», в 1909 г. – Г.Д. Дубелира «О проектировании горок для сортировочных станций», в 1915 г. – проф. Е.А. Гибшмана «О сортировочных станциях» [27; 33; 91].

В 1922 году В.Н. Образцов разработал первый проект «распределения узлов на русской железнодорожной сети и сортировочной работы узлов с целью сокращения маневровой работы и простоя вагонов» [61].

Сортировочные станции строились и развивались по плану, там, где это определялось условиями зарождения и погашения вагонопотоков и обеспечивало

минимальный простой вагонов и наименьшую стоимость переработки вагонов [75].

В 1909 г. проф. Г.Д. Дубелир впервые предложил графический метод расчета и проверки профиля сортировочных горок. Позднее проф. Е.А. Гибшман значительно усовершенствовал этот метод [32].

В 1916 г. В.Н. Образцов разработал очень удобный графо-аналитический метод расчета и проверки профиля сортировочных горок.

Эти методы давали возможность определить наиболее рациональный профиль для вновь проектируемых горок, а также выяснить характер работы существующих горок в различных условиях.

Научной разработкой вопросов обустройства, механизации и эксплуатации сортировочных устройств занимался Всесоюзный научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта, коллективом которого изучены ходовые свойства вагонного парка. Установлены уточненные нормы сопротивления движению вагонов, усовершенствована методология проектирования плана и профиля сортировочных устройств. Необходимо отметить, что на основе ходовых свойств вагонов разработаны методики определения конструкции горочных сортировочных устройств с использованием расчетных бегунов, массовых бегунов, а так же вероятностного подхода [65; 66; 88].

Целый ряд работ по этим вопросам был выполнен отдельными учеными и специалистами железнодорожного транспорта – С.В. Земблиновым, В.Д. Никитиным, Н.О. Рогинским, А.Н. Фроловым, А.М. Долаберидзе, И.И. Страковским [3].

Принципы организации маневров на вытяжках основывались на выдвинутой в 1925-1927 годах проф. И.И. Васильевым «Теории наивыгоднейших приемов маневрирования», в соответствии с которой главным средством ускорения сортировочных и группировочных маневров на вытяжных путях признавалось повышение скоростей движения и уменьшение веса маневрового состава за счет деления составов на части [25].

Несмотря на наличие значительного числа сортировочных горок, большое количество поездов на станциях сети железных дорог перерабатывалось на вы-

тяжках. Производительность вытяжек долгое время была невысокой, так как на них применялся в основном способ сортировки вагонов осаживанием и в некоторых случаях – изолированными толчками.

При сортировке вагонов изолированными толчками производительность вытяжек несколько повышалась, что достигалось главным образом за счет значительного сокращения длины сортировочных рейсов. Схема выполнения толчка представлена на рисунке 1.1.

В начале второй половины 20 века составители поездов Н.Д. Гурьев, И.В. Архипов, И.О. Карашкевич, И.И. Чернелевский и другие в своих маневровых бригадах создали принципиально новые методы сортировки вагонов на вытяжках: серийные толчки, поточная сортировка (пульсирующая), многогруппные толчки и сортировка вагонов сплошным потоком с минимальным участием локомотива [42] (рисунок 1.2).

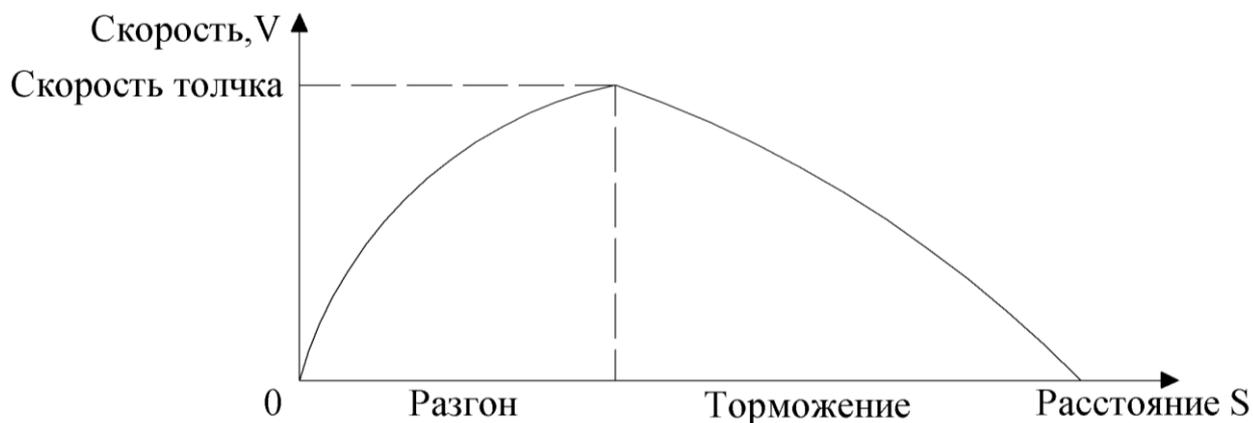


Рисунок 1.1 – Схематическое изображение полурейса разгона и торможения маневрового состава при выполнении одиночного изолированного толчка

Преимущества таких методов сортировки вагонов на вытяжках заключаются в значительном уменьшении числа маневровых передвижений и в повышении производительности каждого из них.

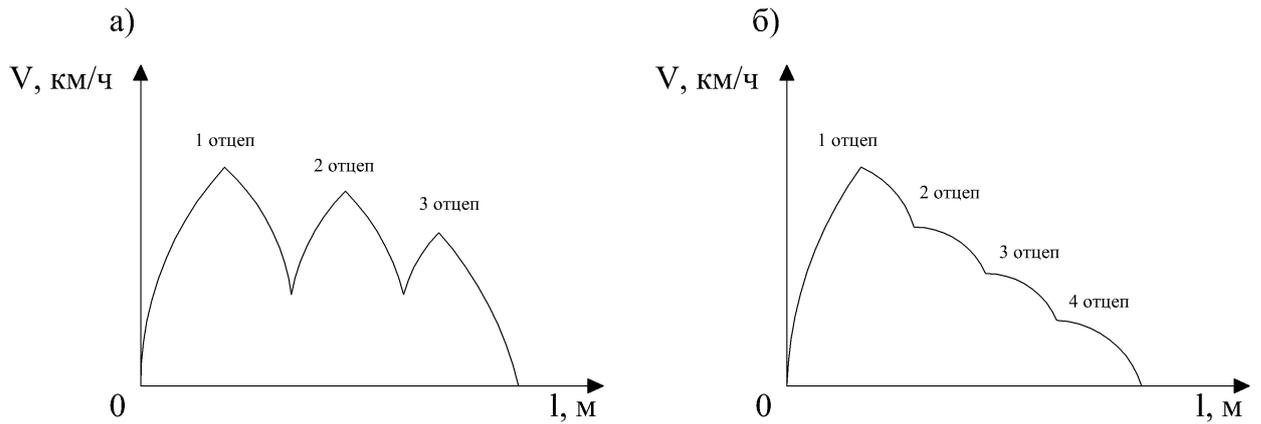


Рисунок 1.2 – Схематическое изображение полурейса разгона и замедления при выполнении серийных толчков (а) и при поточной сортировке (б)

При серийных толчках, впервые примененных составителем станции Кусково Н.Д. Гурьевым, полурейс состоит уже не из разгона и последующего торможения до остановки, как при изолированных толчках, а из серии разгонов и замедлений, входящих в один цикл от начала движения до остановки локомотива. Процесс сортировки вагонов серийными толчками характеризуется значительным

сокращением рейсов и высокой скоростью маневровых передвижений, что дает возможность повысить производительность работы на вытяжном пути.

В начале 1952 г. составитель станции Всполие И.В. Архипов, значительно развив и усовершенствовал процесс маневров серийными толчками, создал на его основе метод поточной (пульсирующей) сортировки вагонов на вытяжке, который позволяет еще более ускорить процесс расформирования поездов. При поточной сортировке вагонов сортировочный полурейс состоит из разгона, замедления и ряда коротких ступенчатых подтормаживаний (рисунок 1.2б). Таким образом, за один разгон и ряд последующих чередующихся торможений и отпусков тормозов локомотива в сортировочный парк направляется до пяти отцепов, в связи с чем этот метод и получил название метода поточной сортировки. Производительность сортировочного полурейса при поточной сортировке выше, чем при серийных толчках, за счет экономии времени на промежуточных разгонах.

Дальнейшим совершенствованием технологии маневровой работы на вытяжках является созданный в 1952 году составителем станции Львов-Главный И.О. Карашкевичем и маневровым машинистом Н. Каширским метод сортировки вагонов многогруппными толчками. Впервые на практике маневров на вытяжке одним толчком направляется несколько отцепов одновременно. При сортировке вагонов многогруппными толчками сортировочный полурейс, так же как и при серийных толчках, состоит из серии разгонов и замедлений, разница состоит только в том, что перед каждым толчком отцепляется не одна, а несколько групп вагонов, которые в начале торможения отрываются от состава и уходят в парк. По сравнению с маневрами серийными толчками скорость каждого толчка здесь должна быть несколько повышенной. Это обуславливается тем, что часть отцепов, кроме первого, подвергается кратковременному подтормаживанию с помощью ручных башмаков, благодаря чему и создаются интервалы между всеми отцепами, достаточные для перевода стрелок из одного положения в другое.

Особое место в прогрессивных методах сортировки вагонов занимает способ расформирования составов на наклонной вытяжке ломаного профиля одним толчком, т.е. почти без участия маневрового локомотива. Этот метод впервые был

применен в 1953 году на станции Стрый Львовской дороги составителем И.И. Чернелевским и маневровым машинистом А.Ф. Сушковым. Расположение вытяжки на сплошном уклоне при средней величине его около 3 ‰ обеспечивает непрерывное и достаточно равномерное движение сортируемого состава, а наличие перед стрелочной зоной короткой площадки способствует сжатию автосцепок и облегчает расцепку вагонов. Наличие перед первой стрелкой и в начале полезной длины сортировочных путей сбрасывателей башмаков обеспечивает возможность регулирования скоростей движения сортируемого состава и различных отцепов. Такое устройство по принципу действия может быть отнесено к сортировочным горкам простейшего типа [10].

Новые методы производства маневровой работы привели к изменению параметров сортировочных устройств и приблизили процесс сортировки вагонов на вытяжках к горочному процессу роспуска составов. Применение этих методов требовало серьезного пересмотра ряда положений в области проектирования станций. Необходимо было тщательно разработать теоретические основы проектирования плана и профиля вытяжек и горловин сортировочных парков [10].

Вопрос влияния профиля вытяжек на технику выполнения и организацию маневров толчками до середины 40-х годов XX века серьезному анализу не подвергался. Профиль принимался де-факто. Применительно к нему и приспособляясь под него, определялась техника и организация выполнения маневров толчками. При работе на таких вытяжках со случайными уклонами часто встречались серьезные затруднения. Поэтому в процессе эксплуатации для обеспечения нужного режима сортировки профиль корректировался хозяйственным способом.

Устройство полугорок и вытяжек формирования во многих случаях было целесообразно и на горочных станциях. Здесь такие сортировочные устройства могут быть использованы для повторной сортировки вагонов в процессе формирования сборных, групповых, внутриузловых поездов.

Интересным с точки зрения решения задач проектирования и эксплуатации негорочных сортировочных устройств является вопрос о проектировании плана и

профиля простейших горок и полугорок. Оба сортировочных устройства предназначались для одной цели – ускорить и удешевить сортировочные маневры.

Следует отметить основное отличие полугорки от вытяжного пути при расформировании составов толчками заключается в том, что полугорка предназначена в основном для маневровой работы серийными, пульсирующими и многогруппными толчками, а вытяжной путь – для маневров осаживанием и одиночные изолированные толчки (ОИТ).

Первоначально полугорками считали все сортировочные горки малой мощности, принцип работы на которых был горочным. Процесс маневровой работы на полугорке отличается от маневров на горке и вытяжке, занимая по своему характеру некоторое среднее положение между ними. Роспуск вагонов с полугорки производился за счет использования силы тяжести вагонов на уклоне в сочетании с дополнительной силой толчка от маневрового локомотива. Потребность в дополнительной энергии, передаваемой отцепу от локомотива, возникала особенно в зимний период (в том числе за счет эксплуатации вагонного парка на подшипниках скольжения). Поэтому на многих полугорках и горках горках малой мощности устраивались два горба – для работы в зимний и летний период.

Однако, как для полугорки, так и для вытяжного пути при работе толчками желательно выполнение следующих условий:

- небольшая сила толкания;
- достаточная дальность пробега отцепов;
- высокая скорость следования отцепов по стрелочной зоне;
- резкое снижение скорости отцепа при вступлении на сортировочный путь.

При низких скоростях толкания повышается эффективность методов скоростной сортировки вагонов на вытяжках. Исследования [10] показывают, что сила толчка на полугорке, соответствующая требуемой дальности пробега вагонов на пути парка, зависит только от ее высоты (расчетной разности отметок точки отрыва вагонов на вытяжке и места их остановки на путях парка) и почти не зави-

сит от профиля полугорки. Скорость же следования вагонов по стрелочной зоне зависит от типа профиля спускной части полугорки.

Расчет высоты полугорки производился исходя из условия, чтобы при самых благоприятных условиях спуска очень хороший бегун, спущенный с минимальной скоростью на самый легкий по сопротивлению путь, входил в парк со скоростью не более 4,5 м/с. Расчетная скорость толчка принималась равной 5 км/ч с учетом возможного отклонения в сторону увеличения. При таких условиях можно всегда регулировать скорости движения отцепов.

Исследования показали [11], что уклон надвигной части полугорки в сторону сортировки несколько сокращает длину разгонов сортируемого состава, но при этом значительно увеличивает длину замедления и общую длину вытяжки. Поэтому начальный участок от упора вытяжки до зоны отрыва отцепов рекомендуется располагать на площадке. Расположение вытяжного пути на площадке также обеспечивает минимальные затухания возвратно-колебательных движений сортируемого состава при поточной сортировке вагонов. Зону же отрыва отцепов следует располагать на уклоне, эквивалентном средней величине удельного сопротивления отцепов. Такой уклон обеспечивает сохранение достигнутой скорости толчка для большинства отцепов со средним сопротивлением при свободном их движении, а также к образованию интервалов между отцепами при многогруппных толчках, что позволяет обходиться без интервального торможения вагонов (рисунок 1.3).

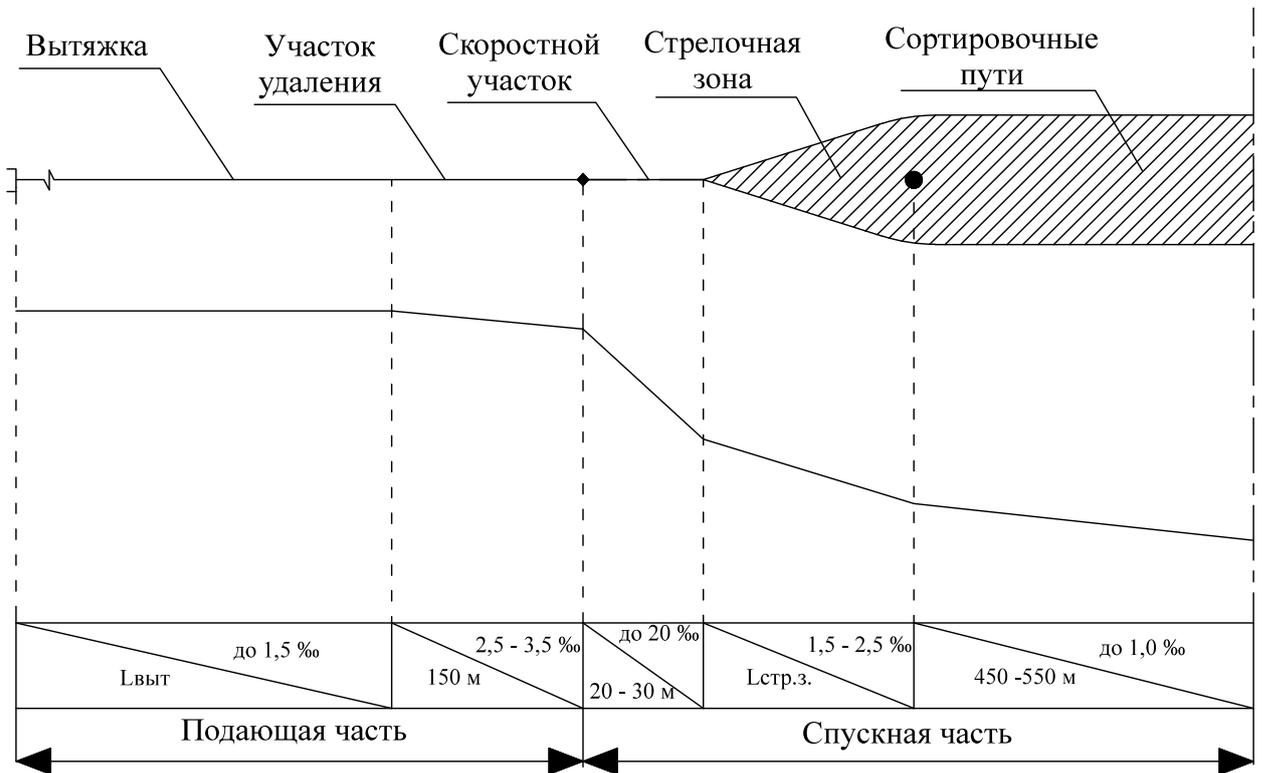


Рисунок 1.3 – Параметры конструкции полугорки

Согласно [11] определение длины вытяжного пути и зоны отрыва отцепов следует производить по скорости толчка, обеспечивающей проход расчетного бегуна с удельным сопротивлением порядка 3-3,5 кгс/тс до расчетной точки их остановки, за которую рекомендуется принимать точку, удаленную на 200 м от последнего предельного столбика среднего по сопротивлению пути.

Особые требования к конструкции сортировочных устройств предъявляются в связи с внедрением метода составителя Чернелевского [11]. По этому методу весь состав расформируется одним толчком. Такие маневры возможны лишь на вытяжках особого профиля с уклоном в сторону сортировочных путей.

Спускная часть таких устройств рассчитывается обычным порядком на основе общих положений. Скорость движения сортируемого состава должна определяться с учетом обеспечения между всеми отцепами интервалов на стрелках и замедлителях.

Профиль надвигной части горки на протяжении длины поезда наиболее целесообразно очерчивать по линии вертикальной круговой кривой большого ра-

диуса, принимая начальные уклоны близкими к нулю, а конечные, граничащие со скоростным уклоном – порядка 6-7 ‰, что обеспечивает движение одиночных плохих бегунов в неблагоприятных условиях. Средний уклон надвигной части горки должен быть эквивалентным средней величине удельного сопротивления движущегося состава 3-3,5 ‰.

Учитывая трудности устройства и содержания профиля надвигной части горки, очерченного по круговой кривой большого радиуса, можно допустить также его очертание по ломаной линии.

Широкое применение тепловозной тяги на маневрах в значительной мере способствовало вытеснению устройств, на которых требовалось сортировать отцепы толчками. Переход на горочные конструкции позволил при сортировке вагонов использовать режим надвигания состава, облегчивший работу по управлению маневровым локомотивом и расцеплению вагонов.

Уже к 1945-1947 годам было накоплено значительное число фактов, которые убедительно свидетельствовали, что базой для глубокого и всестороннего изучения маневров может стать метод тяговых расчетов, опирающийся на законы механики [3]. Позже данный подход к изучению маневровой работы занял прочные позиции среди ведущих инженеров железнодорожников и получил широкое распространение.

Сегодня на основе тяговых расчетов изучаются сложные системы взаимодействия подвижного состава и локомотивов, нормируется производственная деятельность транспортных предприятий, контролируется процесс работы крупных сортировочных станций и маневровых районов [26; 56; 82; 100].

Определение технологических параметров работы негорочного сортировочного устройства (количество вагонов в расформировываемой группе, деление состава на части, скорости выполнения толчка) невозможно без определения затрат энергии, затраченной на перемещение вагонов, обусловленной пробегом маневрового локомотива и влиянием конструкции сортировочного устройства.

При оценке влияния веса маневрового состава на суммарные затраты энергии, связанные с выполнением маневров на вытяжных путях, недостаточно учитывались следующие факторы [5]:

а) увеличение длины маневрового состава увеличивает время перестановки состава на вытяжной путь, пробег подвижного состава при выполнении полурейсов и затраты энергии;

б) деление составов на части при расформировании может быть обусловлено не только скоростью и эффективностью расформирования, но и необходимостью освобождения приемо-отправочного пути, занятого составом;

в) возможность производства маневровой работы толчками не только для отцепов, состоящих из небольшого числа вагонов (как правило, для отцепов большого веса и длины используют осаживание).

С ростом числа вагонов в составе растут и затраты на маневровую работу. Определение оптимальной величины части расформировываемого состава позволяет сократить затраты времени и энергии, как на расформирование, так и затраты на подбор вагонов в группы (для уменьшения числа отцепов) на станциях формирования [31].

В настоящее время передовым методом изучения различных процессов является имитационное моделирование [24; 50; 95]. Имитационное моделирование по сравнению с другими методами способно наиболее полно отображать работу сложных транспортных систем [45].

На железнодорожном транспорте данный метод применяется в различных сферах, ориентированных как на крупные объекты [1; 44], так и на отдельные направления деятельности: эксплуатационная работа железных дорог [49; 96], железнодорожные станции и узлы [48; 86], грузовая и коммерческая работа, логистика [63; 73] и т.д.

Одним из наилучших методов изучения процесса движения маневрового состава с локомотивом является имитационное моделирование. Данный метод основан на численных способах решения дифференциального уравнения движения, в частности, методе Эйлера [2; 97].

Имитационное моделирование позволяет воспроизводить в форме компьютерной модели все существенные стороны реального процесса движения и определять при этом его числовые характеристики. В частности, скорость движения в любой момент, время хода, расход топлива или электроэнергии на тягу и др.

Вопрос исследования динамики движения поездов [47], маневровых составов и отдельно скатывающихся отцепов с использованием имитационного моделирования ранее был освещен в ряде научных работ, в частности:

- при скатывании отцепов с горок [6; 7; 35; 36; 41; 43; 54; 55; 92];
- при перестановке маневрового состава из сортировочного парка в парк отправления [58; 59; 60].

Одним из важнейших мероприятий, направленных на увеличение перерабатывающей способности станций и узлов, являлось и является совершенствование простейших сортировочных устройств – вытяжек и полугорков. Негорочные сортировочные устройства могут быть основными или вспомогательными сортировочными устройствами на сортировочных, участковых и грузовых станциях. Основное сортировочное устройство часто проектируется для переработки транзитного вагонопотока, вспомогательное устройство обычно предназначается для детальной переработки местных вагонопотоков. Негорочные сортировочные устройства в качестве вспомогательных устройств, как правило, используются для повторной сортировки вагонов местных и мелких назначений.

Применение передовых технологий в маневровой работе всегда было направлено на ускорение переработки вагонов и дальнейшего совершенствования всего технологического процесса работы станции не только в России, но и в мире.

Специалисты США, Канады и ряда других стран работают над снижением объёмов дополнительной сортировки вагонов за счет концентрации переработки на хорошо технически оснащенных станциях с развитыми сортировочными устройствами. При этом производится предварительная тщательная подборка групп вагонов на начальных станциях формирования поездов. В результате поезда, как правило, состоят из двух-трёх групп и следуют на всём маршруте без дополнительной сортировки вагонов. Технологические же операции на сортировочных станциях огра-

ничиваются перецепкой групп вагонов. При этом простои вагонов в узлах сокращаются на 50%, ускоряется доставка грузов потребителям [92].

В 1991-1992 гг. на сети польских государственных железных дорог начали внедрять новую систему организации грузового движения. Сортировочная работа была сконцентрирована на 13 сортировочных станциях, формирующих поезда на другие сортировочные и близлежащие, так называемые, маневровые станции. Около 200 маневровых станций, имеющих от 3 до 10 маневровых локомотивов, формируют поезда только до 1-2 ближайших сортировочных станций и подачи на грузовые фронты, как самой станции, так и прилегающих промежуточных отдельных пунктов. Число сортировочных и маневровых станций было сокращено в целях концентрации перевозок и более эффективного использования средств [8].

Концентрация сортировочной работы связана с тремя обстоятельствами:

- усилением тенденции к концентрации сортировочной работы на меньшем числе крупных технически высокооснащённых станций, увеличением длины путей в связи с ростом массы и длины поездов;

- концентрацией сортировочной работы в узлах на сортировочных станциях с переносом на них с грузовых станций работы по подборке вагонов по грузовым районам и фронтам; для этого на многих сортировочных станциях стали сооружать местные парки со своими сортировочными горками; увеличивать и число путей в основных сортировочных парках;

- механизацией и автоматизацией сортировочного процесса.

Поэтому на железных дорогах США, Канады, Великобритании, Франции и других стран осуществлялось строительство новых мощных сортировочных станций и реконструкция существующих.

Было признано, что эксплуатация небольшого числа крупных сортировочных станций обходится дешевле, чем эксплуатация многих малых сортировочных устройств. Происходящее при этом объединение вагонопотоков способствует увеличению числа формируемых на дальние расстояния однопутных поездов. Поэтому началось строительство крупнейших сортировочных станций при одновременном закрытии маломощных систем переработки вагонов.

Однако зачастую в крупных городах не приходится говорить о развитии сортировочных станций из-за отсутствия возможности расширения территорий. И, прежде всего, это касается грузовой и сортировочной работы. Объединение сортировочной работы при растущем вагонопотоке не возможно и возникает вопрос о выносе маневровой работы на предузловые станции [9; 28; 58; 74]. Данный подход также следует учитывать при выносе промышленного производства за пределы города.

1.3 Анализ современного состояния теории проектирования и перспективы использования негорочных сортировочных устройств

Наиболее ранние рекомендации, относящиеся к параметрам сортировочного устройства при работе толчками, были связаны с определением его высоты аналогично расчету высоты сортировочной горки, а также с расположением головной части сортировочного парка на уклоне 2-2,5 ‰ в сторону сортировки для наиболее эффективного выполнения маневров толчками [77; 84; 85].

Более подробные рекомендации для проектирования сортировочного устройства, применяемого для расформирования составов толчками изложены в Инструкции по проектированию сортировочных устройств редакции 1978 года. Согласно [37], высоту вытяжных путей специального профиля следует проектировать с расчетом обеспечения прохода плохих бегунов при неблагоприятных условиях скатывания до расчетной точки, выбираемой на расстоянии от 12 до 50 м за предельным столбиком. При этом рекомендуется принимать начальную скорость скатывания плохого бегуна в точке начала свободного скатывания при неблагоприятных условиях, равную 4,5 м/с, а скорость входа вагонов из числа хороших и очень хороших бегунов на тормозной башмак не должна превышать на спускной части 4,5 м/с, а в сортировочном парке – 3,5 м/с. Скоростной уклон вытяжных путей специального профиля рекомендуется проектировать крутизной не менее 20 ‰. Стрелочную зону вытяжных путей специального профиля проектируют на спуске до 2,5 ‰, а в маневровых районах, где сортируются только легко-

весные и порожние выгоны – до 4 ‰; первую треть парка сортировки следует располагать на спуске с уклоном не более 0,8-1,2 ‰. Участок удаления вытяжных путей специального профиля рекомендуется проектировать на спуске в направлении сортировки, крутизной 3-3,5 ‰ и длиной 40-80 м; примыкающий к нему участок вытяжного пути длиной 350 м – на среднем подъеме до 3-4 ‰, причем элемент длиной не менее 50 м, сопрягаемый непосредственно с участком удаления, должен быть расположен на подъеме 4-6 ‰ (рисунок 1.4). Данные рекомендации не вошли в действующие правила и нормы проектирования сортировочных устройств [66].

Действующие Правила и нормы проектирования сортировочных устройств содержат требования к параметрам продольного профиля НГСУ в виде диапазонов допускаемых значений для вытяжного пути и стрелочной зоны сортировочного устройства, что явно недостаточно для принятия обоснованных решений по конструкции сортировочных устройств, особенно при использовании технологии расформирования составов толчками. При этом имеются следующие очевидные недостатки:

- установлены одинаковые требования к параметрам НГСУ при работе толчками (не делается различие в способе выполнения толчков: одиночных, серийных, многогруппных);

- не изложены методика и требования к расчету длины вытяжного пути НГСУ при работе толчками;

- отсутствует взаимосвязь между структурой перерабатываемого вагонопотока и применением тех или иных нормативов (имеются только указания по изменению параметров элементов НГСУ при переработке преимущественно порожних вагонов);

- не изложена методика определения скорости выполнения толчков;

- конструкция плана и продольного профиля НГСУ не связывается с технологией расформирования и формирования составов (деление состава на части, порядок использования путей накопления – сортировочные, группировочные, сортировочно-группировочные);

– отсутствуют указания по использованию значений уклонов различных участков сортировочного устройства из рекомендуемых диапазонов.

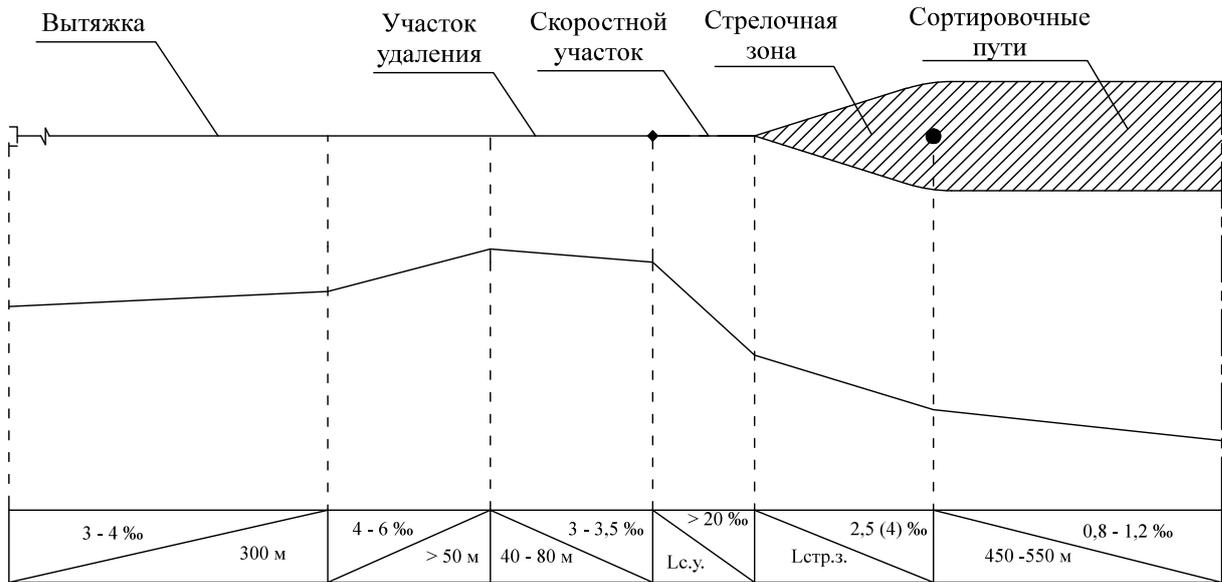


Рисунок 1.4 – Параметры конструкции НГСУ (вытяжной путь специального профиля)

Скорость при маневрах толчками регламентирована действующими правилами технической эксплуатации железных дорог Российской Федерации и не должна превышать 5 км/ч [69].

Для стрелочной зоны в настоящее время действующие Правила и нормы проектирования сортировочных устройств устанавливают предельные значения уклона, ограниченные спуском не круче 1,5 ‰. Очевидно, что указанное значение уклона предполагает использование высоких скоростей толчка отдельных отцепов для обеспечения высокой степени заполнения путей парка и необходимого уровня перерабатывающей способности сортировочного устройства (рисунок 1.5). Пути парка проектируются по правилам и нормам проектирования сортировочных путей.

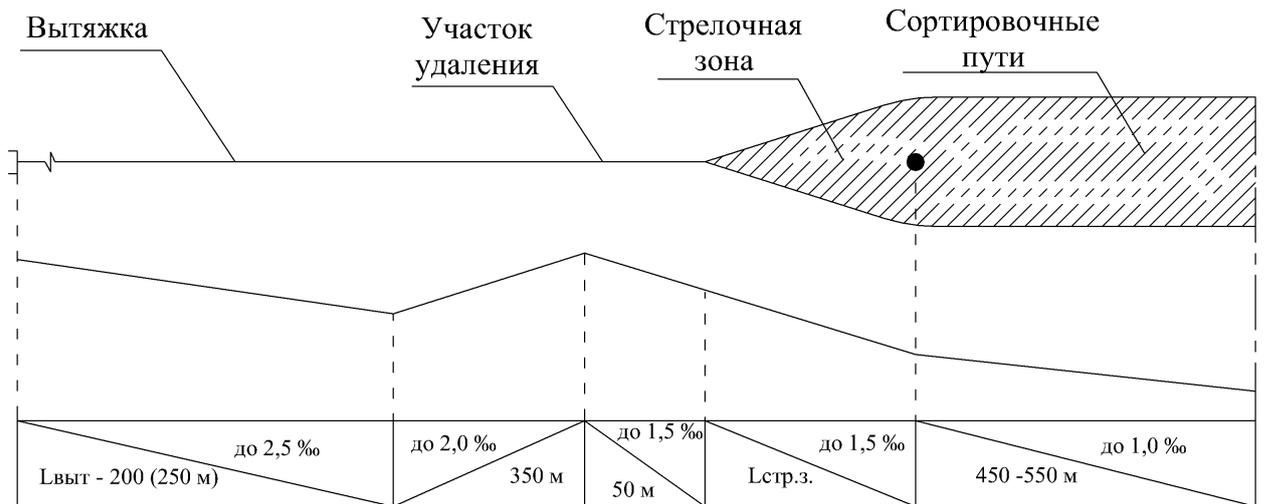


Рисунок 1.5 – Параметры конструкции НГСУ (согласно действующим правилам и нормам)

При проектировании негорочных сортировочных устройств в США на основе данных [101] закладываются следующие параметры:

- скорость выполнения толчка от 1,7 до 4,5 м/с;
- скоростной уклон стрелочной зоны от 5 до 15 %;
- стрелочная зона на уклоне от 3 до 5 %;
- начальная часть сортировочного парка на уклоне 2,5 %;

– середина сортировочного парка проектируется на горизонтальной площадке;

– в выходной части парка устраивается противоуклон крутизной от 3 до 5 ‰, протяженность уклона может превышать 100 м.

Вследствие того, что стрелочная горловина может достигать нескольких сотен метров, проектировщиками отмечаются случаи остановки отцепов из-за плохих характеристик движения вагонов и метеорологических условий.

Необходимо отметить, что в США негорочные устройства имеют большое число сортировочных путей и высокие (относительно РФ) объемы переработки, что вызывает необходимость повышения темпа сортировки и обуславливает применение более крутых уклонов продольного профиля.

Следует отметить, что сегодня в мире вопрос повышения эффективности выполнения маневровой работы остается актуальным. Высокая эффективность данного вида работ связана в первую очередь с минимальными затратами на тягу, с более совершенной процедурой выполнения маневров, с новыми алгоритмами данной работы и разработанными на их основе программными комплексами. Применение новых технологий в сфере автоматики и телемеханики позволяет увеличить безопасность, более эффективно использовать маневровые средства, задействовать меньшее число работников, повысить культуру труда. Технологические вопросы выполнения маневровой работы, законодательная база, обеспечивающая безопасность и охрану труда, своевременно меняются с учётом изменения техники и технологий [104].

Помимо развития тягового подвижного состава, специализированного для производства маневровой работы, разработаны устройства, способные передвигать вагоны на участке без уклона со скоростью 5 км/ч [99]. Такие устройства могут заменить маневровые локомотивы, всевозможные ворота, лебедки. Устройство *Maxi Railcar Mover* может двигаться в различных направлениях и быстро окупается при использовании на железнодорожных терминалах. Устройство *Maxi Railcar Mover* может быть оборудовано различными типами двигателей, работающих на дизельном топливе, на бензине, на сжиженном газе, на батареях.

Современные системы автоматического выполнения маневровых операций по радиосвязи [103], децентрализованного управления постами централизации маневровых районов [102] имеют высокую надежность, снижают загрузку маневрового диспетчера, ускоряют маневровые операции, имеют преимущества в сравнении с централизованным управлением с точки зрения экономической и эксплуатационной эффективности.

Наряду с техническими разработками совершенствуются и научные методы оптимального управления маневровой работой. На их основе можно разработать математическую модель маневровой работы любой грузовой станции с учетом конкретных технологических ограничений, позволяющую оптимально управлять маневровой работой по критерию минимизации эксплуатационных расходов [22; 89].

1.5 Выводы по главе

На основании выполненного анализа развития теории проектирования и опыта эксплуатации сортировочных устройств установлено:

1. Технология использования толчков возникла из необходимости повышения производительности маневровой работы. В настоящее время рассматриваемая технология наиболее распространена на грузовых станциях, которые характеризуются значительной неравномерностью по объему переработки вагонов. Задача повышения эффективности использования таких устройств является актуальной на современном этапе развития железнодорожного транспорта.

2. По уровню перерабатывающей способности данная технология занимает промежуточное место между осаживанием и горочной технологией. Она характеризуется использованием при расформировании как силы тяги локомотива, так и силы тяжести отцепа, что приводит к увеличению числа и диапазона значений случайных факторов влияющих на данный процесс. Следовательно, для расчета параметров НГСУ необходимо разрабатывать методики, учитывающие указанные особенности.

3. В период формирования теория расчета негорочных сортировочных устройств основывалась на использовании практического опыта эксплуатации и обобщения результатов передовых приемов работы. Впоследствии получила развитие теория проектирования сортировочных устройств, основные положения которой были сформулированы для более совершенных устройств – сортировочных горок. При этом для расчета НГСУ применялись аналогичные подходы.

4. В настоящее время действующие нормативы по проектированию НГСУ не в полной мере отражают специфику расчета конструкции и технологию работы, в частности:

- установлены одинаковые требования к параметрам НГСУ при работе толчками, при этом не делается различие в способе выполнения толчков (одиночные, серийные, многогруппные);

- не изложены методика и требования к расчету длины вытяжного пути НГСУ при работе толчками;

- отсутствует взаимосвязь между структурой перерабатываемого вагонотока и применением тех или иных нормативов (имеются только указания по изменению параметров элементов НГСУ при переработке преимущественно порожних вагонов);

- не изложена методика определения скорости выполнения толчков;

- конструкция плана и продольного профиля НГСУ не связывается с технологией расформирования и формирования составов (деление состава на части, порядок использования путей накопления – сортировочные, группировочные, сортировочно-группировочные);

- отсутствуют указания по использованию значений уклонов различных участков сортировочного устройства из рекомендуемых диапазонов.

2 РАЗРАБОТКА ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ПРОЦЕССА РАСФОРМИРОВАНИЯ СОСТАВОВ ОДИНОЧНЫМИ ИЗОЛИРОВАННЫМИ ТОЛЧКАМИ

2.1 Постановка задачи

Имитационная модель процесса расформирования составов одиночными изолированными толчками должна решать следующие задачи:

- определение расстояния на разгон и торможение маневрового состава;
- определение расстояния, проходимого отцепом при самостоятельном скатывании.

При решении указанных задач необходимо учитывать:

- влияние постоянных и переменных факторов на подвижной состав;
- возможность использования конструктивных и технологических параметров в широком диапазоне значений;
- соответствие результатов имитационного моделирования данным, получаемым на практике.

Для решения поставленных задач в данной работе имитационная модель процесса расформирования составов ОИТ рассматривается в виде двух обособленных моделей:

- модель движения маневрового состава (с локомотивом), включающая разгон и торможение состава;
- модель движения отцепа после отрыва от состава (толчка).

Указанное деление имитационной модели обусловлено различиями влияющих факторов, определяющих результирующие характеристики процесса [17]. Так, при движении отцепа в маневровом составе на вытяжном пути учет воздействия сил сопротивления движению отцепа не принимается во внимание в расчетах из-за преодоления сил сопротивления силой тяги локомотива. После отрыва от состава на отделившийся отцеп могут оказывать воздействие все виды сопротивления движению. При этом скорость движения отцепа зависит от:

– начальной скорости движения отцепа, полученной от локомотива при толчке;

– профиля участка пути, по которому движется отцеп;

– сил сопротивления движению.

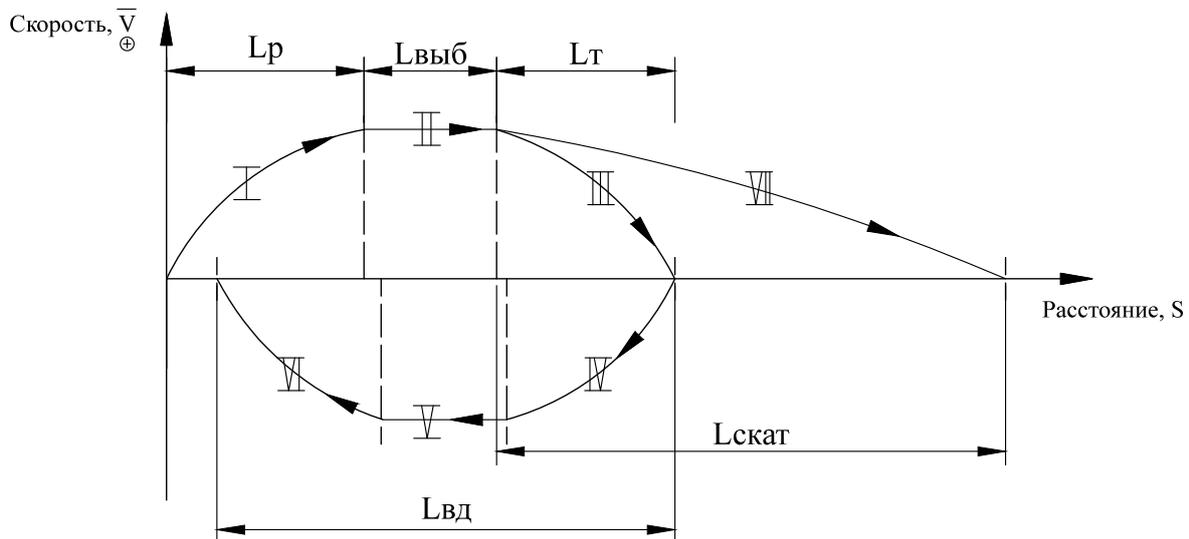
Имитация процесса расформирования состава ОИТ производится в соответствии со схемой, приведенной на рисунке 2.1. При этом основными фазами процесса являются:

– разгон;

– торможение состава и отрыв отцепа;

– дальнейшее торможение маневрового состава (до остановки);

– оттягивание состава на вытяжной путь (при необходимости).

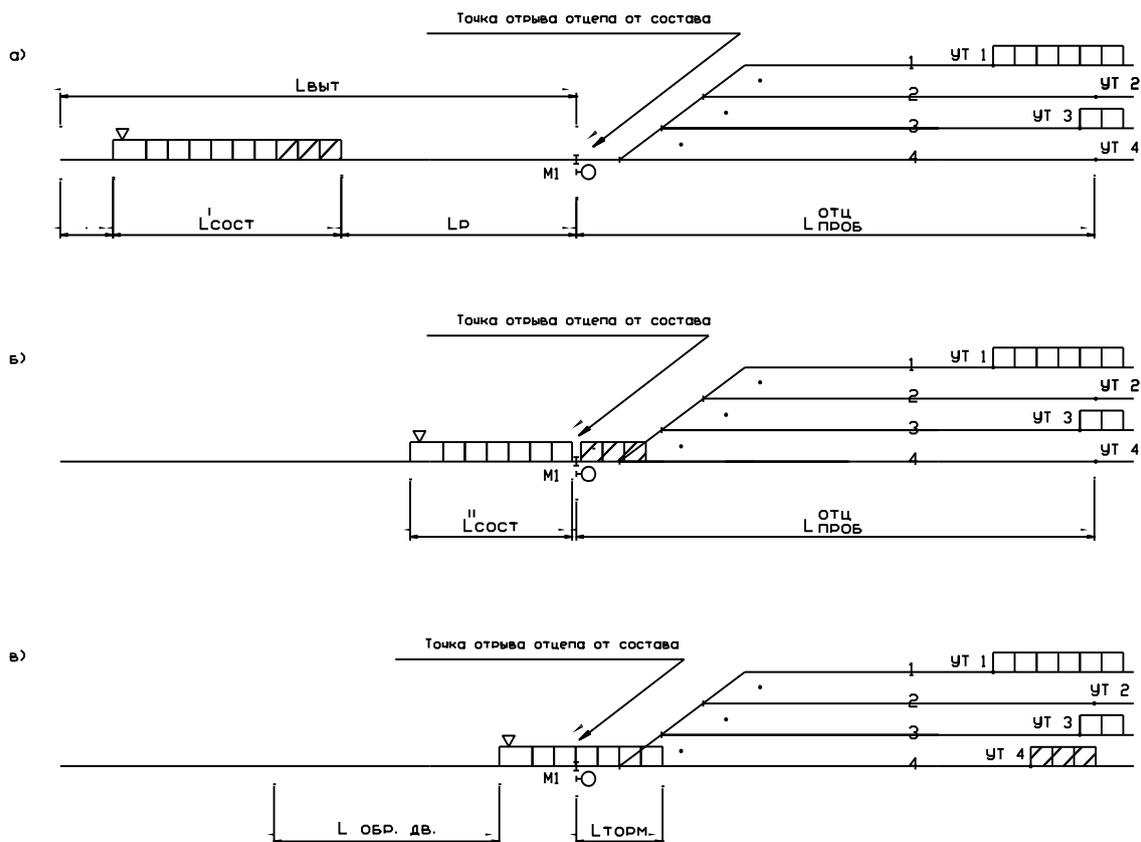


где: фазы I и IV – разгон маневрового состава; фазы II и V – выбег маневрового состава; фазы III и VI – торможение состава; фаза VII – самостоятельное движение отцепа после толчка для случая остановки отцепа без соударения с вагонами на пути; L_p – расстояние, проходимое составом при разгоне; $L_{в}$ – расстояние, проходимое составом при выбеге; L_t – расстояние, проходимое составом при торможении; $L_{кат}$ – расстояние, проходимое отцепом после отрыва от состава; $L_{вд}$ – расстояние, проходимое составом при возвратном движении (оттягивании) на вытяжной путь.

Рисунок 2.1 – Расчетная схема движения маневрового состава при расформировании состава способом¹ ОИТ

¹ Отрицательные значения скорости означают направленность вектора скорости движения в сторону вытяжного пути.

Моделирование движения маневрового состава на вытяжном пути производится в соответствии со схемой, приведенной на рисунке 2.2.



- а) Исходное положение состава и занятость путей парка перед выполнением толчка
 б) Положение состава в момент отрыва отцепы
 в) Положение маневрового состава после остановки по завершении толчка

Рисунок 2.2 – Схема перемещений маневрового состава на вытяжном пути в имитационной модели расформирования состава ОИТ

На рисунке 2.2: $L_{\text{выт}}$ – необходимая длина вытяжного пути для производства толчка¹; $L_{\text{сост}}^I$ и $L_{\text{сост}}^{II}$ – длина состава до и после выполнения толчка соответственно; L_P , L_T – расстояние, необходимое на разгон и торможение состава для выполнения толчка, соответственно; $L_{\text{проб}}^{\text{отц}}$ – необходимое расстояние пробега i -го отцепы; $L_{\text{обр.дв}}$ – расстояние, на которое необходимо оттащить состав для выполнения следующего толчка; УТ 1, УТ 2, УТ 3, УТ 4 – условные точки, ограничивающие свободный участок 1, 2, 3, 4 пути.

¹ По условию минимального пробега маневрового состава.

В модели заложены следующие условия:

а) начальное положение – маневровый состав (с локомотивом) находится на вытяжном пути на расстоянии L_p от первой разделительной стрелки, равном расстоянию разгона состава для выполнения толчка первого отцепа (согласно рис. 2.2а в процессе расформирования в модели длина вытяжного пути не ограничена);

б) разгон маневрового состава производится до условной точки отрыва (УТО) отцепа, которая в данной модели расположена перед приемными стыками первой разделительной стрелки (рисунок 2.2). Так как в работе рассматриваются отцепы с различным числом вагонов (дифференцированные по длине), УТО в имитационной модели зафиксирована по приемным стыкам рамных рельсов первого стрелочного перевода, а момент отрыва отцепа наступает при достижении хвостовой оси автосцепки последнего вагона отцепа (по ходу движения) принятой в модели точки отрыва (рисунок 2.3);

в) торможение маневрового состава и отрыв отцепа (толчок) – самостоятельное движение отцепа начинается при начале торможения состава в точке отрыва, в соответствии с рисунком 2.4.

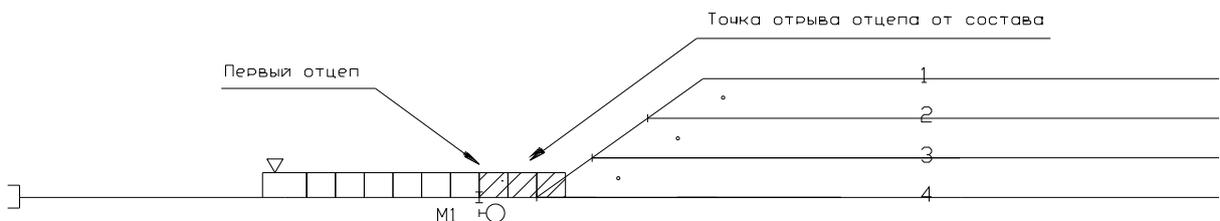
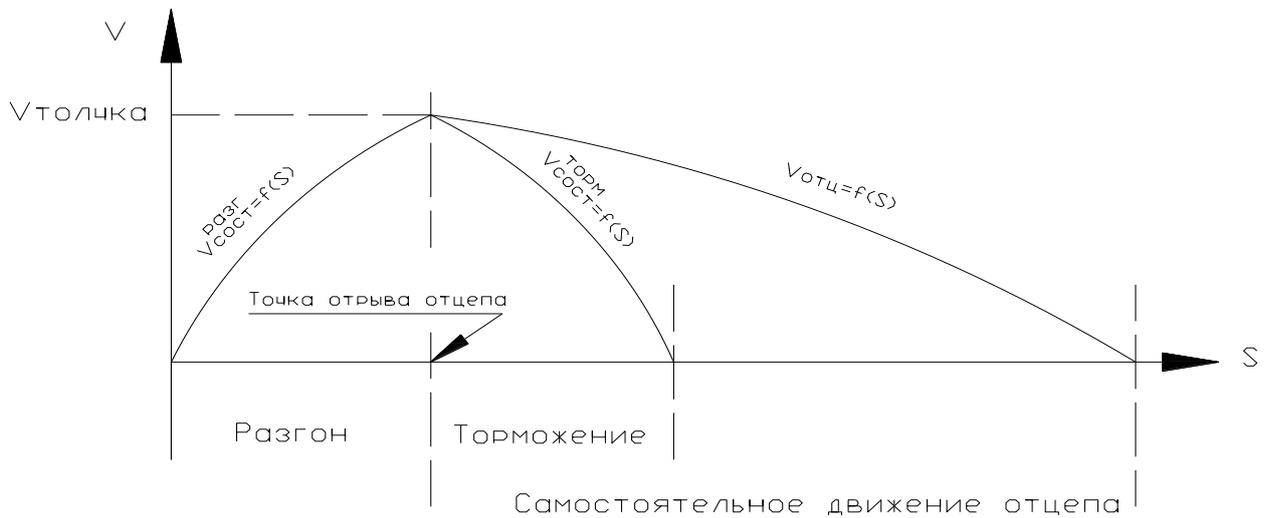


Рисунок 2.3 – Принятая в имитационной модели схема к определению момента отрыва отцепа при толчке



$V_{толчка}$ – скорость выполнения толчка, км/ч;

$V_{сост}^{разг}$ – кривая скорости при разгоне маневрового состава, км/ч;

$V_{сост}^{торм}$ – кривая скорости при торможении состава, км/ч;

$V_{отц}$ – кривая скорости движения отцепа, км/ч.

Рисунок 2.4 – Схема определения момента толчка при расформировании

Момент отрыва отцепа от состава в соответствии с рисунком 2.4 определяется при наступлении условия:

$$V_{сост}^{торм} < V_{отц};$$

г) торможение маневрового состава после отрыва первого отцепа – в модели остановка маневрового состава после толчка может производиться как на вытяжном пути, так и в пределах стрелочной зоны;

д) оттягивание оставшейся части маневрового состава производится на вытяжной путь на расстояние от первой разделительной стрелки, равное расстоянию разгона состава для выполнения толчка следующего отцепа.

На рисунке 2.5 представлена ситуация, которая возникает после толчка и торможения состава при расформировании ОИТ. В данной ситуации для реализации последующего толчка необходимо будет выполнить оттягивание состава на вытяжной путь.

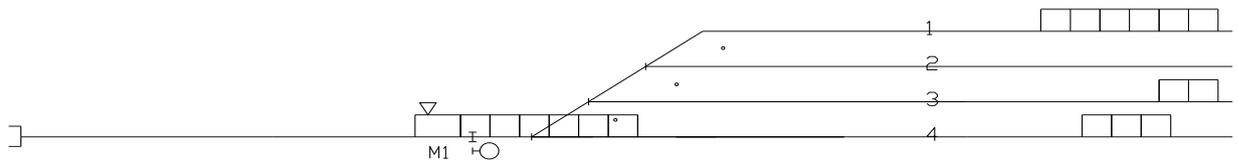


Рисунок 2.5 – Расположение маневрового состава после выполнения толчка и последующей остановки

В имитационной модели движения маневрового состава произведен учет действия следующих факторов:

а) факторы, принимаемые как постоянные:

- план вытяжного пути;
- профиль вытяжного пути;
- тяговые характеристики локомотива;

б) факторы переменные:

- масса состава;
- длина состава;
- скорость движения состава;
- силы сопротивления движению состава.

Моделирование движения отцепа после отрыва от состава (толчка) производится следующим образом:

а) начальный момент движения отцепа соответствует конечному моменту модели движения маневрового состава с локомотивом, а точнее, моменту конца разгона состава и началу торможения. За счет последовательного перехода от одной модели к другой достигается непрерывность процесса;

б) самостоятельное движение отцепа (по стрелочной зоне и в парке) осуществляется с учетом сил сопротивления движению;

в) момент остановки отцепа на пути (если путь свободен) или остановки при подходе к стоящему на пути отцепу наступает:

1) на свободном пути – при условии, что общая энергия движения отцепа равна нулю ($E_{\text{ов.отц}} = 0$);

2) если $E_{\text{отс.отца}} > 0$, но дальнейшее продвижение отцепа затруднено стоящими на пути вагонами (соударение).

Динамика движения отцепа после отрыва от состава зависит от следующих факторов:

а) факторы постоянные:

- масса отцепа;
- длина отцепа;
- план пути по маршруту движения отцепа;
- профиль пути по маршруту движения отцепа;

б) факторы переменные:

- скорость движения отцепа;
- силы сопротивления движению отцепа.

В процессе моделирования происходит изменение параметров как самого маневрового состава, так и динамики его движения.

2.2 Моделирование движения маневрового состава при выполнении одиночных изолированных толчков

При моделировании движения маневрового состава в диссертационной работе в качестве основы предлагаемой модели использована программа «Маневры» [30], разработанная на кафедре «Железнодорожные станции и узлы» СГУПС.

Моделирование движения маневрового состава при расформировании производится на основании тяговых расчетов. Необходимые для работы программы исходные данные состоят из трех групп:

- данные о маневровом составе;
- данные о маршруте маневрового передвижения;
- значения ставок единичных норм расходов (ЕНР) на измерители маневровой работы¹.

¹ При определении скорости и времени движения маневрового состава последняя группа данных не используется.

Внутри первых двух групп данные представляются в следующем виде:

- 1) масса и длина маневрового состава, количество вагонов в нем;
- 2) описание элементов продольного профиля на маршруте с указанием границ элементов профиля, длин и уклонов элементов.

Укрупненная блок-схема алгоритма моделирования движения маневрового состава на основе тяговых расчетов приведена на рисунке 2.6.

Реализация алгоритма начинается с ввода необходимых для имитации исходных данных. Группы данных, описанные выше (о маневровом составе, о продольном профиле на маневровом маршруте, а также значения расходных ставок ЕНР), вводятся вручную.

Таким образом, во внешнем файле находятся следующие данные:

- масса маневрового локомотива (P), т;
- конструкционная скорость (V_k), км/ч;
- тяговые характеристики локомотива.

В процессе движения маневровый состав испытывает действие неуправляемых и управляемых сил, которые могут выступать как в качестве сил сопротивления движению, так и в качестве ускоряющих сил. К неуправляемым силам следует отнести сопротивление движению состава от воздушной среды, а также от трения (в первую очередь между рельсами и гребнями колес), а также силу тяжести, которая зависит от массы состава с локомотивом и уклонов элементов продольного профиля, на которых находится состав на l -ом участке смещения.

Силы трения всегда препятствуют движению маневрового состава; сила тяжести может как препятствовать увеличению скорости, так и способствовать ему. Управляемые силы – сила тяги локомотива f_k и тормозная сила b_T .

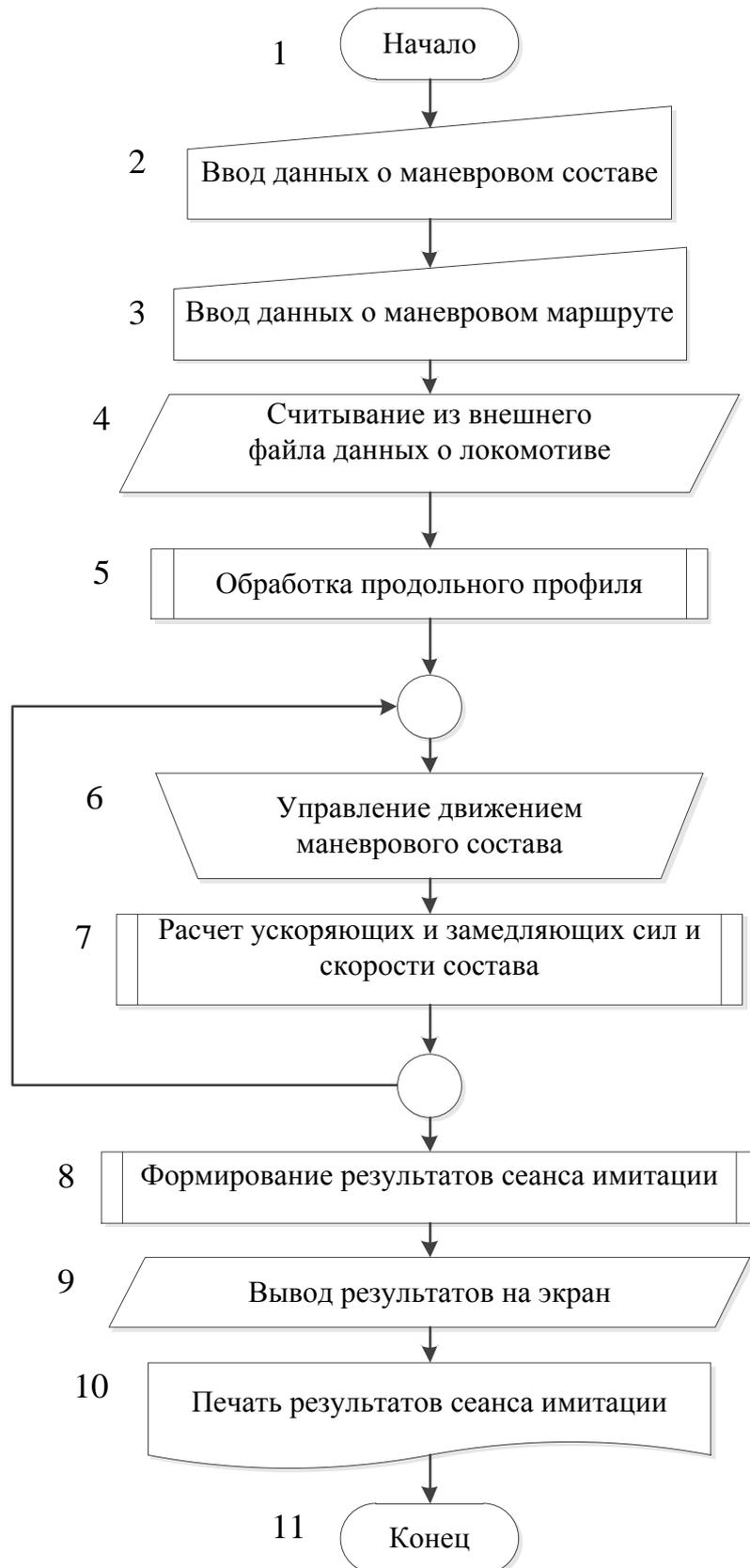


Рисунок 2.6 – Укрупненная блок-схема программы моделирования движения маневрового состава на основе тяговых расчетов

Общим принципом имитации является использование численных методов решения уравнения движения маневрового состава (метода Эйлера) [70]:

$$\frac{dV}{dt} = \xi[f_k(V) - w_0(V) - b_T(V) \pm i(s)], \quad (2.1)$$

где $f_k(V), w_0(V), b_T(V)$ – удельные силы тяги локомотива, основного сопротивления движению локомотива и состава, тормозной силы локомотива в функции скорости, кгс/тс;

$i(s)$ – удельное сопротивление от приведенного уклона функции координат состава на вытяжке, кгс/тс (при небольших значениях углов наклона оси пути к горизонтальной плоскости удельное сопротивление от уклона численно может считаться равным величине уклона в промилле [70]).

Изменения фактической скорости движения маневрового состава V определяются на некотором достаточно небольшом «смещении» $l^0=1$ м. Для каждой координаты l расположения центра масс маневрового состава (с шагом 1 м) рассчитывается суммарное значение сил тяги локомотива, основного сопротивления движению и тормозной силы. Изменение скорости состава будет определяться начальной скоростью V_{l-1} при вступлении на рассматриваемый l -ый участок смещения и величиной равнодействующей ускоряющих и замедляющих сил для данного участка смещения.

Величина удельного сопротивления от приведенного уклона продольного профиля для l -го участка смещения (при $l^0=1$ м) определяется до начала имитации движения маневрового состава путем обработки данных о продольном профиле маршрута маневрового передвижения [70]:

$$i_l = \frac{\sum_{j=l-\frac{L_c}{2}}^{l+\frac{L_c}{2}} i_j \cdot S}{L_c}; l = 1, \overline{(L_0 - L_c)}, \quad (2.2)$$

где L_0 – заданная длина полурейса с учетом длины состава, м;

L_c – длина состава с локомотивом, м;

i_j – величина уклона пути для j -го метрового элемента, ‰;

$S=1$ – длина l -го участка смещения, м.

В предлагаемой модели имитируется управление движением локомотива с маневровым составом, что позволяет рассчитывать значения измерителей при использовании всех возможных режимов движения маневрового состава: тяга, выбег, торможение.

Алгоритм, описывающий возможные варианты управления движением маневрового состава, и порядок расчета скорости движения на l -ом участке смещения в зависимости от реализуемого режима, представлен на рисунке 2.7 (F_l, W_l, B_{Tl}, R_l – соответственно сила тяги локомотива, сила основного сопротивления движению, тормозная сила и равнодействующая ускоряющих и замедляющих сил на l -ом участке смещения, кгс; Q, P – соответственно, вес маневрового состава и локомотива, тс).

Время следования состава по l -му участку смещения (в минутах) определяется с использованием формулы [70]:

$$t_l = \frac{S}{\left(\frac{V_l - V_{l-1}}{2}\right)} \cdot 0,06, \quad (2.3)$$

где V_{l-1}, V_l – соответственно скорость состава при вступлении на l -ый участок смещения и при выходе с него, км/ч;

0,06 – коэффициент для перевода километров в метры и часов в минуты.

Механическая работа локомотива на l -ом участке смещения (тс·км) равна [70]:

$$R_{лl} = f_{kl} \cdot (Q + P) \cdot S \cdot 10^{-6}, \quad (2.4)$$

где f_{kl} – удельная сила тяги локомотива на l -ом участке, кгс/тс (определяется по значениям массива f_{ki} для средней скорости на участке).

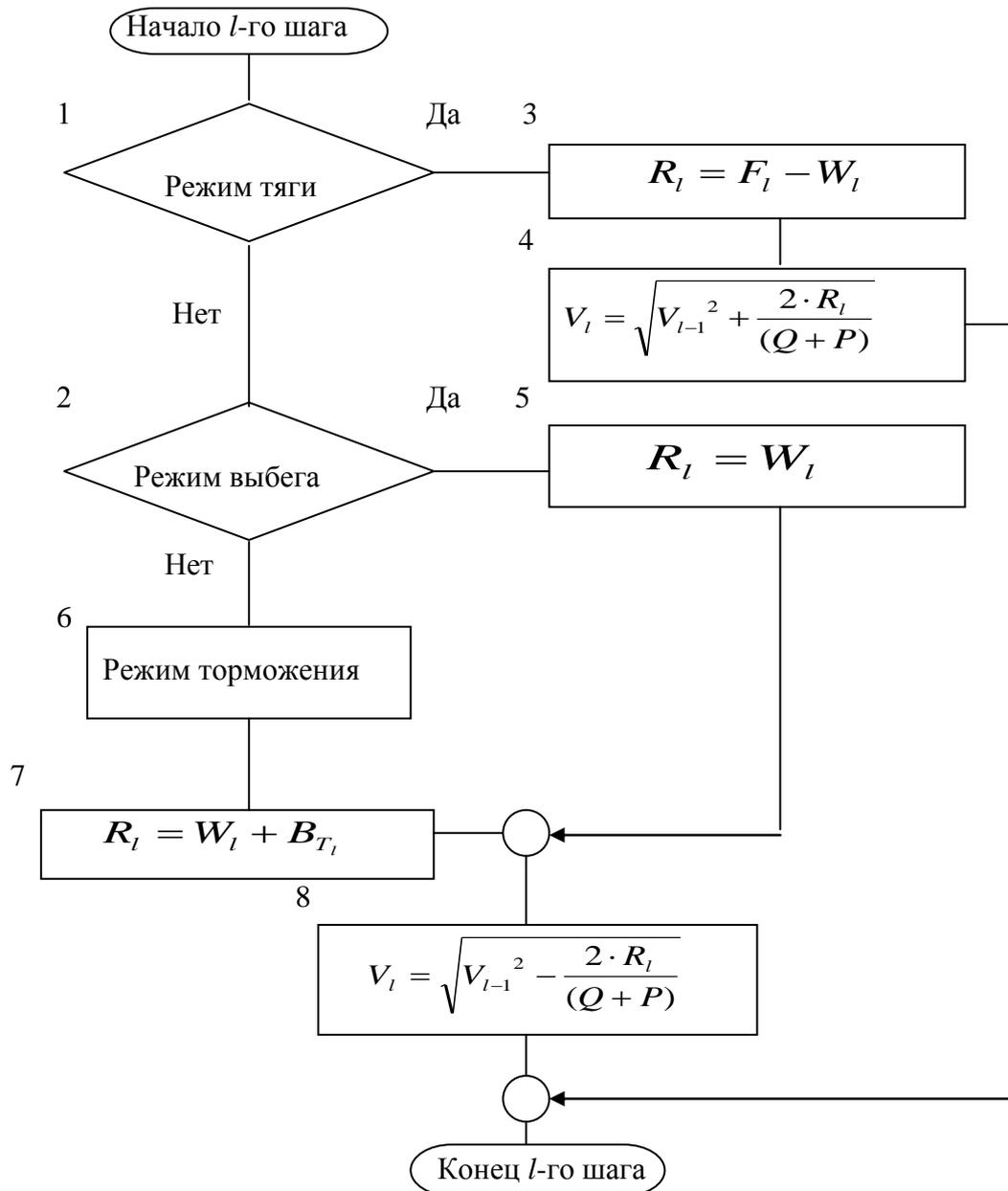


Рисунок 2.7 – Алгоритм расчета скорости движения маневрового состава на l -ом шаге смещения в зависимости от выбранного режима движения

Другие энергетические показатели рассчитываются с использованием формул, известных из теории тяговых расчетов [70].

Значения временных измерителей (Mh , MH , nH) определяются по времени t_l , значения пробегных измерителей (Ml , nl , $(P+Q)l$) – по длине маневрового маршрута.

Сеанс моделирования движения состава прекращается, когда величина l принимает значение, равное $L_0 - L_c$.

Формирование результатов сеанса имитации заключается в расчете суммарных значений измерителей по всем участкам смещения.

Доработка автором существующих алгоритмов программы «Маневры-2» [20] заключалась в реализации следующих решений:

- возможность задания любого значения начальной скорости и режима движения маневрового состава в начальный момент времени с точностью до 0,1 км/ч;
- детализация траектории скорости движения маневрового состава через 1 м;
- модификация алгоритма расчета в части отдельного моделирования фаз разгона, выбега и торможения;
- возможность задания начальной скорости фазы движения, а также условия завершения расчетов по достижению заданной конечной скорости.

Адаптированная программная разработка в дальнейшем обозначается как «Маневры-2».

Произведенные доработки позволяют использовать программу «Маневры-2» для выполнения широкого спектра исследований, связанных с динамикой разгона и торможения маневрового состава в процессе расформирования и формирования состава методом одиночных изолированных толчков.

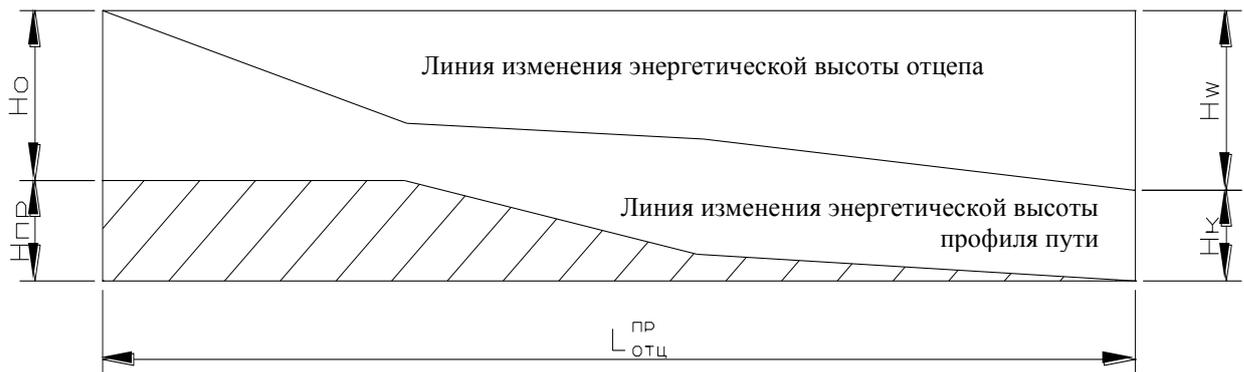
В результате сеанса имитации маневрового передвижения получаются значения рассматриваемых измерителей, в частности, скорости и времени движения маневрового состава в любой точке.

2.3 Разработка имитационной модели скатывания отцепов при расформировании одиночными изолированными толчками

Динамика движения отцепа после отрыва от состава является важным фактором, который влияет на дальность его пробега в парк и скорость соударения с вагонами на пути.

В диссертации для исследования процесса расформирования составов толчками разработана имитационная модель движения отцепов после отрыва от состава при выполнении толчков.

При моделировании движения отцепа после отрыва от состава за основу принято известное уравнение движения в энергетических высотах. Графически уравнение представлено на рисунке 2.8.



где H_0 – энергетическая высота отцепа в начале рассматриваемого участка, м.э.в.;

$H_{пр}$ – профильная высота рассматриваемого участка пути, м.э.в.;

H_w – суммарная работа всех сил сопротивления на рассматриваемом участке пути, м.э.в.;

H_k – энергетическая высота отцепа в конце рассматриваемого участка, м.э.в.;

$L_{отц}^{пр}$ – расстояние, проходимое отцепом с момента отрыва до остановки, м.

Рисунок 2.8 – Графическое изображение основного уравнения движения отцепа в энергетических высотах

При прохождении отцепом участка пути между точками S_m и S_{m+1} уравнение можно записать следующим образом:

$$H_0^{S_m} + H_{np}^{S_m-S_{m+1}} = H_w^{S_m-S_{m+1}} + H_k^{S_{m+1}}, \quad (2.5)$$

где $H_0^{S_m}$ – энергетическая высота отцепа в начале рассматриваемого участка (в точке S_m), М.Э.В.;

$H_{np}^{S_m-S_{m+1}}$ – профильная высота участка пути между точками S_m и S_{m+1} , М.Э.В.;

$H_w^{S_m-S_{m+1}}$ – суммарная работа всех сил сопротивления на участке пути между точками S_m и S_{m+1} , М.Э.В.;

$H_k^{S_{m+1}}$ – энергетическая высота отцепа в конце рассматриваемого участка (в точке S_{m+1}), М.Э.В.

$$H_0^{S_m} = \frac{V_{S_m}^2}{2g'}; \quad H_k^{S_{m+1}} = \frac{V_{S_{m+1}}^2}{2g'}, \quad (2.6)$$

где $V_{S_m}, V_{S_{m+1}}$ – скорость отцепа соответственно в точках S_m и S_{m+1} , м/с;

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

Для отцепа:

$$g' = \frac{g}{1 + 0.42 \frac{\sum_{i=1}^{K^e} n_i^e}{\sum_{i=1}^{K^e} m_i}}, \quad (2.7)$$

где $g=9,81$ м/с² – ускорение свободного падения;

n_i^e – число осей в i -ом вагоне отцепа;

m_i – масса i -го вагона отцепа;

K^e – количество вагонов в отцепе.

С учетом выражения (2.6) из формулы (2.5) получаем формулу для оценки изменения скорости отцепа на участке между точками S_m и S_{m+1} :

$$\Delta V_{S_{m+1}-S_m} = V_{S_{m+1}} - V_{S_m} = \sqrt{2g'(H_{np}^{S_m-S_{m+1}} - H_w^{S_m-S_{m+1}})}. \quad (2.8)$$

Решение уравнения (2.8) в процессе моделирования движения отцепа после отрыва от состава производится численным методом Эйлера. Весь маршрут свободного движения отцепа разбивается на участки с шагом интегрирования 1 м ($S_{m+1}-S_m=1$). В пределах каждого такого участка скорость условно считается постоянной.

Таким образом, непрерывный процесс движения отцепа в модели заменяется набором состояний, соответствующих дискретным смещениям отцепа, начиная от точки отрыва от состава (S_0) до точки остановки (S_n). При прохождении отцепом пути от S_0 до S_n сменяется n состояний (позиций смещения).

При переходе из состояния m в соседнее состояние $m+1$ необходимо определить $H_{np}^{S_m-S_{m+1}}$ и $H_w^{S_m-S_{m+1}}$.

Если вагон рассматривать как материальную точку, находящуюся в пределах отрезка между S_m и S_{m+1} , то профильная высота участка пути будет определяться по формуле:

$$H_{np}^{S_m-S_{m+1}} = i_{S_m-S_{m+1}} \cdot l_{S_m-S_{m+1}} \cdot 10^{-3}, \quad (2.9)$$

где $i_{S_m-S_{m+1}}$ – уклон пути между точками S_m и S_{m+1} , ‰;

$l_{S_m-S_{m+1}}$ – расстояние между точками S_m и S_{m+1} , при принятом шаге интегрирования равно 1 м.

При моделировании движения отцепа вместо точечной¹ используется так называемая *осевая модель отцепа*. В этом случае, поскольку каждая ось в m -ой позиции смещения отцепа может располагаться на своем уклоне, вместо $i_{S_m-S_{m+1}}$ в формулу (2.9) необходимо подставить условный уклон, определяемый с учетом уклонов участков путей, на которые проецируются все оси отцепа в данном состоянии (см. рисунок 2.9).

¹ Отдельный вагон рассматривается как материальная точка.

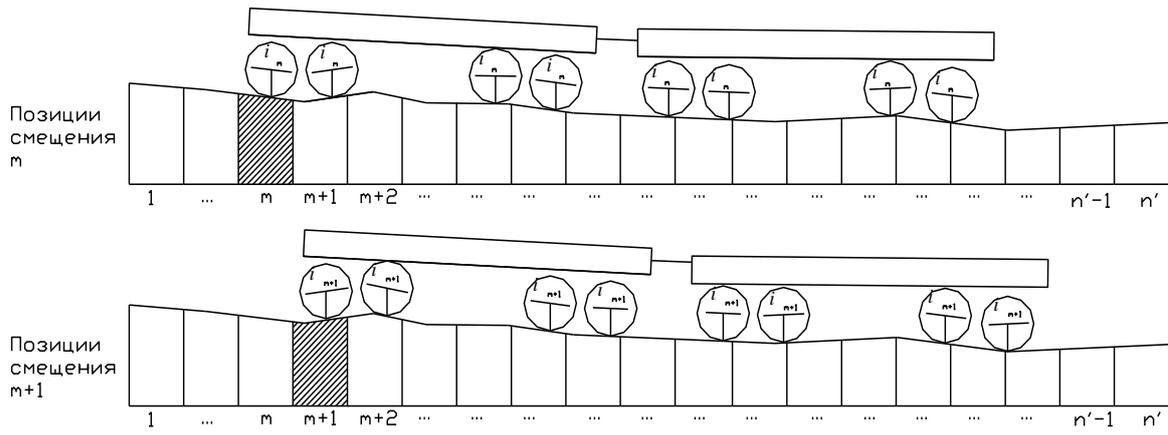


Рисунок 2.9 – Схема к определению условного уклона для отцепа на m -ой позиции смещения

Условный уклон $I^{усл}$ для m -ой позиции смещения по каждому вагону отцепа определяется так, ‰:

$$I^{усл}_m = \frac{\sum_{i=1}^{n^6} F^y_i}{\sum_{i=1}^{n^6} P_i}, \quad (2.10)$$

где F^y_i – проекция ускоряющей силы, приходящейся на i -ую ось вагона, на горизонтальную ось принятой системы координат¹, кгс;

P_i – вес данного вагона отцепа, тс, приходящаяся на i -ую ось;

n^6 – число осей в вагоне.

Условный уклон для отцепа в m -ой позиции смещения – это аналог уклона, находясь на котором материальная точка с массой, равной массе отцепа, испытывала бы действие профильной силы, равной сумме профильных сил, действующих на все оси отцепа.

Схема определения сил и распределения массы вагона по осям показана на рисунке 2.10.

¹ Т.к. углы наклона оси пути к горизонтальной плоскости незначительны, можно принять эти проекции равными значениям самих ускоряющих сил.

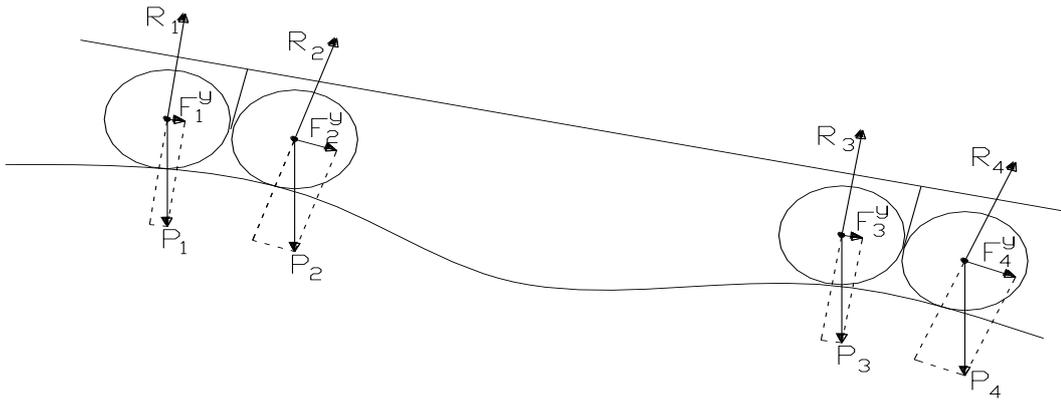


Рисунок 2.10 – Схема к определению условного уклона для вагона на m -ой позиции смещения

Для учета влияния на процесс движения отцепки сопротивления от воздушной среды и ветра, определяются углы обдувания для каждого вагона отцепки по всем позициям смещения. Для этого в отдельном блоке программы выполняется расчет координат x_k и y_k характерных точек плана по маршруту движения отцепки. Эти точки совпадают с границами позиций смещения отцепки, т.е. располагаются на расстоянии 1 м друг от друга. За начальные координаты $x_0=0$, $y_0=0$ принимаются координаты начальной точки первого элемента плана пути.

Направление оси X совпадает с направлением оси пути на первом элементе плана по маршруту движения отцепки¹. Положительные приращения координат X приняты для отклонения оси пути против часовой стрелки (рисунок 2.11).

Для определения угла обдувания вагона на m -ой позиции смещения задается угол между базисным направлением (направление с юга на север) и направлением ветра ($U_{нв}$), а также угол наклона оси первого элемента плана пути к оси базисного направления U_0 . Углы отсчитываются от направления «север» по часовой стрелке. Далее определяется угол обдувания вагона U_m^e и код направления ветра kn_m (попутный, встречный) для m -ой позиции смещения. Угол U_m^c наклона продольной оси вагона по отношению к базисному направлению («юг-север») оп-

¹ Т.е. совпадает с направлением оси вытяжного пути в его начальной точке (со стороны упора).

ределяется через координаты границ тех расчетных элементов, на которых находятся центры тележек вагона на m -ой позиции смещения.

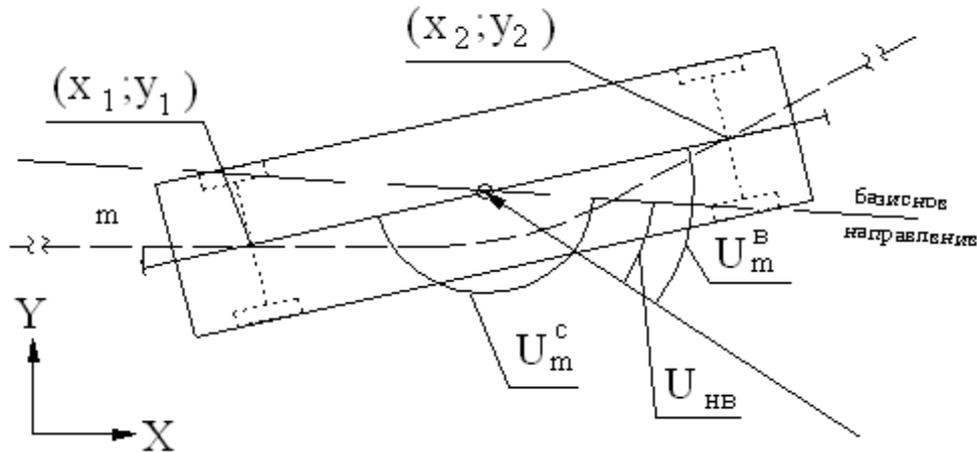


Рисунок 2.11 – Схема определения углов обдувания вагона с использованием координат характерных точек плана на m -ой позиции смещения

На следующем этапе работы программы выполняется расчет коэффициентов сопротивления движению от кривых и на стрелочных переводах для всех позиций смещения каждого вагона отцепа, соответствующих значениям удельного сопротивления для скорости движения отцепа 1 м/с. С использованием таких коэффициентов в дальнейшем производится расчет сопротивления от стрелок и кривых с учетом фактической скорости движения отцепа.

Выполнение вышеописанных процедур завершает этап предварительной обработки данных о продольном профиле и плане пути по маршруту движения отцепа.

Программа «Скат-1» [21; 72] требует предварительного ввода трех групп исходных данных:

- общие данные (формат ввода показан на рисунке 2.12);
- данные о плане пути по маршруту движения отцепа (рисунок 2.13);
- данные о продольном профиле пути по маршруту движения отцепа (рисунок 2.14).

Общие данные

Расчетная температура атмосферного воздуха, °С (со знаком):

Скорость ветра, м/с:

Угол обдувания в начале расчетного участка, ° :

Количество элементов плана на расчетном участке:

Количество элементов продольного профиля на расчетном участке:

Количество тормозных позиций на расчетном участке:

<< Выйти без сохранения Сохранить

Рисунок 2.12 – Ввод общих данных для моделирования движения отцепа

Характеристика элементов плана на расчетном участке

Номер элемента	Вид элемента	Длина, м	Угол поворота, °	Мощность ТП, м.э.в.
[1]	<input type="button" value="Прямая"/> <input type="button" value="Кривая"/> <input type="button" value="ТП"/> <input type="button" value="СП"/>	<input type="text"/>		
[2]	<input type="button" value="Прямая"/> <input type="button" value="Кривая"/> <input type="button" value="ТП"/> <input type="button" value="СП"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	
[3]	<input type="button" value="Прямая"/> <input type="button" value="Кривая"/> <input type="button" value="ТП"/> <input type="button" value="СП"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	
[4]	<input type="button" value="Прямая"/> <input type="button" value="Кривая"/> <input type="button" value="ТП"/> <input type="button" value="СП"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	
[5]	<input type="button" value="Прямая"/> <input type="button" value="Кривая"/> <input type="button" value="ТП"/> <input type="button" value="СП"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	
[6]	<input type="button" value="Прямая"/> <input type="button" value="Кривая"/> <input type="button" value="ТП"/> <input type="button" value="СП"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	
[7]	<input type="button" value="Прямая"/> <input type="button" value="Кривая"/> <input type="button" value="ТП"/> <input type="button" value="СП"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	
[8]	<input type="button" value="Прямая"/> <input type="button" value="Кривая"/> <input type="button" value="ТП"/> <input type="button" value="СП"/>	<input type="text"/>		

— Вернуться к предыдущим элементам
 — Перейти к следующим элементам

<< Выйти без сохранения Сохранить

! При необходимости изменения количества элементов плана измените 'Общие данные'

Рисунок 2.13 – Ввод данных о плане расчетного участка

Характеристика элементов профиля на расчетном участке

Номер элемента	Длина, м	Уклон, ‰
[1]	<input type="text"/>	<input type="text"/>
[2]	<input type="text"/>	<input type="text"/>
[3]	<input type="text"/>	<input type="text"/>
[4]	<input type="text"/>	<input type="text"/>

Продольный профиль расчетного участка

Профильная высота расчетного участка: . . . 0.00 м. RT
Длина расчетного участка 0.00 м.

Обновить профиль

↑ — Вернуться к предыдущим элементам
↓ — Перейти к следующим элементам

<< Выйти без сохранения Сохранить

! При необходимости изменения количества элементов профиля измените 'Общие данные'

Рисунок 2.14 – Ввод данных о продольном профиле расчетного участка

После задания конструкции продольного профиля отображается его очертание, а также рассчитывается профильная высота и длина расчетного участка.

Работа программы начинается с задания параметров отцепа, а также начальных условий его движения (рисунок 2.15).

При описании плана пути на маршруте движения отцепа используются четыре вида элементов плана:

- прямая;
- круговая кривая;
- стрелочный перевод;
- тормозная позиция.

Для всех элементов задаются их длины, для кривых и стрелочных переводов, кроме этого – угол поворота, для тормозных позиций (при их наличии) – расчетная погашаемая энергетическая высота.

Общие данные				
Скорость отцепа в момент отрыва от состава, м/с:				<input type="text"/>
Параметры отцепа				
Количество вагонов в отцепе:				<input type="text"/>
Функция распределения вагонов в отцепе по количеству осей:				<input type="text"/> 8-ми осн. <input type="text"/> 8-ми + 4-х осн.
Функция распределения вагонов в отцепе по типам:				
<input type="text"/> кр	<input type="text"/> кр+пв	<input type="text"/> кр+пв+цс	<input type="text"/> кр+пв+цс+хп	<input type="text"/> кр+пв+цс+хп+пш
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/> 1
Функция распределения вагонов в отцепе по весовым категориям:				
<input type="text"/> Л	<input type="text"/> Л+ЛС	<input type="text"/> Л+ЛС+С	<input type="text"/> Л+ЛС+С+СТ	<input type="text"/> Л+ЛС+С+СТ+Т
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/> 1
<input type="button" value=" << Выйти без сохранения"/>			<input type="button" value=" Сохранить"/>	

Рисунок 2.15 – Ввод данных при начале моделирования движения отцепа после отрыва от состава при толчке

Динамика движения отцепа отслеживается на основании изменения скорости (формула 2.8), путем расчета для каждой m -ой позиции смещения суммарной работы ускоряющих (профильных) сил и сил сопротивления движению.

В имитационной модели заложена возможность учета следующих видов сопротивлений движению отцепа:

- основное удельное сопротивление w_o ,
- удельное сопротивление от воздушной среды и ветра $w_{св}$,
- удельное сопротивление от снега и инея $w_{сн}$,
- удельное сопротивление от стрелочных переводов и кривых $w_{ск}$,
- удельное сопротивление, возникающее при торможении w_m .

Основное удельное сопротивление движению w_o определено в соответствии с [66]. В таблице 2.1 приведены значения основного удельного сопротивления движению для очень плохого бегуна (ОП), плохого бегуна (П), хорошего бегуна (Х) и очень хорошего бегуна (ОХ).

Таблица 2.1 – Значения основного удельного сопротивления движению расчетных бегунов

Характеристики	Числовые характеристики расчетных бегунов (вагонов)			
	ОП	П	Х	ОХ
Расчетный вес q , тс	22	25	70	85
Основное удельное сопротивление w_o , кгс/тс	4,5	4,0	0,8	0,5

Расчет удельной работы сил основного сопротивления $h_{o,m}$ на любой m -ой позиции смещения производится по формуле, м.э.в. [66]:

$$h_{o,m} = \sum_{i=1}^{k^6} w_{o,i} \cdot l \cdot 10^{-3}, \quad (2.11)$$

где $w_{o,i}$ – основное сопротивление движению i -го вагона в отцепе на любой m -ой позиции смещения;

k^6 – число вагонов в отцепе;

l – длина m -ой позиции смещения, м.

Работа основного сопротивления движению отцепа на всем участке скатывания (от УТО до остановки) определяется по формуле:

$$h_0 = \sum_{m=1}^p h_{o,m}, \quad (2.12)$$

где p – число позиций смещения на всем участке движения отцепа.

Удельная работа сил сопротивления от стрелочных переводов и кривых $h_{ск}$ для каждого вагона обычно определяется по формуле [66]:

$$h_{ск} = v_c^2 \cdot 10^{-3} \cdot (0,56 \cdot n_{cn} + 0,23 \cdot \Sigma \alpha_{ск}), \quad (2.13)$$

где v_c – средняя скорость отцепа на участке;

n_{cn} – число стрелочных переводов на рассматриваемом участке;

$\Sigma \alpha_{ск}$ – сумма углов поворота кривых, включая стрелочные углы;

0,56 и 0,23 – эмпирические коэффициенты.

Удельная работа сил сопротивления от стрелочных переводов и кривых $h_{ск}$ на m -ой позиции смещения в разработанной модели определяется с учетом необходимости отнесения ее только на участки пути, где она фактически имеет место. Данная задача решена следующим образом.

На этапе обработки данных о плане пути для тех участков, на которых уложены стрелочные переводы и кривые, рассчитывается работа сил сопротивления от стрелочных переводов и кривых с использованием формул:

– для участка пути с уложенным стрелочным переводом:

$$k_{cn} = 0,56 + 0,23 \cdot \alpha_{cn}, \quad (2.14)$$

– для участка пути, уложенного в кривой:

$$k_k = 0,23 \cdot \alpha_{кр}, \quad (2.15)$$

где α_{cn} , $\alpha_{кр}$ – угол поворота на стрелочном переводе и кривой соответственно.

Величины k_{cn} и k_k характеризуют работу сил сопротивления от стрелочного перевода и кривой при скорости прохождения по ним вагона, равной 1 м/с.

Далее полученные значения работы k_{cn} и k_k делятся на длину соответствующего стрелочного перевода (l_{cn}) или кривой (l_k):

$$k'_{cn} = \frac{k_{cn}}{l_{cn}}; \quad k'_k = \frac{k_k}{l_k}. \quad (2.16)$$

Таким образом, каждый метр длины стрелочного перевода или кривой получает в соответствие часть величины сопротивления, которое испытывает вагон при прохождении данного элемента плана.

Для получения величины работы сил сопротивления движению от стрелочных переводов и кривых для m -ой позиции смещения вагона рассматриваемого отцепа используется следующая формула:

$$h_{ск} = v_c^2 \cdot 10^{-3} \cdot \left(\sum_{\Gamma} k'_{cn} + \sum_s k'_k \right), \quad (2.17)$$

где r и s – количество осей отцепа, находящихся на метровых элементах профиля, имеющих добавочное сопротивление от стрелочных переводов и от кривых соответственно.

Для расчета сопротивления движению отцепов от воздушной среды и ветра используется функция определения коэффициентов воздушного сопротивления C_x' (для одиночного вагона или первого вагона в отцепе) и C_{xx}' (для всех вагонов в отцепе, кроме первого). Расчет этих коэффициентов для i -го вагона отцепа на m -ой позиции смещения производится методом интерполяции значений элементов задаваемых множеств C_x и C_{xx} для соответствующих углов обдувания.

Удельное сопротивление движению от воздушной среды и ветра w_{ce} для отцепа, состоящего из одного вагона ($i=1$) на m -ой позиции смещения определяется по формуле [66; 67]:

$$\pm w_{ce} = \frac{17,8 \cdot c_x \cdot S}{(273 + t_n) \cdot q} \cdot v_{om}^2 ; \quad (2.18)$$

для отцепа из нескольких вагонов – по формуле [66; 67]:

$$\pm w_{ce} = \frac{17,8(c_x \cdot S + \sum_1^n c_{xxj} \cdot S_j)}{(273 + t_n) \cdot \sum_1^n Q} \cdot v_{om}^2 ; \quad (2.19)$$

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

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

S, S_i – площадь поперечного сечения (мидель) соответственно одиночного (или первого) вагона в отцепе и последующих вагонов в отцепе, m^2 ;

Q – вес вагона, тс;

v_{om} – относительная скорость скатывания отцепа с учетом направления ветра, м/с;

t_n – температура наружного воздуха, $^{\circ}C$.

$$v_{om}^2 = v_c^2 + v_g^2 \pm 2v_c v_g \cdot \cos \beta. \quad (2.20)$$

Знак « \pm » в формуле (2.19) принимается при попутном ветре, « $+$ » – при встречном.

Расчет удельной работы сил сопротивления от среды и ветра на всем участке движения отцепа выполняется по формуле (м.э.в.) [66]:

$$h_{св} = \sum_{j=1}^p w_{свj} \cdot l_j \cdot 10^{-3}, \quad (2.21)$$

где p – количество расчетных участков.

Потери энергетической высоты от снега и инея (при отрицательных температурах) рассчитываются на основании значений множества $w_{сн}$ для заданной температуры атмосферного воздуха в зависимости от весовой категории i -го вагона отцепа [66]:

$$h_{сн} = w_{сн} \cdot l_p \cdot 10^{-3}, \quad (2.22)$$

где $w_{сн}$ – удельное сопротивление движению вагона от снега и инея, кгс/тс;

l_p – длина стрелочной зоны и части парковых путей, по которой происходит движение отцепа¹.

Значения сопротивления от снега и инея в расчетах приняты в соответствии с данными [67]. Так как представленные значения имеют нелинейную зависимость, для определения промежуточных значений выполнена аппроксимация. В результате для выполнения расчетов принимаются убывающие функции $w_{сн} = f(t_n)$, приведенные на рисунке 2.16 [67] для следующих категорий вагонов:

- легкая;
- легко-средняя;
- средняя;
- средне-тяжелая;
- тяжелая.

¹ Полученная величина $h_{сн}$ распределяется по длине стрелочной зоны и путей, относясь на каждый метр пути. Таким образом, для m -ой позиции смещения каждого вагона отцепа можно определить величину потерь энергии на преодоление сопротивления от снега и инея.

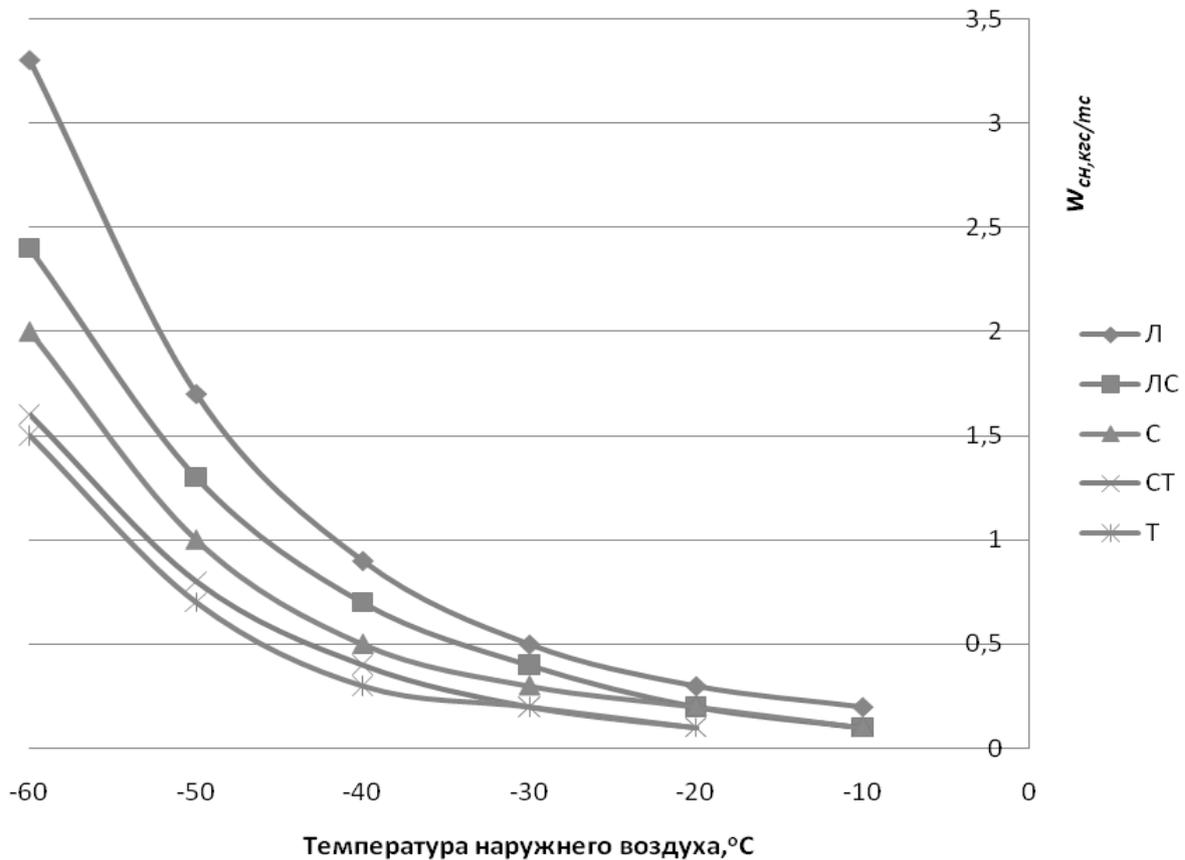


Рисунок 2.16 – Кривая сопротивления движению отцепа от снега и инея для разных категорий вагонов

При определении значений сопротивления движению от кривых и стрелок, от воздушной среды и ветра, от снега и инея, а также значений профильной силы для различных вагонов отцепа номер позиции смещения m соответствует положению конца хвостовой автосцепки последнего по ходу движения вагона рассматриваемого отцепа.

Также в имитационной модели предусматривается учет сил сопротивления при торможении отцепа:

- немеханизированного – тормозными башмаками;
- механизированного – с использованием вагонных замедлителей.

Сила действия тормозного башмака в имитационной модели определена по формуле, кгс [66]:

$$F_{\tau} = f_{\tau} \cdot q_0 \cdot 10^3, \quad (2.23)$$

где f_T – коэффициент тормозного действия башмака (коэффициент трения) равный 0,17, с возможным отклонением $\pm 0,03$;

q_0 – средняя нагрузка на ось вагона, тс.

Удельное сопротивление движению от торможения башмаками (кгс/тс) в имитационной модели определено по формуле:

$$w_T = f_T \cdot \frac{n_T}{n} \cdot 10^3, \quad (2.24)$$

где n_T – число подложенных башмаков (тормозимых осей),

n – число осей в отцепе.

Удельная работа сил тормозного действия в расчетах принята по формуле, М.Э.В.:

$$h_T = w_T \cdot l_{юз} \cdot 10^{-3}. \quad (2.25)$$

При торможении отцепа на механизированной тормозной позиции тормозная сила определяется как произведение наличной мощности тормозной позиции и коэффициента торможения.

$$h_T = \sum_{i=1}^q h_{зам,i} \cdot k_{торм}, \quad (2.26)$$

где $h_{зам,i}$ – наличная мощность i -ой тормозной позиции (принимается по нормам);

$k_{торм}$ – коэффициент торможения, принимается с учетом необходимости решения технологических задач (торможение на тормозной позиции).

После этого определяется суммарная величина сопротивления движению отцепа на m -ой позиции смещения $W_m^{сум}$ (как сумма сопротивлений: основного, от воздушной среды и ветра, от стрелок и кривых, от снега и инея¹) и удельное сопротивление движению отцепа на m -ой позиции смещения:

$$w_m^{уд} = \frac{W_m^{сум}}{P}, \quad (2.27)$$

¹ При необходимости также – от управляемой силы торможения.

где P – вес отцепа, тс.

Рассчитывается величина движущей силы для данного отцепа на рассматриваемой позиции:

$$F_m^y = \sum_{i=1}^{K^e} I_{i,m}^{ysl} \cdot m_i^{eaz}, \quad (2.28)$$

где m_i^{eaz} – вес i -го вагона отцепа, тс;

$I_{i,m}^{ysl}$ – условный уклон для i -го вагона на m -ой позиции смещения;

K^e – количество вагонов в отцепе.

Определяется значение удельной движущей силы

$$f_m^{y\partial} = \frac{F_m^y}{M}. \quad (2.29)$$

Затем определяется равнодействующая ускоряющих и замедляющих сил:

$$R_m^{y-z} = f_m^{y\partial} - w_m^{y\partial}. \quad (2.30)$$

Скорость отцепа на выходе с m -ой позиции смещения:

$$V_m^o = \sqrt{V_{m-1}^o{}^2 + 2 \cdot g' \cdot R_m^{y-z} \cdot 10^{-3}}. \quad (2.31)$$

Если отцеп на рассматриваемой позиции смещения не останавливается (скорость движения не равна нулю), то осуществляется переход к следующей $(m+1)$ -ой позиции¹.

Если отцеп на m -ой позиции смещения достигает вагонов, стоящих на пути, с ненулевой скоростью, то координатой точки остановки считается координата, смещенная относительно точки остановки предыдущего отцепа в сторону вытяжки на длину рассматриваемого отцепа. Так в программе может фиксироваться изменение незаполненной части полезной длины сортировочного пути (ограничивающей максимальную возможную дальность пробега отцепа).

¹ Остановка отцепа может фиксироваться не только при достижении нулевой скорости, но и в случае подхода отцепа к стоящим на пути вагонам. Для этого может задаваться координата хвостовой автосцепки последнего вагона, находящегося на пути накопления.

Таким образом, разработанная программа «Скат-1» на основании имитационного моделирования позволяет определять скорость и продолжительность движения отцепа, начиная от момента отрыва от состава при выполнении толчка и до момента остановки с учетом изменения в динамике всех видов неуправляемых и управляемых сил сопротивления движению [19; 39; 40].

Ненулевая скорость отцепа в точке остановки определяет работу сил торможения, необходимую для снижения скорости отцепа до приемлемого уровня, который определяется в зависимости от конкретных решаемых исследователем задач.

2.4 Выводы по главе

В данной главе разработаны математическая и имитационная модель процесса расформирования составов ОИТ, состоящая из двух блоков:

- модель движения маневрового состава (с локомотивом), включающая разгон и торможение состава;
- модель движения отцепа после отрыва от состава (толчка).

Границей описания процессов каждой модели является зафиксированная условная точка отрыва отцепа от состава после толчка, расположенная перед приемными стыками разделительной стрелки. Основой обеих моделей является шарнирно-осевая модель локомотива с вагонами и отцепа.

Модель движения маневрового состава позволяет определять параметры движения состава с учетом его веса и длины, числа вагонов, для задаваемого плана и продольного профиля сортировочного устройства при:

- разгоне;
- торможении и толчке отцепа;
- торможении маневрового состава;
- оттягивании состава на вытяжной путь.

Модель движения отцепа после отрыва от состава (толчка) позволяет определять динамику движения отцепа после выполнения толчка с учетом: веса и

длины отцепа, числа вагонов, ходовых характеристик каждого вагона в отцепе, внешних условий – при заданном плане и профиле пути с возможностью применения торможения. Данная модель учитывает все силы сопротивления движению отцепа, позволяет задать любую начальную скорость движения отцепа, а также необходимые ограничения по условиям остановки.

Разработан программный комплекс, состоящий из двух программ («Маневры-2» и «Скат-1»), позволяющий производить имитацию процесса расформирования составов способом осаживания и изолированными толчками с высокой точностью.

3 ИССЛЕДОВАНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ВЫТЯЖНОГО ПУТИ ДЛЯ РАСФОРМИРОВАНИЯ СОСТАВОВ ОДИНОЧНЫМИ ИЗОЛИРОВАННЫМИ ТОЛЧКАМИ

3.1 Постановка задачи

Существующие рекомендации [66] определяют параметры продольного профиля негорочного сортировочного устройства (вытяжного пути) в виде диапазонов допускаемых значений для различных частей сортировочного устройства (вытяжной путь, стрелочная зона) в зависимости от двух групп факторов:

1) характера маневровых операций и технологии их выполнения (варианты: сортировка методом осаживания, сортировка методом толчков, перестановка составов с пути на путь или из парка в парк с использованием данного вытяжного пути);

2) наличия в сортируемых составах порожних вагонов.

При такой классификации влияющих факторов имеются следующие очевидные недостатки:

– установлены одинаковые требования к параметрам НГСУ при работе толчками, при этом не делается различие в способе выполнения толчков (одиночные, серийные, многогруппные);

– не изложены методика и требования к расчету длины вытяжного пути НГСУ при работе толчками;

– отсутствует взаимосвязь между структурой перерабатываемого вагонопотока и применением тех или иных нормативов (имеются только указания по изменению параметров элементов НГСУ при переработке преимущественно порожних вагонов);

– отсутствуют указания по использованию значений уклонов различных участков сортировочного устройства из рекомендуемых диапазонов.

Кроме этого, конструкция плана и продольного профиля таких вытяжных путей в нормативах практически не связана с технологией расформирования и

формирования при применении различных схем сортировки, а также со структурой составов. Соответственно, в этом отношении действующие нормативы также не учитывают всех особенностей процесса.

Для способа расформирования состава ОИТ¹ требуется новый подход в определении таких параметров как:

- профиль вытяжного пути;
- длина вытяжного пути.

Изучение процесса сортировки вагонов с использованием негорочного сортировочного устройства (вытяжного пути), а также определение основных влияющих факторов, особенностей конструкции и технологии расформирования составов является задачей данного исследования.

Исходными данными являются:

1) план сортировочного устройства (рисунок 3.1); принят состоящим из вытяжного пути, стрелочной зоны и четырех путей сортировочно-группировочного парка;

2) профиль вытяжного пути, стрелочной зоны и путей парка; в процессе исследования принимался как один элемент без переломов (в противном случае принимался средневзвешенный уклон);

3) длина вагона и локомотива; принималась, соответственно, 15 и 20 м;

4) максимальная длина и вес маневрового состава; приняты исходя из нормативной длины приемо-отправочных путей. Максимальные значения массы – 6000 т, длины – 71 усл. ваг.

Предметом исследований в данном разделе являются параметры вытяжного пути:

- длина пути;
- уклоны продольного профиля.

¹ Данный способ, после осаживания, является наиболее простым с точки зрения технологии, в частности, режимов управления движением маневрового локомотива, режимов регулирования скорости отцепов после отрыва от состава.

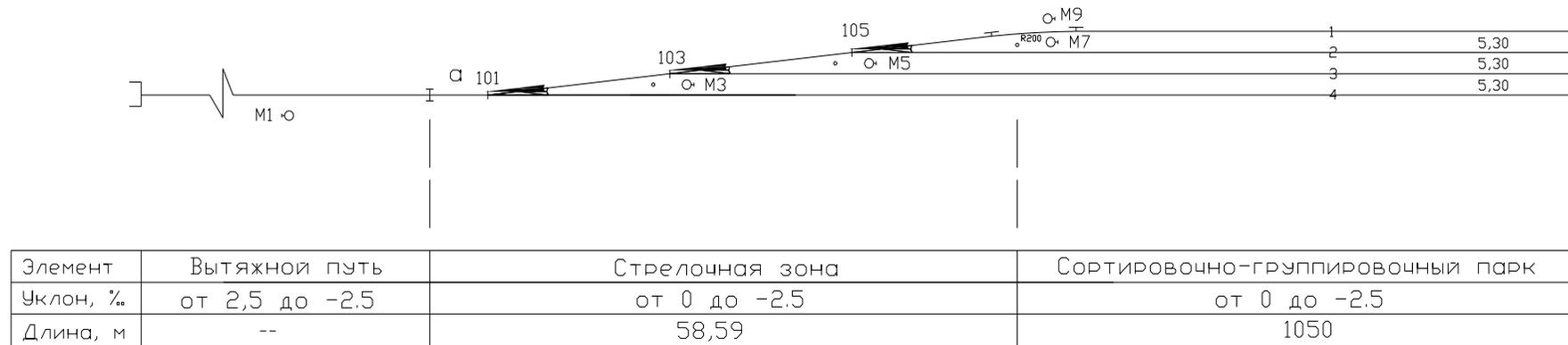


Рисунок 3.1 – План и профиль вытяжного пути, стрелочной зоны и путей сортировочно-группировочного парка рассматриваемого НГСУ

3.2 Исследование длины вытяжного пути при расформировании составов одиночными изолированными толчками

Длина вытяжного пути при расформировании составов толчками должна обеспечивать достаточное расстояние для разгона состава до необходимых скоростей.

Длина вытяжного пути в зависимости от условий расположения сортировочного устройства, длины и массы состава определяется по формуле:

$$L_{\text{выт.пути}} = L_{\text{сост}} + L_p + 10, \quad (3.1)$$

где $L_{\text{выт.пути}}$ – длина состава, м;

L_p – расстояние на разгон состава, м.

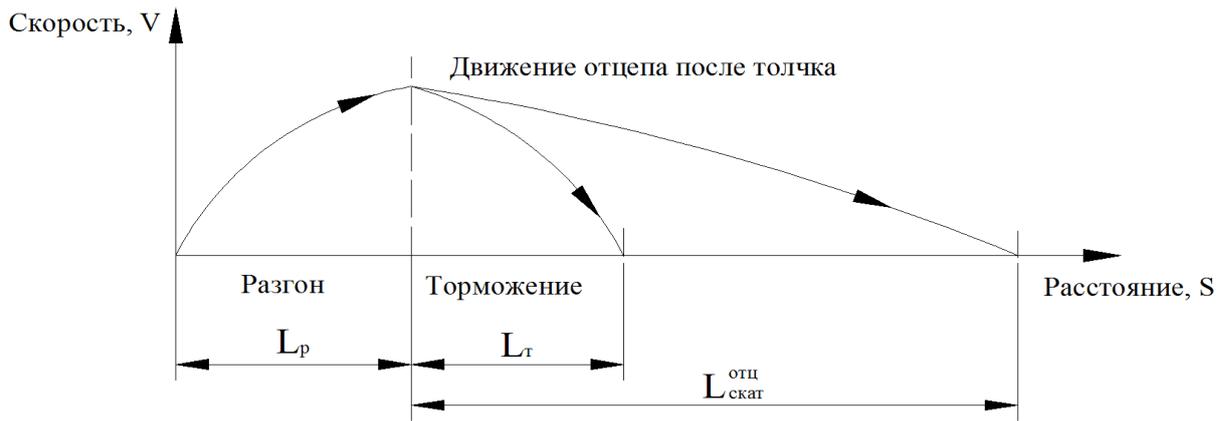
Также длина вытяжного пути будет включать расстояние, необходимое для обеспечения неточности установки состава, равное 10 метрам.

Для расчета длины вытяжного пути необходимо определить:

– длину маневрового состава с учетом длины локомотива и неточности установки (в расчетах принимается не более значений стандартной длины приемо-отправочных путей);

– расстояние для разгона L_p маневрового состава до скорости, необходимой для выполнения толчка. В имитационной модели для исключения избыточной длины вытяжного пути момент толчка первого отцепы соответствует точке перехода стадии разгона в стадию торможения (фаза выбега при этом исключается, рисунок 3.2).

Определение длины вытяжного пути при расформировании составов ОИТ производится по условию обеспечения минимального расстояния, необходимого для разгона и торможения состава при толчке, что в данной работе является *условием оптимальности* исследуемого режима расформирования. Реализация принятого условия оптимальности позволит обеспечить при расформировании состава ОИТ сокращение длины полурейсов, времени и эксплуатационных расходов на расформирование состава [12].



L_t – расстояние, проходимое составом при торможении после выполнения толчка

Рисунок 3.2 – Схематическое изображение перехода фазы разгона в фазу торможение без фазы выбега

Для определения оптимальной длины вытяжного пути выполняется расчет и сравнение расстояний на разгон и торможение маневрового состава при расформировании с учетом влияния следующих факторов:

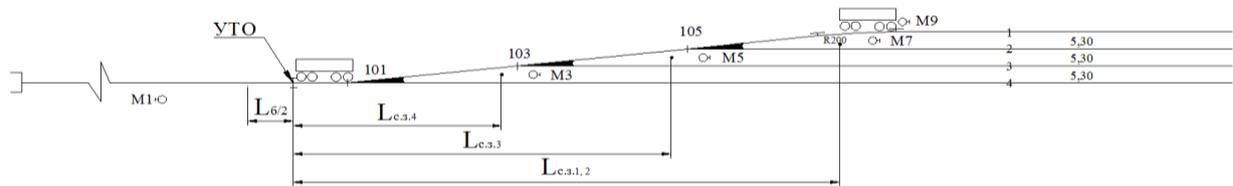
- массы расформировываемого состава;
- уклона вытяжного пути;
- скорости выполнения толчка.

Выбранный уклон вытяжного пути должен обеспечивать расформирование состава ОИТ с учетом постоянного уменьшения массы состава (числа вагонов) в процессе сортировки при выполнении принятого условия оптимальности. Следовательно, в процессе исследования должен быть определен диапазон массы состава, при котором расформирование состава будет оптимально для данного уклона.

Для расчетных значений уклона вытяжного пути и диапазона масс маневрового состава, при которых будет обеспечиваться выполнение условия оптимальности, необходимо определить значение скорости выполнения толчка, с учетом обеспечения:

- отделения отцепы от состава в УТО;
- потребной дальности пробега отцепы в парк (процесс детально рассмотрен в п. 3.3).

Необходимо отметить границы процессов толчка и осаживания отцепа. Процесс расформирования толчками обеспечивается, если любой отцеп после отделения от состава проследует расстояние от УТО за предельный столбик пути парка (т.е. в пределы полезной длины данного пути – $L_{с.з.i}$, рисунок 3.3).



$L_{с.з.i}$ – участок стрелочной зоны до предельного столбика пути назначения отцепа

Рисунок 3.3 – Схема определения расстояний движения отцепов от УТО на пути назначения

Если расстояние на торможение маневрового состава после толчка превышает расстояние от УТО до предельного столбика, ограничивающего полезную длину данного пути парка ($L_{с.з.i}$, см. рисунок 3.3), то отцеп после толчка остановится в пределах стрелочной зоны. Для дальнейшего продвижения отцепа на путь назначения необходимо осадить его маневровым составом вглубь парка для возможности обеспечения последующих толчков на данный путь. Таким образом, данный процесс проследования отцепа от УТО в парк может рассматриваться как осаживание.

Кроме того, отцепы, расположенные по ходу движения первыми в составе при толчке, могут иметь плохие ходовые свойства. В этом случае скорость движения таких отцепов при толчке может быть меньше скорости движения маневрового состава после толчка (при торможении L_T , рисунок 3.2). В этом случае отрыв отцепа не происходит, а его продвижение в парк будет соответствовать процессу осаживания.

Следовательно, в диссертационной работе совокупность условий γ , обеспечивающих продвижение маневрового состава в парк при толчке, рассматривается как осаживание.

Отделение отцепа от состава в УТО будет происходить при выполнении условия:

$$\gamma \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} L_T < L_{\text{скам}}^{\text{отц}} \\ V_{\text{отц}} > V_{\text{сост}} \end{array} \right\}, \quad (3.2)$$

где $L_{\text{скам}}^{\text{отц}}$ – расстояние, проходимое отцепом после толчка;

$V_{\text{отц}}$ – скорость движения отцепа;

$V_{\text{сост}}$ – скорость маневрового состава при торможении.

Также необходимо отметить, что вследствие уменьшения массы состава в процессе расформирования и расположения вытяжного пути на спуске появляется возможность увеличения скорости толчка без удлинения вытяжки за счет увеличения расстояния на разгон (L_p , рисунок 3.2), т.к. вытяжной путь постепенно освобождается.

С целью проверки имеющихся рекомендаций [68; 81] исследование параметров вытяжного пути при расформировании составов ОИТ выполнено для условий, описанных ниже.

Масса локомотива 120 т. Варианты массы маневрового состава:

- 1000 т;
- 2000 т;
- 3000 т;
- 4000 т;
- 6000 т.

Профиль вытяжного пути принят с шагом 0,5 ‰ в диапазоне крайних значений [68; 81]:

- подъем в сторону парка до - 2,5 ‰;
- спуск в сторону парка до +2,5 ‰.

Исследование расстояний, проходимых составом при разгоне и торможении, проводилось с использованием программы «Маневры-2».

Расстояния, проходимые составом при разгоне и торможении (рисунок 3.1) при выполнении толчка, представлены в таблицах 3.1 – 3.5¹.

В процессе определения расстояний на разгон и торможение при использовании имитационного моделирования удалось установить зависимости уклона вытяжного пути и скорости выполнения маневров для маневрового состава разной массы. В частности, определены пограничные значения уклонов, при которых маневровый локомотив не может затормозить состав. Полученные зависимости представлены на рисунке 3.4.

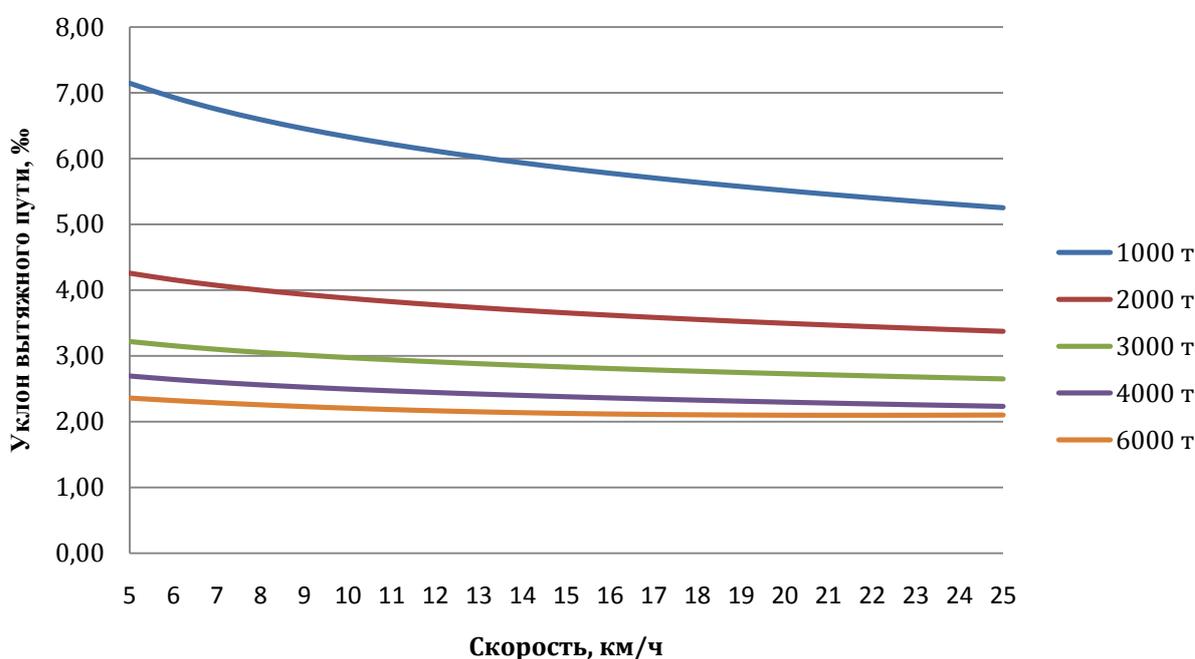


Рисунок 3.4 – Предельные значения скоростей движения маневрового состава в зависимости от уклона вытяжного пути и массы состава

Из рисунка 3.4 видно, что при увеличении массы состава уменьшается диапазон допустимых уклонов вытяжного пути и скоростей выполнения маневров.

¹ Пустые ячейки в таблицах 3.1 – 3.5 означают, что для данного уклона и скорости разгона маневровый состав не останавливается при полном использовании силы торможения локомотива, либо длина полурейса превышает 1000 м.

Таблица 3.1 – Расстояния, проходимые составом массой 1000 т при выполнении толчка

Элемент полурейса	Скорость толчка, км/ч	Расстояние, проходимое составом (м) при уклонах рассматриваемого участка пути, ‰										
		2,5	2	1,5	1	0,5	0	- 0,5	-1	-1,5	-2	-2,5
Разгон	5	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
	10	21	20	20	19	19	17	17	16,5	16	16	16
	15	68	65	63	60	59	57	55	52	51	50	47
	20	177	167	158	150	143	140	130	125	120	116	110
	25	390	358	331	308	288	270	255	245	232	220	210
Торможение	5	11	12	12	13	14	18	18	18	20	21	25
	10	45	48	51	54	57	65	68	ë	80	88	100
	15	106	112	120	128	136	153	163	178	194	216	245
	20	195	208	221	237	225	280	305	335	370	416	480
	25	315	335	358	385	415	455	495	550	614	638	805
Полурейс	5	15	16	16	17	18	23	23	22	24	25	30
	10	66	68	71	73	76	82,5	85	91,5	96	104	117
	15	174	177	183	188	195	210	218	230	245	266	292
	20	372	375	379	387	368	420	435	460	490	532	590
	25	705	693	689	693	703	725	750	795	846	858	

Таблица 3.5 – Расстояния, проходимые составом массой 6000 т при выполнении толчка

Элемент полурейса	Скорость толчка, км/ч	Расстояние, проходимое составом (м) при уклонах рассматриваемого участка пути, ‰						
		1,5	1	0,5	0	- 0,5	-1	-1,5
Разгон	5	35	30	27	25	22	19	17
	10	190	155	130	110	100	90	80
	15		770	500	370	310	265	240
	20			1965	1090	785	740	
	25				2800			
Торможение	5	30	40	45	55	65	95	160
	10	120	140	165	205	270	395	745
	15		315	380	470	625	940	1890
	20				960	1145	1610	
	25							
Полурейс	5	65	70	72	80	87	114	177
	10	310	295	295	315	370	485	825
	15			880	840	935		
	20							
	25							

Скорость толчка при разных ходовых свойствах отцепов будет изменяться. Расстояние, проходимое отцепом от разделительной стрелки до предельного столбика пути назначения, будет ограничиваться расстоянием на торможение и соответственно скоростью разгона состава. При превышении этого расстояния толчок сопоставим с полурейсом осаживания. Определение максимальных скоростей разгона по условию расстояния, проходимого составом при торможении, позволит подобрать уклон вытяжного пути, на котором возможна реализация максимальных скоростей толчка.

Таким образом, представленные в таблицах 3.1-3.5 расстояния на разгон и торможение составов разных масс должны быть использованы для определения минимальной необходимой длины вытяжного пути (формула 3.1) при расформировании составов одиночными изолированными толчками.

3.3 Исследование продольного профиля вытяжного пути при расформировании составов одиночными изолированными толчками

В диссертационной работе исследована зависимость расстояний на разгон и торможение, а также скорости толчка от конфигурации продольного профиля вытяжного пути. Согласно действующим правилам и нормам проектирования сортировочных устройств [66] продольный профиль вытяжного пути может иметь следующие варианты (рисунок 3.5.)

Согласно выполненным расчетам, соотношение расстояний на разгон и торможение для основных вариантов продольного профиля вытяжного пути при использовании его для расформирования толчками представлено на рисунке 3.6.

Другие варианты очертания продольного профиля вытяжного пути могут рассматриваться как промежуточные по отношению к вариантам, приведенным на рисунке 3.5.

а) Расположение вытяжного пути на спуске по направлению сортировки



Элемент	Вытяжной путь	Стрелочная зона	Сортировочно-группировочный парк
Уклон, %	до +2 (+2,5*)	до +1,5	до +1
Длина, м	L _{выт. пути}	L _{с.з.}	L _{путей парка}

б) Расположение вытяжного пути на подъеме по направлению сортировки



Элемент	Вытяжной путь	Стрелочная зона	Сортировочно-группировочный парк
Уклон, %	до -2	до +1,5	до +1
Длина, м	L _{выт. пути}	L _{с.з.}	L _{путей парка}

в) Расположение вытяжного пути на площадке



Элемент	Вытяжной путь	Стрелочная зона	Сортировочно-группировочный парк
Уклон, %	0	до +1,5	до +1
Длина, м	L _{выт. пути}	L _{с.з.}	L _{путей парка}

* Примечание: при расформировании составов, состоящих преимущественно из порожних вагонов

Рисунок 3.5 – Варианты конфигурации продольного профиля вытяжного пути

Выполнение толчка на подъеме, влечет за собой увеличение расстояния на разгон состава, а также длины вытяжки. Кроме того, при движении состава по вытяжному пути в момент выполнении толчка, возможны случаи:

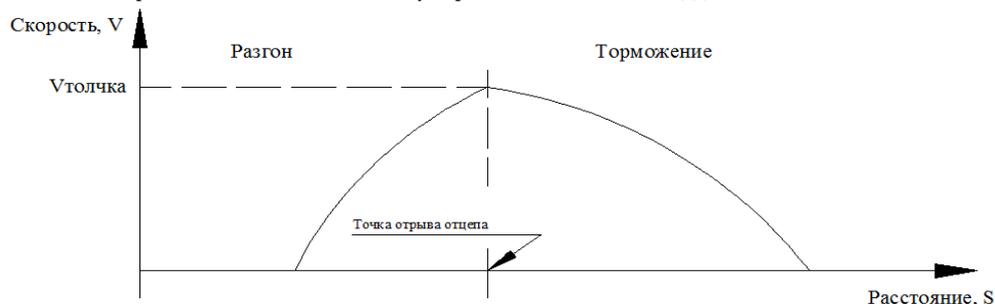
- снижения вероятности отрыва отцепы от состава вследствие дополнительного сопротивления движению отцепы (при движении на подъеме);
- обратного движения отцепы после отрыва от состава в сторону вытяжного пути и расформировываемого состава.

Для эффективной организации маневровой работы по расформированию-формированию составов необходимо исключить все выше перечисленные недостатки, что учтено при дальнейших исследованиях в диссертационной работе.

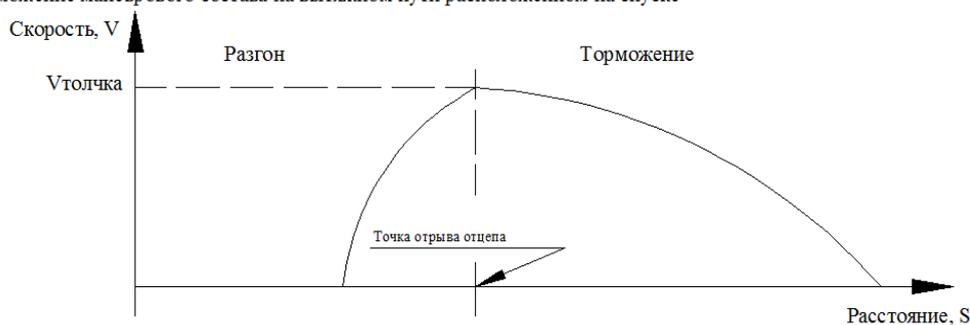
Обратное движение состава при оттягивании на вытяжной путь для подготовки к следующему толчку является аналогом движения маневрового состава по пути, расположенному на спуске, а следовательно, для изучения процесса рас-

формирования составов на вытяжном пути, расположенном на подъеме, можно использовать данные таблиц 3.1–3.5 и рисунка 3.6.

а) Разгон и торможение маневрового состава на вытяжном пути расположенном на площадке



б) Разгон и торможение маневрового состава на вытяжном пути расположенном на спуске



в) Разгон и торможение маневрового состава на вытяжном пути расположенном на подъеме

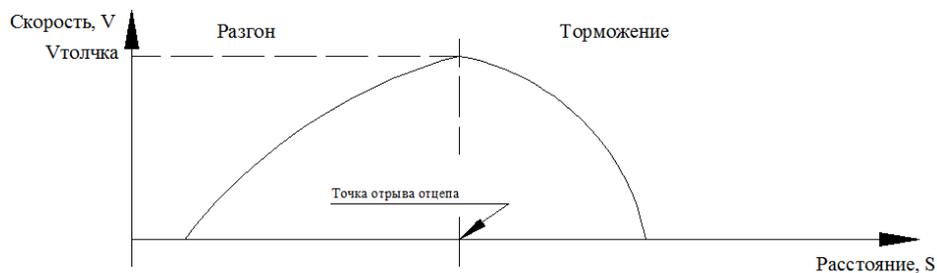


Рисунок 3.6 – Соотношение расстояний на разгон и торможение для основных вариантов продольного профиля вытяжного пути при использовании его для расформирования толчками

Достоинством расположения вытяжного пути на подъеме является удобство расцепки вагонов перед толчком (автосцепные устройства находятся в сжатом состоянии).

При расформировании состава толчками на вытяжном пути, расположенном на спуске, расцепка вагонов затрудняется, вследствие того, что автосцепные

устройства находятся в растянутом состоянии. При этом расцепка вагонов для следующего толчка возможна в следующих случаях:

- при сооружении противоуклона перед стрелочной зоной;
- при отделении отцепа в момент остановки при завершении оттягивания состава перед подготовкой к толчку (возникает вероятность произвольного движения отцепа);
- на начальной стадии разгона маневрового состава, когда происходит сжатие автосцепок.

При расформировании состава толчками на вытяжном пути, расположенном на площадке, расцепка вагонов значительно облегчается.

Для определения максимальных скоростей толчка и количественной оценки целесообразности перехода от толчка к осаживанию расстояние $L_{с.з.i}$ (рисунок 3.1) для данной задачи принято для примера равным 200 м.

Определение оптимальной длины стрелочной зоны при заданном числе путей, известной структуре вагонопотока может рассматриваться в качестве самостоятельной задачи, не входящей в рамки данной работы.

Результаты выполненных расчетов показывают, что для массы состава от 1000 до 6000 тонн расстояние на торможение не будет превышать рассматриваемую длину стрелочной зоны (200 м) при скоростях разгона представленных в таблице 3.6.

Таблица 3.6 – Максимальная скорость разгона состава при условии не превышения расстояния на торможение более 200 м, км/ч

Масса состава, т	Уклон рассматриваемого участка пути, ‰										
	2,5	2	1,5	1	0,5	0	-0,5	-1	-1,5	-2	-2,5
1000	20,22	19,66	19,08	18,48	17,90	17,11	16,55	15,86	15,22	14,48	13,68
2000	17,40	16,77	16,17	15,36	14,61	13,76	12,93	12,06	11,11	10,17	9,03
3000	16,21	15,49	14,64	13,85	12,94	12,17	11,16	10,09	8,98	7,61	6,19
4000	14,89	14,65	13,84	12,97	12,11	11,05	10,01	8,84	7,53	5,94	
6000			13,26	11,95	10,98	9,87	8,70	7,25	5,56		

Из вышеприведенных данных видно, что максимальные скорости разгона реализуются для вытяжных путей, расположенных на подъеме.

3.4 Выводы по главе

Результаты исследования конструктивных параметров вытяжного пути показали, что существуют две области их применения:

- для существующих вытяжных путей;
- для вновь проектируемых вытяжных путей.

Для существующих вытяжных путей ограничения следующие:

а) при массе маневрового состава до 6000 т выполнение ОИТ возможно при расположении вытяжного пути на уклоне от 1,5‰ до -1,5‰;

б) при скорости 5 км/ч расстояние на полурейс «разгон-торможение» минимально и, соответственно, минимальны пробеги подвижного состава и время выполнения маневровых операций;

в) максимальная скорость выполнения толчка составов массой от 1000 до 6000 т при исключении перехода к технологии работы осаживанием обеспечивается при расположении вытяжного пути на подъеме.

Для вновь проектируемых и реконструируемых вытяжных путей рекомендации следующие:

– для расформирования и формирования составов в большом диапазоне значений масс (до 6000 т) необходим вытяжной путь, расположенный на подъеме до 1,5‰;

– для минимизации длин полурейсов при выполнении толчков целесообразно скорость окончания разгона и начала торможения принимать равной 5 км/ч;

– расположение вытяжного пути на подъеме позволяет реализовывать более высокие скорости выполнения толчков, вследствие более интенсивного торможения состава и исключения захода состава в пределы полезной длины пути парка.

4 РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ СТРЕЛОЧНОЙ ЗОНЫ И ПУТЕЙ ПАРКА

4.1 Общие положения

Стрелочная зона и пути парка являются составными элементами НГСУ. При расформировании составов ОИТ могут рассматриваться пути приемо-отправочных, сортировочных, группировочных и других парков. Параметры стрелочной зоны и путей парка влияют на дальность пробега отцепа после толчка, а также на процесс заполнения путей при расформировании.

Предметом исследования являются следующие параметры НГСУ:

- уклоны и протяженность участков стрелочной зоны;
- уклон и протяженность участков путей парка;
- конфигурация (очертание) продольного профиля стрелочной зоны и путей парка.

Для исследования продольного профиля стрелочной зоны и путей парка при расформировании составов ОИТ в диссертационной работе использованы следующие положения теории расчета сортировочных устройств [66; 37]:

- при определении границ процесса движения отцепа после толчка используются одновагонные отцепы с определенными ходовыми характеристиками – расчетные бегуны;

- также используется понятие расчетного трудного пути горловины для определения условий, при которых возможны маневры расформирования составов на вытяжках методом одиночных изолированных толчков;

- для определения минимальной потребной дальности пробега отцепа в парк после толчка используется понятие расчетной точки, расположение которой для негорочного сортировочного устройства принимается в соответствии с положениями [37] на расстоянии 50 м от предельного столбика (в обоснованных случаях – на расстоянии не менее 12 м от предельного столбика стрелочного перевода, ведущего на заданный путь);

– расчеты параметров движения отцепов после толчка выполняются для расчетных благоприятных и неблагоприятных метеорологических условий.

Задача по определению скорости отцепа $V_{отц}^{нач}$ в момент отрыва от состава решается от обратного: исходя из расчета расстояния, необходимого для прохождения отцепом от УТО до вагонов, стоящих на пути или до заданной точки в парке. При этом в расчете принято следующее:

- а) отцеп после толчка обязательно доходит до группы вагонов, расположенных в парке – с целью обеспечения высокой заполняемости путей накопления;
- б) если путь назначения свободен, остановка отцепа предусматривается перед началом участка с противоуклоном в выходной части парка;
- в) скорость подхода отцепа к вагонам, находящимся в парке, принимается 0 км/ч для:

- 1) обеспечения безусловного выполнения безопасных условий производства маневровой работы;
- 2) повышения сохранности вагонного парка;
- 3) сокращения дополнительных энергозатрат на разгон и торможение маневрового состава;
- 4) учета возможной погрешности в расчетах, так как допустимая скорость соударения вагонов составляет 5 км/ч;

г) скорость толчка первого отцепа определяется на основании результатов, полученных в разделе 3 (по критерию минимизации расстояния на разгон маневрового состава), и для полновесного состава массой 6000 т составляет 5 км/ч. Последующие отцепы состава могут толкаться с большей скоростью. При необходимости большие значения скорости толчка отцепа также могут обеспечиваться при расформировании состава с делением на части.

Для определения параметров стрелочной зоны и путей парка расчетное значение скорости отцепа $V_{отц}^{нач}$ в момент отрыва от состава принимается 5 км/ч, которое, согласно выполненным исследованиям в разделе 3, соответствует

принятым условиям оптимальности для процесса расформирования состава ОИТ. При этом также определяется расстояние проходимое отцепом после толчка $L_{отц}$.

Определение уклонов и конфигурации продольного профиля стрелочной зоны и путей парка производится, для принятого значения скорости отцепа $V_{отц}^{нач}$ в момент отрыва от состава, в соответствии со схемой, представленной на рисунке 4.1.

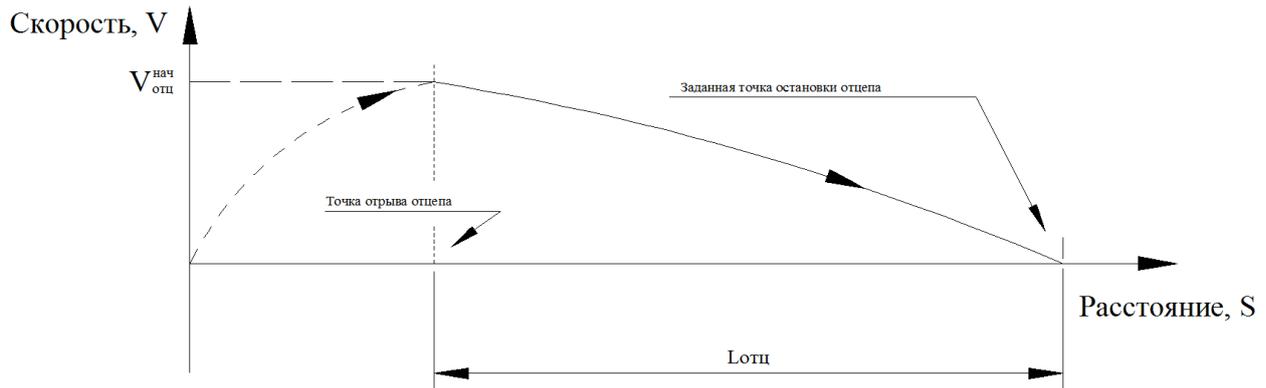


Рисунок 4.1 – Расчетная схема траектории движения отцепа после толчка для определения параметров продольного профиля стрелочной зоны и пути парка

Согласно теории расчета сортировочных устройств параметры продольного профиля и техническое оснащение сортировочных горок определяются по результатам расчета и анализа фазовых траекторий скатывания расчетных бегунов. При этом методика расчета основана на решении следующих задач:

- 1) обеспечения минимальной дальности пробега (до расчетной точки) отцепа с наихудшими ходовыми свойствами при скатывании по маршруту на трудный путь в неблагоприятных метеорологических условиях;
- 2) интервального торможения отцепов, скатывающихся в расчетном сочетании по маршруту на трудный путь в неблагоприятных метеорологических условиях;
- 3) проверки мощности тормозных позиций на основании торможения бегуна с наилучшими ходовыми свойствами при скатывании по маршруту на легкий путь в благоприятных метеорологических условиях.

В [66] для определения параметров продольного профиля и технического оснащения НГСУ при расформировании составов ОИТ решения подобных задач не предусмотрено. Так как в диссертационной работе исследуется процесс самостоятельного движения отцепа после толчка (без локомотива), целесообразно рассмотреть возможность решения указанных выше задач применительно к рассматриваемым НГСУ. В частности, исследование параметров продольного профиля стрелочной зоны и путей парка при расформировании состава одиночными толчками целесообразно выполнить на основании решения следующих задач:

1) Определение минимальной потребной дальности пробега отцепа в парк после толчка. Решение задачи позволяет определить параметры стрелочной зоны и путей парка, исключающие возможность остановки отцепов после толчка в пределах расстояния, $L_{с.з.i}$ рисунок 3.3, (т.е. без последующего осаживания отцепа после толчка).

2) Определение условий максимальной дальности проследования отцепов в парк после толчка. Решение задачи позволяет определить параметры стрелочной зоны и путей парка, обеспечивающие наибольшие значения дальности пробега отцепов в парк и исключающие возможность выхода отцепов за пределы полезной длины парка (или установленной потребной дальности пробега отцепов в парке).

3) Исследование условий образования интервалов между отцепами и маневровым составом после толчка. Решение задачи позволяет определить параметры стрелочной зоны, обеспечивающие отрыв любого отцепа от состава при толчке и исключающие последующий возможный нагон этого отцепа маневровым составом при торможении.

4) Проверка обеспечения условий остановки отцепов в парке с соблюдением допустимых технологических параметров. Решение задачи позволяет определить параметры и оснащение путей парка тормозными средствами, обеспечивающими допустимые скорости входа отцепов на тормозную позицию (при ее наличии) и остановку отцепа при торможении на ней.

4.2 Исследование потребной дальности пробега отцепов в парк после толчка

4.2.1 Определение параметров НГСУ для обеспечения минимальной потребной дальности пробега отцепов в парк после толчка

При расформировании состава ОИТ границами дальности пробега отцепов в парк являются предельные столбики, ограничивающие полезную длину пути. При этом потребные значения дальности пробега отцепов в парк после толчка должны располагаться в пределах вышеуказанных границ.

Минимальное значение потребной дальности пробега отцепов от УТО должно определяться исходя из необходимости проследования отцепов в неблагоприятных метеорологических условиях, как минимум, за ближайший предельный столбик, ограничивающий полезную длину трудного пути парка. При расформировании состава толчками целесообразно иметь свободные концы полезной длины путей парка со стороны вытяжки, поэтому в данной работе минимальная дальность пробега отцепов устанавливается на расстоянии 12-50 м от предельного столбика.

При расчете горочных сортировочных устройств минимальная потребная дальность пробега устанавливается для расчетного бегуна ОП (одиночного вагона с наихудшими ходовыми свойствами) или бегуна П (одиночный вагон с плохими ходовыми свойствами) в зависимости от мощности и оборудования горки, структуры вагонопотока, скатывающегося в неблагоприятных условиях по маршруту на трудный путь. Очевидно, что вероятность появления отцепов, соответствующего ходовым свойствам ОП бегуна, при неблагоприятных метеорологических условиях и необходимости проследования его на трудный путь невысокая. Однако применение ОП бегуна для определения минимальной потребной дальности пробега отцепов на сортировочных горках целесообразно в связи с большими объемами переработки.

Кроме того, в отличие от горочной технологии при расформировании состава толчками разгон и торможение производится для каждого отцепов, а значит,

для отдельных отцепов (например, для ОП бегунов) можно увеличивать скорость толчка.

В связи с этим применение ОП бегуна для определения минимальной потребной дальности пробега отцепа после толчка является нецелесообразным вследствие следующих факторов:

– низкой вероятности появления в составе отдельного ОП бегуна, так как:

1) небольшая доля отцепов, имеет ходовые характеристики, соответствующие расчетному ОП бегуну;

2) одиночный ОП бегун может входить в состав отцепа, состоящего из вагонов с лучшими ходовыми свойствами, при этом дальность пробега такого отцепа будет выше, чем у ОП бегуна;

– конструкция горловин НГСУ, как правило, несимметрична и характеризуется существенным различием суммарной работы сил сопротивления движению отцепа от УТО до расчетной точки по каждому пути.

Поэтому при расформировании состава совпадение условий скатывания ОП бегуна (если такой отцеп в составе есть) на трудный путь при неблагоприятных условиях является еще менее вероятным. Также следует отметить, что технология расформирования состава толчками позволяет использовать скользящую специализацию путей парка (в том числе в оперативных условиях). Это позволяет исключить возможность направления ОП бегунов на трудный путь в неблагоприятных условиях. В связи с этим, для накопления отцепов с плохими ходовыми свойствами целесообразно использовать пути с минимальными значениями $L_{с.э.і}$ (см. рисунок 3.3);

в) скорость толчка может принимать дифференцированные значения для отцепов с различными ходовыми свойствами; если ОП бегун (одиночный вагон) не является головным отцепом, то можно увеличить скорость его толчка, для обеспечения потребной дальности пробега в парк (в т.ч. на трудный путь).

В целом использование ОП бегуна для определения минимальной потребной дальности пробега отцепа после толчка требует не только совпадения условий скатывания бегуна на трудный путь в неблагоприятных условиях, но и распо-

ложения его первым по ходу расформирования или в головной части состава (при недостаточном значении L_p , см. рисунок 3.2.). При возникновении случая сочетания всех вышеуказанных условий отцеп толкается на другой путь, осаживается на данный путь или перед началом сортировки оставляется на пути.

Таким образом, использование расчетного бегуна ОП для определения минимальной потребной дальности пробега отцепа в парк после толчка приведет к необоснованному увеличению уклонов продольного профиля стрелочной зоны НГСУ и путей парка.

Кроме того, согласно [37] для расчетов сортировочных горок малой мощности используются расчетные бегуны П-Х-П (при доле порожних вагонов более 30 %, принимается сочетание ОП-Х-ОП). Также следует отметить, что согласно положениям [37] высоту вытяжных путей специального профиля и минимальную потребную дальность пробега отцепа в парк необходимо определять для плохих бегунов (П).

В связи с вышеизложенным, в диссертационной работе принято решение использовать при определении минимальной потребной дальности пробега отцепа от УТО в парк расчетный бегун П.

Согласно выполненным в разделе 3 исследованиям значение скорости движения отцепа в УТО (в момент толчка), соответствующее принятым условиям оптимальности (минимального пробега подвижного состава при разгоне), составляет 5 км/ч. Указанное значение может изменяться в процессе расформирования состава с учетом обеспечения потребной дальности пробега отдельных отцепов. При определении минимального значения потребной дальности пробега отцепа после толчка целесообразно использовать именно это значение.

Таким образом, задача определения минимальной потребной дальности пробега отцепа от УТО в парк при расформировании состава сводится к следующей формулировке: *при расформировании состава ОИТ конструкция стрелочной зоны и начального участка пути парка должна обеспечивать докатывание расчетного бегуна П до расчетной точки трудного пути в неблагоприятных метео-*

рологических условиях при начальной скорости его движения в УТО 5 км/ч (1,4 м/с).

Результаты расчета для представленного НГСУ (рисунок 3.3) приведены в Приложении А. Положение расчетной точки принято на расстоянии 50 м от предельного столбика, ограничивающего полезную длину трудного пути № 1.

Таким образом, для принятых исходных данных средний уклон участка пути $\bar{i}_{сз-рп}$ от УТО до расчетной точки трудного пути составил 4,2 ‰.

Высота сортировочного пути – разность отметок зафиксированной УТО (начала свободного скатывания отцепа) и расчетной точки, определенная на основании решения задачи докатывания расчетного бегуна П до расчетной точки, составила $h_{np}^{сз-рп} = 0,86$ м.

4.2.2 Определение параметров НГСУ для обеспечения максимального проследования отцепов в парк после толчка

Максимальное значение потребной дальности пробега отцепа от УТО (после толчка) в парк при расформировании состава ОИТ должно устанавливаться с учетом рационального использования полезной длины сортировочных путей, в частности:

а) при использовании для сортировки всей емкости путей парка – при движении отцепа после толчка он должен остановиться в пределах полезной длины пути парка;

б) при использовании для сортировки части полезной длины путей парка (со стороны вытяжки) – при движении отцепа после толчка он должен остановиться в пределах этой части длины;

в) в отдельных случаях при использовании способов интенсивного формирования многогруппных составов (комбинаторный, степенной, ступенчатый, дублирующий и др.), а также в оперативных условиях точка остановки отцепа может задаваться и быть менее значений в указанных выше случаях.

Условия б) и в) имеют ограничения по дальности продвижения отцепов в парк, точка остановки которых не выходит за пределы полезной длины пути. Поэтому условия максимального проследования отцепов в парк после толчка целесообразно определять *при использовании для сортировки всей емкости путей парка (условие а)*).

В этом случае точка остановки отцепа не должна располагаться в пределах противоиклона, который согласно [66] устраивается:

- на приемоотправочных путях для исключения возможности выхода подвижного состава за пределы полезной длины парка (рисунок 4.2);
- на сортировочных путях для исключения возможности выхода отцепа за пределы полезной длины парка (рисунок 4.3).

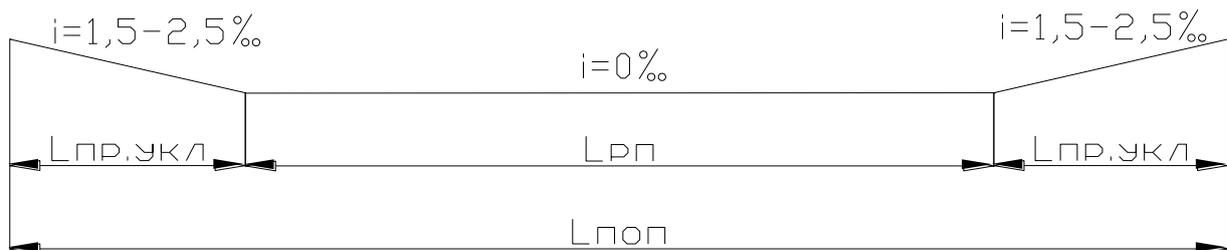


Рисунок 4.2 – Нормативный продольный профиль приемо-отправочного пути

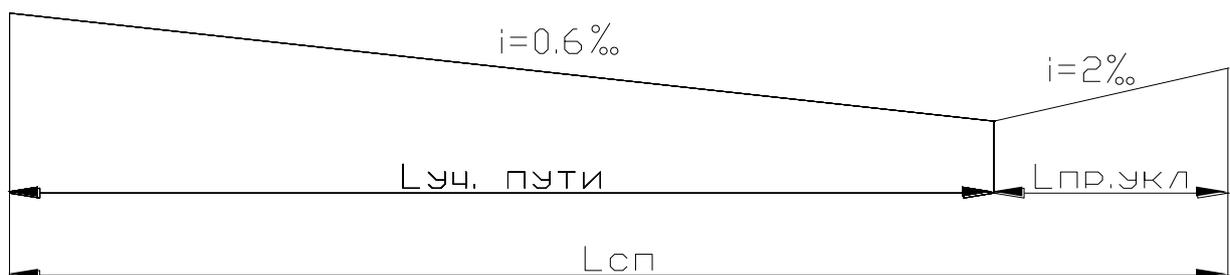


Рисунок 4.3 – Нормативный продольный профиль сортировочного пути

Если при расформировании состава одиночными изолированными толчками отцеп будет остановлен в пределах участка пути с противоиклоном, то возникает возможность его обратного движения (навстречу очередным движущимся отцепам), что негативно отражается на безопасности производства маневровой

работы. Кроме того, при обратном движении сокращается наличная емкость пути накопления вагонов. В связи с этим целесообразно в качестве границы максимальной потребной дальности пробега отцепов установить точку начала участка с противоуклоном в выходной части парка.

Таким образом, расположение точки перелома профиля в выходной части парка целесообразно определять с учетом обеспечения выполнения следующих условий:

Условие 1 – протяженность и крутизна уклона участка пути, расположенного на спуске, должны обеспечивать проследование отцепов вглубь парка до начала участка противоуклона.

Условие 2 – протяженность и крутизна участка противоуклона должны исключать возможность выхода отцепов за пределы полезной длины пути.

Задачи определения протяженности и крутизны уклонов участков пути, расположенных на спуске и противоуклоне, находятся в прямой зависимости. Очевидно, что при увеличении длины и уклона участка пути, расположенного на спуске (l_{cn}, i_{cn}), необходимо увеличивать длину и уклон участка пути, расположенного на противоуклоне ($l_{прот}, i_{прот}$). Таким образом, определение места расположения точки перелома продольного профиля и крутизны участков пути парка целесообразно выполнять на основании решения следующих задач:

а) протяженность и крутизна участка пути, расположенного на спуске, должна обеспечивать докатывание расчетного бегуна до точки перелома профиля в выходной части парка (до начала противоуклона) при скатывании отцепов в неблагоприятных метеорологических условиях. В качестве расчетного бегуна при решении данной задачи целесообразно использовать бегун X. Выбор данного типа бегуна обусловлен следующим:

1) расчетный бегун П используется для определения минимальной потребной дальности пробега, следовательно, для расчета максимальной потребной дальности пробега в соответствии с [66] можно использовать расчетные бегуны X или OX-85;

2) использование бегуна ОХ-85 по сравнению с бегуном Х в данном случае приведет к сокращению длины участка пути парка, расположенного на спуске, а значит и полезной вместимости парка.

б) протяженность и крутизна участка пути, расположенного на противоуклоне, должна исключать возможность выхода расчетного бегуна за пределы полезной длины пути при скатывании отцепа в благоприятных метеорологических условиях. В качестве расчетного бегуна при решении данной задачи целесообразно использовать ОХ-85. Выбор данного типа бегуна обусловлен следующим:

1) согласно [66] расчетный бегун ОХ-85 обладает наилучшими ходовыми свойствами, что целесообразно использовать для установления условий, исключающих выход отцепов за пределы полезной длины путей парка после толчка;

2) использование ОХ-100 в данном случае приведет к сокращению длины участка пути парка, расположенного на спуске, а значит и полезной вместимости парка. Кроме того, расчетный бегун ОХ-100 рекомендуется использовать для решения задач проверки мощности тормозных средств [66];

3) при появлении отдельного отцепа в составе, соответствующего характеристикам ОХ-100, необходимо учитывать дополнительные (кроме участка противоуклона) возможности сокращения дальности пробега такого отцепа в парк, в частности:

- торможение ОХ-100 на тормозной позиции;
- наличие вагонов на пути назначения при толчке ОХ-100;
- укладка охранных башмаков в выходной части парка.

Определение точки перелома профиля производится на основании итерационных расчетов. При этом:

а) уклон стрелочной зоны и начального участка (l_{cz-pm}) пути принимается в соответствии с результатами решения задачи определения минимальной потребной дальности пробега расчетного бегуна П в парк (см. пункт 4.2.1);

б) в качестве начального значения рекомендуется принимать следующие параметры участка пути парка, расположенного на противоуклоне [66]:

- 1) длина 100 м;

2) значение противоуклона 2‰.

Последовательность расчетов следующая:

1. При заданных параметрах противоуклона определяется уклон пути парка, расположенный на спуске, путем решения указанной выше задачи (условия 1 и 2 п. 4.2.2) для расчетного бегуна X.

2. После определения уклона участка пути, расположенного на спуске, проверяется возможность остановки бегуна ОХ-85 на противоуклоне. Если при рассчитанных значениях уклонов и крутизны участков пути парка обеспечивается остановка бегуна ОХ-85 в пределах полезной длины пути, то задача считается решенной и положение точки перелома продольного профиля в парке не меняется.

3. Если при рассчитанных значениях уклонов и крутизны участков пути парка не выполняется остановка бегуна ОХ-85 в пределах полезной длины пути, то длина участка, расположенного на противоуклоне, должна быть увеличена до тех пор, пока не обеспечится остановка ОХ-85 в указанных границах. При этом увеличение длины участка противоуклона производится за счет уменьшения длины участка пути парка, расположенного на спуске. Вследствие выполнения указанной корректировки положения точки перелома продольного профиля парка будут созданы условия для обратного движения X-бегуна, так как точка его остановки будет смещена в пределы участка, расположенного на противоуклоне. В связи с этим возникает необходимость поиска оптимального положения точки перелома продольного профиля и значения уклона участка пути, расположенного на спуске, при которых будет обеспечиваться выполнение указанных выше условий проследования расчетных бегунов X и ОХ-85 в парк.

Задачу поиска оптимального положения точки перелома продольного профиля и значения уклона участка пути, расположенного на спуске, целесообразно решать с использованием основного уравнения движения отцепа в энергетических высотах. Расчетная схема процессов движения бегунов X и ОХ-85 в пределах полезной длины пути для принятых условий проследования расчетных бегу-

нов в парк после толчка представлена на рисунке 4.3. Исходными данными для решения задачи являются:

- уклон и протяженность участка пути, расположенного на спуске, определенные по условию докатывания расчетного бегуна X до начала участка, расположенного на противоуклоне;

- уклон и протяженность участка пути, расположенного на противоуклоне (принимается согласно [66]);

- начальная скорость движения расчетного бегуна при вступлении на путь (определяется на основании моделирования движения отцепа после толчка).

На рисунке 4.4 приняты следующие обозначения:

h_0^{OX-85} – энергетическая высота, соответствующая скорости движения расчетного бегуна ОХ-85 в начале пути парка (условия благоприятные);

h_0^X – энергетическая высота, соответствующая скорости движения расчетного бегуна X в начале пути парка (условия неблагоприятные);

$h_{np}^{сп}$ – профильная высота участка пути парка, расположенного на спуске;

$h_{w_{сп}}^{OX-85}$ – энергетическая высота, соответствующая работе сил сопротивления движению расчетного бегуна ОХ-85 по участку пути парка, расположенного на спуске (условия благоприятные);

$h_{w_{сп}}^X$ – энергетическая высота, соответствующая работе сил сопротивления движению расчетного бегуна X по участку пути парка, расположенного на спуске (условия неблагоприятные);

$h_{K_{сп}}^{OX-85}$ – энергетическая высота, соответствующая скорости движения расчетного бегуна ОХ-85 в конце участка пути, расположенного на спуске (условия благоприятные);

$h_{np}^{прот}$ – профильная высота участка пути парка (100 м), расположенного на противоуклоне;

$h_{w_{прот}}^{OX-85}$ – энергетическая высота, соответствующая работе сил сопротивления движению расчетного бегуна ОХ-85 по участку пути парка (100 м), расположенного на противоуклоне (условия благоприятные);

$h_{K_{\text{прот}}}^{\text{OX-85}}$ – энергетическая высота, соответствующая скорости движения расчетного бегуна ОХ-85 в конце участка пути (100 м), расположенного на противоклоне (условия благоприятные);

$h_{w_{A-A}}^X$ – энергетическая высота, соответствующая работе сил сопротивления движению расчетного бегуна X на участке от начала пути парка до сечения А–А (условия неблагоприятные);

$h_{K_{A-A}}^X$ – энергетическая высота, соответствующая скорости движения расчетного бегуна X в сечении А–А (условия неблагоприятные);

$h_{\text{пр } A-A}$ – профильная высота участка пути, расположенного на спуске, в пределах между сечением А–А и началом противоклона;

$L_{\text{спуск}}$ – длина участка пути, расположенного на спуске;

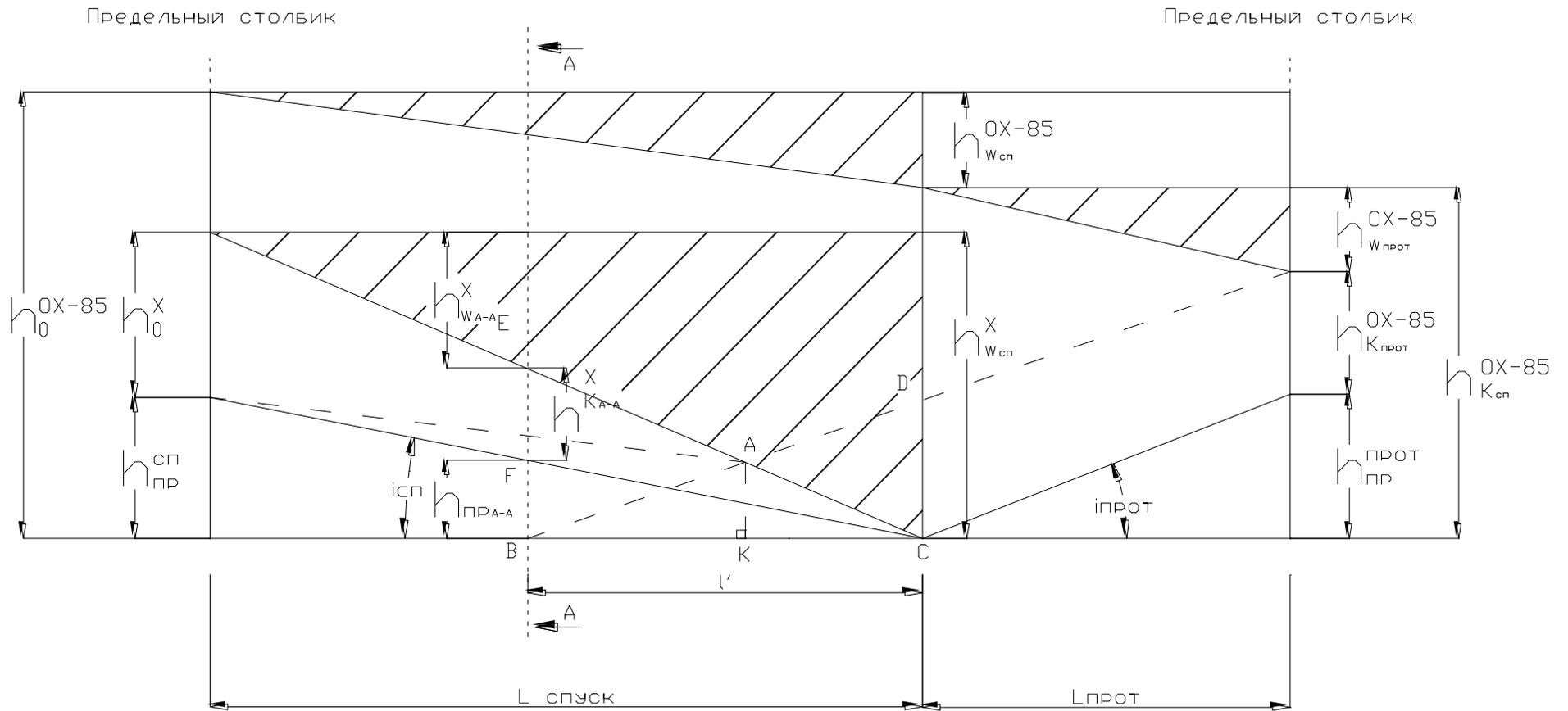
$L_{\text{прот}}$ – длина участка пути, расположенного на противоклоне (принимается 100 м);

$i_{\text{сп}}$ – величина уклона участка пути, расположенного на спуске;

$i_{\text{прот}}$ – величина уклона, участка пути, расположенного на противоклоне (принимается 2 ‰);

l' – расстояние смещения точки начала противоклона для обеспечения остановки ОХ-85 в конце участка пути, расположенного на противоклоне.

Так как скатывание расчетного бегуна X производится в неблагоприятных условиях, а ОХ-85 – в благоприятных условиях, то для решения задачи поиска точки перелома профиля связь расчетных схем скатывания бегунов производится через избыточное значение энергетической высоты расчетного бегуна ОХ-85 в конце участка пути, расположенного на противоклоне ($h_{K_{\text{прот}}}^{\text{OX-85}}$).



Условные обозначения: ---- – соответствует продольному профилю сортировочного пути, при котором будет обеспечиваться решение задач движения бегунов X и OX-85

Рисунок 4.4 – Расчетная схема процессов движения бегунов X и OX-85 в пределах полезной длины пути

Для обеспечения остановки расчетного бегуна ОХ-85 необходимо увеличить протяженность участка пути, расположенного на противоуклоне на величину l' , как показано на схеме (рисунок 4.4). При этом для обеспечения решения задачи скатывания Х бегуна необходимо найти положение точки А с изменением значения уклона участка пути, расположенного на спуске. Таким образом, согласно рисунку 4.4 определение положения точки перелома продольного профиля пути (точка А) сводится к расчету длины отрезков АК и КС.

Необходимое значение смещения (отрезок КС) может быть определено из треугольников АВК и АКС. Требуемое значение величины АК определяется с помощью треугольников DBC и EBC. Для данных треугольников известны значения:

а) для ΔDBC :

- 1) угол DBC – соответствующий уклону противоуклона $i_{\text{прот}}$;
- 2) катет DC = $h_{K_{\text{прот}}}^{\text{ОХ-85}}$;
- 3) отрезок $l' = \frac{h_{K_{\text{прот}}}^{\text{ОХ-85}}}{i_{\text{прот}}}$;

б) для ΔEBC :

- 1) отрезок $l' = \frac{h_{K_{\text{прот}}}^{\text{ОХ-85}}}{i_{\text{прот}}}$;
- 2) отрезок EB = FB + EF = $h_{\text{пр. А-А}} + h_{K_{\text{А-А}}}^{\text{X}}$.

Следовательно, $\angle ECB = \arctg \frac{EB}{BC}$.

Таким образом, в ΔABC известны:

- два угла;
- одна сторона.

По теореме синусов:

$$AC = \frac{l' \cdot \sin(\angle ABC)}{\sin(180 - \angle ACB - \angle ABC)}, \quad (4.1)$$

В прямоугольном ΔAKC известны:

- одна сторона;

– прилегающей к ней угол.

Следовательно:

$$KC = AC \cdot \cos(\angle ACB), \quad (4.2)$$

Из ΔDBC и ΔEBC следует:

$$\angle ABC = \arctg(i_{\text{нром}}), \quad (4.3)$$

$$\sin(\angle ABC) = \sin(\arctg(i_{\text{нром}})), \quad (4.4)$$

$$\angle ACB = \arctg \frac{EB}{BC} = \arctg \frac{h_{K_{A-A}}^x + h_{\text{нр } A-A}}{l'} = \arctg \frac{\frac{V_{Xl'}^2}{2g'} + i_{cn} \cdot l' \cdot 10^{-3}}{l'}, \quad (4.5)$$

где $V_{Xl'}^2$ – скорость расчетного бегуна X в сечении А–А.

Итоговые выражения для определения положения точки перелома продольного профиля в пространстве имеют вид:

$$KC = \frac{l' \cdot \sin(\arctg(i_{\text{нром}})) \cdot \cos(\arctg(i_{\text{нром}}))}{\sin \left(180 - \arctg \left(\frac{\frac{V_{Xl'}^2}{2g'} + i_{cn} \cdot l' \cdot 10^{-3}}{l'} \right) - \arctg(i_{\text{нром}}) \right)}, \quad (4.6)$$

$$AK^2 = AC^2 - KC^2, \quad (4.7)$$

$$AC = \frac{KC}{\cos(\angle ACB)}, \quad (4.8)$$

$$AK = \sqrt{\left(\frac{KC}{\cos(\angle ACB)} \right)^2 - \left(\frac{l' \cdot \sin(\arctg(i_{\text{нром}})) \cdot \cos(\arctg(i_{\text{нром}}))}{\sin \left(180 - \arctg \left(\frac{\frac{V_{Xl'}^2}{2g'} + i_{cn} \cdot l' \cdot 10^{-3}}{l'} \right) - \arctg(i_{\text{нром}}) \right)} \right)^2}, \quad (4.9)$$

Таким образом, итоговое значение уклона участка пути, расположенного на спуске (i'_{cn}), обеспечивающее решение задач скатывания расчетных бегунов X и ОХ-85, можно определить по формуле:

$$i'_{cn} = \frac{h_{np}^{cn} - AK}{(l_{cn} - KC)10^{-3}}, \quad (4.10)$$

Решение указанных задач для определения максимальной потребной дальности пробега отцепов от УТО в парк необходимо выполнять для каждого пути сортировочного устройства предназначенного для расформирования состава ОИТ.

Таким образом, задача определения протяженности и крутизны участков каждого пути парка при расформировании состава ОИТ сводится к следующим формулировкам:

1) Протяженность и крутизна участка пути, расположенного на спуске, должны обеспечивать докатывание расчетного бегуна X до точки перелома профиля в выходной части парка (начала противоуклона) в неблагоприятных метеорологических условиях без торможения при начальной скорости движения бегуна в УТО 5 км/ч (1,4 м/с).

2) Протяженность и крутизна участка пути, расположенного на противоуклоне, должна исключать возможность выхода расчетного бегуна ОХ-85 за пределы полезной длины пути в благоприятных метеорологических условиях без торможения при начальной скорости движения бегуна в УТО 5 км/ч (1,4 м/с).

Расчеты уклона участка пути, расположенного на спуске, и проверка длины и крутизны противоуклона при скатывании X и ОХ-85 бегуна для всех путей парка приведены в Приложении А.

4.3 Исследование условий образования интервалов между отцепами и маневровым составом после толчка

В процессе расформирования составов ОИТ создание интервалов между отцепами для подготовки маршрутов движения не требуется, так как каждый толчок заканчивается торможением состава (в отличие от горочной технологии, а также от технологии расформирования составов серийными и многогруппными толчками) и появляется достаточный промежуток времени для следующего толчка. Вследствие того, что горловина состоит из небольшого количества стрелочных переводов, времени между толчками достаточно для перевода всех стрелок и подготовки маршрутов движения отцепов¹. В связи с этим выполнение расчетов интервального торможения для отцепов при расформировании составов ОИТ не требуется.

Проблема образования интервала между отцепом и маневровым составом при толчке заключается в следующем: если головной отцеп обладает плохими ходовыми свойствами, то создается возможность нагона этого отцепа маневровым составом и объединения с ним после толчка. Это может произойти не только по причине плохих ходовых характеристик отцепа, а также из-за отсутствия возможности быстрой остановки маневрового состава большой массы при движении на горизонтальной площадке или спуске [19].

Предметом исследования данной задачи является уклон стрелочной зоны, а также начальной части пути парка (не далее расчетной точки), который должен обеспечивать разгон отцепа с плохими ходовыми свойствами, достаточный для отрыва его от состава и образования необходимого интервала. Таким образом, решение данной задачи сводится к определению минимального значения уклона стрелочной зоны, а также начальной части пути парка (не далее расчетной точки), при котором обеспечиваются условия образования интервала между отцепом и маневровым составом после толчка.

¹ Стрелочные переводы не оборудованные электрической централизацией не рассматриваются.

Для определения условий образования интервала между отцепом и маневровым составом после толчка целесообразно решение задачи выполнять для:

- маневрового состава максимального веса и длины;
- головного отцепа, соответствующего ходовым характеристикам расчетного бегуна П (при этом расчетный бегун ОП не рассматривается по причинам, приведенным в пункте 4.2.1);
- неблагоприятных метеорологических условий.

Принципиальная схема решения задачи приведена на рисунке 4.5, где Δt – временной интервал между отцепом и маневровым составом в любой точке S_i , расположенной в пределах расстояния, проходимого составом при торможении L_T .

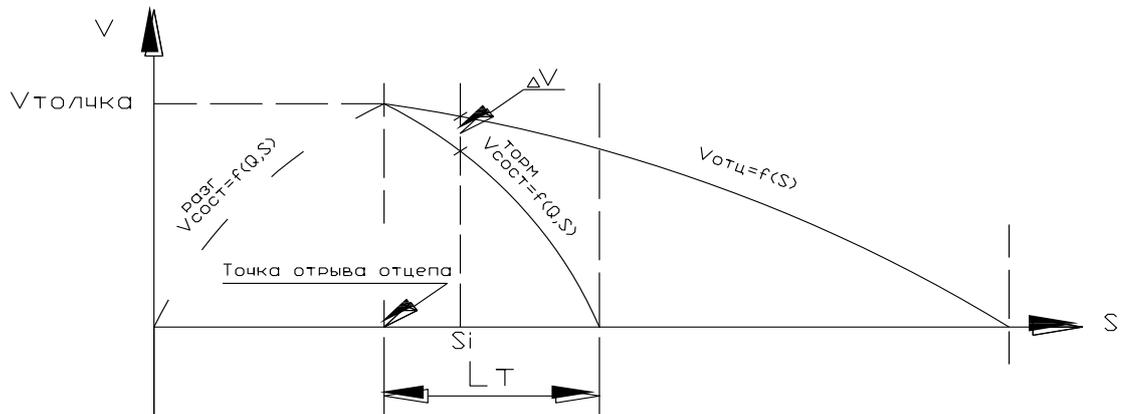


Рисунок 4.5 – Принципиальная схема определения интервала между маневровым составом и отцепом

Если $\Delta V > 0$ в любой точке S_i , расположенной в пределах тормозного пути маневрового состава, то задача считается решенной при исключении случаев последующего нагона отцепа.

Полученное минимальное значение уклона стрелочной зоны, а также начальной части пути парка (не далее расчетной точки) $i_{\text{мин}}$, при котором обеспечивается образование интервала между отцепом и маневровым составом после толчка, для указанных выше условий должно быть сопоставлено со значением уклона рассматриваемого участка, определенного при решении задачи расчета минимальной потребной дальности пробега отцепа в парк после толчка ($i_{\text{сз-пр}}$). При этом:

– если $i_{инт} \leq i_{сз-пт}$, то условие по критерию отрыва отцепы от состава после толчка будет выполнено;

– если $i_{инт} > i_{сз-пт}$, то для выполнения условия отделения отцепов от маневрового состава после толчка необходимо увеличить крутизну уклона стрелочной зоны и начального участка пути парка $i_{сз-пт}$ до значения $i_{инт}$, при этом целесообразно сократить длину начального участка пути парка, расположенного на уклоне $i_{инт}$, с целью обеспечения докатывания расчетного бегуна П до расчетной точки и его остановки (в этом случае необходимо повторно рассмотреть решение задачи определения параметров участков пути парка, расположенных на спуске и противоуклоне, и при необходимости скорректировать длины и уклоны указанных элементов).

В диссертационной работе выполнено исследование условий образования необходимых интервалов между отцепом и маневровым составом после толчка для следующих условий:

- диапазона масс маневрового состава от 1000 до 6000 т;
- уклона вытяжного пути от -2,5 ‰ до 2,5 ‰;
- диапазона скоростей толчка от 5 до 25 км/ч;
- головного отцепа, состоящего из одиночного вагона с ходовыми характеристиками, соответствующими параметрам расчетного бегуна П.

Предметом исследования является минимальный уклон стрелочной зоны, обеспечивающий образование после толчка интервалов между отцепом и маневровым составом для принятых исходных данных при скорости начала торможения маневрового состава (или самостоятельного движения отцепа) – 5 км/ч.

Исследования выполнены с использованием имитационных моделей, разработанных в разделе 2 (программные комплексы «Маневры-2» и «Скат-1»).

Примеры построения графиков скорости состава при торможении и скатывания расчетного бегуна П после толчка для вытяжного пути и стрелочной зоны представлены на рисунках 4.6, 4.7.

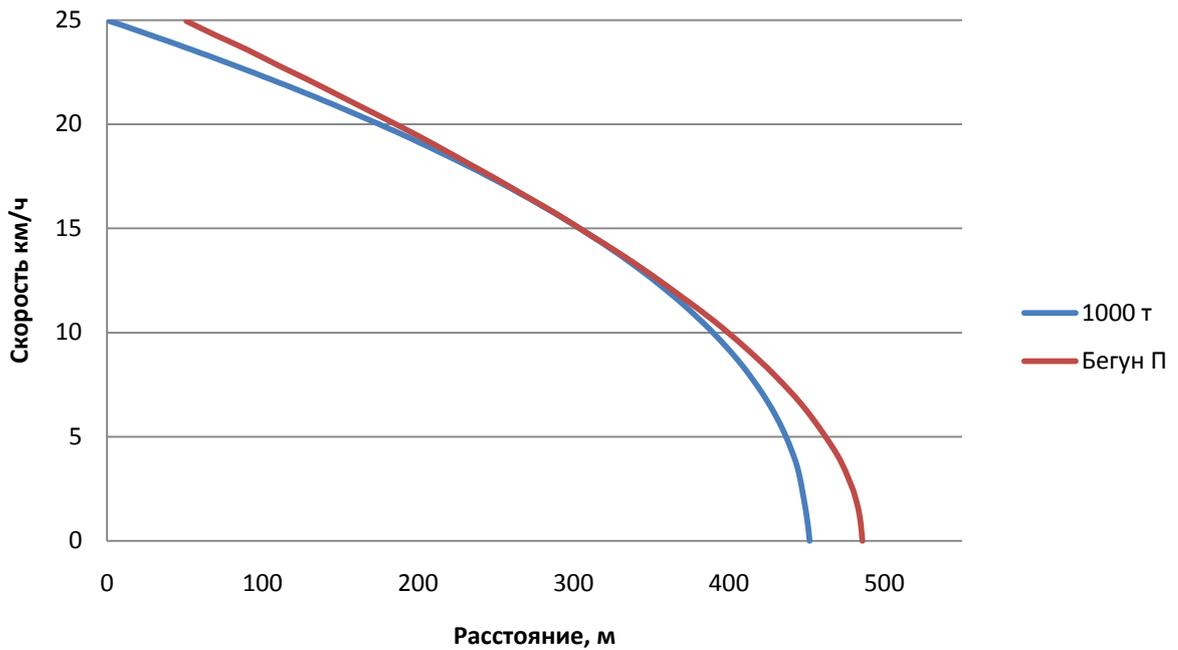


Рисунок 4.6 – Графики скорости маневрового состава массой 1000 т при торможении и движения расчетного бегуна П после толчка при расположении вытяжного пути и стрелочной зоны на площадке

При массе состава более 2000 т отрыв отцепы от состава также не происходит.

Полученные результаты позволяют сделать вывод, что для рассматриваемого сортировочного устройства расчетный бегун П после толчка движется быстрее тормозящего маневрового состава массой в диапазоне от 1000 т до 2000 т. На основании итерационных расчетов определена предельная масса маневрового состава, при которой обеспечивается образование исследуемого интервала, значение которой составило 1500 т. Графики скорости маневрового состава массой 1500 т при торможении и движения расчетного бегуна П после толчка при расположении вытяжного пути и стрелочной зоны на площадке приведены на рисунке 4.8.

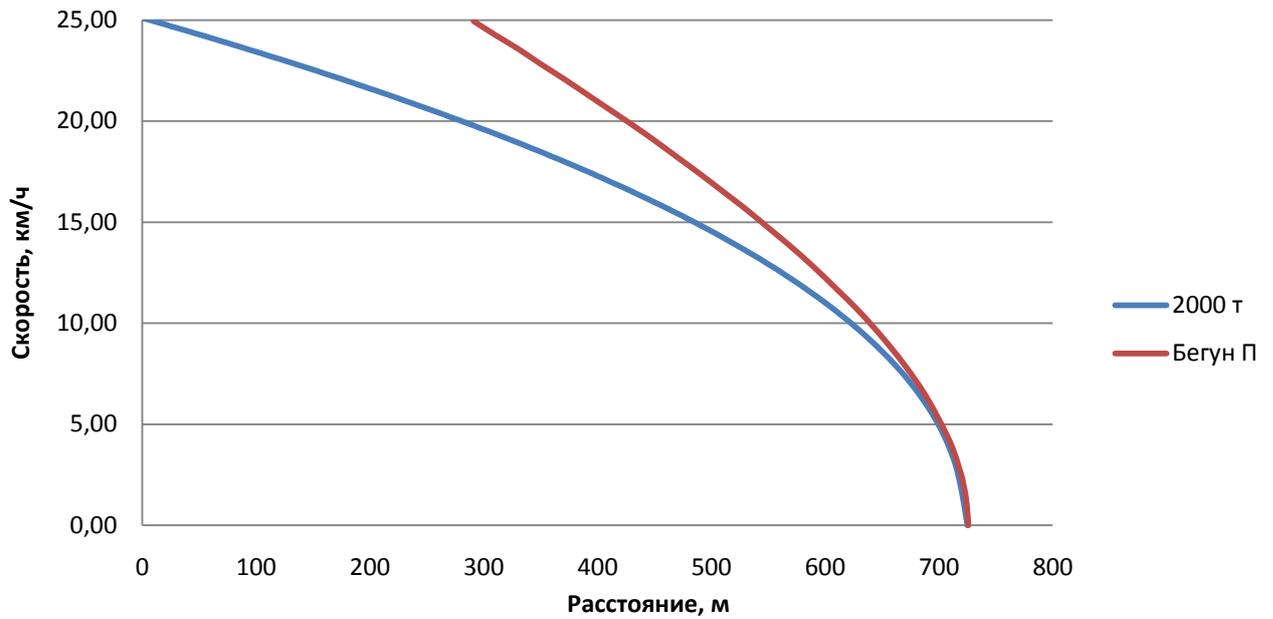


Рисунок 4.7 – Графики скорости маневрового состава массой 2000 т при торможении и движения расчетного бегуна П после толчка при расположении вытяжного пути и стрелочной зоны на площадке

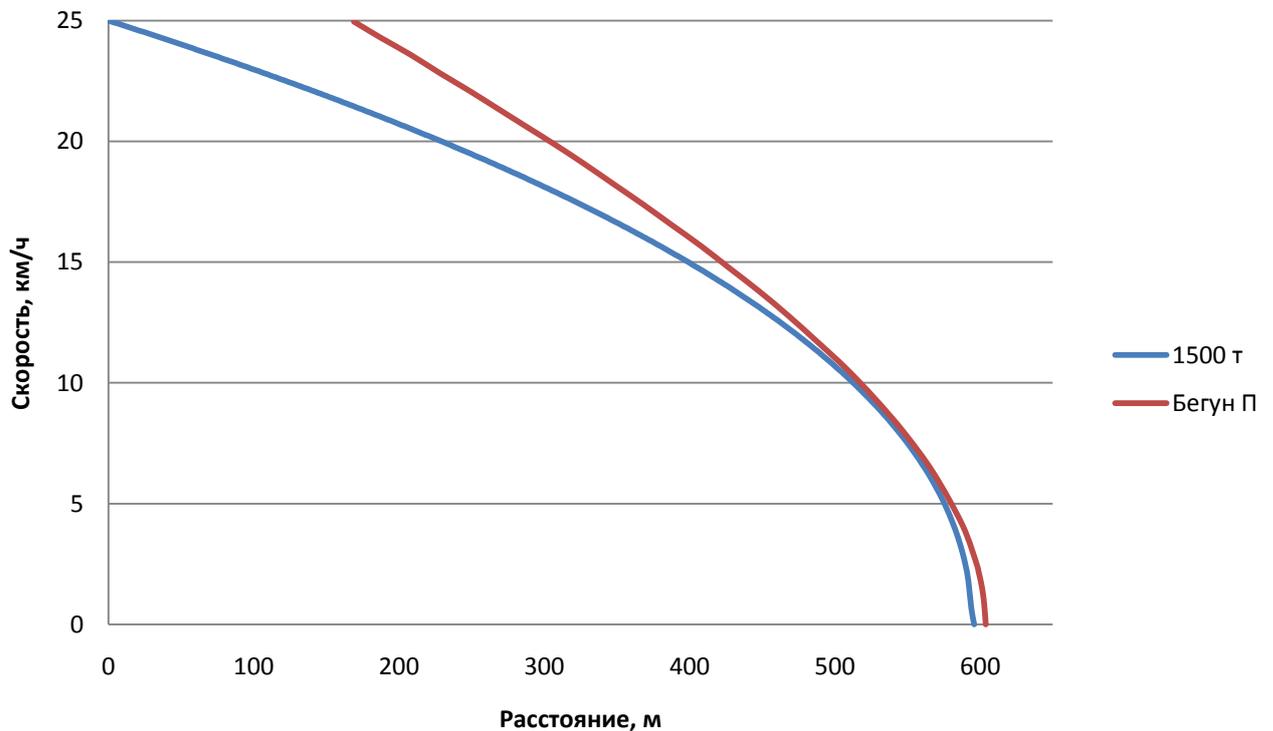


Рисунок 4.8 – Графики скорости маневрового состава массой 1500 т при торможении и движения расчетного бегуна П после толчка при расположении вытяжного пути и стрелочной зоны на площадке

На основании проведенных имитаций скатывания бегуна П и торможения составов разных масс получены величины уклонов участка стрелочной зоны, расположенного после УТО, при котором происходит отрыв отцепа от состава [13]. При этом можно определить значение уклона стрелочной зоны, а также начального участка пути, при котором в неблагоприятных условиях расчетный бегун П будет двигаться ускоренно, что обеспечит отрыв отцепа от маневрового состава любой массы. Для рассматриваемого сортировочного устройства и принятого максимального веса маневрового состава 6000 т указанное значение уклона составит: $i'_{унт} = 4,7 \text{ ‰}$.

В результате имитаций скатывания бегуна П и торможения составов разных масс определены значения $i_{унт}$, приведенные в таблице 4.3, для значений уклона вытяжного пути в диапазоне от -2,5 ‰ до 2,5 ‰.

Таблица 4.3 – Значения $i_{унт}$ для дифференцированных значений уклонов вытяжного пути и массы состава¹, ‰

Масса состава, т	Уклон вытяжного пути, ‰										
	-2,5	-2	-1,5	-1	-0,5	0	0,5	1	1,5	2	2,5
1000	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
2000	0	0	0	0	0	0	1	2	2,5	3	3
3000	0	0	0	0	0	2	2,5	3	3	3	3
4000	0	0	0	0	1	3	3	3	3	3	3
6000	0	0	0	1	1	3	3	3	3	3	3

Очевидно, что расчетное значение минимального уклона стрелочной зоны и начальной части пути парка, обеспечивающего образование интервала между отцепами и маневровым составом, будет расти с увеличением уклона вытяжного пути и веса маневрового состава.

Для рассматриваемого примера (Приложение А) значение минимального уклона $i_{унт}$ составляет 3 ‰, что менее значения $i_{сз-рм} = 4,2 \text{ ‰}$, определенного при решении задачи докатывания бегуна П до расчетной точки. Следовательно, при $i_{сз-рм} = 4,2 \text{ ‰}$ обеспечивается решение рассматриваемых задач.

¹ Расположение стрелочной зоны на подъеме не рассматривалось.

4.4 Проверка обеспечения условий остановки отцепов в парке с соблюдением допустимых технологических параметров

Согласно [66] для сортировочных устройств с тормозной позицией необходимо выполнять проверочный расчет на предмет обеспечения остановки бегуна ОХ-100. Так, при расчетах торможения на немеханизированных горках следует предусматривать остановку очень хороших бегунов на тормозной позиции башмакосбрасывателей в начале подгорочных путей с учетом торможения вагонов на протяжении 80% длины башмачной тормозной позиции спускной части.

Дополнительно при необходимости выполняется проверочный расчет остановки на парковой позиции отцепа из двух восьмиосных вагонов весом по 176 тс каждый с основным удельным сопротивлением 1 кгс/тс при полном использовании длины тормозной позиции на спускной части (20 м).

Если невозможно остановить расчетный отцеп на парковой позиции башмакосбрасывателей при укладке двух башмаков под первый вагон и одного под следующий вагон в отцепе при длине юза каждого башмака не более 20 м, то следует предусматривать оборудование вслед за основной также дополнительной тормозной позиции башмакосбрасывателей на пути накопления восьмиосных вагонов.

Башмакосбрасыватели на подгорочных путях следует укладывать на расстоянии не ближе 25 м за предельным столбиком прямого пути или 25 м за концом закрестовинной кривой, в начале прямого участка пути, на каждой его рельсовой нити.

На немеханизированной горке малой мощности рекомендуется дополнительно предусматривать укладку двух башмакосбрасывателей: одного на расстоянии 5 м за ее вершиной и другого перед изолированным участком первой разделительной стрелки. Первый башмакосбрасыватель предназначается для использования при отцепке восьмиосных вагонов (или длиннобазных четырехосных) после выхода части отцепа на ускоряющий уклон, когда требуется снизить начальную энергетическую высоту отцепа при отрыве его от состава. Второй башмакосбра-

сыватель должен использоваться для торможения отцепа в случае экстренной необходимости уменьшения скорости его скатывания.

Так как в данной работе исследуется самостоятельное движение отцепа (без локомотива) после толчка, целесообразно указанные требования применять при определении параметров и технического оснащения НГСУ, оборудованных немеханизированными тормозными позициями, в том числе используемых для расформирования составов ОИТ [18].

Если данное сортировочное устройство предусматривается оборудовать средствами механизированного торможения, условия остановки отцепов в парке следует определять в соответствии с действующей методикой [66].

Таким образом, для НГСУ, используемых для расформирования составов ОИТ, оборудованных немеханизированной тормозной позицией после определения параметров плана и продольного профиля стрелочной зоны и путей парка необходимо выполнить проверочный расчет обеспечения остановки расчетного бегуна на тормозной позиции при соблюдении допустимой скорости его входа на тормозную позицию.

Проверка условий остановки отцепа в парке выполняется, если при начальной скорости движения расчетного бегуна ОХ-100 (после толчка), равной 5 км/ч (1,4 м/с, см. раздел 3):

- обеспечивается его остановка – при движении в благоприятных условиях в пределах башмачной тормозной позиции при использовании для торможения 80 % ее длины [66];

- скорость входа расчетного бегуна ОХ-100 при движении в благоприятных условиях на башмачную тормозную позицию не превышает 3,5 м/с, так как тормозная позиция расположена в пределах полезной длины путей парка [66].

С целью безусловного обеспечения безопасности производства маневровой работы данную проверку необходимо выполнять для каждого пути негорочного сортировочного устройства.

Если проверка условия остановки расчетного бегуна в парке не выполняется, необходимо рассмотреть возможность корректировки параметров плана и продольного профиля стрелочной зоны и путей парка. При этом максимальный уклон начального участка сортировочного пути, в пределах которого расположена тормозная позиция, может быть установлен для максимальной длины торможения расчетного бегуна и максимально допустимой скорости его входа на позицию по формуле [90]:

$$i_{ТП} = 42,5 + w_0 - \frac{V_{нач}^2 - V_{кон}^2}{2g \cdot 10^{-3} l_{юз}}, \quad (4.11)$$

где V_n, V_k – начальная и конечная скорости отцепа;

$i_{ТП}$ – уклон участка пути, в пределах которого расположена тормозная позиция.

В данной работе рассматривается сортировочное устройство, для которого приняты границы элементов продольного профиля, представленные на рисунке 4.9.

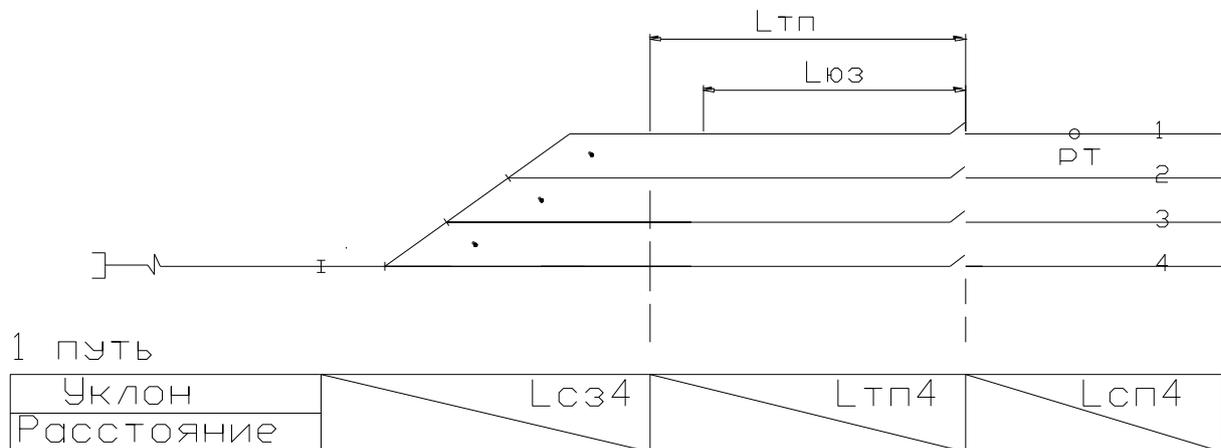
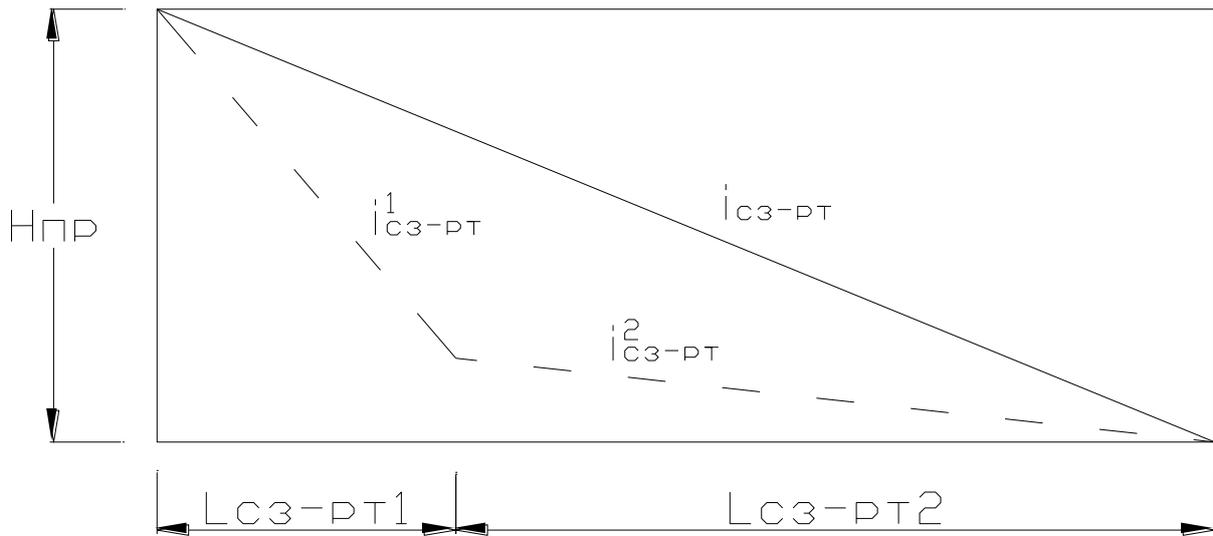


Рисунок 4.9 – Схема границ элементов продольного профиля НГСУ

В случае, если $i_{ТП} < i_{сз-пт}$, следует рассмотреть возможность перераспределения профильной высоты стрелочной зоны и начального участка парка по схеме, приведенной на рисунке 4.10, при обеспечении выполнения условия:

$$H_{np} = const \quad (4.12)$$



где $i_{сз-рт}^2 = i_{ТП}$;

$i_{сз-рт}^1$ – значение уклона, определенное исходя из обеспечения выполнения условия 4.12.

Рисунок 4.10 – Принципиальная схема решения задачи перераспределения профильной высоты в пределах стрелочной зоны и начального участка пути парка

Необходимо отметить, что вариант перераспределения профильной высоты предполагает некоторое увеличение уклона стрелочной зоны, что создает более благоприятные условия для образования интервала между отцепами и маневровым составом после толчка.

В Приложении А (Задача 5) приведен расчет проверки допустимой скорости входа на тормозную позицию, и остановки в пределах указанного в [66] участка тормозной позиции, результаты которого приведены в Приложении А, таблица А.8. Для рассматриваемого сортировочного устройства корректировка продольного профиля для путей парка не требуется.

4.5 Методика определения параметров стрелочной зоны и путей парка для расформирования составов одиночными изолированными толчками

Методика определения итоговых конструктивных параметров стрелочной зоны и путей парка при расформировании состава ОИТ должна удовлетворять решению всех указанных выше задач, которые можно разбить на две группы [14]:

а) задачи, решение которых связано с увеличением значений уклона стрелочной зоны и начальной части пути парка:

1) расчет $i_{сз-пт}$ по условию обеспечения докатывания расчетного бегуна П до расчетной точки в неблагоприятных условиях при следовании на трудный путь;

2) расчет $i_{штт}$ по условию обеспечения отрыва отцепов при выполнении толчка.

б) задачи, решение которых связано с уменьшением значений уклона стрелочной зоны и начальной части пути парка:

1) расчет $i_{сн}, l_{сн}, l_{прот}$ по условию обеспечения остановки расчетного бегуна ОХ-85 в пределах полезной длины пути;

2) проверка $i_{сз-пт}$ по условию обеспечения допустимой скорости входа расчетного бегуна ОХ-100 на тормозную позицию;

3) проверка обеспечения допустимой длины юза при торможении расчетного бегуна ОХ-100.

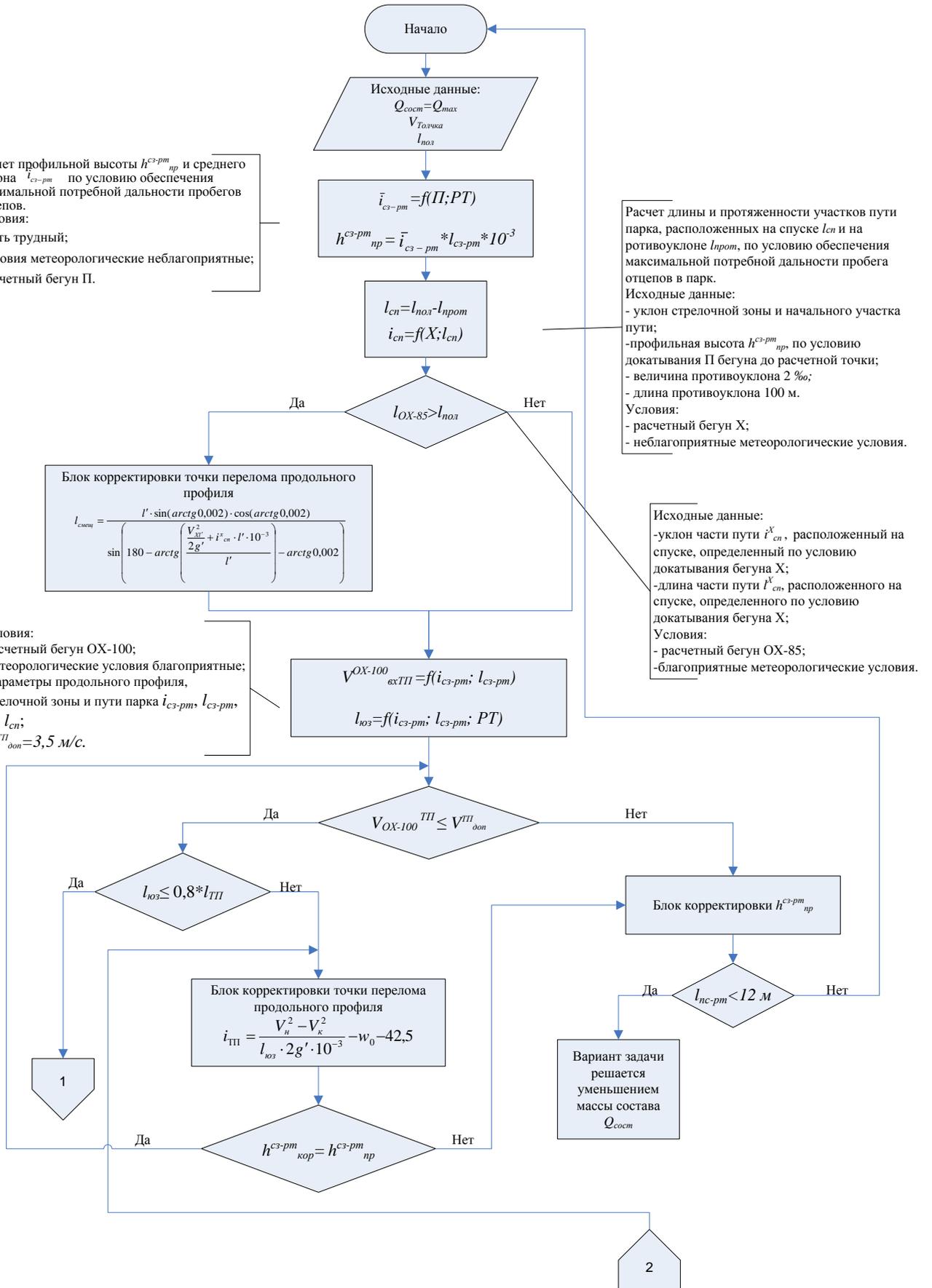
Алгоритм решения указанных задач приведен на рисунке 4.11.

Расчет профильной высоты h_{c3-pm}^{c3-pm} и среднего уклона i_{c3-pm} по условию обеспечения минимальной потребной дальности пробегов отцепов.
Условия:
- путь трудный;
- условия метеорологические неблагоприятные;
- расчетный бегун П.

Расчет длины и протяженности участков пути парка, расположенных на спуске l_{cn} и на ротивоуклоне l_{nprot} , по условию обеспечения максимальной потребной дальности пробега отцепов в парк.
Исходные данные:
- уклон стрелочной зоны и начального участка пути;
- профильная высота h_{c3-pm}^{c3-pm} , по условию докатывания П бегуна до расчетной точки;
- величина противоуклона 2 ‰;
- длина противоуклона 100 м.
Условия:
- расчетный бегун X;
- неблагоприятные метеорологические условия.

Исходные данные:
- уклон части пути i_{cn}^X , расположенный на спуске, определенный по условию докатывания бегуна X;
- длина части пути l_{cn}^X , расположенного на спуске, определенного по условию докатывания бегуна X;
Условия:
- расчетный бегун OX-85;
- благоприятные метеорологические условия.

Условия:
- расчетный бегун OX-100;
- метеорологические условия благоприятные;
- параметры продольного профиля, стрелочной зоны и пути парка i_{c3-pm} , l_{c3-pm} , i_{cn} , l_{cn} ;
- $V_{доп}^{ТП} = 3,5$ м/с.



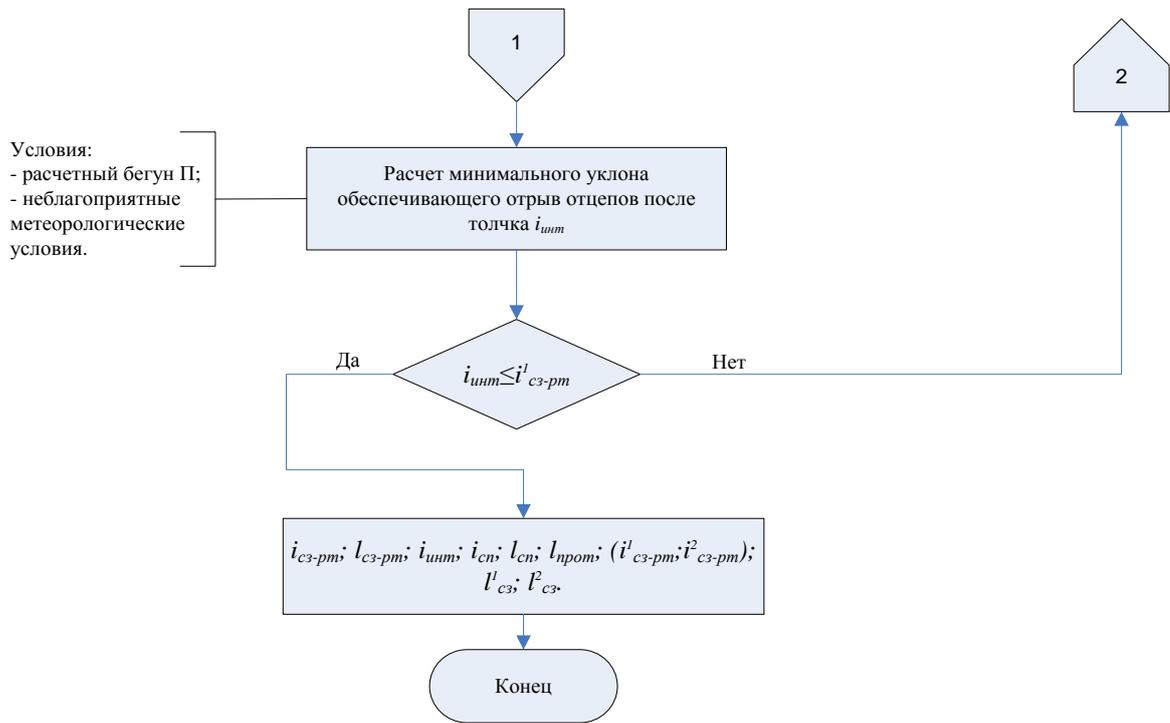


Рисунок 4.11 – Алгоритм поиска допустимых границ конструктивных параметров стрелочной зоны и путей парка при расформировании состава изолированными одиночными толчками

Результаты решения указанных задач следующие:

а) значения уклонов и протяженность стрелочной зоны и участков пути парка, определенные по критерию обеспечения минимальной потребной дальности пробега отцепов в парк после толчка (в том числе с учетом возможной корректировки или перераспределения высоты стрелочной зоны и начального участка пути парка $h_{пр}^{с3-пр}$);

б) диапазоны допустимых параметров стрелочной зоны и путей парка, определяемые на основании:

1) минимального значения высоты $h_{пр}^{с3-пр}$ рассчитанного по критерию обеспечения минимальной потребной дальности пробега расчетного бегуна П в парк после толчка;

2) максимального значения высоты $h_{пр}^{с3-пр}$, рассчитанного для условий обеспечения максимальной допустимой скорости входа ОХ-100 на тормозную позицию и его остановки при заданном режиме торможения;

в) в случае $h_{np\ min}^{c3-pг} > h_{np\ max}^{c3-pг}$ или $i_{инт} > i_{c3-pг}$ возникает противоречие, которое может быть устранено за счет отклонения параметров вытяжного пути от оптимальных значений с целью:

- 1) повышения скорости толчка отцепов с плохими ходовыми свойствами;
- 2) уменьшение веса и длины маневрового состава.

Таким образом, возможны случаи, при которых не будет обеспечен подбор параметров, удовлетворяющих решению всех указанных задач при расформировании маневрового состава максимального веса и длины.

Следовательно, определение оптимальных конструктивных параметров стрелочной зоны и путей парка должно производиться совместно с оптимизацией конструкции вытяжного пути по одному из принятых критериев, что является отдельной исследовательской задачей, рассматриваемой в разделе 5 данной работы.

4.6 Выводы по главе

В данном разделе разработана методика определения параметров конструкции продольного профиля стрелочной зоны и путей парка. Методика предусматривает последовательное решение следующих задач при расформировании состава ОИТ:

1) Обеспечение докатывания расчетного бегуна П до расчетной точки трудного пути в неблагоприятных метеорологических условиях при начальной скорости его движения в УТО 5 км/ч (1,4 м/с).

2) Определение протяженности и крутизны участка пути, расположенного на спуске, по условию обеспечения докатывания расчетного бегуна X до точки перелома профиля в выходной части парка (начала противоклона) в неблагоприятных метеорологических условиях без торможения при начальной скорости движения бегуна в УТО 5 км/ч (1,4 м/с). В свою очередь, протяженность и крутизна участка пути, расположенного на противоклоне, должны исключать возможность выхода расчетного бегуна ОХ-85 за пределы полезной длины пути в

благоприятных метеорологических условиях без торможения при начальной скорости движения бегуна в УТО 5 км/ч (1,4 м/с).

3) Определение минимального уклона стрелочной зоны, обеспечивающего образование после толчка интервалов между отцепами и маневровым составом для принятых исходных данных при скорости начала торможения маневрового состава (или самостоятельного движения отцепа) 5 км/ч (1,4 м/с).

4) Определение скорости входа расчетного бегуна ОХ-100 и уклона участка пути, на котором расположена башмачная тормозная позиция для обеспечения его остановки при движении в благоприятных условиях в пределах башмачной тормозной позиции и использовании для торможения 80 % ее длины.

Разработан алгоритм расчета конструктивных параметров стрелочной зоны и путей парка при расформировании состава ОИТ, позволяющий определять:

1) значения уклонов и протяженность стрелочной зоны и участков пути парка;

2) диапазоны допустимых конструктивных параметров стрелочной зоны и путей парка.

Установлено, что возможны случаи, при которых не будет обеспечен подбор параметров, удовлетворяющих решению всех указанных задач при расформировании маневрового состава максимального веса и длины. Поэтому определение оптимальных конструктивных параметров стрелочной зоны и путей парка необходимо выполнять совместно с оптимизацией конструкции вытяжного пути с учетом рассмотрения вариантов расформирования составов дифференцированной массы.

5 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ НЕГОРОЧНЫХ СОРТИРОВОЧНЫХ УСТРОЙСТВ ПРИ РАСФОРМИРОВАНИИ СОСТАВОВ ОДИНОЧНЫМИ ИЗОЛИРОВАННЫМИ ТОЛЧКАМИ

5.1 Постановка задачи

Выполненные исследования конструктивных и технологических параметров вытяжного пути, стрелочной зоны и путей парка при расформировании составов ОИТ позволяют утверждать, что задача поиска оптимальных параметров рассматриваемого НГСУ должна решаться для множества дифференцированных значений веса и длины маневрового состава. При этом в данной работе поиск оптимальных параметров НГСУ производится:

- с учетом обеспечения решения всех задач, приведенных в разделе 4;
- только для процесса расформирования составов ОИТ (сравнение и совмещение с другими способами производства сортировочной работы не выполняется).

В соответствии с действующей методикой [52; 53] оценка экономической эффективности вариантов проекта НГСУ может производиться по критерию минимизации сопоставимых приведенных строительно-эксплуатационных затрат E_{np} . Строительные затраты определяются в соответствии с укрупненными нормами расходов Западно-Сибирской железной дороги, а эксплуатационные расходы – методом расходных ставок [83; 98]. При этом не меняющиеся в зависимости от вариантов конструкции и технологии производства маневровой работы затраты не учитываются при расчете E_{np} .

Оптимальные параметры НГСУ должны обеспечивать минимальное значение принятого критерия оптимальности из множества значений E_{np} , определенных для различных значений веса и длины маневрового состава.

5.2 Методика расчета приведенных расходов на расформирование составов одиночными изолированными толчками

При сравнении вариантов конструкции НГСУ необходимо учитывать следующие факторы:

а) Капитальные затраты на строительство вытяжного пути, стрелочной зоны и путей парка – K , различающиеся по вариантам с учетом разной длины и уклонов элементов продольного профиля НГСУ.

б) Годовые эксплуатационные расходы по содержанию вытяжного пути, стрелочной зоны и парка – \mathcal{E}_{cod} , зависящие от суммарной протяженности путей НГСУ, [53; 64].

в) Годовые эксплуатационные расходы по расформированию состава – \mathcal{E}_{pfi} , определяемые с момента готовности состава, находящегося на пути парка, к расформированию, до момента проследования УТО последним отцепом состава при расформировании [23].

Расчет приведенных расходов на расформирование составов ОИТ – E_{np} для каждого i -ого варианта конструкции НГСУ и веса (длины) маневрового состава выполняется по формуле:

$$E_{npi} = \mathcal{E}_{pfi} + \mathcal{E}_{codi} + E \cdot K_i, \quad (5.1)$$

E – коэффициент эффективности капитальных вложений принимаемый в расчете равным 0,1;

K_i – капитальные затраты по i -му варианту.

Для каждого i -го варианта конструкции НГСУ и веса (длины) маневрового состава годовые эксплуатационные расходы на расформирование состава \mathcal{E}_{pfi} определяются по формуле:

$$\mathcal{E}_{pfi} = (\mathcal{E}_{расfi} + \mathcal{E}_{манi} + \mathcal{E}_{вагi}) 365 n_{сост}, \quad (5.2)$$

$\mathcal{E}_{расfi}$ – эксплуатационные расходы на расформирование состава, связанные с выполнением толчков на вытяжном пути;

$\mathcal{E}_{мані}$ – эксплуатационные расходы, связанные с выполнением маневровых передвижений от момента¹ готовности маневрового состава, находящегося на пути парка, к расформированию до окончания расформирования всего состава - без учета маневровых передвижений при выполнении толчков на вытяжном пути;

$\mathcal{E}_{вагі}$ – расходы, связанные с нахождением вагонов на пути парка перед расформированием (в том числе при переработке состава частями) с учетом выполнения подготовительно-заключительных операций при маневровой работе;

$n_{сост}$ – число составов, расформировываемых, за сутки.

5.2.1 Расчет эксплуатационных расходов на расформирование состава одиночными изолированными толчками

Эксплуатационные расходы на расформирование состава, связанные с выполнением толчков на вытяжном пути определяются по формуле:

$$\mathcal{E}_{расф\ i} = \sum \mathcal{E}_{разг\ i} + \sum \mathcal{E}_{торм\ i} + \sum \mathcal{E}_{оттяг\ i}, \quad (5.3)$$

где $\sum \mathcal{E}_{разг\ i}$, $\sum \mathcal{E}_{торм\ i}$, $\sum \mathcal{E}_{оттяг\ i}$ – эксплуатационные расходы на разгон, торможение и оттягивание маневрового состава соответственно.

Эксплуатационные расходы на разгон $\sum \mathcal{E}_{разг\ i}$ и торможение $\mathcal{E}_{торм\ i}$ при расформировании состава, состоящего из n отцепов, составят:

$$\mathcal{E}_{разг\ i} = \sum_{j=1}^n \mathcal{E}_{разг\ j}, \quad (5.4)$$

$$\mathcal{E}_{торм\ i} = \sum_{j=1}^{n-1} \mathcal{E}_{торм\ j}; \quad (5.5)$$

Эксплуатационные расходы $\sum \mathcal{E}_{оттяг\ i}$ на оттягивание состава:

$$\mathcal{E}_{оттяг\ i} = \sum_1^m \mathcal{E}_{оттяг\ j}, \quad (5.6)$$

где m – потребное число оттягиваний состава на вытяжной путь после толчка (с учетом композиции состава) при расформировании.

Эксплуатационные расходы, связанные с выполнением маневровой работы при расформировании состава – $\mathcal{E}_{ман}$, учитывают:

¹ Время ожидания расформирования состава в данной методике не учитывается

– расходы на выполнение полурейсов при движении одиночного локомотива или маневрового состава (его части) с учетом энергетических затрат на каждый полурейс (разгон, выбег и торможение), зависящих от конструкции путей парка, стрелочной зоны и вытяжного пути;

– расходы на выполнение подготовительно-заключительных операций при производстве маневровой работы.

Следует отметить, что при делении состава на части будут возникать дополнительные эксплуатационные расходы, связанные с занятием пути парка при расформировании состава, определяемые с момента готовности состава к расформированию до полного освобождения пути парка. Эффект от более быстрого освобождения пути парка может быть определен только с учетом работы всего объекта (станции), что в данной методике не является обязательным.

Эксплуатационные расходы на расформирование состава $\mathcal{E}_{рф}$ определяются методом имитационного моделирования маневровых полурейсов на ЭВМ с применением тяговых расчетов и системы единичных норм расходов (ЕНР), [64]. В системе единичных норм расчеты определяются в зависимости от значительно-го числа характерных измерителей, что позволяет с наибольшей точностью учитывать детальные конкретные особенности вариантов. Для выполнения расчетов при различных вариантах конструкции НГСУ используется программа расчета эксплуатационных расходов на маневровую работу «Маневры-2» (раздел 2), [21].

Определение затрат в имитационной модели производится с использованием системы единичных норм расходов. В используемой модели расчет происходит по измерителям системы ЕНР представленным в таблице 5.1.

В результате сеанса имитации маневрового полурейса рассчитываются значения всех рассматриваемых измерителей системы ЕНР (энергетических, временных, пробежных).

Таблица 5.1 – Измерители системы ЕНР

Измеритель	Обозначение измерителя	Единица измерения	Обозначение расходной ставки
Расход дизельного топлива	G	т	e_G
Бригадо-часы локомотивных бригад	t_{mh}	бр·ч	e_{tmh}
Локомотиво-часы	t_{MH}	лок·ч	e_{tMH}
Вагоно-часы	t_{NH}	ваг·ч	e_{tNh}
Часы работы составительской бригады	t_{Nh}	ч	e_{tNh}
Локомотиво-километры	MI	лок·км	e_{MI}
Вагоно-километры	nl	ваг·км	e_{NI}
Тонно-километры брутто	$(P+Q)l$	т·км	e_{Pl}

Эксплуатационные расходы на маневровый полурейс ($\sum \mathcal{E}_{разг\ i}$, $\sum \mathcal{E}_{торм\ i}$, $\sum \mathcal{E}_{оттяг\ i}$) определяются как сумма произведений значений измерителей (полученных в результате моделирования передвижения) на заданные расходные ставки соответствующих измерителей:

$$C = R_{л}e_{R_{л}} + R_{co}e_{R_{co}} + R_{т}e_{R_{т}} + Ge'_G + Mle_{ms}10^{-3} + t_{MH}e_{MH} + t_{mh}e_{mh} + t_{Nh}e_{Nh} + mt_{nh}e_{nh}10^{-3} + mle_{ns}10^{-3} + (P + Q)le_{pl}10^{-6} \quad (5.7)$$

5.2.2 Расчет временных показателей на переработку состава одиночными изолированными толчками

Для сравнения вариантов конструкции НГСУ при расформировании состава одиночными толчками достаточно рассмотреть процесс в следующих границах:

- от момента¹ готовности маневрового состава, находящегося на пути парка, к расформированию;
- до момента, когда последний отцеп оторвался от маневрового состава.

При этом дальнейшее движение отцепов в парк можно отнести к фазе накопления.

В связи с этим представляется интересным определение следующих временных показателей при переработке состава одиночными толчками в указанных

¹ Время ожидания расформирования состава в данной методике не учитывается

выше границах при разных вариантах конструкции НГСУ с учетом рассмотрения дифференцированных значений веса и длины составов:

- суммарных затрат вагоно-часов на переработку состава;
- суммарных локомотиво-часов на переработку состава;
- суммарных часов работы локомотивной бригады;
- суммарные часы работы составительской бригады.

Суммарные вагоно-часы на переработку состава определяются по формуле:

$$B = B_{\text{выт}} + B_{\text{ман}}, \quad (5.8)$$

где $B_{\text{выт}}$ – вагоно-часы, связанные с выполнением разгона, торможения и обратного движения маневрового состава на вытяжном пути;

$B_{\text{ман}}$ – вагоно-часы, связанные с нахождением вагонов на пути парка перед расформированием (в том числе при делении состава на части), а также с выполнением маневровой работы, кроме операций, входящих в расчет величины $B_{\text{выт}}$.

Расчет времени нахождения вагонов на вытяжном пути осуществляется для всех вагонов состава, с учетом уменьшения массы (длины) состава в процессе расформирования. Таким образом, вагоно-часы нахождения вагонов на вытяжном пути определяются как сумма произведений времени нахождения i -го отцепа на вытяжном пути t_i и количества вагонов в отцепе m :

$$B_{\text{выт}} = t_1 \cdot m_1 + t_2 \cdot m_2 + \dots + t_n \cdot m_n, \quad (5.9)$$

где t_1, t_2, \dots, t_n – время от начала расформирования состава на вытяжном пути до прохождения 1, 2, ... n -ым отцепом УТО соответственно;

m_1, m_2, \dots, m_n – число вагонов в 1, 2, ... n -ом отцепе соответственно.

Время от начала расформирования состава на вытяжном пути до прохождения последним отцепом УТО определяется следующим образом:

$$t_1 = t_1^p, \quad (5.10)$$

$$t_2 = t_1 + t_{n-1}^T + t_{n-1}^{\text{оттяг}} + t_2^p, \quad (5.11)$$

$$t_3 = t_2 + t_{n-2}^T + t_{n-2}^{\text{оттяг}} + t_3^p, \quad (5.12)$$

.....

$$t_n = t_{n-1} + t_n^p, \quad (5.13)$$

где $t_1^p, t_2^p, t_3^p, \dots, t_n^p$ – время на разгон состава на вытяжном пути для производства первого, второго, третьего, n -го толчка соответственно;

t_{n-1}^T, t_{n-2}^T – время, необходимое для прохождения маневровым составом расстояния торможения после толчка (без учета массы предыдущего отцепа);

$t_{n-1}^{\text{оттяг}}$ – время, затрачиваемое на оттягивание маневрового состава после остановки для подготовки к следующему толчку.

Время расформирования состава $T_{\text{расф}}$ (или одной из его частей) на вытяжном пути в данном случае можно определить по формуле:

$$T_{\text{расф}} = t_{n-1} + t_n^p. \quad (5.14)$$

Расчет величины $B_{\text{ман}}$ производится следующим образом:

$$B_{\text{ман}} = B_{\text{пути}} + B_{\text{МП}}, \quad (5.15)$$

где $B_{\text{пути}}$ – вагоно-часы, связанные с нахождением вагонов на пути парка перед расформированием (в том числе при переработке состава частями) с учетом выполнения подготовительно-заключительных операций при маневровой работе;

$B_{\text{МП}}$ – вагоно-часы, связанные с нахождением вагонов в движении при выполнении маневров (кроме разгона, торможения и обратного движения маневрового состава на вытяжном пути, входящих в расчет величины $B_{\text{выт}}$).

Расчет величины $B_{\text{пути}}$ производится по формуле:

$$B_{\text{пути}} = T_{\text{расф1}} \cdot (n_{\text{сост}} - n_1) + T_{\text{расф2}} \cdot (n_{\text{сост}} - n_1 - n_2) + \dots + T_{\text{расфm}} \cdot (n_{\text{сост}} - n_1 - n_2 \dots - n_m), \quad (5.16)$$

где $T_{\text{расф1}}, T_{\text{расф2}}, \dots, T_{\text{расфm}}$ – время на расформирование состава или его части (при делении состава на части) с учетом времени на перестановку состава (части) с пути парка приема на вытяжной путь, а также времени заезда локомотива на путь парка за следующей частью состава, включающее время на подготовительно-заключительные операции;

$n_{\text{сост}}$ – количество вагонов в составе;

n_1, n_2, \dots, n_m – количество вагонов в первой, второй и соответственно в m -ой части состава;

m – число частей, на которые делится состав при расформировании.

Расчет времени $T_{расф}$ для состава (или его части) производится по формуле:

$$T_{расф} = t_n + t_{заезд}^L + t_{МП}, \quad (5.17)$$

где $t_{заезд}^L$ – время на заезд локомотива резервом за составом или очередной частью, расформировываемого состава;

$t_{МП}$ – время на перестановку состава с пути парка на вытяжной путь.

Суммарное время расформирования состава при делении на части $T_{расф}$ определяется по формуле:

$$T_{расф} = \sum_1^m t_n + \sum_1^m t_{заезд}^L + \sum_1^m t_{МП}. \quad (5.18)$$

Суммарные локомотиво-часы на переработку состава ОИТ определяются по формуле:

$$T_{ЛЧ} = T_{расф}. \quad (5.19)$$

Суммарные часы работы локомотивной бригады на переработку состава ОИТ определяются по формуле:

$$T_{ЛБ} = T_{расф}. \quad (5.20)$$

Суммарные часы работы составительских бригад на переработку состава ОИТ соответствуют времени на расформирование состава:

$$T_{СБ} = T_{расф}. \quad (5.21)$$

Для рассматриваемого примера в Приложении Б выполнен расчет K , $\mathcal{E}_{сод}$, $\mathcal{E}_{рф}$ (формула 5.15), а также временных показателей процесса расформирования состава ОИТ для различных вариантов конструкции НГСУ. В результате получены суммарные расходы на расформирование состава массой 6000 т при делении на части [53].

На рисунках 5.1 и 5.2 изображены кривые времени на расформирование составов в зависимости от уклонов вытяжного пути для скоростей выполнения толчка 5 и 10 км/ч соответственно.

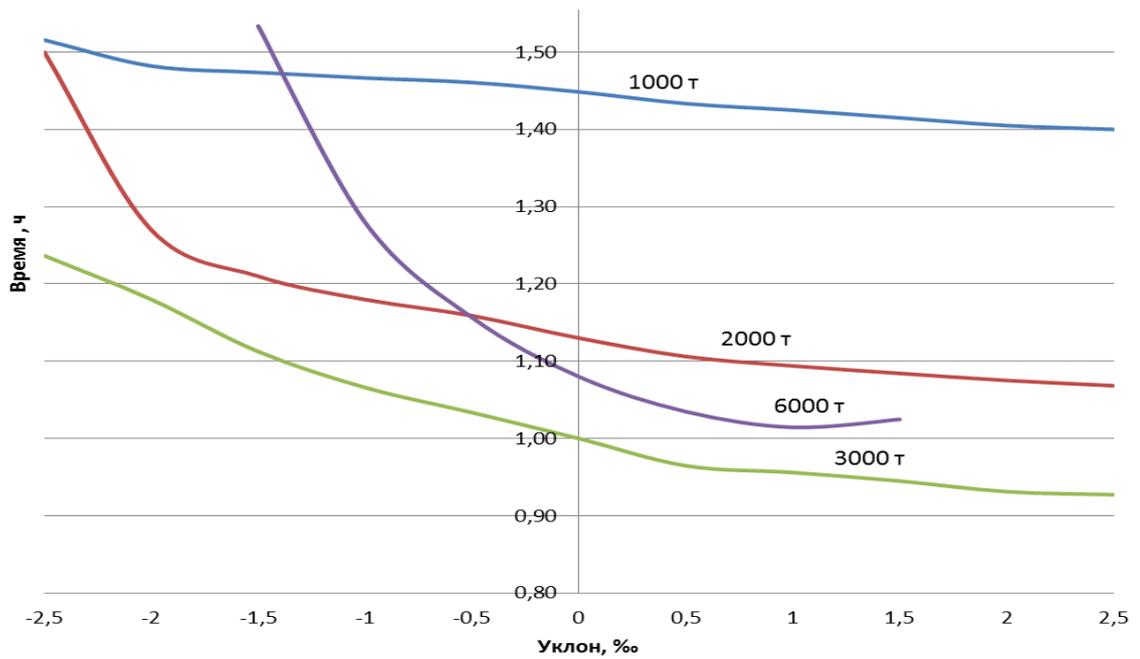


Рисунок 5.1– Зависимости времени на расформирование состава массой 6000 т, при делении состава на части и скорости выполнения толчка 5 км/ч от уклона вытяжного пути

На рисунках 5.3 и 5.4 изображены зависимости приведенных расходов от уклона вытяжного пути при расформировании составов ОИТ со скоростью выполнения толчка 5 и 10 км/ч соответственно.

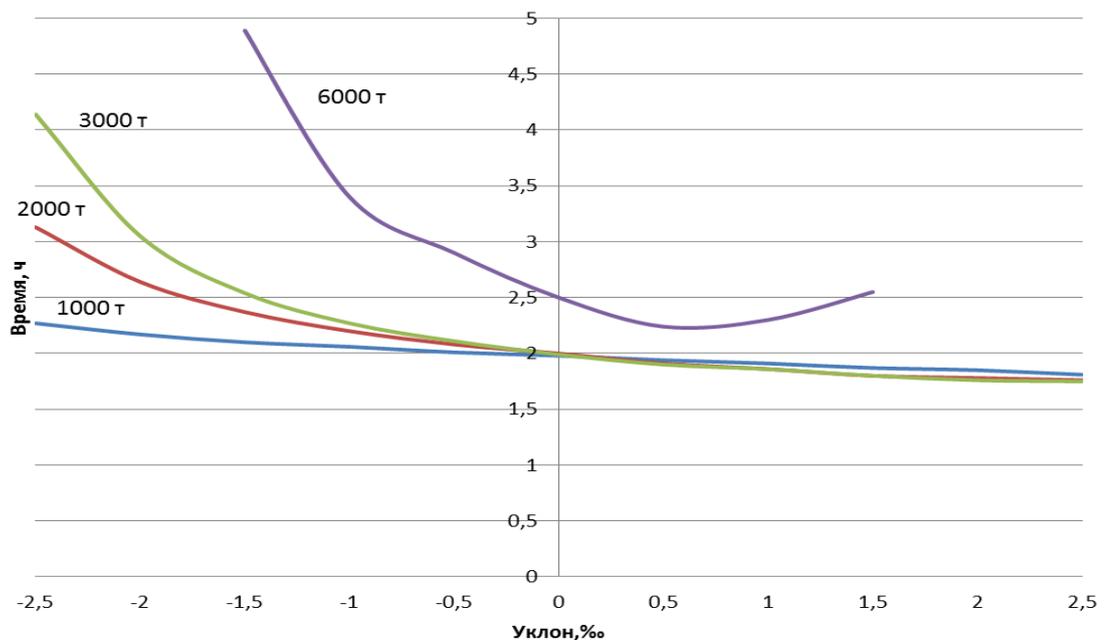


Рисунок 5.2 – Зависимости времени на расформирование состава массой 6000 т при скорости выполнения толчка 10 км/ч части от уклона вытяжного пути

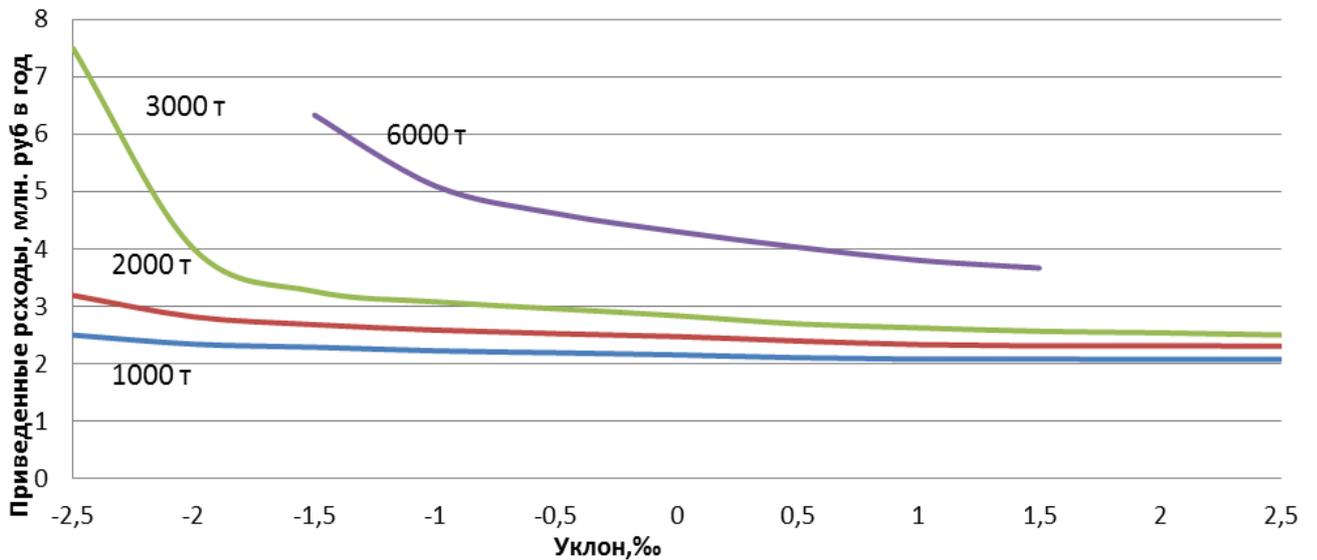


Рисунок 5.3 – Графики зависимостей приведенных расходов при расформировании составов ОИТ от уклона вытяжного пути при скорости толчка 5 км/ч

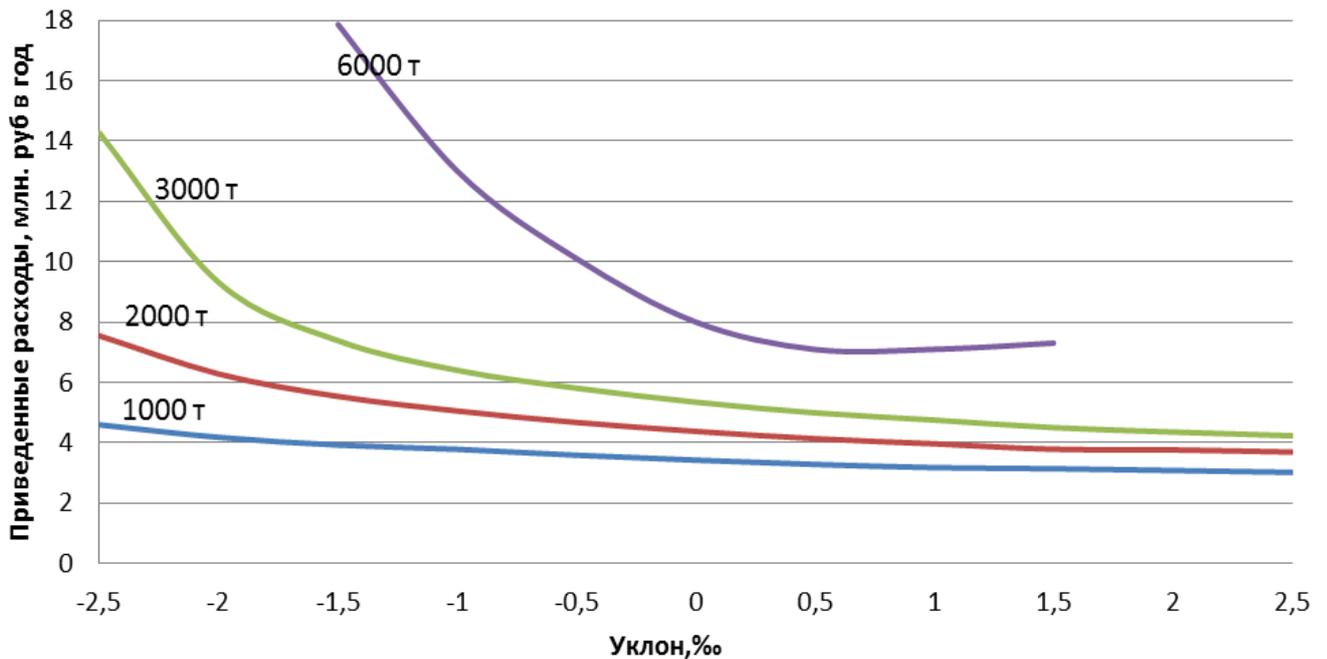


Рисунок 5.4 – Графики зависимостей приведенных расходов при расформировании составов ОИТ от уклона вытяжного пути при скорости толчка 10 км/ч

Таким образом, оптимальным является расположение вытяжного пути на подъеме в сторону сортировки с уклоном до 2,5‰, при расформировании состава

вов со скоростью выполнения толчка 5 км/ч и делении состава массой 6000 т на 6 частей.

5.3 Перерабатывающая способность НГСУ для работы ОИТ

Перерабатывающая способность НГСУ, используемых только для расформирования и накопления составов, определяется при помощи коэффициента использования перерабатывающей способности. Для вытяжного пути безгорочной станции коэффициент использования перерабатывающей способности вытяжного пути (с точностью до 0,001) определяется по формуле [38]:

$$K = \frac{\mu_{\text{повт}}^c T}{1440\alpha_c - \Sigma T_{\text{пост}}^c}, \quad (5.22)$$

где $\mu_{\text{повт}}^c$ – коэффициент повторной сортировки (устанавливается анализом);

α_c – коэффициент, учитывающий возможные перерывы в использовании вытяжного пути из-за враждебных передвижений (принимается равным 0,93 – 0,95);

$\Sigma T_{\text{пост}}^c$ – время занятия вытяжного пути в течение суток для выполнения постоянных операций, не зависящих от объема переработки, или число которых на расчетный период задано (в том числе обработка заданного числа сборных поездов).

Время $\Sigma T_{\text{пост}}^c$ определяется по следующей формуле общего вида [38]:

$$\Sigma T_{\text{пост}}^c = n_{\text{уг}}^c t_{\text{уг}}^c + n_{\text{рем}}^c t_{\text{рем}}^c + \Sigma t_{\text{мест}}^c + t_{\text{техн}}^c + n_{\text{сб}}^c t_{\text{сб}}^c, \quad (5.23)$$

$n_{\text{уг}}^c$ – число передаваемых за сутки в другую систему групп (передач) вагонов углового потока (учитывается только для двусторонних сортировочных станций);

$t_{\text{уг}}^c$ – число занятия вытяжного пути перестановкой группы вагонов углового потока с учетом времени возвращения маневрового локомотива на вытяжной путь;

$n_{\text{рем}}^c$ – число групп вагонов, подлежащих ремонту и отремонтированных, обрабатываемых на вытяжном пути;

$t_{\text{рем}}^c$ – время занятия вытяжного пути обработкой группы вагонов, подлежащих ремонту или отремонтированных;

$\Sigma t_{\text{мест}}^c$ – время занятия вытяжного пути в течение суток обработкой групп местных вагонов, сортировочной платформы и др.;

$t_{\text{техн}}^c$ – затрата времени на экипировку маневрового локомотива, работающего на вытяжном пути (если нет подмены);

$n_{\text{сб}}^c$ – заданное на расчетный период число сборных поездов;

$t_{\text{сб}}^c$ – время занятия вытяжного пути формированием сборного поезда.

В зависимости от схемы станции, организации и характера работы число постоянных операций для каждого вытяжного пути и затрата времени на их выполнение могут быть различными, а иногда некоторые операции вообще могут отсутствовать.

Если для какого – либо направления число поездов (кроме сборных) на расчетный период задано (постоянно), то в $\Sigma T_{\text{пост}}^c$ включается значение $n'_i t_i$ [38].

$$T = [n'_{\text{рас}1} t_{\text{рас}1} + n'_{\text{рас}2} t_{\text{рас}2} + \dots + n'_{\text{фор}1} t_{\text{фор}1} + n'_{\text{фор}2} t_{\text{фор}2} + \dots + (n'_{\text{фор}1} + n'_{\text{фор}2} + \dots)(t_{\text{пер}}^o + t_{\text{в}}) + \Sigma n'_{\text{ман}} t_{\text{ман}}](1 + \rho_c), \quad (5.24)$$

где, кроме указанных ранее обозначений,

$n'_{\text{рас}1}, n'_{\text{рас}2}$ и т. д. – число расформировываемых составов, поступающих соответственно с линий 1, 2 и т. д.;

$t_{\text{рас}1}, t_{\text{рас}2}$ и т. д. – время расформирования состава (с учетом времени на заезд и вытягивание) линий 1, 2 и т. д.;

$n'_{\text{фор}1}, n'_{\text{фор}2}$ и т. д. – число составов своего формирования, отправляемых на линии 1, 2 и т. д.;

$t_{\text{фор}1}, t_{\text{фор}2}$ и т. д. – время формирования состава на линии 1, 2 и т. д.

Для выбранного сортировочного устройства и его конструктивных и технологических параметров: деление состава на шесть частей, скорость выполнения толчка 5 км/ч, уклон вытяжного пути 2,5‰ (рисунок 5.3), при расформировании состава массой 6000 т перерабатывающая мощность НГСУ составила 9,2 сост/сут (644 ваг/сут).

5.4 Выводы по главе

В данном разделе разработана методика определения расходов на маневровую работу при расформировании составов ОИТ. Данная методика учитывает расходы на содержание НГСУ, капитальные затраты, эксплуатационные расходы с учетом времени нахождения вагонов на пути парка в ожидании расформирования и времени на маневровые передвижения.

Данная методика позволяет сравнивать варианты конструкции вытяжного пути, определять оптимальную скорость выполнения толчка, массу состава и соответственно определять количество частей, на которые следует делить состав при расформировании.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Итогом диссертационного исследования стали следующие научные результаты:

1. Выполнен анализ современного состояния теории проектирования негорочных сортировочных устройств. Установлено, что действующие нормативы не в полной мере отражают специфику конструкции и технологии работы НГСУ, в связи с чем необходимы дополнительные исследования, которые были выполнены (в том числе) в данной диссертационной работе.

2. Разработана имитационная модель сортировки вагонов одиночными изолированными толчками с использованием НГСУ. Имитационная модель позволяет определять параметры движения маневрового состава с учетом его веса и длины, числа вагонов для задаваемого плана и продольного профиля сортировочного устройства, а также динамические характеристики движения отцепа после выполнения толчка с учетом его веса и длины, числа вагонов в отцепе, ходовых характеристик каждого вагона в отцепе и условий природной среды.

3. Установлены предельные значения скоростей движения маневрового состава в зависимости от уклона вытяжного пути. Для реализации процесса в широком диапазоне масс маневровых составов необходимо располагать вытяжной путь на уклоне не более 1,5 ‰. Определены расстояния на разгон и торможение маневрового состава для различных параметров вытяжного пути. Установлены максимальные скорости выполнения одиночных изолированных толчков для маневровых составов разных масс при расстоянии на торможение не более 200 м, возможные скорости выполнения толчков находятся в диапазоне от 5 до 22 км/ч.

4. Сформулированы задачи и проведены исследования параметров НГСУ для обеспечения потребной и максимальной дальности пробега отцепов в парк после толчка. Исследованы условия образования интервалов между отцепами и маневровым составом после толчка. Разработана методика расчета параметров стрелочной зоны и вытяжного пути, при которых будет гарантирован отрыв отцепа от состава.

5. Разработана методика определения конструктивных и технологических параметров НГСУ на основе решения задач, необходимых для реализации процесса расформирования составов одиночными изолированными толчками.

6. Разработана методика оптимизации конструктивных и технологических параметров НГСУ при расформировании составов одиночными изолированными толчками, учитывающая капитальные затраты, расходы на содержание НГСУ, эксплуатационные расходы с учетом времени нахождения вагонов на пути парка в ожидании расформирования и времени на маневровые передвижения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ахмадинуров, М.М. Математические модели управления транспортными потоками: монография [Текст] / М.М. Ахмадинуров, Д.С. Завалищин, Г.А. Тимофеева. – Екатеринбург: Урал. гос. ун-т путей сообщ, 2011. – 119 с.
2. Бабенко, К.И. Основы численного анализа [Текст] : научное издание / К.И. Бабенко. – М. : Наука, 1986. – 744 с.
3. Балокин, Г.А. Некоторые вопросы теории маневров толчками [Текст] / Г.А. Балокин // Труды новосибирского института инженеров железнодорожного транспорта. – Новосибирск. – 1959. № XX с. 75-86
4. Бельский, В.С. Влияние величины маневрового состава на расходы, связанные с расформированием грузовых поездов на вытяжных путях станций [Текст] / В.С. Бельский // Сборник материалов Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых 18 декабря 2008 г. Сборник материалов: Интеллект 2008. – Красноярск. с. 213–219. 446 с.
5. Бельский, В.С. Влияние веса маневровых составов на характер расформирования составов на вытяжных путях станций [Текст] / В.С. Бельский// Труды Всероссийской научной конференции 22-24 апреля 2008 г. Научно-технические проблемы транспорта, промышленности и образования. Хабаровск 2008. – Том 3. с. 57 – 61. Стр. 301.
6. Бессоненко, С.А. Математическая модель расчета параметров интервального торможения отцепов и переменных скоростей роспуска составов / С.А. Бессоненко, В.Н. Иванченко, А.М.Лященко // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. 2013. № 1 (49). С. 55-65.
7. Бобровский, В.И. Оптимизация режимов торможения отцепов на сортировочных горках [Текст]: Монография // В.И. Бобровский, Д.Н. Козаченко, Н.П. Божко, Н.В. Рогов, Н. И. Березовый, А.В. Кудряшов. – Днепропетровск: Изд-во Маковецкий, 2010. – 260 с.
8. Бородин, А.Ф. Новая система организации грузового движения на железных дорогах Польши [Текст]. / А.Ф. Бородин // Железнодорожный транспорт.

Серия: Организация движения и пассажирские перевозки. Выпуск 4 М.: ЦНИИТЭИ. 1997.

9. Бородин, А.Ф. Схема размещения и развития сортировочных станций ОАО "РЖД" до 2015 года [Текст] / А. Ф. Бородин // Железнодорожный транспорт. - 2008. - № 1. - С. 48-54.

10. Бузанов, С.П. Проектирование механизированных и автоматизированных сортировочных горок [Текст]. /Учебное пособие для вузов ж.д. трансп./ М.: Транспорт. – 1965. с. 232.

11. Бузанов, С.П. Проектирование сортировочных горок и полугорок и их устройство [Текст] / С.П. Бузанов, А.М. Карпов. – М. : Государственное транспортное железнодорожное издательство, 1954. 237 с.

12. Бурдяк, П.С. Исследование скорости отрыва отцепов при расформировании состава одиночными изолированными толчками на вытяжном пути [Текст] / П.С. Бурдяк // Политранспортные системы. Материалы VII Всероссийской научно-технической конференции. – Новосибирск: Изд-во СГУПС, 2010. С. 93-101.

13. Бурдяк, П.С. Метод расчета уклона стрелочной зоны сортировочного устройства специализированного для работы одиночными изолированными толчками [Текст] / Бурдяк, П.С., Климов А.А. // Современные проблемы и пути их решения в науке, транспорте, производстве и образовании. Материалы международной научно-практической конференции. – Одесса: Изд-во Черноморье, 2010. – Том 1. – С. 61 – 68.

14. Бурдяк, П.С. Методика определения параметров негорочного сортировочного устройства для расформирования составов одиночными изолированными толчками [Текст] / Климов А.А, Бурдяк, П.С.// Модернизация процессов перевозок, систем автоматизации и телекоммуникаций на транспорте. Материалы межрегиональной научно-практической конференции с международным участием. – Хабаровск: Изд-во ДВГУПС, 2010. – Том 1. – С 85-89.

15. Бурдяк, П.С. Определение допустимых конструктивных параметров вытяжного пути при расформировании составов одиночными изолированными

толчками [Текст] / П.С. Бурдяк // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. – 2010. – №2. – С.130-133.

16. Бурдяк, П.С. Определение оптимальных параметров негорочных сортировочных устройств при моделировании расформирования составов одиночными изолированными толчками [Текст] / А.А. Климов, П.С. Бурдяк // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2012. – №2. С. 182-187.

17. Бурдяк, П.С. Определение параметров движения отцепов при расформировании составов толчками [Текст] / П.С. Бурдяк // Наука и молодежь 21 века. Материалы VI научно-технической конференции студентов и аспирантов, посвященной 75-летию СГУПС. – Новосибирск: Изд-во СГУПС, 2008. – С. 3-4.

18. Бурдяк, П.С. Определение положения точек перелома продольного профиля в выходной части сортировочного парка [Текст] / П.С. Бурдяк // Научно-технический журнал «Транспорт Урала». – 2013 г. – №1(36). С. 25-29.

19. Бурдяк, П.С. Определение технологических параметров негорочного сортировочного устройства, используемого для расформирования составов одиночными изолированными толчками [Текст] / П.С. Бурдяк // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. – 2014. – №4. – С.104-108.

20. Бурдяк, П.С. Программа для расчета показателей маневровых полурейсов методом имитационного моделирования с элементами виртуального управления «Маневры-2» / Карасев, С.В., Бурдяк П. С. // Свидетельство о регистрации электронного ресурса 16407 от 22.11.2010. Инв. номер ВНТИЦ № 50201050175 от 22.11.2010.

21. Бурдяк, П.С. Программа имитационного моделирования движения отцепов при выполнении маневров толчками «Скат-1» / Карасев, С.В., Бурдяк П. С. // Свидетельство о регистрации электронного ресурса 16408 от 22.11.2010. Инв. номер ВНТИЦ № 50201050174 от 22.11.2010.

22. Бурдяк, П.С. Развитие теории и методов расчета параметров негорочных сортировочных устройств [Текст] / А.А. Климов, П.С.Бурдяк // Транспорт. Наука, техника, управление. – 2014. – №1. С. 59-63.

23. Бурдяк, П.С. Расчет эксплуатационных расходов на разгон и торможение маневрового состава при расформировании составов на вытяжном пути [Текст] / П.С. Бурдяк // Научно-технические проблемы транспорта, промышленности и образования. Труды Всероссийской научной конференции. – Хабаровск: Изд-во ДВГУПС, 2008. – Том 3. С. 95-98.

24. Вагнер, Г. Основы исследования операций [Текст]: / Г. Вагнер. – М. : Мир. Т. 2. – 1973. – 488 с.

25. Васильев, И.И. Зависимость коммерческой скорости движения поезда от технических элементов и работы железнодорожных участков [Текст] / И.И. Васильев. - Изд. спец. техн. и экон. изд. НКПС. - Петроград : Типолитограф. Сев.-Зап. Округа Путей Сообщ., 1918. - 90 с

26. Гершвальд, А.С. Управление поездной и маневровой работой в парке [Текст]. Автоматика, телемеханика и связь. № 7, 1995. с. 4-7.

27. Гибшман, Е.А. Об устройстве пассажирских и сортировочных станций [Текст]: учеб. пособие для вузов / Е.А. Гибшман. - М. : Транспечать НКПС, 1929. - 273 с.

28. Гончаров, Д.В. Эффект предузловых станций: обоснование показателей [Текст] / Д.В.Гончаров // Мир транспорта. 2012 № 1. с. 110-116.

29. Гончаров, Н.Е. Маневровая работа на железнодорожном транспорте [Текст] /Н.Е. Гончаров, В.П. Казанцев.// М.: Транспорт, 1978. – 183 с.

30. Гренкевич, О.О. Разработка методики выбора оптимального способа формирования многогруппных составов по критерию эксплуатационных расходов на маневровую работу: дис. ... канд. техн. наук : 05.22.08 Сибирский гос. Университет путей сообщения, Новосибирск, 2004. – 177 с.

31. Дружинин, Г.В. Анализ человеко-машинных систем на железнодорожном транспорте [Текст] : учеб. для вузов ж.-д. трансп. по спец. 230201 "Информ. системы и технологии" / Г. В. Дружинин, Ю. Г. Дружинин. - М. : Учеб.-метод. центр по образованию на ж.-д. трансп., 2008. - 287 с.

32. Дубелир, Г.Д. СовеЩательный съезд инженеров службы пути русских железных дорог [Текст]. 27-й. / Г.Д. Дубелир. - Москва. 1907. - М. : 1910 - . Вып. 1. : Протоколы заседаний и труды. - 468 с.

33. Дубелир, Г.Д. О проектировании горок для сортировочных станций [Текст] / Г.Д. Дубелир. - СПб. : 1910. - 9 с.

34. Ермаков, С.М. и др. Математическая теория планирования эксперимента [Текст] / С.М. Ермаков, В.З. Бродский, А.А. Жиглявский. - М.: Наука, 1983. 391 с.

35. Жуков, В.И. Имитация процесса заполнения пути накопления вагонов в сортировочном парке [Текст] / В.И. Жуков // Совершенствование эксплуатационной работы железных дорог: сб. науч. тр. / СГУПС. - Новосибирск, 2002. - С. 119-129.

36. Жуков, В.И. Влияние высоты сортировочной горки малой мощности на эффективность заполнения путей накопления вагонов [Текст] / В.И. Жуков, О.В. Куценко, С.В. Карасёв // Совершенствование эксплуатационной работы железных дорог: Сб. науч. тр. Новосибирск, 2002. с. 108 - 113.

37. Инструкция по проектированию станций и узлов на железных дорогах Союза ССР [Текст]: ВСН 56-78: срок введ. 01.01.79 / Минтрансстрой СССР, МПС СССР. - М. : Транспорт, 1978. - 175 с.

38. Инструкция по расчету наличной пропускной способности железных дорог [Текст]. /Утв. ОАО «РЖД» 10.11.2010 №128. с. 180.

39. Исследование технологических параметров процесса расформирования составов одиночными изолированными толчками на станции Клещиха методом имитационного моделирования [Текст] / А.А. Климов, П.С. Бурдяк, А.А. Гунбин // Отчет по госбюджетной НИР. Новосибирск: изд-во СГУПС, 2011 г. 46 с.

40. Исследование технологических параметров процесса расформирования составов одиночными изолированными толчками в четном парке станции Тайга методом имитационного моделирования [Текст] / А.А. Климов, П.С. Бурдяк // От-

чет по научно-исследовательской работе. - Новосибирск: изд-во СГУПС, 2012 г. 34 с.

41. Карасев, С.В. Влияние конструкции горки, структуры вагонопотока и внешней среды на качество заполнения путей сортировочного парка [Текст]: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.08. Сибирский гос. Университет путей сообщения, Новосибирск, 2003. – 203 с.

42. Карашкевич, И.О. Сортировка вагонов многогруппными толчками [Текст] / И.О. Карашкевич, В.И. Балч. – М. : 1953. – 51 с.

43. Климов, А.А. Совершенствование сортировочных устройств, специализированных для порожних вагонов [Текст] : дис. ... канд. техн. наук: 05.22.08 / Климов Александр Александрович. – Новосибирск, 2001. – 128 с.

44. Козлов, П.А. Иммитационная экспертиза – необходимая процедура в составе транспортного проекта [Текст]: информатизация и связь / П. А. Козлов, А.Э. Александров // Железнодорожный транспорт : Научно-теоретический технико-экономический журнал. - 2010. - N 3. - с. 52-53.

45. Козлов, П.А. Система автоматизированного управления грузопотоками [Текст] / П.А. Козлов, А.С. Мишарин // Труды российского научно-исследовательского института управления на железнодорожном транспорте. – М.: 2002, №1. с. 41-53

46. Корн, Г. Справочник по математике для научных работников и инженеров [Текст]. М.: Наука. – 1984. 809 с.

47. Кузнецова, А.А. Оптимизация технологии вождения грузовых поездов по перегонам по критерию минимума эксплуатационных расходов по пробегу [Текст] : дис. ... канд. техн. наук: 05.22.08, Сибирский гос. Университет путей сообщения, Новосибирск, 2006. – 185 с.

48. Кучумов, Р.В. Автоматизация оперативного управления движением поездов на железнодорожных станциях [Текст] : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.22.08 / Кучумов Роман Владимирович. – СПб., 2009. - 14 с.

49. Левин, Д.Ю. Теория оперативного управления перевозочным процессом [Текст] : монография / Д.Ю. Левин. – М. : Учеб.-метод. центр по образованию на ж.-д. трансп., 2008. – 624 с.

50. Лещинский, Е. Имитационное моделирование на железнодорожном транспорте [Текст] / Е. Лещинский. – М. : 1977. – 176 с.

51. Методика тяговых расчетов для маневровой работы [Текст] / М.: МПС, 1988. – 132 с.

52. Методические рекомендации по составу и содержанию обосновывающих материалов по инвестиционным проектам ОАО «РЖД» [Текст]. Утв. ОАО «РЖД» 05.03.2012. 57 с.

53. Методические указания по сравнению вариантов проектных решений железнодорожных линий, узлов и станций [Текст] : методические указания / ВНИИ трансп. стр-ва. – М. : ВПТИТРАНССТРОЙ, 1988. – 468 с.

54. Муха, Ю.А. Моделирование на ЭЦВМ процесса скатывания отцепов с сортировочной горки [Текст] / Ю.А. Муха, В.М. Бобровский // Автоматизация управления и совершенствование эксплуатационной работы железных дорог: Сб. статей. Свердловск, 1969. Вып. 13. с. 200 – 205.

55. Муха, Ю.А. Автоматизация и механизация переработки вагонов на станциях [Текст] / Ю.А. Муха, И.В. Харланович, В.П. Шейкин и др. – М. : Транспорт, 1985. – 248 с.

56. Назаров, Л.С. Повышение эффективности маневровой работы [Текст] / Л.С. Назаров, С.Л. Назаров // Железнодорожный транспорт. – 2001. № 8. с. 56–57.

57. Нерсесян, Л.С. Психологические аспекты повышения надежности управления движущимися объектами [Текст] : монография / Л.С. Нерсесян. – М. : Промедэк, 1992. – 289 с.

58. Никитин, А.И. Исследование влияния массы состава на оптимальный профиль вытяжного пути, исходя из критерия минимальных эксплуатационных расходов по перестановке состава из сортировочного парка в парк отправления [Текст] / А.И. Никитин // Вузы Сибири и Дальнего Востока – Транссибу: тез.

докл. регион. науч.–практ. конф., Новосибирск, 27-29 нояб. 2002 г. – Новосибирск, 2002. – с. 28.

59. Никитин, А.И. Определение оптимальной геометрии продольного профиля вытяжных путей, исходя из маневровых операций по перестановке составов из сортировочного парка в парк отправления [Текст] / А. И. Никитин // Совершенствование эксплуатационной работы железных дорог: сб. науч. тр. / СГУПС. – Новосибирск, 2004. – с. 41–49.

60. Никитин, А.И. Факторы, влияющие на оптимальный профиль вытяжных путей [Текст] / А. И. Никитин // Наука и молодежь XXI века: материалы науч.-техн. конф., 27-29 окт. 2002 г., г. Новосибирск / СГУПС. – Новосибирск, 2003. – с. 11–13.

61. Образцов, В.Н. Проект распределения узлов на русской железнодорожной сети и сортировочной работы узлов, с целью сокращения маневровой работы и простоя вагонов [Текст] / В.Н. Образцов // Техника и экономика путей сообщения. – 1922. №12. с. 445-466.

62. Павловский, З. Введение в математическую статистику [Текст] / З. Павловский, Ф.Д. Лившиц // М. : – 1967. 286 с.

63. Петров, М. Б. Региональная транспортная система: концепция исследования и модели организации [Текст] / М.Б. Петров. РАН, Ин-т экономики, Урал. гос. ун-т путей сообщ. – Екатеринбург : УрГУПС, 2003. – 187 с.

64. Пособие по применению правил и норм проектирования сортировочных устройств [Текст] / Л. Б. Тишков, В. П. Шейкин, Ю. А. Муха // – М. : Транспорт, 1994. – 220 с.

65. Правдин, Н.В. Расчет закона распределения вероятностей удельного сопротивления движению отцепов на сортировочной горке [Текст] / Н.В. Правдин, С.А. Бессоненко // Транспорт. Наука, техника и управление. ВИНТИ. № 3, 2006. с. 3–10

66. Правила и нормы проектирования сортировочных устройств на железных дорогах колеи 1520 мм [Текст]: утв. МПС РФ 10.10.03. – М. : Техинформ, 2003. – 168 с.

67. Правила и нормы проектирования сортировочных устройств на железных дорогах Союза ССР [Текст]: ВСН 207-89 / МПС СССР. – М. : Транспорт, 1992. – 105 с.

68. Правила и технические нормы проектирования станций и узлов на железных дорогах колеи 1520 мм [Текст]: утв. МПС РФ 28.07.2000. – М. : Техинформ, 2001. – 257 с.

69. Правила технической эксплуатации железных дорог Российской Федерации [Текст]: утв. Минтранс России 21.12.10: введ. 22.09.11. – М. : ТРАНСИНФО ЛТД, 2011. – 255 с.

70. Правила тяговых расчетов для поездной работы [Текст]: утв. 15.08.80 / ВНИИ ж.-д. трансп. – М. : Транспорт, 1985. – 287 с.

71. Пушкин, В. Н. Железнодорожная психология [Текст] / В.Н. Пушкин, Л.С. Нерсеян. – М. : Транспорт, 1971. – 239 с.

72. Разработка имитационной модели процесса расформирования состава одиночными изолированными толчками [Текст]: отчет НИР / Карасев С.В., Климов А.А., Бурдяк П. С. – Новосибирск: Сибирский государственный университет путей сообщения, 2011. – 56 с.

73. Самуйлов, В.М. Региональная логистика. Методология формирования логистических сетей [Текст]: монография / В. М. Самуйлов, Д. С. Якушев, А. В. Петров. – М. : Учеб.-метод. центр по образованию на ж.-д. трансп., 2010. - 143 с.

74. Сивицкий, Д.А., Метод динамического программирования как основа алгоритма решения задачи распределения сортировочной работы на полигоне и в железнодорожном узле толчками [Текст] / Д.А. Сивицкий // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. – 2014. – №4. – с. 21–24.

75. Сотников, Е.А. Железные дороги мира из XIX в XXI век. [Текст] М.: Транспорт. – 1993. 198 с.

76. Сотников, Е.А. История и перспективы мирового и российского железнодорожного транспорта 1800-2100 годы [Текст]. М.: Интекст. – 2005. 110 с.

77. Справочник проектировщика железнодорожных станций [Текст]: пособие/ ред. М.Г. Фельдман. – М. : 1954. – 272 с.

78. Статистические методы обработки эмпирических данных: рекомендации ВНИИ по нормализации в машиностроении [Текст]. М.: Издательство стандартов. – 1978. 232 с.

79. Стратегические направления научно-технического развития ОАО «Российские железные дороги» на период до 2015 г. («Белая книга» ОАО «РЖД») [Текст].

80. Стратегия развития железнодорожного транспорта в Российской Федерации до 2030 года [Текст].

81. Строительно-технические нормы министерства путей сообщения Российской Федерации Ц-01-95 [Текст]: утв. МПС РФ 11.07.1995. – М. : 1995. – 200 с.

82. Текучев, А.В. Автоматизированная система управления маневровой работой станции [Текст]./ А.В. Текучев // Железнодорожный транспорт. – 2006. № 6. с. 51-56.

83. Терешина, Н.П. Экономика железнодорожного транспорта [Текст] / Н.П. Терешина, В.Г. Галабурда, М.Ф. Трихунков и др. – М.: УМЦ ЖДТ, 2006. – 801 с.

84. Технические указания на проектирование станций и узлов [Текст]: утв. МПС СССР 24.11.1947 / ВНИИ ж.-д. трансп. – М. : Трансжелдориздат. – 1948. – 124 с.

85. Технические указания по проектированию станций и узлов на железных дорогах общей сети Союза ССР [Текст]: ВСН 56-61: утв. МПС СССР 12.06.1961 г. – М. : Трансжелдориздат, 1961. – 151 с.

86. Тютюнов, Ю. П. Исследование технологии работы железнодорожных узлов методом имитационного моделирования : автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.22.08 / Тютюнов Юрий Петрович. – Гомель, 1995. – 16 с.

87. Фадеев, Г.М. История железнодорожного транспорта России [Текст] / Фадеев Г.М., Амелин Ф.К., Бернгард Ф.К. и др. // Спб.-М. 1994. 335 с.

88. Федотов, Н.И. Исследование процессов работы и проектирования транспортных систем при колебаниях транспортных потоков [Текст] : дис. ...

канд. техн. наук: 05.22.08 / Федоров Николай Иванович. – Новосибирск, 1971 г. – 470 с.

89. Феофилов, А.Н. Математические основы оптимального управления маневровой работой на грузовой станции по критерию минимизации эксплуатационных расходов [Текст]. Вестник ВНИИЖТа. – 2013 г. – №3. с.49-53.

90. Фигурин, В.А. Теория вероятностей и математическая статистика [Текст] / В.А. Фигурин, В.В. Оболонкин // Минск: Новое знание. – 2000. 208 с.

91. Фролов, А.Н. Сборник статей, касающихся станций и маневров [Текст] / А.Н. Фролов // Саратов : тип. Саратов. отд. Техн. о-ва. – 1906. 144 с.

92. Шабельников, А.Н. Моделирование процесса скатывания отцепов в системе ГАЦ МН / А.Н. Шабельников, В.Р. Одикадзе // Железнодорожный транспорт. 2012. № 3. С. 26-29.

93. Шапкин, И.Н. Эксплуатация железных дорог на рубеже веков [Текст]. (Оптимизация, развитие, перспективы). / И.Н. Шапкин, И.М. Яриков, Е.М. Кожанов // М. : ВИНТИ РАН. – 2011. С. 17-35.

94. Шенк, Х. Теория инженерного эксперимента [Текст] / Х. Шенк // М.: Мир, 1972. – 381 с.

95. Шеннон, Р. Имитационное моделирование систем – искусство и наука [Текст] : Пер. с англ. / Р. Шеннон; Под ред. Е.К. Масловского. – М. : Мир. – 1978. – 418 с.

96. Шипулин, А.В. Автоматизированное построение прогнозируемого графика движения поездов [Текст] : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.22.08 / Шипулин Александр Валерьевич. – Екатеринбург, 2014. – 16 с.

97. Эйлер, Л. Интегральное исчисление [Текст]. Том 1. — М.: 1956. / Л. Эйлер. – М. : ГИТТЛ. 1956. – 415 с.

98. Экономическая оценка показателей эксплуатационной работы Западно-Сибирской железной дороги и ее отделений (грузовое движение) [Текст] / А. П. Дементьев // Зап.-Сиб. ж. д., СГУПС. НИЛ "Экономика трансп.". – Новосибирск. – 2008. – 62 с.

99. «Mini and Maxi Railcar Mover» [Текст], проспект компании Zagro Bahn- und Baumaschinen GmbH.
100. Busing, C. Robust algorithms for sorting railway cars [Текст]. In Proceedings of the 18th Annual European Symposium on Algorithms (ESA-10), volume 6346 of LNCS, p. 350-361. Springer, 2010.
101. Kutz, M. Handbook of transportation engineering [Текст]. The mcgraw-Hill Companies, 2004. p. 937.
102. MiSO TCS Yard [Текст]. Signal und Draht. – 2009. – № 5. – S. 34-37.
103. MOVUS (Mobile Vershubstellsystem) [Текст]. Signal und Draht. – 2007. – № 7/8. – S. 31-34.
104. Organizzazione del «Processo manovra» [Текст]. La Tecnica Professionale. – 2013. – №4. – p.27–43

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Определение конструктивных параметров стрелочной зоны и путей парка при расформировании составов одиночными изолированными толчками

Общие исходные данные участвующие в расчетах для определения профиля участков стрелочной зоны и пути парка представлены в таблицах А.1 – А.3.

Данные по благоприятным и неблагоприятным погодным условиям для целей исследования были приняты по условиям расположения железнодорожной станции Инская (четная горка).

Таблица А.1 – Данные по метеорологическим условиям для движения расчетных бегунов

Погодные условия	Температура воздуха, С град	Скорость ветра, м/с	Угол обдувания, град
Благоприятные	9,57	3,10 (попутный)	12
Неблагоприятные	-6,97	3,32 (встречный)	33

Таблица А.2 – Характеристики расчетных бегунов

Характеристики	Числовые характеристики расчетных бегунов (вагонов)			
	П	Х	ОХ-85	ОХ-100
Расчетный вес q , тс	25	70	85	100
Основное удельное сопротивление ω_0 , кгс/тс	4	0,8	0,5	0,5

Расчеты по моделированию скатывания одиночных бегунов после отрыва от состава при выполнении толчка выполнялись с использованием программы «Скат-1».

Задача 1

Расчет минимальной потребной дальности пробега отцеп в парк (от УТО до РТ) после толчка выполнен для следующих принятых условий:

- отцеп – П-бегун;
- маршрут следования – трудный путь;
- метеорологические условия – неблагоприятные;

- начальная скорость отцепа после отрыва от состава – 5 км/ч;
- для имитации скатывания бегунов рассмотрен вариант плана парка, состоящего из 4 путей (рисунок 3.1).

Характеристики расчетного П-бегуна представлены в таблице А.2.

Трудный путь выбран по суммарной работе сил сопротивления движению (1 путь).

Таблица А.3 – Данные по трудному пути

Номер элемента	Наименование элемента	Длина элемента, м	Угол поворота, град
1	Стрелочный перевод	31,039	6
2	Прямая	16,951	-
3	Стрелочный перевод	31,039	0
4	Прямая	16,951	-
5	Стрелочный перевод	31,039	0
6	Прямая	21,098	-
7	Кривая	22,13	6
8	Прямая	35,75	-
Итого		205,997	12

В результате расчетов определен уклон стрелочной зоны и части пути парка до РТ равный 4,2 ‰. При таком уклоне П-бегун достигает РТ.

Профильная высота элементов стрелочной зоны и части пути парка расположенной от УТО отцепа до РТ, для обеспечения докатывания П бегуна определяется по формуле:

$$h = i \cdot l \cdot 10^{-3} . \quad (\text{А.1})$$

Для конкретного случая составит:

$$h = 4,2 \cdot 203,97 \cdot 10^{-3} = 0,86 \text{ м.}$$

Задача 2

Расчет уклона пути, при котором обеспечивается максимальное расстояние проследования отцепов в парк после толчка, произведен на примере легкого и трудного пути с условием прохождения отцепа до начала противоклона. Расчет

производится для всех путей рассматриваемого негорочного сортировочного устройства (рисунок 3.1). Приняты для расчетов следующие условия:

- отцеп – бегун-Х;
- метеорологические условия – неблагоприятные;
- начальная скорость отцепа после отрыва от состава – 5 км/ч.

Данные для расчета по элементам рассматриваемых путей представлены в таблицах А.4 – А.7.

Таблица А.4 – Данные для расчета по 1-му пути

Номер элемента	Наименование элемента	Длина элемента, м	Угол поворота, град
1	Стрелочный перевод	31,039	6
2	Прямая	16,951	-
3	Стрелочный перевод	31,039	0
4	Прямая	16,951	-
5	Стрелочный перевод	31,039	0
6	Прямая	21,098	-
7	Кривая	22,13	6
8	Прямая	1035,75	-
Итого		1205,997	12

Таблица А.5 – Данные для расчета по 2-му пути

Номер элемента	Наименование элемента	Длина элемента, м	Угол поворота, град
1	Стрелочный перевод	31,039	6
2	Прямая	16,951	-
3	Стрелочный перевод	31,039	0
4	Прямая	16,951	-
5	Стрелочный перевод	31,039	6
6	Прямая	27,54	-
7	Прямая	1050	-
Итого		1204,559	12

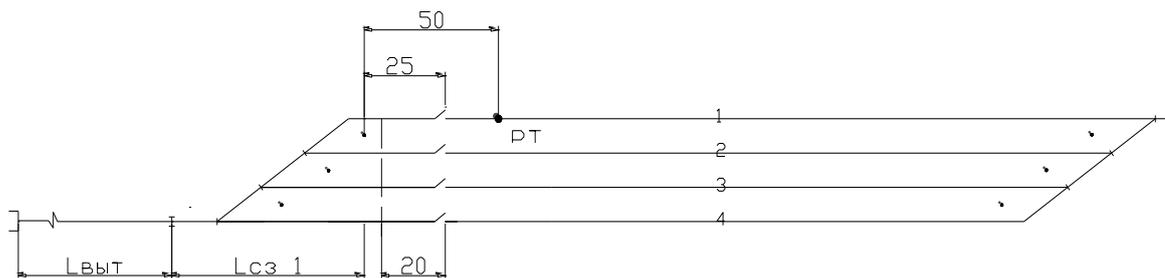
Таблица А.6 – Данные для расчета по 3-му пути

Номер элемента	Наименование элемента	Длина элемента, м	Угол поворота, град
1	Стрелочный перевод	31,039	6
2	Прямая	16,951	-
3	Стрелочный перевод	31,039	6
4	Прямая	27,54	-
5	Прямая	1050	-
Итого		1173,52	12

Таблица А.7 – Данные для расчета по 4-му пути

Номер элемента	Наименование элемента	Длина элемента, м	Угол поворота, град
1	Стрелочный перевод	31,039	0
2	Прямая	1050	-
Итого		1081,039	0

На основании проведенных расчетов получены параметры стрелочной зоны и путей парка, удовлетворяющие условию докатывания Х-бегуна до начала противоуклона, данные представлены на рисунке А.1.



1 путь

Уклон,‰		4,2		0,09	-2
Расстояние, м	206		563,7		236,3

2 путь

Уклон,‰		4,2		0,19	-2
Расстояние, м	154,6		621,4		228,6

3 путь

Уклон,‰		4,2		0,59	-2
Расстояние, м	91,3		753,3		186,7

4 путь

Уклон,‰		4,2		0,82	-2
Расстояние, м	58,6		762,5		182,5

Рисунок А.1– Полученные параметры элементов продольного профиля стрелочной зоны и путей парка

Задача 3

Для проверки остановки бегуна ОХ-85 на противоуклоне при прохождении по выбранному для Х-бегуна уклону пути приняты благоприятные условия, представленные в таблице А.1.

На основании проведенных расчетов и выполненной корректировки длины противоуклона получены параметры стрелочной зоны и пути парка, удовлетво-

ряющие условию исключения выхода бегуна ОХ-85 за пределы полезной длины пути.

Полученные параметры для рассматриваемого сортировочного устройства изображены на рисунке А.1.

Задача 4

При начальном участке стрелочной зоны расположенном на уклоне 4,2‰ П-бегун будет отрываться от состава любой массы (до 6000 т). Корректировка значений уклонов не требуется.

Задача 5

Допустимое значение скорости входа на тормозную, расположенную в парке, позицию составляет 3,5 м/с. Длина юза при торможении не должна превышать 80% длины тормозной позиции. Длина юза определяется по формуле:

$$l_{\text{юз}} = \frac{V_{\text{нач}}^2 - V_{\text{кон}}^2}{2g'(w_0 - i + 42,5)10^{-3}},$$

где V_n, V_k – начальная и конечная скорость отцепа.

Для принятой в расчетах башмачной тормозной позиции длиной 25 м длина юза составляет 16 м.

Данные скорости входа и длина юза при входе расчетного бегуна на тормозную позицию представлены в таблице А.8.

Таблица А.8 – Данные проверки скорости входа и длины юза при входе расчетного бегуна на тормозную позицию

Номер пути	Скорость входа на тормозную позицию, м/с	Длина юза, м	Выполнено условие или нет
1	3,44	15,99	Выполнено
2	3,35	13,8	Выполнено
3	2,65	8,65	Выполнено
4	2,49	7,67	Выполнено

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Оптимизация параметров НГСУ

Б.1 Общие положения

Расчет оптимальных параметров, рассматриваемого НГСУ (Приложение А), производится для следующих условий:

– длина вытяжного пути определена исходя из длины маневрового состава и условия обеспечения его разгона до скорости толчка (раздел 3);

– уклоны вытяжного пути с учетом результатов исследований раздела 3 рассматриваются в следующем диапазоне:

1) при массе состава до 4000 т: 2,5 до –2,5 ‰;

2) при массе состава более 4000 т: 1,5‰ до –1,5 ‰;

– параметры стрелочной зоны и путей парка приняты на основании приложения А;

– масса состава принята 6000 т (72 условных вагона) для исследования данного параметра в максимальном диапазоне (следовательно, рассматривается маневровый состав, состоящий из груженных вагонов);

– начальная скорость движения отцепа (скорость толчка) принята 5 и 10 км/ч;

– число вагонов в отцепе – 3;

– масса отцепа принимается 250 т (три груженных вагона);

– расчет выполнен для следующих вариантов деления маневрового состава на части:

$m = 1$ при массе маневрового состава 6000 т;

$m = 2$ при массе маневрового состава 3000 т;

$m = 3$ при массе маневрового состава 2000 т;

$m = 6$ при массе маневрового состава 1000 т;

– исходное положение: маневровый состав (с локомотивом), подготовленный для расформирования, находится на 4 пути; пути с первого по третий используются для накопления;

– для расчетов приняты значения единичных расходных ставок (по данным работы ЗСЖД за 2008 год), приведенные в таблице Б.1.

Таблица Б.1 – Расходные ставки Западно-Сибирской железной дороги, 2008 г.

Измеритель	Расходные ставки, руб
Вагоно-час	2,3547
Вагоно-километр	0,1716
Тонно-км брутто	0,0057
Тепловозо-километр	10,4933
Тепловозо-час	643,7218
Бригадо-час	402,8
Килограмм условного топлива	7,7919

Б.2 Оптимизация параметров НГСУ по временным показателям

Оптимизация параметров НГСУ по временным показателям произведена для скоростей выполнения толчка 5 и 10 км/ч.

Для скорости выполнения толчка 5 км/ч.

В таблице Б2 представлены затраты времени на выполнение толчков и оттягивание состава различной массы на вытяжном пути ОИГ.

Таблица Б.2 – Затраты времени на расформирование 1, 2, 3, 6 частей состава, мин

Масса, т	Уклон вытяжного пути, ‰;										
	-2,5	-2	-1,5	-1	-0,5	0	0,5	1	1,5	2	2,5
1000 т	3,8	3,5	3,4	3,2	3,3	3,3	3,0	2,9	2,9	2,8	2,7
2000 т	16,5	11,4	10,5	9,8	9,4	9,3	8,4	8,1	7,9	7,7	7,6
3000 т	52,0	20,9	18,3	16,9	15,9	15,4	13,9	13,5	13,8	12,8	12,7
6000 т			71,3	56,1	48,7	46,0	41,4	40,2	40,8		

В таблице Б.3 представлены расходы, связанные с нахождением вагонов в парке в ожидании своей очереди расформирования.

Таблица Б.3– Расходы на нахождение вагонов в парке, руб

Масса, т	Уклон вытяжного пути, ‰;										
	-2,5	-2	-1,5	-1	-0,5	0	0,5	1	1,5	2	2,5
1000 т	161,6	147,4	143,8	140,8	138,3	133,2	126,8	123,2	122,6	119,7	116,1
2000 т	139,8	96,3	88,8	83,2	79,7	76,2	70,8	68,7	67,1	65,5	64,4
3000 т	146,6	59,0	51,6	47,6	44,9	43,4	39,1	38,3	37,7	36,2	35,9
6000 т			51,1	47,8	50,4	44,2	43,6	46,0	49,5		

В таблице Б.4 представлены затраты времени на расформирование состава, учитывающие время расформирования всех частей состава на вытяжном пути, время на производство маневровой работы, время на подготовительно-заключительные операции.

Таблица Б.4 – Время на расформирование состава с учетом времени на маневровую работу и подготовительно заключительные операции, час

Масса, т	Уклон вытяжного пути, ‰;										
	-2,5	-2	-1,5	-1	-0,5	0	0,5	1	1,5	2	2,5
1000 т	1,52	1,48	1,47	1,47	1,46	1,45	1,43	1,42	1,42	1,42	1,40
2000 т	1,50	1,26	1,21	1,18	1,16	1,13	1,11	1,09	1,08	1,08	1,07
3000 т	1,24	1,18	1,11	1,07	1,03	1,00	0,96	0,96	0,95	0,93	0,93
6000 т			1,53	1,28	1,16	1,10	1,03	1,01	1,02		

Расходы на расформирование состава массой 6000 т при делении на части с учетом времени нахождения вагонов на пути парка в ожидании своей очереди расформирования, а также подготовительно-заключительных операций и занятости составительской бригады представлены в таблице Б.5.

Таблица Б.5 – Расходы на расформирование состава при делении на 1, 2, 3, 6 частей, руб

Масса, т	Уклон вытяжного пути, ‰;										
	-2,5	-2	-1,5	-1	-0,5	0	0,5	1	1,5	2	2,5
1000 т	1575,8	1467,3	1430,5	1387,1	1363,6	1338,4	1305,4	1287,1	1288,0	1284,7	1283,4
2000 т	1913,9	1657,3	1564,6	1499,6	1456,0	1421,7	1369,3	1326,6	1309,4	1313,0	1305,8
3000 т	4727,4	2074,4	1825,4	1701,2	1618,6	1536,1	1437,8	1389,9	1349,3	1330,6	1304,5
6000 т			3523,0	2676,9	2347,1	2215,7	1946,8	1790,0	1697,9		

Для скорости выполнения толчка 10 км/ч.

В таблице Б.6 представлены расходы на расформирование состава различной массы на вытяжном пути ОИТ.

Таблица Б.6 – Затраты времени на расформирование 1, 2, 3, 6 частей состава, мин

Масса, т	Уклон вытяжного пути, ‰;										
	-2,5	-2	-1,5	-1	-0,5	0	0,5	1	1,5	2	2,5
1000 т	11,3	10,3	9,6	9,3	8,7	8,5	8,0	7,8	7,6	7,4	7,2
2000 т	48,9	39,1	33,7	30,3	27,8	26,1	24,4	23,5	22,3	21,8	21,5
3000 т	109,0	76,4	61,0	53,0	48,3	44,7	42,0	40,8	38,8	37,6	37,4
6000 т			272,9	175,9	159,8	140,4	113,9	131,6	132,5		

В таблице Б.7 представлены расходы, связанные с нахождением вагонов в парке в ожидании своей очереди расформирования.

Таблица Б.7 – Расходы на нахождение вагонов в парке, руб

Масса, т	Уклон вытяжного пути, ‰;										
	-2,5	-2	-1,5	-1	-0,5	0	0,5	1	1,5	2	2,5
1000 т	203,9	185,7	173,6	167,0	157,3	152,8	144,3	139,8	137,0	132,5	129,8
2000 т	175,9	140,7	121,2	109,1	100,2	94,1	87,9	84,6	80,2	78,7	77,4
3000 т	130,8	91,7	73,2	63,6	58,0	53,6	50,4	48,9	46,6	45,1	44,8
6000 т			51,1	47,8	50,4	44,2	43,6	46,0	49,5		

В таблице Б.8 представлены затраты времени на расформирование состава, учитывающие время расформирования всех частей состава на вытяжном пути, время на производство маневровой работы, время на подготовительно-заключительные операции.

Таблица Б.8 – Время на расформирование состава с учетом времени на маневровую работу и подготовительно-заключительные операции, час

Масса, т	Уклон вытяжного пути, ‰;										
	-2,5	-2	-1,5	-1	-0,5	0	0,5	1	1,5	2	2,5
1000 т	2,27	2,17	2,10	2,06	2,01	1,98	1,94	1,91	1,90	1,87	1,81
2000 т	3,13	2,64	2,37	2,20	2,08	2,00	1,91	1,86	1,80	1,78	1,76
3000 т	4,14	3,05	2,54	2,27	2,11	1,99	1,90	1,86	1,80	1,76	1,75
6000 т			4,89	3,28	2,90	2,50	2,24	2,30	2,55		

Расходы на расформирование состава массой 6000 т при делении на части с учетом времени нахождения вагонов на пути парка в ожидании своей очереди расформирования, а также подготовительно-заключительных операций и занятости составительской бригады представлены в таблице Б.9.

Таблица Б.9 – Расходы на расформирование состава при делении на 1, 2, 3, 6 частей, руб

Масса, т	Уклон вытяжного пути, ‰;										
	-2,5	-2	-1,5	-1	-0,5	0	0,5	1	1,5	2	2,5
1000 т	3013,5	2729,5	2552,2	2455,2	2323,1	2210,6	2113,2	2040,7	2015,3	1975,4	1933,6
2000 т	4897,2	4029,7	3522,3	3191,4	2929,3	2727,9	2562,1	2444,9	2322,8	2307,3	2258,3
3000 т	9364,1	5970,3	4649,5	3976,8	3572,7	3254,6	3013,6	2848,6	2676,9	2575,9	2490,9
6000 т			11418,3	7051,5	6105,3	5166,0	4042,5	4046,6	4188,2		

Б.3 Оптимизация параметров НГСУ по приведенным расходам

Для сравнения вариантов приняты следующие ставки:

– 1 км пути – 10 млн. руб.;

– содержание 1 км пути – 100 тыс. руб./год;

На вытяжном пути расформировывается 4 состава в сутки.

В таблице Б.10 и Б.11 представлены приведенные расходы на расформирование составов ОИТ на вытяжном пути специализированном для такой работы, при скоростях выполнения толчка 5 и 10 км/ч соответственно.

Таблица Б.10 – Приведенные расходы на устройство, содержание вытяжного пути и на расформирование составов, млн. руб.

Масса, т	Уклон вытяжного пути, ‰;										
	-2,5	-2	-1,5	-1	-0,5	0	0,5	1	1,5	2	2,5
1000 т	2,50	2,34	2,29	2,22	2,19	2,15	2,10	2,08	2,08	2,07	2,07
2000 т	3,19	2,82	2,68	2,59	2,52	2,47	2,40	2,33	2,31	2,31	2,30
3000 т	7,50	3,62	3,26	3,08	2,96	2,84	2,69	2,62	2,56	2,54	2,50
6000 т			6,33	5,10	4,61	4,42	4,03	3,80	3,67		

Таблица Б.11 – Приведенные расходы на устройство, содержание вытяжного пути и на расформирование составов, млн. руб.

Масса, т	Уклон вытяжного пути, ‰;										
	-2,5	-2	-1,5	-1	-0,5	0	0,5	1	1,5	2	2,5
1000 т	4,60	4,18	3,92	3,78	3,59	3,43	3,28	3,18	3,14	3,08	3,02
2000 т	7,55	6,28	5,54	5,06	4,67	4,38	4,14	3,97	3,79	3,76	3,69
3000 т	14,27	9,31	7,38	6,40	5,81	5,35	4,99	4,75	4,50	4,35	4,23
6000 т			17,86	11,48	10,10	8,73	7,09	7,10	7,30		

Спряженный профиль, (%)	101,87	2,16	0,3 29,10	2,0	50	100	0,2	100	1,1	48,81	2,9
План пути	429,78										

Рисунок В.2 – Профиль четного вытяжного пути Т-4 станции Тайга

В.2 Имитационное моделирование процесса скатывания отцепов на пути парка после толчка

В.2.1 Общие положения

Исходные данные для расчета:

– Угол между направлением роспуска на вытяжном пути Т–4 и северным румбом 275°.

– Неблагоприятные условия скатывания отцепов:

1) расчетная температура наружного воздуха – - 9,6°С;

2) расчетное направление встречного ветра – С, угол к направлению скатывания вагонов 85°;

3) расчетная скорость встречного ветра – 0,547 м/с.

– благоприятные условия скатывания отцепов:

– расчетная температура наружного воздуха 18,6°С;

2) расчетное направление встречного ветра – ЮЗ, угол к направлению скатывания вагонов 8°;

3) расчетная скорость попутного ветра – 3,07 м/с.

Данные о расчетных бегунах приведены в таблице В.1.

Таблица В.1 – Данные о расчетных бегунах

Расчетный бегун	Основное удельное сопротивление движению, кгс/тс	Вес бегуна, т
П	4	25
Х	0,8	70
ОХ-85	0,5	85
ОХ-100	0,5	100

Начальная скорость скатывания отцепов – 5 км/ч.

Исходные данные по плану и профилю путей маршрутов скатывания расчетных бегунов на пути четного сортировочного парка станции Тайга представлены в таблицах В.2-В.13.

Таблица В.2 – Данные о плане пути №25

№	Элемент	План	
		Угол поворота, °	Длина, м
1	Стрелочный перевод	-5,19	33,367
2	Кривая	5	110,39
3	Прямая	-	54
4	Кривая	40,5	416
5	Прямая	-	64,443
Итого			678,2

Таблица В.3 – Данные о профиле пути №25

Номер элемента профиля	Длина, м	Уклон, ‰
1	21,81	0,8
2	50	5,4
3	50	-1,8
4	50	-0,2
5	150	0,8
6	50	0
7	100	1,9
8	200	1,3
9	6,39	7,8
Итого	678,2	

Таблица В.4 – Данные о плане пути №26

№	Элемент	План	
		Угол поворота, °	Длина, м
1	Стрелочный перевод	0	33,367
2	Прямая	-	18,42
3	Стрелочный перевод	0	33,367
4	Прямая	-	115,12
5	Кривая	47,28	532
6	Прямая	-	81,086
Итого			813,36

Таблица В.5 – Данные о профиле пути №26

Номер элемента профиля	Длина, м	Уклон, ‰
1	19,12	7,3
2	50	0,2
3	50	1,8
4	50	0,4
5	50	1,8
6	50	-0,4
7	100	0,6
8	50	1,2
9	50	2,2
10	50	1,4
11	150	0,3
12	100	2,6
13	44,24	3,6
Итого	813,36	

Таблица В.6 – Данные о плане пути №27

№	Элемент	План	
		Угол поворота, °	Длина, м
1	Стрелочный перевод	0	33,367
2	Прямая	-	18,42
3	Стрелочный перевод	5,19	33,367
4	Прямая	-	25,17
5	Стрелочный перевод	-5,19	33,367
6	Прямая	-	68,57
7	Кривая	53,7	558
8	Кривая	-6	114
9	Прямая	-	33,759
Итого			918,02

Таблица В.7 – Данные о профиле пути №27

Номер элемента профиля	Длина, м	Уклон, ‰
1	19,12	7,3
2	30,59	0,2
3	19,4	-1,6
4	50	4,2
5	50	2,2
6	50	1,4
7	150	0,4
8	100	2,2
9	100	1,6
10	50	0,6
11	50	-0,2
12	150	1,1
13	50	-0,6
14	48,91	2,5
Итого	918,02	

Таблица В.8 – Данные о плане пути №28

№	Элемент	План	
		Угол поворота, °	Длина, м
1	Стрелочный перевод	0	33,367
2	Прямая	-	18,42
3	Стрелочный перевод	5,19	33,367
4	Прямая	-	25,17
5	Стрелочный перевод	0	33,367
6	Прямая	-	27,25
7	Стрелочный перевод	-5,19	33,367
8	Кривая	53	539
9	Кривая	-4,73	87
10	Прямая	-	47
11	Кривая	1	57
12	Прямая	-	43,172
Итого			977,48

Таблица В.9 – Данные о профиле пути №28

Номер элемента профиля	Длина, м	Уклон, ‰
1	19,12	7,3
2	30,59	0,2
3	19,4	-1,6
4	14,06	4,2
5	35,94	5
6	50	5,6
7	50	-0,4
8	50	-1,4
9	100	0,2
10	50	-0,6
11	50	4
12	50	2,8
13	100	1,4
14	50	-0,6
15	50	3,4
16	100	2,4
17	150	1,7
18	8,37	-10,8
Итого	977,48	

Таблица В.10 – Данные о плане пути №29

№	Элемент	План	
		Угол поворота, °	Длина, м
1	Стрелочный перевод	0	33,367
2	Прямая	-	18,42
3	Стрелочный перевод	5,19	33,367
4	Прямая	-	25,17
5	Стрелочный перевод	0	33,367
6	Прямая	-	27,25
7	Стрелочный перевод	-5,19	33,367
8	Прямая	-	9,63
9	Стрелочный перевод	-5,19	33,367
10	Кривая	52,5	502
11	Кривая	-6,5	177
12	Прямая	-	47,115
Итого			973,42

Таблица В.11 – Данные о профиле пути №29

Номер элемента профиля	Длина, м	Уклон, ‰
1	19,12	7,3
2	30,59	0,2
3	19,4	-1,6
4	14,06	4,2
5	35,94	5
6	15,35	5,6
7	34,65	5,5
8	50	2
9	50	-3,6
10	100	0,1
11	50	1,2
12	50	4
13	50	2,2
14	100	0,9
15	150	1,8
16	100	2,3
17	50	4,6
18	50	-0,6
19	4,31	4,6
Итого	973,42	

Таблица В.12 – Данные о плане пути №210

	Элемент	План	
		Угол поворота, °	Длина, м
1	Стрелочный перевод	0	33,367
2	Прямая	-	18,42
3	Стрелочный перевод	5,19	33,367
4	Прямая	-	25,17
5	Стрелочный перевод	0	33,367
6	Прямая	-	27,25
7	Стрелочный перевод	-5,19	33,367
8	Прямая	-	9,63
9	Стрелочный перевод	0	33,367
10	Кривая	-51,3	437
11	Кривая	6,65	166
12	Прямая	-	118,705
	Итого		969,01

Таблица В.13 – Данные о профиле пути №210

Номер элемента профиля	Длина, м	Уклон, ‰
1	19,12	7,3
2	30,59	0,2
3	19,4	-1,6
4	14,06	4,2
5	35,94	5
6	15,35	5,6
7	34,65	5,5
8	5,32	2
9	44,68	4
10	50	-2
11	50	-1
12	50	0
13	50	-0,8
14	100	3,4
15	50	1,4
16	50	0,8
17	50	3,2
18	50	0
19	100	2,3
20	50	0,2
21	50	5,8
22	49,9	1,4
Итого	969,01	

В.2.3 Результаты скатывания расчетных бегунов

На основе сеансов имитационного моделирования скатывания расчетных бегунов с использованием программы «Скат-1» получены длины и уклоны стрелочной зоны и путей парка. Расчетные параметры маршрутов следования расчетных бегунов от разделительной стрелки № 102 на пути парка представлены в таблицах В.14-В.18.

Таблица В.14 – Расчетные параметры пути №25

№ п/п	Длина, м	Уклон, ‰
1	30	1
2	548,2	0,7
3	100	-2
Итого	678,2	

Расстояние по маршруту до начала противоилона 578 м. ОХ-85 останавливается в пределах противоилона. Скорость ОХ-100 не превышает 3,5 м/с.

Таблица В.15 – Расчетные параметры пути №26

№, п/п	Длина, м	Уклон, ‰
1	85	3,5
2	628,04	0,43
3	100,32	-2
Итого	813,36	

Расстояние по маршруту до начала противоклона 713 м. Скорость ОХ-85 в конце маршрута – 0,31 м/с. Скорость ОХ-100 не превышает 3,5 м/с.

Таблица В.16 – Расчетные параметры пути №27

№, п/п	Длина, м	Уклон, ‰
1	144	3,65
2	670,02	0,25
3	104	-2
Итого	918,02	

Расстояние по маршруту до начала противоклона 818 м. Скорость ОХ-85 в конце маршрута – 0,64 м/с. Скорость ОХ-100 не превышает 3,5 м/с.

Таблица В.17 – Расчетные параметры пути №28

№ п/п	Длина, м	Уклон, ‰
1	205	3,8
2	642,48	0,1
3	130	-2
Итого	977,48	

Расстояние по маршруту до начала противоклона 877 м. Скорость ОХ-85 в конце маршрута – 1,23 м/с. Скорость ОХ-100 не превышает 3,5 м/с.

Таблица В.18 – Расчетные параметры пути №29

№ п/п	Длина, м	Уклон, ‰
1	250	3,85 ¹ /3,3
2	611,42	0
3	112	-2
Итого	973,42	

Расстояние по маршруту до начала противоклона 873 м. Скорость ОХ-85 в конце маршрута – 1,22 м/с. Основное сопротивление бегуна не более 3,1 кгс/тс, т.к. скорость входа ОХ-100 в РТ выше нормы.

Таблица В.18 – Расчетные параметры пути №210

№ п/п	Длина, м	Уклон, ‰
1	250	3,85/3,3
2	614,01	0
3	105	-2
Итого	969,01	

¹ В числителе указаны значения уклонов при которых П бегун докатывается до расчетной точки

Расстояние по маршруту до начала противоуклона 869 м. Скорость ОХ-85 в конце маршрута – 1,1 м/с. Основное сопротивление бегуна не более 3,4 кгс/тс, т.к. скорость входа ОХ-100 в РТ выше нормы.

ПРИЛОЖЕНИЕ Г

Справка о результатах исследования параметров сортировочного устройства на железнодорожной станции Тайга



ФИЛИАЛ ОАО «РЖД»
**ЦЕНТРАЛЬНАЯ ДИРЕКЦИЯ
 УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ**
 СТРУКТУРНОЕ ПОДРАЗДЕЛЕНИЕ
**ЗАПАДНО-СИБИРСКАЯ ДИРЕКЦИЯ
 УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ**

Вокзальная магистраль, 12,
 г. Новосибирск, 630004

Тел.: (383) 229-48-02, факс: (383) 229-93-88

«*01*» *августа 2012* г. № *Фд-160*

На № _____ от _____

СПРАВКА

о результатах исследования параметров сортировочного устройства четного парка ст. Тайга Западно-Сибирской железной дороги – филиала ОАО «РЖД», выполненные Бурдяком Павлом Станиславовичем

Исследование конструкции и технологии работы негорочного сортировочного устройства четного парка ст. Тайга для технологии расформирования составов одиночными изолированными толчками выполнено методом имитационного моделирования с использованием программных комплексов «Маневры-2» и «Скат-1», разработанных в ФГБОУ ВПО СГУПС.

В результате были определены оптимальные параметры негорочного сортировочного устройства четного парка ст. Тайга при расформировании составов одиночными изолированными толчками, обеспечивающие:

- безопасность производства сортировочной работы с использованием указанной технологии;
- наибольшую перерабатывающую способность устройства.

Полученные результаты будут использованы при выправке продольного профиля путей четного парка ст. Тайга при проведении плановых ремонтных работ.

Разработанный метод и программный комплекс имеют практическую ценность и в дальнейшем будут использованы для исследования конструкции, технического оснащения и технологии работы негорочных сортировочных устройств, специализированных для технологии расформирования составов одиночными изолированными толчками, других станций Западно-Сибирской железной дороги – филиала ОАО «РЖД».

Начальник дирекции



В.Л.Зобнин

ПРИЛОЖЕНИЕ Д

Справка о внедрении результатов диссертационного исследования



ФИЛИАЛ ОАО «РЖД»
ЗАПАДНО-СИБИРСКАЯ ДИРЕКЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ

«03» 10 2011 г.

№ D2-578

СПРАВКА

О внедрении результатов диссертационного исследования

Бурдяка Павла Станиславовича

Результаты, полученные Бурдяком П.С. при выполнении диссертационной работы на тему: «Методика определения параметров негорочных сортировочных устройств для расформирования составов толчками», имеют прикладное значение для станций, на которых используется технология расформирования/формирования составов методом одиночных изолированных толчков. В частности выполнена апробация имитационной модели расформирования составов толчками для условий станции Клещиха Западно-Сибирской железной дороги – филиала ОАО «РЖД». Полученные результаты соответствуют результатам хронометражных наблюдений с коэффициентом корреляции $r = 0,98$, что свидетельствует об адекватности разработанной имитационной модели.

Для станции Клещиха определены технологические параметры процесса расформирования толчками, обеспечивающие высокую производительность сортировки и безопасность процесса.

Разработанная методика представляет значительную практическую ценность и может быть применена для определения оптимальных конструктивных и технологических параметров негорочных сортировочных устройств других станций ОАО «РЖД», где используется технология расформирования составов одиночными изолированными толчками.

Первый заместитель начальника
Западно-Сибирской дирекции
управления движением, к.т.н., доцент



П.П. Малышев