

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ
Днепровский национальный университет железнодорожного
транспорта имени академика В. Лазаряна
Кафедра «Транспортные узлы»

НАЦИОНАЛЬНАЯ ШКОЛА МАСТЕРСТВА И ПРОФЕССИЙ
СНАМ, ФРАНЦИЯ

«К ЗАЩИТЕ ДОПУЩЕНО»

Заведующий кафедрой:

К.Т.Н., ДОЦЕНТ _____ Березовый Н. И.
(уч. звание, степень) (подпись) (ФИО)

« ____ » _____ 2020 г.

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
К ДИПЛОМНОЙ МАГИСТЕРСКОЙ РАБОТЕ
на получение УВО «магистр»

Направление 27 «Транспорт»

Специальность 273 «Железнодорожный транспорт»

Специализация «Интероперабельность и безопасность на железнодорожном
транспорте»

Тема Усовершенствование параметров системы квазинепрерывного
регулирования скорости отцепов

Выполнил:

ст.гр. 8-Интер _____

(подпись)

Радык Н.А.

(фамилия, имя, отчество)

Руководитель:

К.Т.Н. _____

(уч. звание, степень)

(подпись)

Назаров А.А.

(фамилия и инициалы)

Днепр
2020

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ
Днепропетровский национальный университет железнодорожного
транспорта имени академика В. Лазаряна
Кафедра «Транспортные узлы»

НАЦИОНАЛЬНАЯ ШКОЛА МАСТЕРСТВА И ПРОФЕССИЙ
СНАМ, ФРАНЦИЯ

«УТВЕРЖДАЮ»

Заведующий кафедрой:

К.Т.Н., доцент _____ Березовый Н.И.
(уч. звание, степень) (подпись) (ФИО)

« _____ » _____ 2020 г.

ЗАДАНИЕ
НА ДИПЛОМНУЮ МАГИСТЕРСКУЮ РАБОТУ

Радык Наталия Андреевна

(ФИО)

1. Тема работы

Усовершенствование параметров системы
квазинепрерывного регулирования скорости отцепов

утверждено приказом по университету № 182ст от “ 27 “ 05 2020

2. Срок подачи студентом законченной работы

07 декабря 2020

3. Исходные данные для работы

Технологический процесс работы сортировочной
станции, статистические данные о характере перерабатываемого вагонопотока

КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

Название раздела	Объем %	Количество слайдов
1. Анализ проблем функционирования подсистемы расформирования сортировочной станции	15	
2. Техничко-эксплуатационная характеристика подсистемы расформирования сортировочной станции	15	1
3. Анализ вагонопотока, перерабатываемого на сортировочной горке	15	1
4. Характеристика системы квазинеперерывного регулирования скорости отцепов	20	2
5. Исследование зависимости качества заполнения сортировочных путей вагонами от параметров квазинепрерывного регулирования скорости отцепов	20	2
6. Оценка экономической эффективности использования системы квазинеперерывного регулирования скорости отцепов	15	3

Студент _____ / Радык Н.А. /

Научный руководитель _____ / Назаров А.А. /

СОДЕРЖАНИЕ

Стр.

СПИСОК УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ, СИМВОЛОВ, СОКРАЩЕНИЙ И ТЕРМИНОВ.....	6
ВВЕДЕНИЕ.....	7
1°АНАЛИЗ ПРОБЛЕМ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ПОДСИСТЕМЫ РАСФОРМИРОВАНИЯ СОРТИРОВОЧНОЙ СТАНЦИИ	10
1.1°Проблемы переработки вагонов на сортировочных горках и пути их решения	12
1.2°Концепция регулирования скорости отцепов на сортировочных горках.....	14
1.3°Управление процессом роспуска на сортировочных горках Украины	16
1.4°Заграничный опыт управления процессом роспуска на сортировочных горках.....	24
1.5°Постановка задачи дипломной работы	36
2°ТЕХНИКО-ЭКСПЛУАТАЦИОННАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПОДСИСТЕМЫ РАСФОРМИРОВАНИЯ СОРТИРОВОЧНОЙ СТАНЦИИ	38
2.1°Технико-эксплуатационная характеристика сортировочного комплекса.....	38
2.2°Технология работы подсистемы расформирования	40
2.3°Нормирование маневровой работы на станции	42
3°АНАЛИЗ ВАГОНОПОТОКА, ПЕРЕРАБАТЫВАЕМОГО НА СОРТИРОВОЧНОЙ ГОРКЕ	49
3.1°Определение параметров распределения весовых категорий отцепов	50
3.2°Определение параметров распределения количества вагонов в отцепе	57
3.3°Определение параметров распределения типов вагонов в отцепе	59
4°ХАРАКТЕРИСТИКА СИСТЕМЫ КВАЗИНЕПЕРЕРЫВНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ СКОРОСТИ ОТЦЕПОВ.....	61

					0042.196580.ДР.2020.000			
Зм.	Лист.	№ докум.	Подпись	Дата	Усовершенствование параметров системы квазинеперерывного регулирования скорости отцепов	Стадия	Лист	Листов
Разраб.	Радик					Н	3	125
Руков.	Назаров					ДНУЖТ, 2020		
Зав. каф.	Березовый							

4.1 Устройство и принцип действия ТВУ	64
4.2 Устройство и принцип действия ТВЗУ	67
4.3 Параметры системы квазинеперерывного регулирования скорости отцепов точечными регуляторами	69
5 ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ КАЧЕСТВА ЗАПОЛНЕНИЯ СОРТИРОВОЧНЫХ ПУТЕЙ ВАГОНАМИ ОТ ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМЫ КВАЗИНЕПРЕРЫВНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ СКОРОСТИ ОТЦЕПОВ	76
5.1 Методика исследования показателей качества заполнения сортировочных путей вагонами	78
5.2 Анализ влияния параметров системы квазинеперерывного регулирования скорости отцепов на качество заполнения сортировочных путей вагонами	80
6 ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СИСТЕМЫ КВАЗИНЕПРЕРЫВНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ СКОРОСТИ ОТЦЕПОВ	87
6.1 Расчет капитальных вложений на оснащение сортировочных путей системой квазинеперерывного регулирования скорости отцепов и эксплуатационных расходов на ее содержание	87
6.2 Расчет экономии годовых эксплуатационных расходов, связанных с повреждением вагонов	89
6.3 Расчет экономии годовых эксплуатационных расходов, связанных с простоем составов в парке приема сортировочной станции	97
6.4 Расчет экономии приведенных годовых эксплуатационных расходов	102
ВЫВОДЫ	106
БИБЛИОГРАФИЯ	108
СПИСОК РИСУНКОВ	113
СПИСОК ТАБЛИЦ	115
ПРИЛОЖЕНИЕ А ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ	117
ПРИЛОЖЕНИЕ Б РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ЗАПОЛНЕНИЯ СОРТИРОВОЧНОГО ПУТИ ВАГОНАМИ	121
ПРИЛОЖЕНИЕ В РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ МАНЕВРОВЫХ ОПЕРАЦИЙ	122

АННОТАЦІЯ.....	125
----------------	-----

СПИСОК УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ, СИМВОЛОВ, СОКРАЩЕНИЙ И ТЕРМИНОВ

АГОП – автоматизированные горочные оповестительные устройства;

АЗСР – система автоматического задания скорости роспуска;

АО «УЗ» – акционерное общество «Укрзалізниця»;

АРС – система автоматизированного управления скоростью отцепов в процессе скатывания с горки;

АСУ СС – автоматизированная система управления сортировочной станцией;

ГАЦ – горочная автоматическая централизация;

ДСП – дежурный по станции;

ДСПГ – дежурный по горке;

ДСЦ – маневровый диспетчер;

ЕС – Европейское содружество;

ЗПП – запорно-пломбировочные устройства;

ЗСГ – запрещено спускать с горки;

КСАУ СП – комплексная система автоматизированного управления сортировочным процессом;

ПГП – парковая тормозная позиция;

ПКО – пункт коммерческого осмотра вагонов;

ПТЕ – правила технической эксплуатации;

ПТО – пункт технического осмотра вагонов;

ТВЗ – точечный вагонный замедлитель;

ТВУЗ – точечный вагонный ускоритель-замедлитель;

ЭВМ – электронно-вычислительная машина.

ВВЕДЕНИЕ

Необходимость интеграции железных дорог Украины к европейской транспортной системе выдвигает качественно новые требования относительно уровня услуг по перевозке грузов и пассажиров. Сегодня железнодорожный транспорт функционирует в условиях жесткой конкуренции с другими видами транспорта. В связи с этим проблема повышения качества услуг является крайне важной. Уровень конкурентоспособности железных дорог на рынке транспортных услуг в значительной степени зависит от качества работы железнодорожных станций, которые есть одним из главных элементов транспортной инфраструктуры страны.

В современных условиях функционирования железнодорожного транспорта Украины одним из самых важных элементов в системе организации перевозочного процесса есть сортировочные станции. От эффективности сортировочных станций зависят показатели работы области в целом. Основной задачей работы сортировочных станций является переработка составов, которые прибывают в расформирование. В связи с этим возрастает актуальность проблемы повышения эффективности функционирования сортировочных горок, как основного технического средства расформирования и формирования составов грузовых поездов. Актуальной также остается проблема регулирования скорости скатывания отцепов на путях накопления в сортировочном парке.

Основной технологии расформирования составов на сортировочных горках является такое регулирование скорости движения отцепов, которое обеспечивает разделение маршрутов их движения на стрелках и вагонных замедлителях и заполнение путей сортировочного парка. Управление процессом роспуска вагонов с горки можно разделить на две задачи:

- 1) задачу интервального регулирования скорости, которая заключается в таком управлении тормозными позициями спускной части

горки, при котором обеспечиваются достаточные интервалы между отцепами на разделительных элементах;

2) задачу прицельного регулирования скорости, которая состоит в обеспечении такого торможения, при котором отцепы докатывались бы до точки прицеливания и соединялись с допустимой скоростью на путях накопления.

Известны следующие варианты решения вопросов механизации и автоматизации прицельного торможения: 1) использование ручных башмаков; 2) использование парковых тормозных позиций; 3) использование парковых тормозных позиций и ручных башмаков вместе; 4) использование двух парковых тормозных позиций (вторая парковая тормозная позиция в глубине сортировочного парка); 5) использование вагоноосаживателей; б) использование точечных вагонных замедлителей малой мощности.

Все перечисленные системы механизации и автоматизации расформирования составов призваны обеспечить накопление вагонов на всей длине сортировочных путей без «окон» и соударений с повышенной скоростью.

Обеспечение качественного заполнения путей накопления вагонов, на железных дорогах многих стран происходит за счет внедрения современных технических средств, в частности, новых устройств торможения вагонов.

В данной работе делается попытка исследовать процесс заполнения вагонами сортировочных путей, которые оборудованы средствами распределенного регулирования скорости отцепов, созданных на базе точечных вагонных замедлителей.

В качестве инструмента исследования выступает имитационная модель процесса заполнения отцепами сортировочных путей, оборудованных точечными вагонными замедлителями. Планируется исследовать зависимость показателей качества заполнения сортировочных путей вагонами от параметров системы распределенного регулирования скорости

вагонов, сделать вывод о целесообразности использования точечных вагонных замедлителей на сортировочных путях.

Целью работы является повышение качества заполнения сортировочных путей вагонами и уровня безопасности в процессе расформирования-формирования поездов путем оборудования сортировочных путей системой квазинепрерывного регулирования скорости отцепов.

Объектом исследования является процесс заполнения вагонами сортировочных путей.

Предметом исследования являются параметры системы квазинепрерывного регулирования скорости отцепов на сортировочных путях.

1 АНАЛИЗ ПРОБЛЕМ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ПОДСИСТЕМЫ РАСФОРМИРОВАНИЯ СОРТИРОВОЧНОЙ СТАНЦИИ

Транспорт является одной из базовых отраслей национальной экономики, эффективное функционирование которой является необходимым условием для обеспечения обороноспособности, защиты экономических интересов государства, повышения уровня жизни населения. На сегодня отрасль транспорта в целом удовлетворяет потребности национальной экономики и населения в перевозках, однако уровень безопасности, показатели качества и эффективности перевозок пассажиров и грузов, энергоэффективной, техногенной нагрузки на окружающую природную среду не отвечают современным требованиям и стандартам Европейского Содружества (ЕС).

Серьезными проблемами области транспорта является значительный износ основных производственных фондов, в частности подвижного состава, недостаточный объем инвестиций, необходимых для обновления и обеспечения инновационного развития материально-технической базы, ограниченность бюджетного финансирования и амортизационных отчислений, несовершенство механизма лизинга, низкий уровень использования транзитного потенциала государства. В неотложном решении нуждаются вопросы технического переоснащения и модернизации объектов инфраструктуры железных дорог, аэропортов и морских портов, обеспечение развития сети автомобильных дорог общего пользования в соответствии с темпами автомобилизации страны [1].

В современных условиях, которые характеризуются значительным уровнем конкуренции на рынке транспортных услуг, одной из неотложных задач железнодорожного транспорта для укрепления своих конкурентных позиций является постоянное повышение эффективности функционирования, как в целом, так и отдельных его элементов [2]. Украинские железные дороги в частности, как и транспортная отрасль в целом, нуждаются в инвестициях, направленных на обновление инфраструктуры, подвижного состава и

технологий, чтобы соответствовать европейским и мировым стандартам интероперабельности и безопасности.

Неотъемлемой частью перевозочного процесса на железнодорожном транспорте является техническая работа, связанная с переработкой грузовых поездов на специальных станциях, которые называются сортировочными. Для выполнения сортировочной работы широко используются разные специальные устройства, среди которых основными являются сортировочные горки. В данное время сортировочная горка – это очень сложный комплекс технических сооружений, систем и устройств, который реализует современные достижения в области технологии, управления транспортными объектами с широким использованием микропроцессорной техники и ЭВМ. Акционерное общество «Укрзалізниця» (АО «УЗ») эксплуатирует 22 механизированные сортировочные горки, на которых ежедневно перерабатываются десятки тысяч вагонов [3]. Сортировочные горки играют важную роль в ускорении доставки грузов клиентуре и сокращении простоев вагонов, обеспечении сохранности грузов. В современных условиях, когда на первое место выходят качественные показатели работы железнодорожного транспорта, роль сортировочных горок еще больше возросла.

Значительная часть процессов, которые происходят на железнодорожном транспорте, в том числе и расформирование-формирование поездов на сортировочных горках, относятся к ответственным технологическим процессам и несут потенциальную угрозу людям, окружающей среде и другим технологическим процессам. В связи с этим обеспечения абсолютной безопасности на железнодорожном транспорте является практически невозможным и под безопасностью движения на железнодорожном транспорте понимают такое состояние процесса движения железнодорожного подвижного состава, самого железнодорожного подвижного состава и объектов железнодорожной инфраструктуры во время их эксплуатации, при котором риск возникновения железнодорожных транспортных событий и их последствий не превышает предельно допустимого уровня, а также обеспечивается защита

жизни и здоровье граждан, окружающего природного среды, имущества физических или юридических лиц от последствий таких событий.

Сортировочная горка представляет собой сложный инфраструктурный и технологический комплекс при эксплуатации которого взаимодействуют железнодорожный путь, системы автоматики, телемеханики и связи, маневровые локомотивы, вагоны, грузы, производственный персонал, который повышает сложность проблемы обеспечения безопасности движения. Решению этой проблемы посвящено значительное количество научных работ. На сегодня можно выделить следующие научные направления решения этой проблемы: усовершенствование методов проектирования сортировочных горок, автоматизация и механизация сортировочного процесса, усовершенствование технологии расформирования-формирования составов на горках.

Проблема обеспечения безопасности движения является одной из основных на железнодорожном транспорте. Одним из наиболее опасных процессов, который связан с перевозкой грузов на железнодорожном транспорте, для которого характерно значительное количество случаев производственного травматизма, сходо́в вагонов с рельсов, повреждений вагонов и грузов является расформирование-формирование составов на сортировочных горках. Поэтому вопрос обеспечения безопасности сортировочного процесса является актуальным.

1.1 Проблемы переработки вагонов на сортировочных горках и пути их решения

В современных условиях функционирования железнодорожного транспорта, которые характеризуются падением объемов перевозок и постоянным повышением стоимости энергоресурсов, все большую актуальность приобретают проблемы сокращения эксплуатационных расходов, связанных с расформированием составов грузовых поездов.

В статьях [4, 5] речь идет о возможности удлинения вытяжных путей для уменьшения горочного технологического интервала и снижения

эксплуатационных расходов. Ведь высота горки влияет и на дальность пробега отцепов в сортировочный парк и, соответственно, на объем маневровой работы по осаживанию вагонов для ликвидации окон между ними и связанные с ее выполнением эксплуатационные расходы [6].

Путевое развитие и техническое оснащение сортировочных станций сложились еще во времена СССР, поэтому сейчас технические средства существенно изношены, а финансирование мероприятий по их модернизации и реконструкции практически не осуществляется. В таких условиях основное внимание отводится организационным мерам, которые не нуждаются в значительных капитальных вложениях. Одной из таких мер является усовершенствование специализации сортировочных путей [7].

Не менее важными являются также вопросы повышения эффективности сортировочных комплексов станций, которые обеспечивают процесс переработки вагонопотоков [8]. Ведь эксплуатация сортировочных комплексов станций характеризуется значительной неравномерностью входного потока поездов. В этих условиях целесообразной является адаптация интенсивности сортировочного процесса к колебаниям входного потока, который позволит сократить эксплуатационные расходы станции. В статье [9] разработана имитационная модель процесса надвига и роспуска составов с сортировочной горки. Предложенная модель предусматривает имитацию режима движения маневрового состава и процесса скатывания его отцепов с горки. Она позволяет комплексно оценивать качество сортировочного процесса и определять рациональные режимы расформирования составов. Из-за неравномерности входного потока поездов возникает необходимость оперативно менять режим работы сортировочного комплекса в соответствии с интенсивностью поступления поездов в расформирования [10, 11].

Уровень механизации 22 сортировочных горок 15 решающих станций составляет около 60 процентов – вагонными замедлителями оборудованы все тормозные позиции 13-ти сортировочных горок 8-ми сортировочных станций, немеханизованная ПТП – на 9-ти сортировочных горках [12]. Во времена

СССР было частично автоматизировано (кроме ГАЦ) 4 горки, что составляет 18 процентов горок технических станций.

1.2 Концепция регулирования скорости отцепов на сортировочных горках

Сортировочная горка является важнейшим компонентом сортировочной станции, которая задает и обеспечивает ритм всего технологического процесса расформирования-формирование составов. От работы сортировочных горок, зависит работа сортировочных станций и всего перевозочного процесса в целом. Большинство сортировочных горок, которые эксплуатируются на сети железных дорог, являются механизированными комплексами, оборудованными устройствами регулирования скорости отцепов – горочными и парковыми вагонными замедлителями, с помощью которых осуществляется интервальное регулирование на спускной части горок и прицельное торможение отцепов в сортировочном парке.

На отечественных сортировочных горках в основном используются вагонные замедлители нажимного типа, которые по статистике не всегда вытормаживают отцепы согласно расчетной скорости. На это есть ряд причин:

- замазучивание колес;
- попадание на колеса химических элементов;
- большой износ колес (тонкие колеса) и т.п.

В связи с тем, что вагоны теперь, в основном, частные и принадлежат грузовым компаниям, вопрос об их сохранности стал особенно острым. За плановый ремонт вагона платит грузовая компания, которой принадлежит вагон. А кто будет платить за вагон, поврежденный в дороге, при перевозке груза?

На сортировочных горках АО «УЗ» реализуется концепция интервально-прицельного регулирования скорости отцепов, согласно которой горки оборудуются тормозными позициями. Первая позиция располагается, как правило, перед разделительной стрелкой, вторая за разделительной стрелкой и в начале сортировочных парковых путей третья – ПТП.

Первые две тормозные позиции создают необходимые временные интервалы между вагонными отцепами, которые скатываются с горки, достаточные для переключения соответствующих стрелок, и обеспечивают расчетную скорость отцепов на выходе из этих позиций. ПТП должна обеспечивать допустимую скорость подхода отцепов к вагонам на сортировочном пути (не больше 5 км/ч.) [13].

Механизация процесса торможения вагонов на горке средней мощности позволяет исключить малопродуктивную и опасную работу 30-40 регулировщиков скорости отцепов, в том числе 12-16 чел. на ее спускной части.

Сегодня на сортировочных горках эксплуатируется около 3500 горочных и парковых вагонных замедлителей разных типов. Большинство из них было разработано несколько десятилетий назад и к настоящему времени физически и морально устарели. Они отличаются также повышенным энергопотреблением и трудоемкостью в обслуживании. Примерно 90 % парка эксплуатируемых сегодня вагонных замедлителей физически изношены и нуждаются в полной замене или капитальном ремонте.

Процесс расформирования-формирования составов является одним из самых важных процессов работы участковых, грузовых и сортировочных станций. В этом процессе главную роль играет сортировочная горка, от конструкции и технологии работы которой зависит рациональное использование горочных устройств. Нерациональный выбор конструктивных и технологических параметров сортировочных горок, принципов торможения отцепов приводит к браку в работе и выходу из строя технических средств, повреждению вагонов и порче грузов.

Если бы все вагоны при скатывании с горки двигались с одинаковой скоростью, тогда интервал между отцепами, которые следуют один за другим, равнялся бы начальному интервалу между ними. В действительности удельное сопротивление движению вагонов и дальность пробега их в сортировочном парке различаются, поэтому скорость отцепов, скатывающихся с горки, не одинаковая. Когда предыдущий отцеп движется с меньшей скоростью, чем

отцеп, который движется за ним, интервал между ними будет уменьшаться. Если он уменьшится до такой величины, когда между отцепами, которые последовательно двигаются, невозможно будет перевести разделительную стрелку, тогда отцепы будут попадать не на свой путь назначения и нужна будет дополнительная маневровая работа для того, чтобы переставить их на путь накопления своего назначения [14].

Для нормальной работы горки должен поддерживаться достаточный интервал между отцепами на разделительных стрелках, чтобы пропустить впереди идущий отцеп, и перевести за ним стрелку для следующего отцепа, который движется за ним [15]. Кроме того, при подходе к вагонам на сортировочных путях скорость отцепа, который движется, не должна превышать допустимую скорость соединения вагонов. Нарушение указанного условия может привести к повреждению вагонов и грузов. Если скорость отцепа на сортировочном пути не высока, может возникнуть ситуация, когда пробег отцепа сократится, и он не доедет до точки прицеливания, а на пути накопления образуется окно.

Стремление повысить темп роспуска составов и заполнять пути накопления без окон приводит к обострению противоречия между интервальным и прицельным торможением, которое можно ослабить с помощью точечных регуляторов скорости вагонов, установленных с определенной плотностью на каждом сортировочном пути [16].

1.3 Управление процессом роспуска на сортировочных горках Украины

Отсутствие замедлителей на ПТП требует содержания большой численности эксплуатационного штата на сортировочной горке, который значительно превышает аналогичный штат сортировочных горок за пределами Украины. Этот фактор отрицательно влияет на перерабатывающую способность станций, сохранность грузов и подвижного состава, безопасность движения, охрану труда и себестоимость перевозок.

Предварительный анализ показывает, что количество отцепок вагонов инвентарного парка в текущий ремонт по причинам превышения скорости соударения на сортировочных путях достигло в 2010 году 29 тыс. случаев, а количество травм у сотрудников на сортировочных горках 20 процентов травмированных в службе перевозок [17].

Вопрос автоматизации работы сортировочных горок в Украине не рассматривался, с учетом решения всего комплекса проблем, с момента распада СССР. К причинам, сдерживающим распространение автоматизации процесса расформирования вагонов на сортировочных горках Украины, можно отнести:

- уменьшение загрузки сортировочных горок в связи с падением объемов перевозок, тем самым горки перестали быть «узким местом» пропускной способности направлений и их развитию перестали уделять внимание руководители железных дорог разных уровней;
- отсутствие автоматизированной системы управления сортировочной станцией (АСУ СС), реализованной в полном объеме, с привязкой к работе сортировочной горки;
- отсутствие надёжных автоматизированных средств контроля роспуска состава с горки и защиты от перевода стрелки под подвижным составом;
- отсутствие производственного полигона для проведения испытаний новейшей техники и технологии автоматизации расформирования составов;
- отсутствие в отраслевых научных и научно-производственных предприятиях подразделений и лабораторий развития систем автоматизации производственных процессов (всех подразделений);
- отсутствие современной нормативной документации.

Разновекторность определенных проблем заставляет подходить к их решению программным методом [16].

Учитывая перспективность использования ТВЗ на сети железных дорог Украины, экономически выгодной является разработка отечественной

компьютерной программы расчетов эпюры расположения ТВЗ на спускной части горки и на сортировочных путях. Наличие такой программы позволит:

- проводить техническую экспертизу иностранных проектов систем квазинеперерывного торможения;
- самостоятельно разрабатывать проекты размещения точечных регуляторов скорости отцепов;
- перейти к разработке и активному внедрению систем квазинеперерывного торможения с использованием ТВЗ отечественной конструкции, таким образом полностью ликвидировав технологическое отставание от передовых стран, которые имеют значительный положительный опыт эксплуатации подобных систем [13].

1.3.1 На сортировочных горках Украины с помощью тормозных позиций, расположенных на спускной части горки, регулируют величину интервалов между отцепами на разделительных элементах. Однако, управление балочными вагонными замедлителями негибкое, очень тяжело поддается автоматизации. Горочный оператор может выбрать одну из четырех ступеней торможения в зависимости от нагрузки на ось вагона, а также регулировать момент затормаживания и растормаживание отцепа. Сами замедлители имеют высокую инерционность, из-за чего невозможно добиться точного выполнения команды управления на затормаживание и растормаживание. Кроме того, не разработано единого четкого алгоритма управления балочными вагонными замедлителями тормозных позиций спускной части горки [8].

Общепризнанным является то, что самая важная роль в повышении перерабатывающей способности станций и совершенствовании технологии сортировки вагонов отводится вопросу создания и внедрения средств комплексной механизации и автоматизации производственных процессов на станциях, и этому уделяется надлежащее внимание.

На действующих сортировочных станциях в качестве наиболее рационального пути повышения эффективности работы сортировочных горок, сохранности перевозимых грузов, безопасности роспуска составов и техники

личной безопасности эксплуатационного персонала нужно рассматривать механизацию и автоматизацию сортировочного процесса с использованием балочных вагонных замедлителей современной конструкции и внедрения автоматизированных систем управления сортировочным процессом.

Наряду с возможностью увеличения переработки вагонов механизация и автоматизация операций организации роспуска составов на сортировочной горке призвана решать ряд других важнейших социально-экономических проблем [17]:

- 1) повышение производительности труда;
- 2) ликвидация тяжелой работы регулировщиков скорости движения отцепов и вывод их из опасной зоны;
- 3) обеспечение сохранности вагонного парка и грузов;
- 4) повышение уровня безопасности персонала, не связанного непосредственно с процессом расформирования-формирования поездов.

Однако, анализ состояния, которое сложилось в этой области, показывает, что ожидаемого эффекта от этих мер железнодорожный транспорт не получает. Качество сортировочного процесса оставляет желать лучшего [18].

Уровень повреждаемости вагонов [19] не уменьшается с переходом от ручного торможения (с помощью ручных тормозных башмаков) на механизированное и автоматизированное торможение вагонными замедлителями, особенно на горках большой мощности. Остается слабым эффект от внедрения систем автоматизации сортировочного процесса, несмотря на широкие функциональные возможности этих систем.

Положение ухудшилось по мере завершения перевода вагонного парка на роликовые подшипники, поскольку существующие уклоны сортировочных путей (до 3 ‰ и больше) являются изначально ускоряющими для большинства вагонов. Так, например, на путях с уклонами 1,5–2,0 ‰ практически 90% тяжелых отцепов невозможно затормозить так, чтобы скорость подхода их к вагонам была не высшей за 5 км/ч. Вместе с тем внедрение новых поглощающих аппаратов автосцепных устройств, которые позволяют увеличить допустимую

скорость подхода отцепов к вагонам на сортировочном пути с 5–6 км/ч. до 10–11 км/ч, затягивается на неопределенный срок.

Несмотря на определенные недостатки, концепция интервально-прицельного регулирования скорости скатывания отцепов с сортировочной горки получила широкое распространение на железных дорогах мира [14]. Но для решения проблемы прицельного торможения необходимо комплексное использование вагонных замедлителей и ускорителей (осаживателей), поскольку часть отцепов, которые скатываются с горки, не имеет достаточно энергии, чтобы пройти необходимое расстояние в сортировочном парке. Поэтому, чтобы обеспечить заполнение сортировочных путей без окон, необходимо увеличивать кинетическую или потенциальную энергию указанных отцепов, или принудительно осаживать их на нужное расстояние.

Кроме использования каждого из трех указанных способов возможные также их комбинации. Более целесообразным для повышения кинетической энергии отцепов на входе в сортировочный парк является использование вагонных ускорителей, поскольку это позволит осуществлять выборочное ускорение отцепов.

На действующих сортировочных станциях в качестве наиболее рационального пути повышения эффективности работы сортировочных горок, сохранности перевозимых грузов, безопасности роспуска составов и техники личной безопасности эксплуатационного персонала нужно рассматривать механизацию и автоматизацию сортировочного процесса с использованием балочных вагонных замедлителей современной конструкции и внедрения автоматизированных систем управления сортировочным процессом.

При реализации режимов торможения на тормозных позициях, которые оборудованы балочными вагонными замедлителями, неизбежно возникают погрешности связанные с разными факторами (недостоверностью информации о ходовых свойствах отцепов и об условиях роспуска, точностью настройки системы автоматического регулирования скорости, инерционностью исполнительных устройств, и т.п.), поэтому систему автоматизации нужно

настраивать на такие режимы торможения, которые обеспечивают максимальную надежность разделения всех отцепов состава, который расформируется [19]. Это позволит, с одной стороны, минимизировать вероятность возникновения на спускной части горки нагонов, связанных с возможными ошибками регулирования скорости выхода отцепов из тормозной позиции, а с другой – снизить риски образования окон между отцепами на сортировочных путях и подход отцепов к вагонам на сортировочном пути с опасной скоростью.

На зарубежных сортировочных горках, оборудованных системами квазинеперерывного регулирования скорости отцепов, задача интервального регулирования решается путем обеспечения в стрелочной зоне одинаковой скорости скатывания любых отцепов [15]. За счет этого сохраняются приблизительно одинаковые интервалы между отцепами на всех разделительных стрелочных переводах. На путях накопления в сортировочном парке с помощью точечных регуляторов скорости вагонов поддерживается уровень скорости отцепов в безопасных пределах. Отпадает необходимость содержать дополнительный штат регулировщиков скорости вагонов в сортировочном парке.

1.3.2 По принятой методике высоту сортировочной горки определяют исходя из условия пробега расчетного отцепа с плохими ходовыми свойствами без торможения на расстояние 50 м за ПТП [6]. С учетом того, что для обеспечения интервалов на спускной части горки тормозят отцепы не только с хорошими, но и со средними и плохими ходовыми свойствами, их пробег еще больше уменьшается и возрастает вероятность образования окон. Кроме того, этому содействуют ошибки горочных операторов в определении и реализации скорости выхода отцепов из тормозных позиций из-за отсутствия информации об их ходовых свойствах, инерционности и неточности работы замедлителей, а также из-за неудовлетворительного состояния в плане и профиле сортировочных путей, которые, как показала проведенная на ряде горок геодезическая съемка,

имеют участки не только со значительными уклонами, но и с противоиклонами [20].

Осаживание вагонов на сортировочных путях, исправление ошибок в роспуске, преждевременные остановки роспуска занимают на горках от 30 до 40 % продолжительности перерывов между роспусками составов. Только устранение этих непроизводительных операций позволит повысить перерабатывающую способность горки на 15-20 %. Проведенная во Всесоюзном научно-исследовательском институте железнодорожного транспорта предыдущая технико-экономическая оценка показала высокую эффективность применения альтернативного способа регулирования скорости движения и накопления вагонов на сортировочных путях, расположенных на ускоряющих уклонах, с помощью дополнительной удерживающей ПТП. Применение технологии накопления вагонов на удерживающей ПТП в начале сортировочных путей с дальнейшим продвижением вагонов в глубину сортировочного парка за счет ускоряющего уклона сортировочных путей хотя и способна улучшить эксплуатационные показатели работы горки, но требует значительных расходов на увеличение уклона сортировочных путей, на устройство дополнительной тормозной позиции, а также расходов на управление ею [16].

1.3.3 Поскольку ликвидация окон снижает производительность сортировочной горки, требуя непроизводительных затрат времени и маневровых средств, стремление обеспечить высокий уровень переработки вагонов привело на практике к широкому применению технологии проталкивания преждевременно остановившихся отцепов последующими отцепами, которые направляются на один и тот же путь, со скоростью, которая часто превышает допустимую. С увеличением объемов переработки вагонов на горке происходит значительный рост средней скорости подхода отцепов к вагонам на сортировочном пути. Такая технология существенным образом снижает объем маневровой работы по осаживанию вагонов, но приводит к порче грузов и повреждений вагонов, и даже к сходам вагонов с рельсов [21].

Подход отцепов к вагонам на сортировочном пути с повышенной скоростью вызван не только использованием технологии проталкивания вагонов, но и с неминуемыми ошибками операторов и погрешностями в работе систем автоматизации.

Проведенные Уральским отделением Всероссийского научно-исследовательского института железнодорожного транспорта наблюдения показали, что средняя скорость подхода отцепов к вагонам на сортировочном пути на автоматизированных горках составляет 6,7 км/ч. [16]. Это на 7,5 % выше, чем в среднем по всем сортировочным горкам сети, а вероятность подхода отцепов к вагонам на сортировочном пути со скоростью больше 10 км/ч. выше, чем на механизированных горках.

Повышенные скорости подхода отцепов к вагонам на сортировочном пути - причина повреждения в среднем больше двух вагонов в расчете на 1000 переработанных, а общие потери только от ремонта вагонов составляют около 6 млн грн. в год.

Недостатки прицельного способа регулирования скорости, которые, как показали исследования, не могут быть полностью устранены и при оснащении сортировочных путей двумя тормозными позициями [14]. Дополнительная ПТП располагается при соответствующем обосновании на отдельных сортировочных путях на расстоянии до 400 м вглубь сортировочного парка. Чем дальше в глубину сортировочного парка расположена дополнительная ПТП, тем меньше она используется для регулирования скорости, потому что продолжительное время является занятой вагонами, которые накапливаются на сортировочном пути.

Регулирование скорости ручными тормозными башмаками в глубине сортировочного парка осуществлять тяжело из-за того, что переходить из одного междупутья в другое регулировщикам скорости мешают составы, которые накапливаются на соседних путях [22].

1.4 Заграничный опыт управления процессом роспуска на сортировочных горках

Создание эффективных систем автоматизации сортировочных процессов стало возможным благодаря бурному развитию компьютерной техники и широкого использования ЭВМ. Рассмотрим несколько вариантов систем автоматизации горок, которые нашли широкое применение на заграничных железных дорогах [23]. Зарубежные железные дороги стремятся к повышению объемов переработки вагонопотоков даже в периоды сокращения объемов перевозок и модернизации главных сортировочных станций в перспективе. Сохранность перевозимого груза и подвижного состава в значительной мере зависит от скоростного режима роспуска составов на сортировочных станциях. Внедрение надежных технических решений и автоматизация управления позволяют значительно улучшить этот показатель.

Основным инструментом поддержания скоростного режима роспуска вагонов на сортировочной станции является вагонный замедлитель. Превышение скорости подхода отцепа к группе неподвижных вагонов (больше 5 км/ч) приводит к частичной или полной потере, повреждению груза и подвижного состава. Проблема жестких столкновений вагонов состояла не только в изношенности оборудования, но и в его конструктивном несовершенстве. Для балочных вагонных замедлителей с приводом от массы вагона или с помощью пневматических поршневых цилиндров характерна инерционность работы, нестабильность характеристик торможения, а также сложность наладки и обслуживания.

В последнее время на заграничных железных дорогах имеет место тенденция концентрации переработки вагонов на меньшем количестве станций. В США и Канаде созданы мощные станции для обслуживания укрупненных участков железных дорог и сортировочные комплексы в результате объединения небольших малопродуктивных станций. В европейских странах сортировочная работа также концентрируется в наиболее развитых узлах с закрытием горок малой и средней мощности [24].

С целью оптимизации сортировочного процесса и минимизации повреждений вагонов на сортировочных станциях железных дорог I класса США и Канады установлена информационно-управляющая система PROYARD производства компании General Electric Transportation Systems (GETS). По прибытии вагонов на сортировочную станцию устройства системы автоматической идентификации считывают с вагонных маркеров данные, которые система PROYARD сравнивает с полученными от службы перевозок, подтверждая или корректируя их. Потом вагоны проходят через весы и ряд датчиков, которые определяют их ходовые свойства. В систему PROYARD вводятся эти данные, а также информация о погодных условиях, уклонах сортировочной горки и расстоянии, которые должен пройти каждый вагон до соединения с теми, которые уже остановились на пути накопления в парке. Система определяет тормозную мощность замедлителей трех тормозных позиций, необходимую для обеспечения оптимальной скорости скатывания отцепов, которая исключает преждевременную остановку отцепа, или повреждение груза при столкновении с вагоном, который находится на пути накопления с недопустимо высокой скоростью.

Инерционные замедлители удерживают сцепы вагонов на сортировочных путях. До установки системы PROYARD больше половины общего числа столкновений вагонов происходило со скоростью выше 9,6 км/ч [20]. С введением в эксплуатацию системы порог допустимой скорости не превышает в 90 % случаев. Количество сходов вагонов, вызванных движением с недопустимо большой скоростью, за последние 15 лет снизилось на 60%. За этот же период пересмотрен технологический процесс, улучшены условия работы персонала станции. В результате число вагонов, которые находятся на станции свыше 48 ч, уменьшено на 75%. Кроме того, комплекс проведенных мер, включая создание группы реагирования во главе с начальником службы управления рисками, содействовал уменьшению количества ошибок при сортировке вагонов на 60 % [25].

Канадская компания Canadian National для повышения производительности сортировочной станции Макмиллан, которая расположена на севере от Торонто, внедрила систему PROYARD II. Эта станция имеет горку с двумя путями надвига и 76 сортировочных путей. Два основных замедлителя контролируют скорость роспуска вагонов на первой тормозной позиции, девять групповых замедлителей (пять на западной стороне и четыре на восточной) – на второй. Компания заменила старые замедлители с электромеханическим приводом новыми – гидравлическими производства AAA Sales & Engineering [24z].

До этого станция перерабатывала от 1,8 тыс. до 2 тыс. вагонов в сутки. После модернизации горка с двумя путями надвига позволила увеличить переработку до 3,2 тыс. вагонов через сутки. После установки системы PROYARD II можно ожидать роста производительности минимум до 3,3 тыс. вагонов с перспективой увеличения до 4,2 тыс. вагонов в сутки [24].

В настоящее время для подачи локомотива к подлежащим сортировке вагонам применяется система дистанционного управления LRC. Этот процесс контролирует оператор горки. Локомотив надвигает вагоны на горку со скоростью 24 км/ч. Если при этом нарушается связь вагонов с любым приемником, расположенным по маршруту движения по сортировочному пути, система отключается. Когда локомотив подходит к вершине горки, приемник передает на компьютер локомотива команду снижения скорости движения до 16 км/ч.

В функции системы PROYARD II входит определение скорости роспуска в зависимости от ряда факторов, включая род груза в вагоне. Вагоны с опасными грузами спускают со скоростью около 2,8 км/ч, с остальными грузами – 4 км/ч. Компьютер позволяет точно определять момент выхода вагона на вершину горки и управлять его дальнейшим движением. В результате внедрения новой автоматизированной системы количество вагонов, которые находятся на станции больше 2 суток, сократилось на 75 %, а число ошибок при выполнении сортировочных операций снизилось на 60 %. Компания Union Pacific ежегодно

модернизирует по одной из 12 сортировочных станций, заменяя компьютерные системы, считывающие устройства системы автоматической идентификации вагонов, информационные дисплеи и оборудование центров управления.

Так, после модернизации сортировочная станция Инглвуд в Хьюстоне перерабатывает ежедневно до 3 тыс. вагонов (до модернизации – 1,6-1,8 тыс. вагонов). Горка на станции имеет высоту 17 м, три пути надвига, два из которых могут использоваться одновременно. В сортировочном парке 64 пути, один главный и восемь групповых замедлителей (каждый на семь или восемь путей) и 64 замедлителя на участках без уклона. Сортировка происходит по определенной схеме. Почти весь процесс полностью автоматизирован. Сначала в хвост состава цепляется бустер-секция, которая состоит из двух локомотивов SD40- 2R и бустера S2B.

Несмотря на наличие топливного бака, бустер не имеет дизельных двигателей и энергию для электрических тяговых двигателей берет от тепловоза. Топливный же бак используется обоими тепловозами как дополнительная емкость для топлива. Это позволяет продолжительное время работать без дозаправки. Необходимость бустер-секций обусловлена исключительно весом состава и высотой горки, поскольку одним маневровым локомотивом при надвиге на горку состава массой 12 тыс. т обойтись невозможно.

На каждом вагоне установлен специальный датчик, который считывается компьютером перед надвигом на горку. Это дает диспетчеру информацию о вагонах или отцепах, характере груза и его назначении. Дальше отцеп направляется на весы, потом отцепляется составителем от поезда и скатывается с горки на нужный путь назначения в сортировочном парке. При скатывании отцеп проходит через замедлитель, который снижает его скорость для плавного соединения с составом, который уже находится на пути. Этим процессом управляет компьютер, который рассчитывает дистанцию, которую необходимо пройти до соединения, и по весу отцепа, рассчитывает необходимое тормозное усилие на замедлителях. Любые жесткие соударения вагонов недопустимы.

Более тяжелые составы надвигают на горку усиленными секциями из трех тепловозов и бустера. Мощность такой секции составляет 12 тыс. л.с., масса – 700 т. Когда состав уже накоплен, с противоположной стороны прицепляется магистральный локомотив, который заберет его. В это время, с другой стороны, может продолжаться работа по прицепке маневровыми тепловозами в состав дополнительных вагонов, которые прибыли позже и не прошли через горку.

Широко эксплуатируется на сортировочных горках Европы (во Франции, Бельгии, Люксембурге, Испании, Болгарии, Финляндии), Африки и Азии система горочной автоматизации, разработанная фирмой «Saxbi» (Франция).

В основу функционирования системы заложен принцип «стрельбы в цель». В процессе скатывания параметры отцепов и их движения фиксируются в пяти зонах: на участке отрыва, вход и выходе из тормозной позиции с помощью датчиков веса и скорости, электронных счетчиков осей. Ходовые свойства отцепов определяются по результатам измерения их времени движения между счетчиками осей. Дальность пробега отцепа в подсистеме контроля заполнения пути рассчитывается на основании циклических измерений с помощью генератора полного сопротивления рельсовых цепей на каждом сортировочном пути. Генератор подключается после нижней тормозной позиции и контролирует размещение последней оси вагонов, которые стоят на пути.

Система фирмы «Saxbi» имеет модификацию, в которой вместо нижней позиции на всех путях сортировочного парка используются гидравлические винтовые замедлители фирмы ASEA (Швеция). Для нее нужен непрерывный ускоряющий уклон в парке формирования. Двухпозиционное торможение характерно для сортировочной горки малой и средней мощности [26].

Заграничный опыт свидетельствует в том, что существуют технологии и технические средства с помощью которых на горочных сортировочных станциях можно достичь гарантированного разделения отцепов на разделительных стрелочных переводах спускной части горки и безопасного и полного заполнения вагонами путей накопления сортировочных парков [27].

В мире существуют две концепции управления процессом роспуска составов поездов с горки – с помощью балочных вагонных замедлителей и с помощью ТВЗ [28].

Интерес реализации первой концепции представляет опыт всероссийского научно-исследовательского института автоматизированных систем (ВНИИАС) в решении комплекса автоматизации работы сортировочной станции (система КСАУ СС) с помощью пневматических балочных вагонных замедлителей [29].

Создание КСАУ СС на российских железных дорогах направлено на комплексное решение ряда задач работы сортировочных станций – обеспечение безопасности технологического процесса, сохранности вагонов и грузов, снижение (вплоть до полного исключения) влияния «человеческого фактора»; расширение зоны автоматизации (в частности, путем вывода людей из опасной зоны).

Горочный комплекс автоматической централизации стрелок и сигналов на сегодня обеспечивает автоматическое управление маршрутами скатывания отцепов путем перевода стрелок; контроля выполненного роспуска с автоматической передачей в автоматизированную систему управления сортировочной станцией (АСУ СС) сообщений о местонахождении вагонов, которые расформировываются и их маневровых перемещениях в сортировочном парке. Эти функции ГАЦ позволяют АСУ СС вести модель состояния сортировочного парка в масштабе реального времени, освобождая накопителей от необходимости вводить информацию вручную.

Для обеспечения безопасности роспуска в ГАЦ реализованы алгоритмы программного автоперевода стрелки, защиты от перевода под длиннобазными вагонами, исключение расцепления во время маневров и возможности ударов в бок из-за негабарита.

Современная версия КСАУ СС оснащена цифровой моделью путевого развития станции, которая в совокупности с оборудованием спутниковой навигации в составе постовых и бортовых устройств горочной АЛС – ГАЛС Р

обеспечивает автоматическое позиционирование любого маневрового локомотива на станции, мониторинг перестановок вагонов и заполнения путей в парках приема и отправления.

Появление независимого от традиционного оборудования СЦБ источника информации о местоположении подвижной единицы позволяет своевременно выявлять и регистрировать сбои в работе рельсовых цепей, вести электронные журналы мест проведения работ и обеспечивать безопасность работающих на пути, исключить боковые столкновения из-за негабарита или ошибки машиниста.

Позиционирование и управление поездными локомотивами в пределах станции по радиоканалу между постовыми устройствами ГАЛС Р і КЛУБ-В позволяет повысить уровень безопасности движения.

В Белоруссии и Казахстане внедряются системы Петербургского института ГИПРОТРАНССИГНАЛСВЯЗЬ (ГТСС), которые включают ГАЦ, АРС и КЗП.

В Европе, фирма Сименс применяет систему МСР 32, которая включает управление стрелками и сигналами, гидравлическими балочными замедлителями и локомотивами [30].

Принятая концепция регулирования скорости отцепов обеспечивает необходимую интенсивность роспуска составов, однако из-за наличия некоторых недостатков полностью не исключает сбои в работе сортировочной горки, повреждаемость вагонов и грузов. Это связано главным образом с инерционностью и нестабильностью тормозных характеристик балочных пневматических замедлителей, ошибками в работе горочных операторов и автоматизированных систем управления из-за неполного учета факторов, которые влияют на процесс скатывания отцепов. Несмотря на отмеченные недостатки, системы интервально-прицельного регулирования получили доминирующее распространение на железных дорогах во всем мире и успешно функционируют вот уже почти сто лет [31].

Первые упоминания в литературных источниках о технологии квазинеперерывного регулирования скорости отцепов с использованием ТВЗ, разработанных фирмой Dowty (Великобритания), относятся к концу 60-х годов XX столетия, когда на одном из сортировочных путей станции Ашчерч были установлены такие замедлители и проведены их испытания. В дальнейшем подобные ТВЗ были опробованы и на станции Холл (рисунок 1.1).



Рисунок 1.1 – Точечный вагонный замедлитель типа Trackguard Retarger ТКГ

Сейчас ТВЗ имеют распространение на сортировочных горках Европы (Англия, Германия, Швейцария, Венгрия, Польша, Норвегия), где применяют два принципиально разных типа таких устройств – газонаполненные фирмы Dowty и с тарельчатыми пружинами фирмы Thyssen (Германия). На сортировочных горках Китая применяют газонаполненные ТВЗ фирмы TDJ, которые изготавливаются за английской лицензией и являются по конструкции аналогами ТВЗ фирмы Dowty.

ТВЗ типа Dowty и Thyssen в рабочем режиме способны поглощать от 1200 до 1650 Дж энергии, которая превращается в теплоту. В результате температура

внутри оборудования при каждом срабатывании повышается приблизительно на $1\text{ }^{\circ}\text{C}$, поэтому частота срабатывания ограничена (не более 30 мин^{-1}). При этом величина тормозного усилия, как правило, не превышает 20-22 кН и ограниченная нагрузкам на рельс от колеса вагона легкой весовой категории с таким расчетом, чтобы не допустить его отрыва от рельса в момент взаимодействия с рабочей головкой вагонного замедлителя. При этом чем более тяжелый вагон, тем меньший тормозной эффект приходится на 1 тонну его массы. Такая особенность работы ТВЗ является их органическим недостатком. В результате требуется устанавливать большое количество ТВЗ по пути скатывания вагонов для создания необходимого тормозного эффекта. Как правило, на каждом сортировочном пути устанавливают 800-1200 ТВЗ типа Dowty, Thyssen или TDJ.

Несмотря на указанные недостатки, системы квазинеперерывного регулирования скорости отцепов ТВЗ повышают качество сортировочного процесса, полностью исключают повреждаемость вагонов и порчу грузов. Но для эффективной работы ТВЗ нужен продольный уклон пути не меньше $1,5\text{‰}$. Как правило, при оснащении сортировочных горок системой квазинеперерывного регулирования скорости скатывания отцепов с использованием ТВЗ необходима дорогостоящая реконструкция профиля горки и сортировочных путей.

Особенно нужно подчеркнуть, что высокая надежность работы ТВЗ может быть обеспечена только при высоком качестве их технического обслуживания с организацией на горках специализированных мастерских, которые имеют ценное ремонтное и диагностическое оборудование, испытательные стенды, которые поставляются заводами-изготовителями, как правило, по отдельному контракту. Стоимость таких стендов составляет \$300–400 за штуку, которая намного больше стоимости самих ТВЗ. При невозможности организации необходимого технического обслуживания ТВЗ, особенно китайского производства, быстро выходят из строя, а для восстановления их работоспособности требуется капитальный ремонт в

условиях заводов-изготовителей. Стоимость такого ремонта может достигать 50...70 % и больше от первоначальной стоимости изделия.

Случаи схода вагонов с рельсов на сортировочной горке случаются редко, однако создают продолжительные нарушения в работе станции, вызывают повреждения вагонов и грузов, а также технического оснащения сортировочной горки. Распределенное регулирование скорости с относительно невысокими и близкими к постоянным скоростям отцепов в стрелочной зоне, надежным контролем и точным соблюдением интервалов между отцепами намного уменьшают степень риска попадания отцепов на путь не по назначению [32]. Китайские ТВЗ типа TDJ – это газонаполненные устройства, за конструкцией аналогичные ТВЗ типа Dowty. На сети китайских железных дорог эксплуатируется около 400 тыс. таких устройств.

Некоторый опыт эксплуатации китайских ТВЗ накоплен и на российских железных дорогах. Так, в 90-е годы прошлого столетия небольшая партия китайских ТВЗ типа TDJ в количестве 220 единиц была установленная и испытанная на спускной части горки № 4 станции Ленинград-Сортировочный Московский между первой и второй тормозными позициями на спускной части горки. При этом 117 из них, установленных ближе к первой тормозной позиции, были настроены на критическую скорость срабатывания 5,2 м/с, другие 103 шт. – на скорость 5,5 м/с.

В ходе первого этапа испытаний было установлено, что скорость подхода вагонов ко второй тормозной позиции ощутимо снизилось, поэтому общее количество установленных ТВЗ было уменьшено до 187 шт., а их критическая скорость увеличена. Эти меры позволили поднять скорость подхода ко второй тормозной позиции легких вагонов до 20 км/ч, а для тяжелых отцепов – до 21...23 км/ч. При такой схеме размещения ТВЗ TDJ сортировочная горка № 4 проработала один месяц.

С момента установки ТВЗ был заведен журнал учета отказов и ремонта замедлителей, а также выполнен хронометраж рабочего дня обслуживающего

персонала для нормирования и оценки трудовых расходов на техническое обслуживание устройств.

Было установлено, что в течение этого месяца поток отказов составил 2-3 ТВЗ ежедневно и 4-5 штук - после выходных, потому что в субботу и воскресенье осмотр и ремонт ТВЗ не выполнялся. Характер отказов следующий: выпадение пружинистых шплинтов диаметром 3 мм и откручивание или закручивание регулировочных гаек для изменения значения критических скоростей; расшплинтование уплотнительных гаек рабочей емкости скользящего цилиндра; деформация самого цилиндра и его штока, излом креплений к рельсу.

Большинство неисправностей и отказов ТВЗ не могли быть устранены в эксплуатационных условиях, поскольку требовали конструктивной переработки устройств, возможной только в заводских условиях.

В связи с наступлением холодной поры года и ухудшением ходовых свойств отцепов, все ТВЗ были перенастроены на критические скорости выше допустимых для модели TDJ-302. Это, естественно, привело к увеличению числа отказов в работе устройств.

После первого этапа исследовательской эксплуатации ТВЗ при осмотре колесных пар маневровых тепловозов, которые работают на сортировочной горке № 4, выявленное изнашивание нерабочей поверхности гребня колесных пар по всей окружности колеса. Согласно [11] такие колесные пары локомотивов подлежат выбраковке и исключению их из маневровой и поездной работы. Для снижения величины изнашивания было признано необходимым ограничить скорость движения локомотивов по ТВЗ, что, естественно, ухудшило условия проведения маневровых операций, однако, так и не решило проблемы. После еще двух месяцев опытной эксплуатации все ТВЗ TDJ были сняты с участка между первой и второй тормозной позициями из-за интенсивного изнашивания гребней колесных пар локомотивов и большого количества отказов ТВЗ. На этом первый этап практического использования ТВЗ TDJ на станции Ленинград-

Сортировочный-Московский был завершен. По его результатам были сделаны следующие выводы:

- замедлители TDJ имеют стабильный тормозной эффект, который не зависит от погодных условий и состояния бандажей колесных пар;
- для торможения вагонов не нужно расходовать электроэнергию;
- материальные расходы на монтажные работы по установлению их на пути минимальные.

- трудозатраты на текущее содержание установленных на горке замедлителей TDJ оказались меньше в сравнении с балочными вагонными замедлителями, при этом основная часть регламентных работ должна выполняться в мастерские дистанции, а не на путях;

- для ремонта и технического обслуживания не нужно предоставлять технологические "окна", использовать грузоподъемные механизмы и задействовать работников служб пути и движения.

К основным недостаткам замедлителей TDJ нужно отнести

- невозможность их установки на путях, где проводятся интенсивные маневровые передвижения локомотивов, из-за быстрого изнашивания нерабочей части гребня колесных пар локомотивов;

- ряд узлов и деталей ТВЗ не выдерживает интенсивного роспуска вагонов (более 3000- 4000 вагонов в сутки);

- недостаточная верхняя граница (5 м/с) значения контрольной скорости,
- ослабление прочности рельса из-за большого количества просверленных отверстий (этот недостаток конструкторы уже исправили путем крепления ТВЗ к подошве рельса).

Оценивая результаты проведенных испытаний в целом, можно сказать, что Октябрьской железной дорогой приобретен определенный опыт эксплуатации ТВЗ китайского производства, который может оказаться полезным при решении вопроса о возможности и целесообразности внедрения таких замедлителей и на других железных дорогах [11].

Российскими специалистами в 1989 г. был проведен анализ работы ТВЗ на автоматизированной сортировочной горке станции Ференцварош (Венгрия), которая реконструирована в 1987–1988 гг., имеет 32 сортировочных пути, объединенные в 4 пучка по 8 путей. Она оборудована пучковой тормозной позицией – перед каждым из 4-х пучков установлено по одному гидравлическому весовому замедлителю Thyssen польского производства длиной 18,5 м. Гидросистемы этих замедлителей объединены и связаны с общей насосной станцией, расположенной в междупутье сортировочной горки, что и обеспечивает циркуляцию масла в гидросистеме давлением 120 кг/см^2 [33, 34].

1.5 Постановка задачи дипломной работы

Нерешенных в полной мере проблем в работе комплекса расформирования-формирования составов много. В дипломной работе сконцентрировано внимание на решении одной из них, а именно на решении проблемы улучшения качества заполнения сортировочных путей вагонами. Для этого предложено оборудовать сортировочные пути системой квазинеперывного регулирования скорости отцепов с использованием ТВЗ.

Целью работы является решение проблем, которые связаны с заполнением сортировочных путей вагонами за счет внедрения систем квазинеперывного регулирования скорости отцепов точечными регуляторами.

В исследовании использованы методы имитационного моделирования, теории вероятности и математической статистики, численные методы решения дифференциальных уравнений для разработки модели процесса заполнения вагонами сортировочного пути, а также для анализа целесообразности использования ТВЗ на спускной части сортировочных горок.

Объектом исследования является процесс заполнения сортировочных путей вагонами.

Предметом исследования являются параметры системы квазинеперывного регулирования скорости отцепов в подсистеме расформирования сортировочной станции.

Исследование выполнено на основе обработки результатов моделирования процесса заполнения сортировочного пути вагонами.

В процессе исследования проанализировано влияние параметров системы квазинеперерывного регулирования скорости отцепов на показатели качества заполнения сортировочных путей вагонами, определены условия, при которых оснащение путей системой квазинеперерывного регулирования скорости скатывания отцепов обеспечивает максимальный эффект.

Задача исследования – найти рациональное сочетание параметров системы квазинеперерывного регулирования скорости отцепов, которое обеспечит наилучшие показатели качества заполнения сортировочных путей вагонами.

2 ТЕХНИКО-ЭКСПЛУАТАЦИОННАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПОДСИСТЕМЫ РАСФОРМИРОВАНИЯ СОРТИРОВОЧНОЙ СТАНЦИИ

2.1 Техничко-эксплуатационная характеристика сортировочного комплекса

Объектом исследования данной магистерской работы является подсистема расформирования сортировочной станции (рисунок 2.1). Станция по характеру работы является сортировочной. С нечетной стороны к станции примыкают подходы Б и В, а с четного – подход А. На станции осуществляется прием, отправление, пропуск транзитных поездов, расформирование и формирование поездов, а также подача и уборка вагонов на подъездные пути.

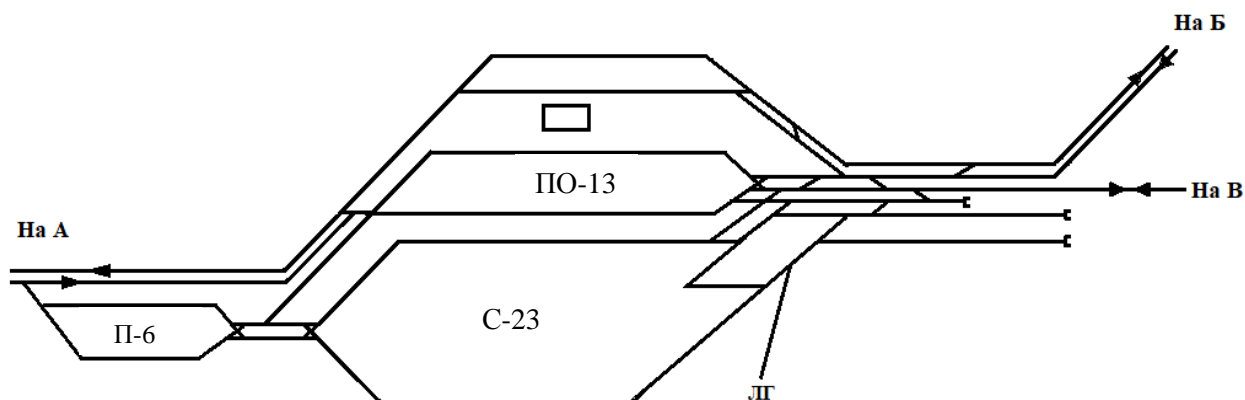


Рисунок 2.1 – Принципиальная схема сортировочной станции

В парке приема П 6 путей, на которых осуществляются:

- прием у расформирование всех грузовых поездов с направлений А, Б и В;
- осуществление маневров и надвиг на горку.

В сортировочном парке 22 пути:

- путевое развитие для расформирования и формирования составов;
- пути для осуществления маневров и ходовые пути.

В приемоотправочном парке Г 13 путей, на которых осуществляются:

- отправление поездов своего формирования на все направления;

- прием и отправление грузовых поездов четного и нечетного направлений;

- маневровые операции (подача и уборка локомотива).

В соответствии с планом формирования, графиком движения поездов, планом грузовой работы станция выполняет такие операции:

- расформирование поездов, которые прибывают в переработку и внутристанционных передач, в том числе длинносоставных;

- формирование сквозных, участковых, сборных, вывозных поездов;

- пропуск транзитных поездов со сменой локомотивов и локомотивных бригад;

- техническое обслуживание и коммерческий осмотр составов;

- отцепку вагонов от транзитных поездов с техническими или коммерческими неисправностями для их устранения;

- подачу вагонов в пункты погрузки-выгрузки на подъездные пути станции, под промывку на дезпром пункт, на пути пунктов перегрузки и уборку их обратно на станцию;

- перестановку составов и групп вагонов из парка в парк;

- пропуск пассажирских поездов и обслуживания пассажиров.

Сортировочная горка автоматизирована, оборудована устройствами горочной автоматической централизации (ГАЦ) и системой автоматического задания скорости роспуска (АЗСР), имеет два пути надвига и один обходной. Пути сортировочного парка увязаны в пучки: 2 пучка по 8 путей в каждом и 1 пучок с 6 путями. Расформирование составов происходит путем надвига на горку из парка приема, потому что он расположен последовательно относительно сортировочного парка. Маневры с вагонами, которые запрещено спускать с горки (ЗСГ) без локомотива выполняются таким образом: горочный локомотив осаживает состав, который распускается, и оставляет вагоны ЗСГ на соответствующем сортировочном пути.

Сортировочная горка имеет три тормозных позиции, сначала первая, вторая – перед главными стрелками пучков, третья – в начале путей

сортировочных парков. На всех тормозных позициях торможение отцепов осуществляется балочными вагонными замедлителями.

Сортировочная горка оборудована автоматизированными горочными оповестительными устройствами (АГОП) для информирования работников горок, парков приема и сортировочного о начале надвига составов на горку. Работники горки применяют следующие устройства для обеспечения техники безопасности во время расцепки вагонов: вилка для расцепки, крюки для расцепки замков автосцепок в случае их неисправности, во время торможения вагонов – вилы для укладки тормозных башмаков.

2.2 Технология работы подсистемы расформирования

2.2.1 Обработка составов по прибытию включает следующие операции: техническое обслуживание и коммерческий осмотр вагонов, контрольную проверку состава и наличия перевозочных документов, снятие хвостовых сигналов [35].

Во время технического обслуживания вагонов по прибытию выявляются технические неисправности, отмечаются вагоны, которые требуют отцепочного ремонта.

Приемщики поездов осматривают составы в коммерческом отношении, во время которого выявляют неисправности вагонов, угрожающие сохранности груза и безопасности движения. В процессе осмотра состава приемщики поездов проверяют наличие запорно-пломбировочных устройств (ЗПУ) на вагонах со следующей сверкой натуральных данных с данными перевозочных документов.

Об окончании технического обслуживания и коммерческого осмотра состава старший осмотрщик вагонов или оператор пункта технического осмотра вагонов (ПТО) и приемщик поездов сообщают дежурному по станции.

Время на коммерческий осмотр вагонов не должно превышать времени, установленного на техническое обслуживание состава.

2.2.2 Получив сообщение с соседней станции об отправлении поезда, дежурный по станции информирует работников ПТО и приемосдатчика груза и багажа о номере поезда, путь и время прибытия на станцию.

Обработка состава по прибытию включает:

- контрольную проверку состава;
- закрепление состава ручными тормозными башмаками;
- отцепка поездного локомотива;
- прием перевозочных документов от локомотивной бригады и сравнение их с натурным листом;
- ограждение состава;
- технический и коммерческий осмотры.

После остановки поезда, закрепления состава ручными тормозными башмаками, согласно технико-распорядительному акту (ТРА) станции, и отцепки поездного локомотива работники ПТО по согласованию с дежурным по станции (ДСП) ограждают состав и начинают проводить технический осмотр вагонов.

Технический осмотр выполняет бригада из 2-х осмотрщиков вагонов.

Параллельно с техническим осмотром приемосдатчик груза и багажа одновременно проверяет состояние вагонов и груза в коммерческом отношении, списывает состав с природы по номерам и передает оператору ЭВМ.

Во время осмотра выявляются вагоны с неисправностями, угрожающими безопасности движения поездов, и сохранности перевозимых грузов, которые нуждаются в отцепочном ремонте, а также неисправности, устранение которых возможно провести на путях станции, проверяется наличие и состояние ЗПУ.

Ремонт вагонов без отцепки их от состава, или устранение коммерческих неисправностей груза в вагонах, которые не нуждаются в отцепке, осуществляется во время осмотра [35].

2.3 Нормирование маневровой работы на станции

Нормирование маневровой работы на станции предусматривает определение технологических норм времени на выполнение маневровых операций в соответствии с рекомендованными нормами, разработанными согласно типовому технологическому процессу работы сортировочной станции.

Маневровая работа распределяется на операции. Составляется перечень последовательного выполнения технологических операций согласно технологическому процессу работы и схемы путевого развития станции [36].

Рассчитывается технологическое время на выполнение отдельных маневровых операций за установленными нормативами времени на их выполнение.

Технологическое время на выполнение нормированного вида маневровой работы определяется суммированием технологического времени на операции, из которых состоит эта работа. Если конкретная работа выполняется двумя или большим числом локомотивов, технологическое время рассчитывается для каждого локомотива отдельно.

Нормы времени на маневровую работу определяются с учетом дополнительных расходов времени на подготовительно-заключительные операции и технологических перерывов, связанных с выполнением маневровой работы на станции. Для удобства определения норм времени на маневровую работу перечень операций и расчеты по определению затрат времени на их выполнение рассчитаны ниже.

Технологической основой работы сортировочной горки является сочетание процесса расформирования и формирования поездов. В процессе роспуска составов вагоны поступают на пути сортировочного парка для формирования составов новых назначений, согласно плану формирования поездов и правил технической эксплуатации (ПТЭ).

Процесс расформирования состава на горке состоит из отдельных операций: заезд маневрового локомотива под состав; продвижка состава на сортировочную горку; роспуск состава с горки; осаживание вагонов на сортировочных путях.

Продолжительность этих операций определяется согласно [37] на основе принципиальной схемы подсистемы расформирования (рисунок 2.2) с приведенными расстояниями между элементами.

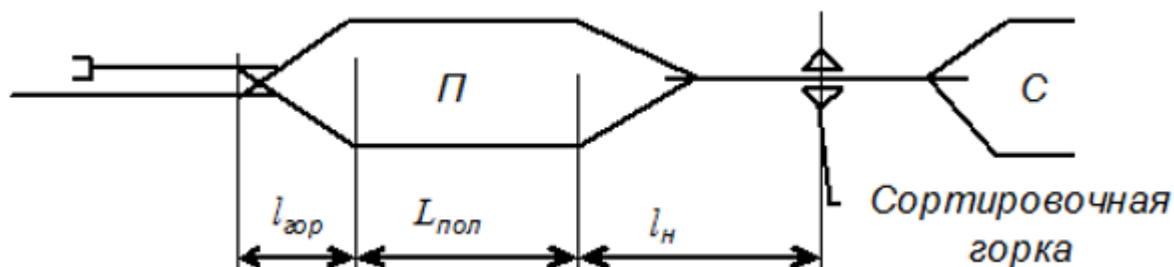


Рисунок 2.2 – Расчетная схема подсистемы расформирования

Технологическое время на расформирование состава с горки состоит из отдельных маневровых операций и определяется по формуле согласно [37]:

$$T_{\text{рф}} = t_3 + t_{\text{сн}} + t_{\text{надв}} + t_{\text{росп}}, \quad (2.1)$$

где t_3 – время заезда маневрового локомотива в парк приема под состав, мин;

$t_{\text{сн}}$ – время на уборку башмаков, мин;

$t_{\text{надв}}$ – время надвига состава к горбу горки, мин;

$t_{\text{росп}}$ – время роспуска состава из сортировочной горки, мин.

Продолжительность заезда маневрового локомотива под состав состоит из продолжительности двух полурейсов заезда

$$t_3 = t'_3 + t''_3, \quad (2.2)$$

где t'_3, t''_3 – соответственно продолжительность заезда от горба горки в тупик и из тупика под состав.

Значения t'_3, t''_3 рассчитываются согласно формуле

$$t_3 = a + b \cdot m_c, \quad (2.3)$$

где a , b – эмпирические коэффициенты, которые зависят от длины полурейса [37];

m_c – количество вагонов, которые переставляют в полурейсе.

В данной формуле b и m_c будут равняться нулю, поэтому время заезда фактически будет равняться коэффициенту a (таблица 2.1).

Таблица 2.1 – Расчет времени заезда локомотива в парк приема за составом

Наименование полурейса	Длина полурейса, $L_3, м$	Норматив времени на выполнение полурейса, $a, мин$	Продолжительность заезда, $T_3, мин$
Заезд с 7 пути на 1 путь	150	0,90	0,90
Заезд с 7 пути на 2 путь	200	0,90	0,90
Заезд с 7 пути на 3 путь	200	0,90	0,90
Заезд с 7 пути на 4 путь	200	0,90	0,90
Заезд с 7 пути на 5 путь	200	0,90	0,90
Заезд с 7 пути на 6 путь	150	0,90	0,90
Заезд с горки на 7 путь	1450	2,89	2,89

Количество вагонов в маневровом составе определяется по формуле [37]:

$$m_c = \frac{Q_{бр}}{q}, \quad (2.4)$$

где $Q_{\text{бр}}$ – масса брутто состава поезда, m (приложение А, таблица А1);

q – средняя масса вагона в составе поезда, m (приложение А, таблица А1).

$$m_c = \frac{3850}{70} = 55 \text{ весов.}$$

$$t_3 = 2,89 + 0,90 = 3,79 \text{ мин, и } t_3 = 5,5 \text{ мин.}$$

2.3.1 Технологическое время надвига состава на сортировочную горку определяется:

$$T_{\text{надв}} = t_{\text{надв}}, \quad (2.5)$$

где $t_{\text{надв}}$ – время надвига состава из парка приема на сортировочную горку, *мин.*

Технологическое время надвига состава на сортировочную горку из парка приема определяется по формуле:

$$t_{\text{надв}} = \frac{0,061 \cdot l_{\text{надв}}}{v_{\text{надв}}}, \quad (2.6)$$

где $l_{\text{надв}}$ – расстояние от вершины горки к средней точке положения предельных столбиков парка приема или к стрелке горочного вытяжного пути, *м*;

$v_{\text{надв}}$ – средняя скорость надвига состава на сортировочную горку, *5 км/ч.*

Состав надвигается на горку из парка приема.

$$l_{\text{надв}} = 142 \text{ м.}$$

$$t_{\text{надв}} = 0,061 \cdot \frac{142}{5} = 1,73 \text{ мин.}$$

2.3.2 Технологическое время роспуска состава с сортировочной горки определяется:

$$T_{\text{росп}} = t_{\text{росп}} + t'_{\text{росп}}, \quad (2.7)$$

где $t_{\text{росп}}$ – время на роспуск состава с горки, без учета дополнительного времени на маневры с вагонами ЗСГ;

$t'_{\text{росп}}$ – увеличение времени роспуска на маневры с вагонами ЗСГ.

Время роспуска составов с горки, без учета дополнительного времени на вагоны ЗСГ, определяется по формуле [15]:

$$t_{\text{росп}} = \frac{0,06 \cdot l_{\text{в}} \cdot m_{\text{с}}}{v_{\text{росп}}} \left(1 - \frac{1}{2 \cdot g_0}\right), \quad (2.8)$$

где $l_{\text{в}}$ – расчетная длина вагона, 15 м;

$m_{\text{с}}$ – число вагонов в составе;

g_0 – число отцепов;

$v_{\text{росп}}$ – средняя расчетная скорость роспуска состава, 5 км/ч.

Для того чтобы определить время на роспуск состава с горки сначала нужно найти среднее число вагонов в отцепе.

Среднее число вагонов в отцепе определим по формуле:

$$x = \sum_1^n k \cdot \delta, \quad (2.9)$$

где k – количество вагонов в отцепе;

δ – вероятность того, что в отцепе будет k вагонов.

Для того, чтобы определить δ была проведенная обработка сортировочных листков поездов у расформирования на станции. Выявлено максимальное количество вагонов в отцепе – 10. Данные наблюдения приведены в приложении А в таблицах А.1 – А.2.

$$x=0,521+0,32+0,250+0,204+0,24+0,142+0,215+0,116+0,140+0,36=2,508 \text{ ваг.}$$

Теперь определим среднее число отцепов по формуле:

$$g_0 = \frac{m_c}{x}, \quad (2.10)$$

$$g_0 = \frac{55}{2,508} = 21,93 \text{ отцепов.}$$

$$t_{\text{росп}} = \frac{0,06 \cdot 15 \cdot 55}{5} \left(1 - \frac{1}{2 \cdot 21,93}\right) = 9,67 \text{ мин.}$$

Увеличение среднего времени роспуска за счет дополнительных маневров с вагонами ЗСГ, что приходится на один расформированный состав, определяется путем статистической обработки хронометражных наблюдений или по формуле [15]:

$$t'_{\text{росп}} = b_{\text{ЗСГ}} \cdot t_{\text{рЗСГ}}, \quad (2.11)$$

где $b_{\text{ЗСГ}}$ – доля составов с вагонами ЗСГ от общего количества составов, которые расформировываются;

$t_{\text{рЗСГ}}$ – время на маневры с вагонами ЗСГ, что приходится на один состав.

Маневры с вагонами, которые запрещено распускать с горки без локомотива, выполняются двумя способами [35]:

- горочный локомотив осаживает состав, который распускается, и оставляет вагоны ЗСГ на специальном или сортировочном пути;

- вагоны ЗСГ отцепляют от состава и в обход горки переставляют в сортировочный парк другим локомотивом, который привлекается дополнительно, а по окончании отпуска переставляется на путь назначения.

Принимаем 1 способ выполнения маневров.

Определим увеличение времени отпуска с учетом отпуска вагонов ЗСГ в составе.

Время на маневры с вагонами ЗСГ определяется [15] в зависимости от времени отпуска состава ($t_{p\text{ЗСГ}} = 8,70 \text{ мин}$).

Доля составов, которые имеют в своем составе вагоны ЗСГ определяется после обработки статистических данных натуральных листов поездов. Было выявлено, что примерно 20 % составов, которые расформировывались на данной станции, имели вагоны ЗСГ. Имея $b_{\text{ЗСГ}}$ и $t_{p\text{ЗСГ}}$ можем определить увеличение времени отпуска состава, связанное с осаживанием вагонов, запрещенных к выпуску с горки, на сортировочный путь маневровым локомотивом.

$$b_{\text{ЗСГ}} = 0,2 \cdot 8,70 = 1,74 \text{ мин.}$$

Теперь определим технологическое время отпуска состава с горки, с учетом времени на вагоны ЗСГ:

$$T_{\text{роп}} = 1,74 + 9,67 = 11,41 \text{ мин.}$$

Тогда технологическое время на расформирование:

$$T_{\text{рф}} = 3,79 + 5,5 + 1,73 + 9,67 = 20,69 \text{ мин.}$$

Таким образом, в данном разделе была рассмотрена техническая характеристика и технологию работы станции Т, а также с учетом требований нормативных документов рассчитанная продолжительность выполнения основных технологических операций с поездами и составами на сортировочной станции.

3 АНАЛИЗ ВАГОНПОТОКА, ПЕРЕРАБАТЫВАЕМОГО НА СОРТИРОВОЧНОЙ ГОРКЕ

Современные исследования процесса роспуска составов с сортировочной горки, как правило, не минуя математического моделирования процесса скатывания отцепов с горки. Модель заполнения вагонами сортировочных путей позволяет задавать профиль сортировочного пути, оборудованного системой квазинеперерывного регулирования скорости отцепов и фиксировать показатели качества процесса накопления вагонов с учетом проталкивания отцепов, которые преждевременно остановились, очередными отцепами. В процессе накопления вагонов на сортировочном пути решаются две задачи: задача наиболее полного заполнения пути вагонами с одной стороны и задача обеспечения безопасной скорости подхода отцепов к вагонам, которые уже остановились на пути, с другой [38].

На процесс влияет множество факторов, большая часть из которых неуправляемые. А качество заполнения сортировочного пути вагонами принято оценивать за степенью заполнения сортировочного пути вагонами и вероятностью подхода отцепов к вагонам в сортировочном парке с допустимой скоростью, причем оба показателя необходимо максимизировать. Кроме того, что эти показатели не в полной мере отображают качество заполнения сортировочного пути вагонами, они являются противоречивыми в том смысле, что при увеличении уклона сортировочного пути и увеличении скорости входа отцепа на сортировочный путь улучшается первый показатель – увеличивается степень заполнения сортировочного пути вагонами, и ухудшается второй – уменьшается вероятность подхода отцепов к вагонам в сортировочном парке с допустимой скоростью.

Для того, чтобы получить показатели качества накопления вагонов на сортировочном пути нужно выполнить наблюдение с фиксацией скоростей подхода отцепов к вагонам на сортировочном пути, а также длины окон между вагонами после роспуска очередного состава и после каждого осаживания или подтягивания вагонов [39].

Провести такие натурные наблюдения технически и организационно очень сложно. Поэтому для решения поставленной задачи использовалась

имитационная модель заполнения вагонами сортировочного пути. Количество вагонов в отцепе моделируется как случайная величина. В качестве исходных данных используются данные натуральных наблюдений веса и количества вагонов в отцепе (приложение А, таблица А.2).

Для каждого вагона в отцепе определяется его вес и тип. Эти данные получены также путем обработки статистических данных натуральных наблюдений. За типом вагона определяется количество осей, нагрузка на ось и расстояния между соседними осями отцепа.

Для статистического анализа использовалась выборка значений весовых категорий отцепов $(x_1, x_2, \dots, x_{n_x})$, полученная в результате наблюдений в течение трех смен (объем выборки $n_x = 100$, таблица А.3 приложению А) на сортировочных путях станции Клепаров, профиль которых отвечает нормативам.

3.1 Определение параметров распределения весовых категорий отцепов

Совокупность полученных значений случайной величины называют простой статистической совокупностью (вариационным рядом). Из-за значительного количества наблюдений она является мало удобной формой представления статистического материала с точки зрения наглядности и анализа. Для представления материала большее компактно и наглядно его нужно дополнительно обработать – построить статистический ряд.

Пользуясь исходными данными из таблицы А1 Приложению А, определим средний вес 1 вагона в отцепе по формуле:

$$q_{\text{ср}} = \frac{Q}{n}, \quad (3.1)$$

где Q – вес отцепа, t ;

n – количество вагонов в отцепе, *ваг.*

Результаты расчета среднего веса 1 вагона в отцепе представлены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Расчет среднего веса вагона в отцепе

№ П/П	Вес отцепа, т	Число вагонов в отцепе	Средний вес вагона в отцепе, т	№ п/п	Вес отцепа, т	Число вагонов в отцепе	Средний вес вагона в отцепе, т	№ П/П	Вес отцепа, т	Число вагонов в отцепе	Средний вес вагона в отцепе, т
1	87	1	87	34	25	1	25	67	730	10	73
2	22	1	22	35	176	8	22	68	74	1	74
3	178	2	89	36	22	1	22	69	75	1	75
4	240	3	80	37	46	2	23	70	152	2	76
5	81	1	81	38	23	1	23	71	44	2	22
6	82	1	82	39	25	1	25	72	32	1	32
7	581	7	83	40	198	9	22	73	168	4	42
8	168	2	84	41	69	1	69	74	141	3	47
9	98	1	98	42	25	1	25	75	79	1	79
10	666	9	74	43	71	1	71	76	58	1	58
11	75	3	25	44	66	1	66	77	63	1	63
12	22	1	22	45	219	3	73	78	315	5	63
13	140	2	70	46	74	1	74	79	83	1	83
14	184	8	23	47	75	1	75	80	414	6	69
15	23	1	23	48	228	3	76	81	27	1	27
16	25	1	25	49	77	1	77	82	82	1	82
17	880	10	88	50	390	5	78	83	44	2	22
18	88	4	22	51	79	1	79	84	23	1	23
19	22	1	22	52	160	2	80	85	92	4	23
20	92	4	23	53	486	6	81	86	100	4	25
21	77	1	77	54	82	1	82	87	84	1	84
22	156	2	78	55	415	5	83	88	50	2	25
23	158	2	79	56	84	1	84	89	52	2	26
24	80	1	80	57	680	8	85	90	27	1	27
25	243	3	81	58	86	1	86	91	375	5	75
26	82	1	82	59	87	1	87	92	76	1	76
27	581	7	83	60	88	1	88	93	154	2	77
28	84	1	84	61	80	1	80	94	156	2	78
29	25	1	25	62	162	2	81	95	357	7	51
30	258	3	86	63	22	1	22	96	80	1	80
31	69	3	23	64	65	1	65	97	164	2	82
32	25	1	25	65	336	4	84	98	77	1	77
33	85	1	85	66	94	1	94	99	415	5	83
								100	48	2	24

Статистический ряд случайной величины значений весовых категорий отцепов представлен в таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Расчет параметров распределения случайной величины значений весовых категорий отцепов по результатам натуральных наблюдений

Весовые категории отцепов	Границы разряда	$\Delta P_j, m$	\bar{P}_j, m	K_j	B_j	$\bar{P}_j B_j, m$	$\bar{P}_j^2 B_j, m^2$	h_j	
Л	22-28	6	25	### ### ///	31	0,31	7,75	193,75	0,052
ЛС	28-44	16	36	//	2	0,02	0,72	25,92	0,001
С	44-60	16	52	///	3	0,03	1,56	81,12	0,002
СТ	60-72	12	66	++++///	8	0,08	5,28	348,48	0,007
Т	72 и больше	24	84	////////////////////	56	0,56	47,04	3951,36	0,024
Всего					100	1	62,35	4600,63	

Примечание: Л – легкая весовая категория; ЛС – легко-средняя; С – средняя; СТ – средне-тяжелая; Т – тяжелая.

Для каждого разряда рассчитываются значения левой ($P_{л}$) и правой ($P_{п}$) границы. Левая граница первого разряда принимается $P_{л(1)} = P_{min}$, а правая и левая граница следующих разрядов определяется как

$$P_{л(j+1)} = P_{п(j)} = P_{л(j)} + \Delta P, \quad (3.2)$$

где ΔP – ширина разряда, которая определяется, как

$$\Delta P = (P_{пj} - P_{лj}), \quad (3.3)$$

Для каждого разряда определяется среднее значение случайной величины (табл. 3.2):

$$\bar{P}_j = \frac{P_{л(j)} + P_{п(j)}}{2}, \quad (3.4)$$

Диапазоны весовых категорий отцепов было взяты из [40].

По количеству наблюдений в каждом разряде (K_j) определяется статистическая вероятность или частота попадания случайной величины в соответствующий разряд:

$$B_j = \frac{K_j}{n}, \quad (3.5)$$

где K_j – количество наблюдений в каждом разряде;

n – количество элементов вариационного ряда.

Полученные значения B_j приводятся в соответствующей графе табл. 3.2 и должны отвечать уму $\sum B_j = 1$.

По смыслу отдельная величина B_j представляет собой частицу случаев или статистическую вероятность того, что случайная величина будет иметь значение в пределах $P_{л(j)} \leq P < P_{п(j)}$.

С использованием B_j для каждого разряда рассчитываются величины $\bar{P}_j B_j$ та $\bar{P}_j^2 B_j$, которые приводятся в соответствующих графах табл. 3.2, и определяются их суммы $\sum \bar{P}_j B_j$ и $\sum \bar{P}_j^2 B_j$.

Для наглядности статистический ряд представлен в графическом виде, для чего предварительно рассчитаны ординаты гистограммы – статистические плотности вероятностей соответствующих разрядов:

$$h_j = \frac{B_j}{\Delta P_j}. \quad (3.6)$$

Полученные величины h_j приведены в соответствующей графе табл. 3.2.

На гистограмме (рисунок 3.1) по оси P откладываются границы разрядов $P_{л}$ и $P_{п}$, а по оси h – соответствующие значения h_j каждого разряда. Полученные в графическом виде прямоугольники являются гистограммой распределения случайной величины P .

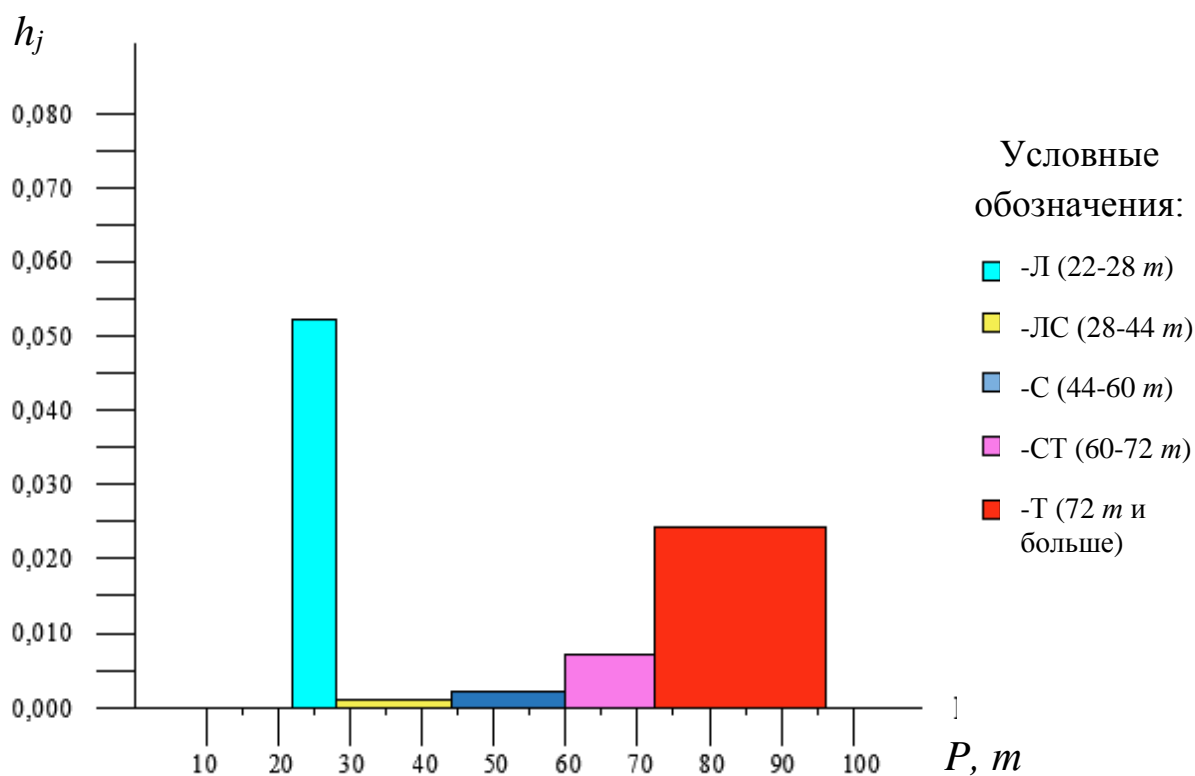


Рисунок 3.1 – Гистограмма распределения случайной величины
весовой категории отцепов

По смыслу площадь отдельного прямоугольника гистограммы представляет собой статистическую вероятность (P_j) попадания случайной величины в соответствующий разряд, а их общая площадь равняется единице.

Например, для весовой категории Л:

$$\Delta P = (P_{nj} - P_{пj}) = 28 - 22 = 6 \text{ м};$$

$$\bar{P}_j = \frac{P_{л(j)} + P_{п(j)}}{2} = \frac{22 + 28}{2} = 25 \text{ м};$$

$$B_j = \frac{K_j}{n} = \frac{31}{100} = 0,31;$$

$$\bar{P}_j B_j = 25 \cdot 0,31 = 7,75 \text{ м};$$

$$\bar{P}_j^2 B_j = 25^2 \cdot 0,31 = 193,75 \text{ м}^2;$$

$$h_j = \frac{B_j}{\Delta P} = \frac{0,31}{6} = 0,052 \text{ м}^{-1}.$$

Среднее статистическое значение весовых категорий отцепов (оценка математического ожидания) рассчитывается так:

$$M[P] = \sum_{j=1}^c \bar{P}_j B_j, \text{ м}. \quad (3.7)$$

Из табл. 3.2 имеем $M[P] = 62,35 \text{ м}$.

Величина $M[P]$ по смыслу представляет собой абсциссу центра масс гистограммы (см. рис. 3.1), относительно которой рассеяны значения случайной величины.

Среднее статистическое значение квадрата весовых категорий отцепов

$$M[P^2] = \sum_{j=1}^c \bar{P}_j^2 B_j. \quad (3.8)$$

Из табл. 3.2 имеем $M[P^2] = 4600,63 \text{ м}^2$.

Статистическая дисперсия весовых категорий отцепов

$$D[P] = M[P^2] - M[P]^2. \quad (3.9)$$

Дисперсия характеризует колебание случайной величины относительно ее среднестатистического значения и представляет собой среднюю величину квадрата отклонения случайных значений от математического ожидания $M[P]$.

Для примера $D[P] = 4600,63 - 62,35^2 = 713,108 \text{ м}^2$.

Среднеквадратическое отклонение весовых категорий отцепов

$$\sigma[P] = \sqrt{D[P]}.$$

В примере $\sigma[P] = \sqrt{713,108} = 26,704 \text{ м}$.

Коэффициент вариации случайной величины весовых категорий отцепов – относительная мера рассеивания случайной величины

$$g_{\text{вх}} = \frac{\sigma[P]}{M[P]}. \quad (3.10)$$

Для условий примера $g_{\text{вх}} = \frac{26,704}{62,35} = 0,428$.

Проанализировав данные, следует обратить внимание на то, что на станцию прибывает наибольшее количество отцепов тяжелой весовой категории, меньше – легкой и совсем мало на сортировочную станцию прибывает отцепов легко-средней, средней и средне-тяжелой весовых категорий.

$$m_i^2 B_i = 1^2 \cdot 0,52 = 0,52 \text{ ваг}^2.$$

По данным статистического ряда выполняются расчеты параметров распределения случайной величины m .

Среднее статистическое значение математического ожидания

$$M[m] = \sum m_i B_i = 2,54 \text{ ваг}.$$

Статистическая дисперсия

$$D[m] = \sum m_i^2 B_i - (M[m])^2 = 11,86 - 2,54^2 = 5,408 \text{ ваг}^2.$$

Среднеквадратическое отклонение

$$\sigma[m] = \sqrt{D[m]} = \sqrt{5,408} = 2,326 \text{ ваг}.$$

Коэффициент вариации

$$\mathcal{V}[m] = \frac{\sigma[m]}{M[m]} = \frac{2,326}{2,54} = 0,916.$$

По данным статистического ряда строится график статистического распределения вероятностей B_i случайной величины m (рисунок 3.2). Нужно иметь в виду, что для случайных величин дискретного типа вероятности существуют только в отдельных точках, которые отвечают возможным значениям величины m .

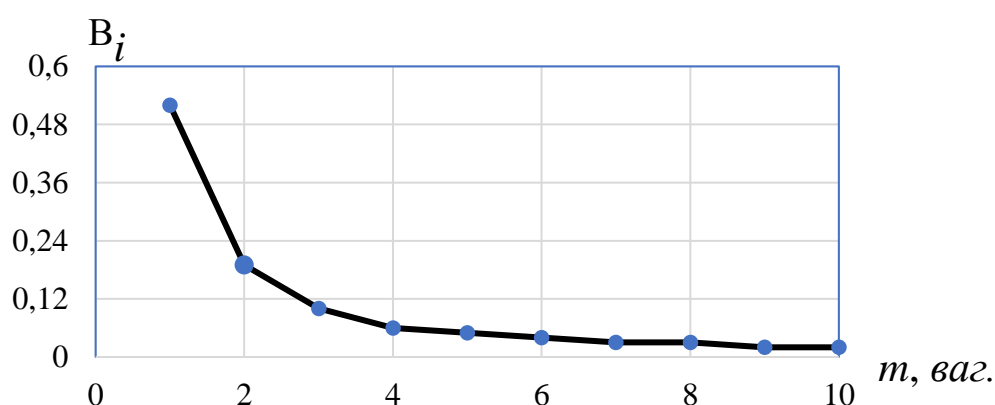


Рисунок 3.2 – Многоугольник распределения случайной величины количества вагонов в отцепе

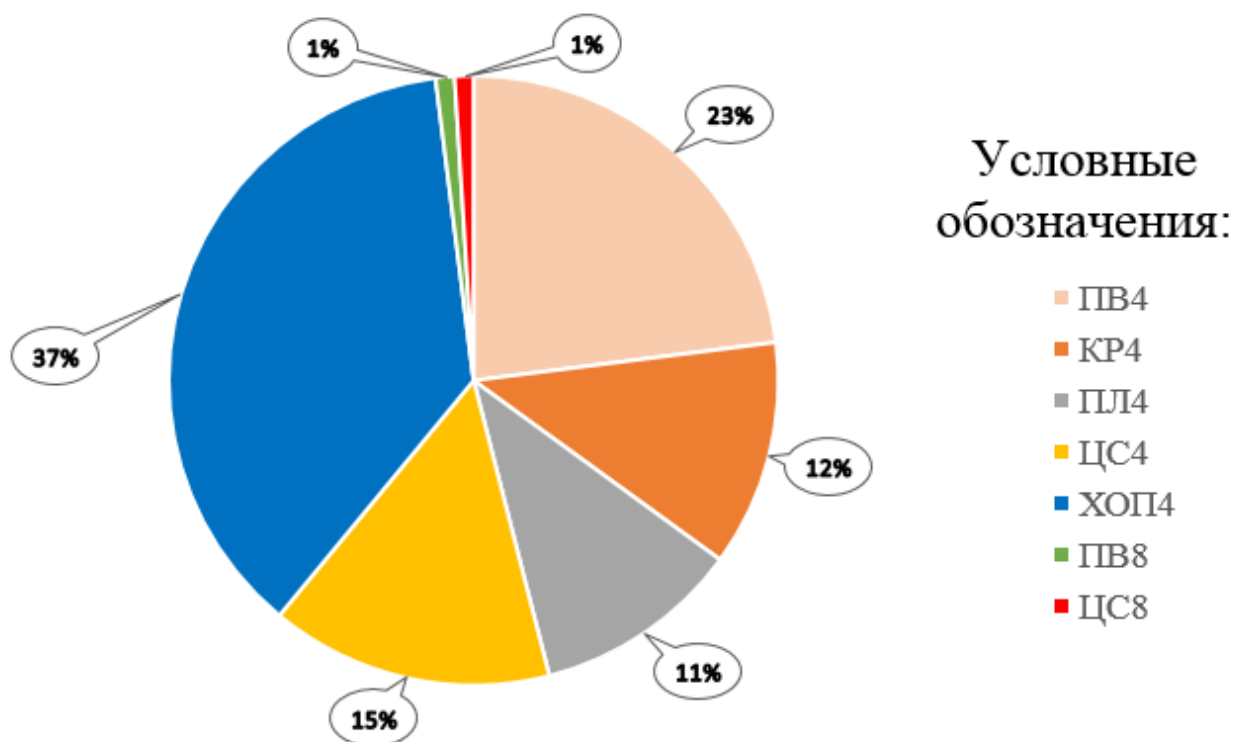


Рисунок 3.3 – Диаграмма распределения случайной величины типа вагонов в отцепе

Согласно диаграмме распределения случайной величины (рис.3.3) определено, что в перерабатываемом вагонопотоке больше всего 4-осных полувагонов.

Таким образом, в данном разделе проведен анализ статистических данных натурных наблюдений за характеристиками вагонопотока, подлежащего переработке на сортировочной горке, выполнена статистическая обработка случайных величин количества вагона в отцепе, весовой категории отцепов, типа вагонов в отцепе. Данные наблюдений используются для моделирования заполнения сортировочных путей вагонами.

4 ХАРАКТЕРИСТИКА СИСТЕМЫ КВАЗИНЕПЕРЕРЫВНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ СКОРОСТИ ОТЦЕПОВ

В условиях, когда преобладающая часть технических средств сортировочных горок содержится в состоянии неисправности, которая требует ремонта в плановом порядке, а штат горочного персонала является не укомплектованной традиционной для железнодорожного транспорта система оценки рисков для безопасности движения, которое основывается формировании требований к отдельным объектам инфраструктуры и элементов перевозочного процесса является недееспособной. В связи с этим для функционирования в существующих условиях необходимым является переход к анализу рисков исходя из требований относительно качества услуги по перевозке грузов. Формирование подходов относительно обеспечения безопасности сортировочного процесса в этих условиях является целью анализа рисков. В пределах этого исследования анализируются риски, которые связаны с управлением скоростью скатывания отцепов.

На этапе идентификации риска выявляется перечень неблагоприятных событий, проявление которых, во-первых, является реальным, во-вторых, они способны ухудшить качество окружающей среды и нанести вред человеку или объектам инфраструктуры и подвижного состава.

По сравнению с другими процессами, которые происходят на железнодорожном транспорте отличительной особенностью процесса расформирования-формирования составов на сортировочных горках является скатывание отцепов. В следствие перемещения больших масс, на значительной части маршрута не управляемого, могут возникать разные опасные ситуации.

Превышение установленной скорости подхода отцепов к вагонам на сортировочных путях может возникать из-за ошибки при выборе режима торможения на ПТП, потери тормозной мощности замедлителей из-за низкого давления в тормозной магистрали, или из-за их технической неисправности, несоответствия толщины гребней колес установленным требованиям, попадания

краски или масла на колеса вагонов, невозможности регулировщика скорости вагонов выполнить дополнительное торможение.

Принципиально возможным является также возникновения технического риска повреждения вагонов и грузов из-за превышение установленной скорости подхода отцепов к вагонам на путях накопления, а в отдельных случаях и угрозы для регулировщиков скорости вагонов.

Современные аппаратные средства и технологии призваны гарантировать безопасность процесса роспуска составов на сортировочных горках, в том числе для решения задачи сокращения числа категорий подвижного состава, который имеет ограничение относительно роспуска, с целью повышения перерабатывающей способности сортировочных станций. При разработке и внедрении систем автоматизации технологических процессов на сортировочных станциях особое внимание уделяется вопросам комплексной модернизации инфраструктуры станций с использованием передовых технологий и оборудования, современных систем передачи и обработки данных, а также методов спутникового позиционирования подвижных объектов.

Недостатки прицельного способа регулирования скорости не могут быть устранены полностью ни путем механизации и автоматизации работы ПТП, ни путем устройства на сортировочных путях двух тормозных позиций. Именно эти обстоятельства привели к разработке и внедрению на заграничных железных дорогах систем управляемого продвижения вагонов на сортировочных путях, расположенных в том числе и на ускоряющих уклонах [41].

В качестве альтернативы прицельному способу регулирования скорости вагонов на путях накопления применяется принудительное регулирование скорости отцепов вагонными замедлителями точечного типа, или вагоноосаживателями на всем протяжении сортировочного пути от выхода из ПТП до точки прицеливания.

Эффективность применения вагоноосаживателей довольно низкая [27] и, к тому же, очень сильно зависит от интенсивности поступления отцепов на путь накопления. Если интенсивность высокая, тогда тележка вагоноосаживателя

просто не успевает возвращаться в исходное положение после осаживания одного отцепа, для того чтобы захватить следующий.

Результаты анализа теоретических и практических разработок показали, что решение вопросов, которые касаются обеспечения качественного заполнения вагонами сортировочных путей на железных дорогах других стран, происходит за счет внедрения современных технических средств, в частности, новых устройств торможения вагонов. Имеющиеся за границей технические устройства, ориентированные на обеспечение высокой степени заполнения вагонами полезной длины сортировочных путей и соблюдение допустимых скоростей отцепов в момент соединения с уже остановившимися вагонами на сортировочном пути.

Система квазинепрерывного регулирования скорости отцепов представляет собой ряд, установленных вдоль пути скатывания отцепов с горки, точечных регуляторов скорости вагонов. Точечные регуляторы взаимодействуют не с боковой поверхностью колеса вагона для создания тормозного воздействия на колесо, как балочные замедлители, а с гребнем колеса. В зависимости от конкретного места установки на пути движения вагонов каждый точечный регулятор скорости в заводских условиях настраивается на определенную контрольную скорость, при превышении которой вагон испытывает тормозной эффект точечного регулятора. Если эта скорость ниже контрольной, тормозной эффект не проявляется.

Устройства крепятся к рельсам с заранее определенными интервалами по маршруту скатывания отцепов. Регуляторы скорости точечного типа в зависимости от рабочего тела разделяют на гидравлические, пневматические и механические [13]. Тормозной или ускоряющий эффект возникает в гидравлических или пневматических регуляторах скорости за счет использования как рабочего тела жидкости или воздуха. В регуляторах механического типа тормозное усилие возникает за счет силы трения дисков пружин. Несмотря на использование разных принципов поглощения энергии,

принцип взаимодействия регуляторов скорости с колесом вагона у них одинаковый.

Впервые фирмой Dowty разработано два разных за функциональным назначением типа точечных устройств регулирования скорости вагонов. Это точечные вагонные замедлители (ТВЗ) и ускорители-замедлители (ТВУЗ).

4.1 Устройство и принцип действия ТВЗ

ТВЗ представляет собой металлический цилиндр, в который вставлен капсюль замедлителя с грибовидной головкой сверху и поршнем внутри капсюля. Цилиндр крепится к внутренней стороне шейки рельса [42]. Капсюль изготовлен из высокопрочной стали с закаленной грибовидной головкой. Капсюль может быть вынут из корпуса цилиндра для технического обслуживания. Поршневая часть со скоростным (2) и перепускным (4) клапанами внутри капсюля (рисунок 4.1) заполнена маслом и азотом.

Проезжая по ТВЗ, гребень колеса вагона нажимает на выступающую над уровнем головки рельса часть капсюля замедлителя. В зависимости от скорости движения вагона капсюль замедлителя продвигается внутрь корпуса под давлением гребня колеса вагона с отъемом или без отъема энергии [13].

ТВЗ заранее настраивают на определенную контрольную скорость срабатывания, которая для ТВЗ может регулироваться в пределах от 0 до 5 м/с.

Когда вагон движется со скоростью ниже контрольной, происходит так называемое холостое срабатывание ТВЗ, капсюль замедлителя (1, рис. 4.1) перемещается вниз под давлением гребня колеса вагона почти без сопротивления. Т.е. колесо вагона медленно наезжает на капсюль замедлителя, гребень колеса вагона нажимает на грибовидную шляпку капсюля Замедлителя, капсюль Замедлителя на скользящих (5) передвигается книзу, а скоростной клапан остается на месте недвижимым. Объем верхней камеры внутри капсюля уменьшается, вместо того увеличивается объем нижней камеры капсюля замедлителя. Масло внутри капсюля перетекает из верхней камеры в нижнюю

через отверстия регулировочного клапана до тех пор, пока не выровняется давление в верхней и нижней камерах.

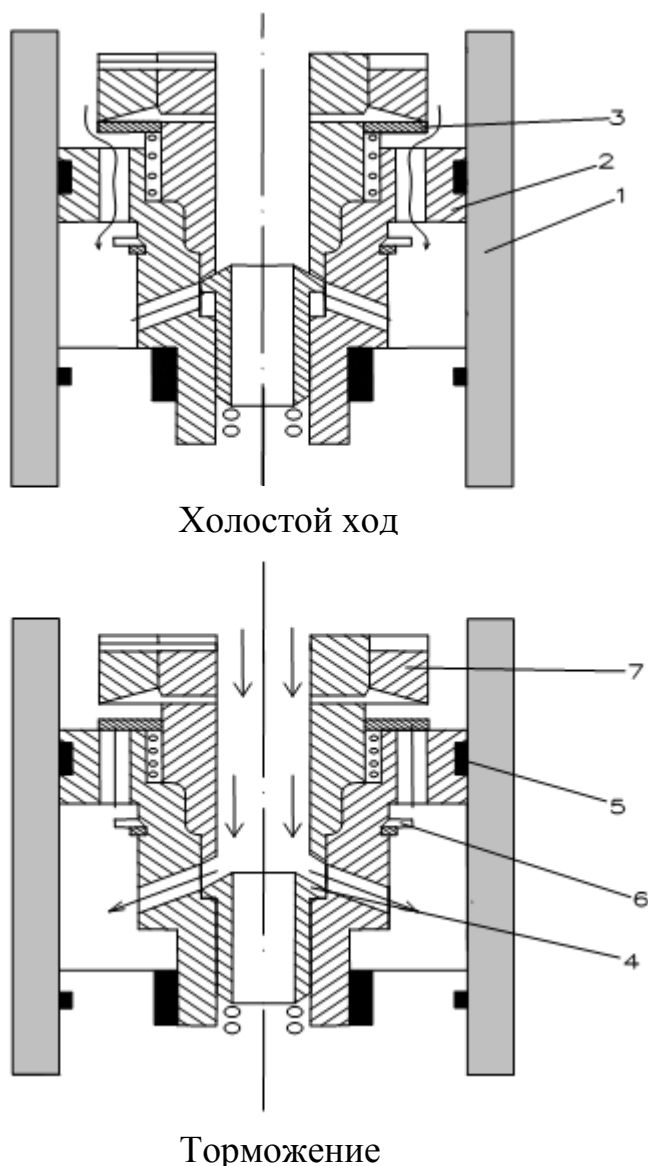


Рисунок 4.1 – Капслюль ТВЗ в разрезе:

1 – стенка капсюля; 2 – скоростной клапан; 3 – регулировочная пластина;
4 – перепускной клапан; 5 – скользящий; 6 – демпфер; 7 – регулировочный болт

От удара капсюля о дно цилиндра ТВЗ фирмы DOWTY защищает сжатый азот, который амортизирует удар. У конструкций ТВЗ фирмы Thyssen эта функция положена на пружины, на которые опирается капсюль замедлителя.

После освобождения замедлителя колесом вагона сжатый азот или пружина выталкивает капсюль в исходное положение. Масло снова через

отверстия регулировочного клапана перераспределяется между верхней и нижней камерами капсюля замедлителя. Таким образом, перемежение капсюля замедлителя в вертикальном направлении происходит без ощутимого сопротивления.

Когда вагон движется со скоростью выше за контрольную скорость срабатывания ТВЗ, колесо вагона достаточно быстро нажимает на шляпку капсюля Замедлителя. Резко возрастает давление в верхней и падает в нижней камерах капсюля Замедлителя. Резкий рост давления в верхней камере капсюля мгновенно сжимает пружину, которая удерживает регулировочную пластину (3) от перекрытия отверстий скоростного клапана, и регулировочная пластинка перекрывает отверстия в скоростном клапане. Т.е. перепад давления между камерами капсюля перекрывает скоростной клапан. После перекрытия скоростного клапана высокого давления масла в верхней камере капсюля начинает давить на перепускной клапан (4). Под давлением сжимается пружина перепускного клапана и приоткрываются отверстия перепускного клапана. Масло через эти отверстия перетекает в нижнюю камеру капсюля. Таким образом, перемещения капсюля замедлителя в вертикальном направлении происходит с преодолением сопротивления пружины перепускного клапана. Энергия вагона тратится на сжатие пружины перепускного клапана для его открытия.

Таким образом, энергия вагона тратится на проталкивание масла из верхней камеры в нижнюю через перепускной клапан замедлителя. Количество энергии торможения зависит от контрольной скорости срабатывания, на которую заранее настраивают ТВЗ. Эта скорость настраивается с помощью специального регулировочного болта (7). Им регулируется степень сжатия пружины, которая удерживает регулировочную пластинку в закрытом состоянии отверстий скоростного клапана. Контрольная скорость срабатывания ТВЗ может регулироваться в пределах от 0 (у так называемых точечных задерживателей) до 5 м/с [13].

Как только колесо вагона освобождает замедлитель, происходит расширения сжатого азота. Капсюль замедлителя начинает возвращаться в

исходное положение. Перепускной клапан (если он приоткрывался) закрывается, а масло через скоростной клапан перетекает из нижней камеры в верхнюю до тех пор, пока давление между ними не выровняется. Демпфер (6) предназначен для плавного возвращения капсюля замедлителя в исходное положение.

Важной особенностью ТВЗ является то, что настроенные на определенную контрольную скорость срабатывания они работают полностью автономно, не нуждаются в ручном или автоматизированного управлении, а также во внешних источниках энергии или питания. Их устанавливают вдоль маршрута скатывания отцепов в сортировочном парке для поддержания скорости скатывания отцепов в определенных пределах. На путях, оборудованных ТВЗ, постоянную скорость отцепов с плохими ходовыми свойствами должен обеспечивать уклон сортировочного пути. А отцепы с хорошими ходовыми свойствами, если их скорость превышает контрольную, на которую настроены ТВЗ, должны тормозиться.

Согласно с технической характеристикой ТВЗ удельная работа на торможение четырехосного вагона массой 80 *t* при контрольной скорости 5 *м/с* составляет близко 0,008 *м ен. в.*

4.2 Устройство и принцип действия ТВУЗ

Ускоритель-замедлитель вагонов точечного типа состоит из двух частей, которые согласованно работают в тесном взаимодействии друг с другом (рисунок 4.2). ТВУЗ состоит из капсюля замедлителя и пневматического капсюля ускорителя, управление которым осуществляется замедлителем через воздушный клапан. Если каждый ТВЗ работает автономно, то для работы ТВУЗ необходимая компрессорная установка с воздухопроводом для подачи воздуха в капсюль ускорителя.

Оба элемента монтируются на внутренней стороне шейки рельса один за другим по направлению скатывания вагонов: сначала ускоритель, а за ним замедлитель. Нормальное положение штока капсюля ускорителя (7) немного

ниже уровня головки рельса, когда гребень колеса вагона не должен затрагивать шляпку капсуля ускорителя.

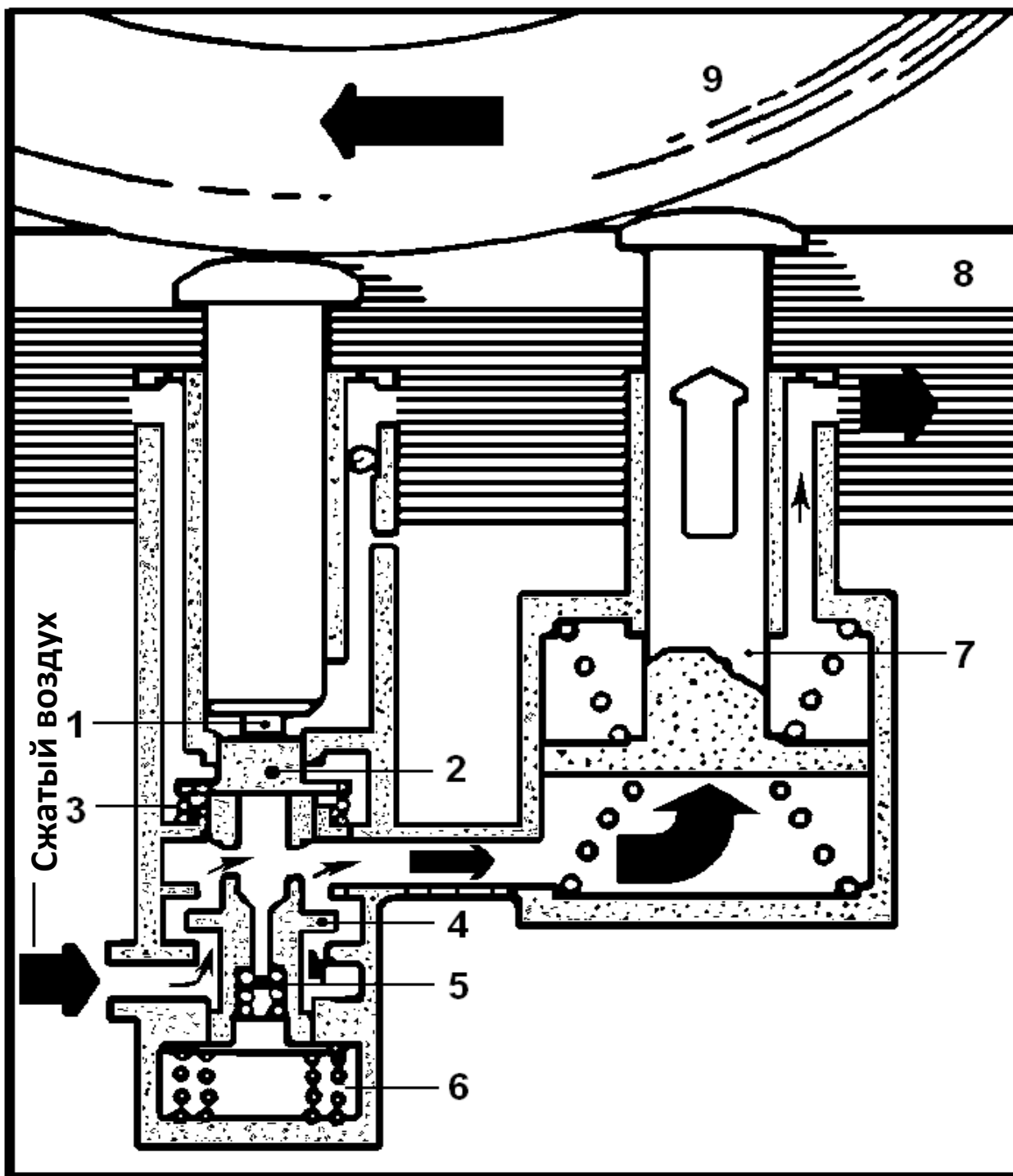


Рисунок 4.2 – Принципиальная схема работы ТВУЗ:

1 – капсуля замедлителя; 2 – направляющий поршень; 3, 5, 6 – пружины;
4 – воздушный клапан; 7 – капсуля ускорителя; 8 – рельс; 9 – колесо вагона

Когда вагон движется со скоростью ниже контрольной скорости срабатывания, капсуль Замедлителя без сопротивления передвигается внутрь корпуса. Направляющий поршень (2) сжимает пружину (3) до контакта с воздушным клапаном (4). Потом сжимает пружину (5). Этого усилия достаточно, чтобы перевести воздушный клапан в среднее положение, которое позволяет сжатому воздуху поступать в капсуль ускорителя. Через воздушный клапан из воздухопровода в капсуль ускорителя поступает сжатый воздух, который толкает вверх капсуль ускорителя, добавляя таким образом дополнительную энергию колесу вагона в момент прохождения его по замедлителю.

Как только колесо вагона освобождает замедлитель, воздушный клапан закрывается, подача воздуха в капсуль ускорителя прекращается и капсуль ускорителя возвращается в исходное положение.

Если вагон движется со скоростью выше контрольной скорости срабатывания, замедлитель тормозит вагон. Принцип работы замедлителя описан выше. Того усилия, которое передается от капсуля замедлителя через направляющий поршень, достаточно для того, чтобы сжать пружины (3, 5 и 6) и перекрыть воздушный клапан в нижнем положении. Тем самым сжатый воздух не поступает в капсуль ускорителя, т.е. он не срабатывает.

Энергия ускорения ТВУЗ за одно срабатывание приблизительно равняется $0,02 \text{ м ен. в.}$ для порожнего четырехосного вагона массой 22 т , а для загруженного четырехосного вагона массой 80 т – $0,005 \text{ м ен. в.}$

4.3 Параметры системы квазинепрерывного регулирования скорости отцепов точечными регуляторами

При свободном катании колеса по рельсу на него действуют движущие силы: составляющая веса вагона и силы сопротивления трения в подшипниках, трение катания колеса по рельсу, сопротивление от кривых и стрелок, сопротивление ветра и т.п. Когда же вагон вступает во взаимодействие с регулятором скорости, на него действуют дополнительные внешние силы со

стороны этих регуляторов. Если взять гидравлический замедлитель, настроенный на расчетную скорость выхода вагонов и если скорость вагона будет превышать расчетную, он будет тормозить отцепы. Согласно чему действие внешних сил на колесо вагона и работа, выполняемая этими силами, будут иметь разные значения.

В течение определенного времени, когда колесо вагона проворачивается на угол α_1 (рисунок 4.3), на него действует вертикальная сила сопротивления перемещению капсуля замедлителя $F_{шт}$, которая в свою очередь служит причиной дополнительного сопротивления движению вагона \vec{W} и зависит от контрольной скорости срабатывания ТВЗ $V_{контр}$ и от скорости движения вагона во время набегания его колеса на замедлитель V . Работа силы сопротивления движению вагона, оказываемая одним точечным регулятором на одно колесо $a = f(R, R_1, r_1, F_{шт})$ является функцией от радиуса колеса вагона по кругу катания R , радиуса по гребню колеса вагона R_1 , радиуса шляпки капсуля замедлителя r_1 и вертикальной силы сопротивления капсуля замедлителя $F_{шт}$.

Установить взаимосвязь между уклоном пути и количеством точечных регуляторов скорости можно, исходя из закона сохранения энергии.

Энергия отцепа по пути скатывания меняется за счет действия сил сопротивления движению и за счет работы, оказываемой ТВЗ:

$$E_1 - E_2 = P + A, \quad (4.1)$$

где E_1 – полная энергия отцепа в начале участка скатывания, Дж;

E_2 – полная энергия отцепа в любой последующей точке участка скатывания, Дж;

P – работа сил сопротивления движению отцепа на участке, Дж;

A – работа, оказываемая ТВЗ, Дж.

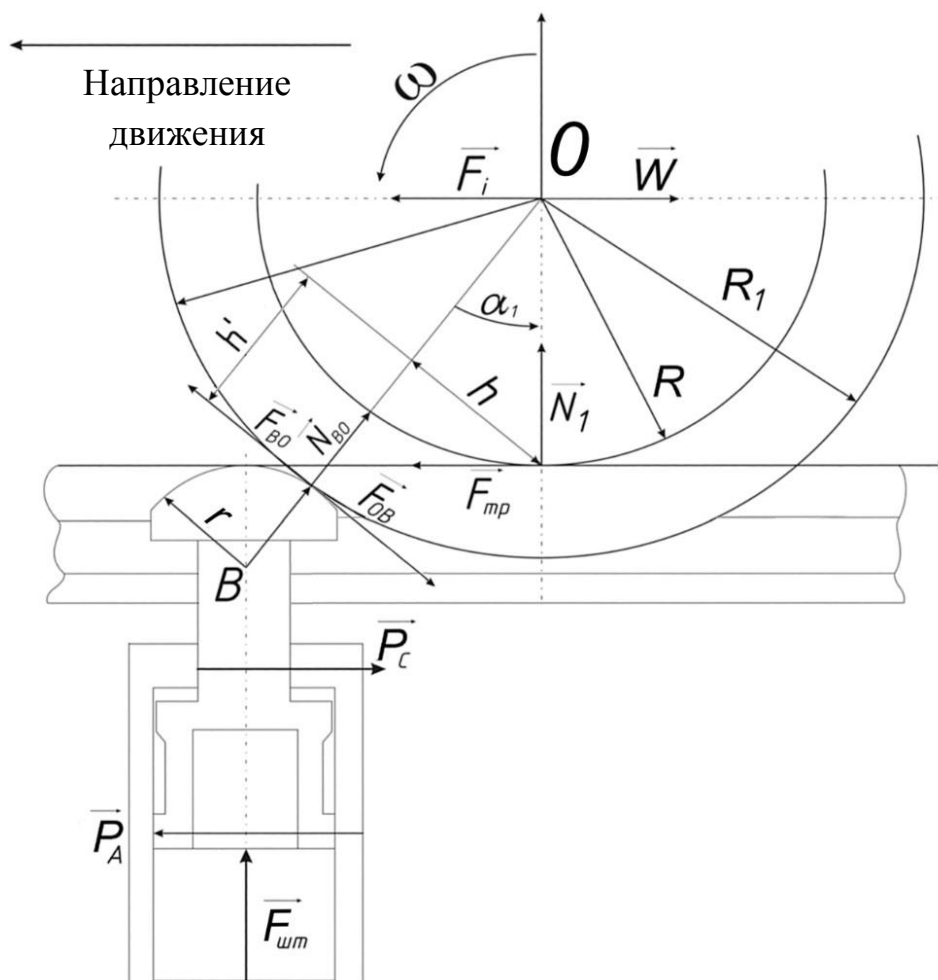


Рисунок 4.3 – Схема относительного расположения ТВЗ, колеса вагона и рельса в момент набегания колеса на головку капсуля замедлителя

Отцеп в любой точке имеет запас кинетической и потенциальной энергии

$$E = T + U, \quad (4.2)$$

где T, U – соответственно кинетическая и потенциальная энергия отцепа, Дж.

При условии поддержания постоянной скорости отцепа в любой точке участка скатывания кинетическая энергия в начале и в конце участка должна быть одинаковой. Тогда уравнение (4.1) примет вид

$$U_1 - U_2 = P + A, \quad (4.3)$$

где U_1 и U_2 – потенциальная энергия в начале и в конце участка скатывания, Дж.

Потенциальная энергия отцепа определяется по формуле:

$$U = mgh, \quad (4.4)$$

где m – масса отцепа, кг;

g – ускорение свободного падения, м/с²,

h – перепад высот на участке скатывания, м.

С учетом (4.4) уравнение (4.3) принимает следующий вид:

$$mg(h_1 - h_2) = P + A, \quad (4.5)$$

где $(h_1 - h_2)$ – перепад высоты на участке пути, м, который определяется по формуле:

$$h_1 - h_2 = iL \cdot 10^{-3}, \quad (4.6)$$

где L – длина участка пути, м;

i – уклон участка пути, ‰.

Тогда уравнение (4.6) примет вид:

$$mgiL \cdot 10^{-3} = P + A, \quad (4.7)$$

Работа сил сопротивления движению отцепа определяется как

$$P = W \cdot L,$$

где W – сила сопротивления движению отцепа, H ;
или через удельное сопротивление движению отцепа:

$$P = mg \Sigma w L \cdot 10^{-3}, \quad (4.8)$$

где Σw – суммарное удельное сопротивление движению отцепа, $H/кН$.
Работа ТВЗ определяется по формуле

$$A = nNa, \quad (4.9)$$

где n – количество осей в отцепе;
 N – количество ТВЗ на участке скатывания отцепа;
 a – работа, оказываемая одним ТВЗ за одно срабатывание, $Дж$.
Подставим (4.8) и (4.9) в уравнение (4.7):

$$mgiL \cdot 10^{-3} = mg \Sigma w L \cdot 10^{-3} + nNa. \quad (4.10)$$

Разделим обе части уравнения (4.10) на mg и перейдем к понятию плотности размещения ТВЗ:

$$r = N / L.$$

В результате уравнения (4.10) примет следующий вид:

$$(i - \Sigma w) 10^{-3} = r \frac{na}{mg}. \quad (4.11)$$

При применении на сортировочной горке ТВЗ необходимо определить, как часто (с какой плотностью) их нужно расставить на пути скатывания отцепов, а также определить уклон этого пути. Задача в этом случае сводится к тому, чтобы все оси отцепов с лучшими ходовыми свойствами тормозились бы ТВЗ и за счет этого их скорость оставалась бы на уровне той, на которую настроены ТВЗ (на уровне контрольной скорости срабатывания), например, $V = 1,4 \text{ м/с}$.

С другой стороны, все оси отцепа с плохими ходовыми свойствами теряют энергетическую высоту от «холостого» срабатывания Замедлителей и при этом скорость отцепа должна оставаться на уровне скорости срабатывания замедлителей.

В качестве расчетного возьмем очень плохой бегун: 4-осний полувагон на роликовых подшипниках массой 22 т с основным удельным сопротивлением движению $4,5 \text{ Н/кн}$. Подставим данные расчетного очень плохого бегуна у уравнения (4.11) и получим зависимость плотности размещения замедлителей от уклона пути:

$$P_3 = \frac{m^{\text{оп}} \cdot g \cdot (i - w^{\text{оп}})}{n^{\text{оп}} \cdot a_{\text{хх}}}, \quad (4.12)$$

где $m^{\text{оп}}$, $n^{\text{оп}}$, $w^{\text{оп}}$ – соответственно масса, кг; количество осей и удельное сопротивление движению очень плохого бегуна, Н/кН ;

$a_{\text{хх}}$ – энергия, которую гасит замедлитель при холостом срабатывании, 20 Дж .

Использование ТВЗ в сортировочном парке позволяет накапливать составы без окон и без осаживаний локомотивом со стороны горки, обеспечивает подход отцепов к вагонам на сортировочном пути с безопасной скоростью.

Если все отцепы из ПТП выпускать с одинаковой скоростью $1,4 \text{ м/с}$, то значительно упрощается алгоритм управления ПТП.

С помощью полученных зависимостей разработана программа, которая моделирует скатывание отцепов с горки, оборудованной системой квазинепрерывного регулирования скорости отцепов.

В процессе накопления вагонов на сортировочном пути решаются две задачи: задача наиболее полного заполнения пути накопления вагонами с одной стороны и задача обеспечения безопасной скорости соударения отцепов с вагонами, которые уже остановились на пути, с другой. Для решения обеих задач предлагается регулировать скорость движения отцепов на сортировочных путях точечными регуляторами. Причем делать это с применением ТВЗ, которые в отличие от ТВУЗ и вагоноосаживателей работают полностью автономно без использования дополнительного питания извне.

5 ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ КАЧЕСТВА ЗАПОЛНЕНИЯ СОРТИРОВОЧНЫХ ПУТЕЙ ВАГОНАМИ ОТ ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМЫ КВАЗИНЕПРЕРЫВНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ СКОРОСТИ ОТЦЕПОВ

Качество заполнения вагонами сортировочных путей оценивают по разным показателями. Но все они несовершенные. Каждый из них не в полной мере характеризует качество процесса. Это связано с тем, что цель процесса заключается в том, чтобы с одной стороны все отцепы докатились до уже остановленных на сортировочном пути вагонов без образования окон, а с другой стороны чтобы скорость подхода отцепов к вагонам на сортировочном пути при этом была в безопасных пределах. Поэтому для оценки качества заполнения вагонами сортировочных путей выбраны два показателя, которые характеризуют обе стороны процесса:

- степень заполнения сортировочного пути вагонами G ;
- вероятность подхода отцепов к вагонам на сортировочном пути с безопасной скоростью P .

Оба показателя нужно максимизировать.

Степень заполнения сортировочного пути вагонами определяется по формуле

$$G = \frac{\sum l_{\text{ваг}}}{L_{\text{пол}}},$$

где $\sum l_{\text{ваг}}$ – общая длина всех вагонов, которые находятся на сортировочном пути, m ;

$L_{\text{пол}}$ – полезная длина сортировочного пути, m .

Этот показатель фиксируется после очередного роспуска состава с горки. По завершению моделирования определяется среднее значение.

Вероятность P подхода отцепов к вагонам на сортировочном пути с безопасной скоростью определяется следующим образом:

$$P = \frac{\sum k_{V \leq 1,4}}{\sum k},$$

где $\sum k_{V \leq 1,4}$ – количество отцепов, которые соединились с вагонами на сортировочном пути с безопасной скоростью;

$\sum k$ – общее количество отцепов с учетом отцепов, которые образовали окна.

Для более четкого представления характера изменений процесса заполнения сортировочного пути вагонами используется еще один показатель: вероятность p соединения отцепов с вагонами на сортировочном пути с безопасной скоростью. В отличие от предыдущего показателя он отображает отношение количества отцепов, которые соединились с безопасной скоростью, к количеству всех отцепов, которые соединились с вагонами на сортировочном пути без учета отцепов, которые образовали окна.

В качестве варьируемых параметров системы квазинеперерывного регулирования скорости отцепов избраны длина и уклон первого участка пути сортировочного парка, а также количество ТВЗ на нем [13]. При этом количество точечных регуляторов скорости вагонов на сортировочном пути и уклон сортировочного пути должны быть минимальными.

Исследование зависимости проводилось путем математического моделирования процесса заполнения вагонами сортировочного пути.

По результатам моделирования процесса заполнения вагонами сортировочных путей выполнено исследование, в ходе которого проанализированы зависимости показателей качества процесса от параметров системы квазинеперерывного регулирования скорости отцепов.

5.1 Методика исследования показателей качества заполнения сортировочных путей вагонами

При моделировании роспуска вагонов на путь назначения в сортировочном парке использованы следующие исходные данные:

- средняя скорость выхода отцепа из ПТП $M[V_0] = 1,4 \text{ м/с}$;
- среднеквадратическое отклонение скорости выхода отцепа из ПТП $\sigma[V_0] = 0,2 \text{ м/с}$;
- длина сортировочного пути: $L_{\text{ск}} = 900 \text{ м}$;
- математическое ожидание основного удельного сопротивления движению вагона $M[w_0] = 2,2 \text{ Н/кН}$;
- среднеквадратическое отклонение основного удельного сопротивления движению вагона $\sigma[w_0] = 0,5 \text{ Н/кН}$.

Характеристики вагонопотока, который перерабатывается на сортировочной горке приведены в разделе 3.

Для расчетов горочного технологического цикла были собраны статистические данные вагонопотока станции Клепаров. Для этого было проанализировано данные натуральных листов поездов, которые прибывают на станцию у расформирования. С них было выявлено, 20 % поездов имеют вагоны ЗСГ, также выявлено что среднее количество расцепок вагонов в составах поездов своего формирования в местах расхождения продольных осей автосцепных устройств и постановки вагонов прикрытия составляет примерно 10% от общего количества вагонов.

Продольный профиль сортировочного пути и решение уравнения движения вагонов в энергетическом виде изображено на рисунке 5.1.

В процессе исследования показателей качества заполнения сортировочного пути вагонами варьировались следующие параметры системы квазинеперывного регулирования скорости отцепов:

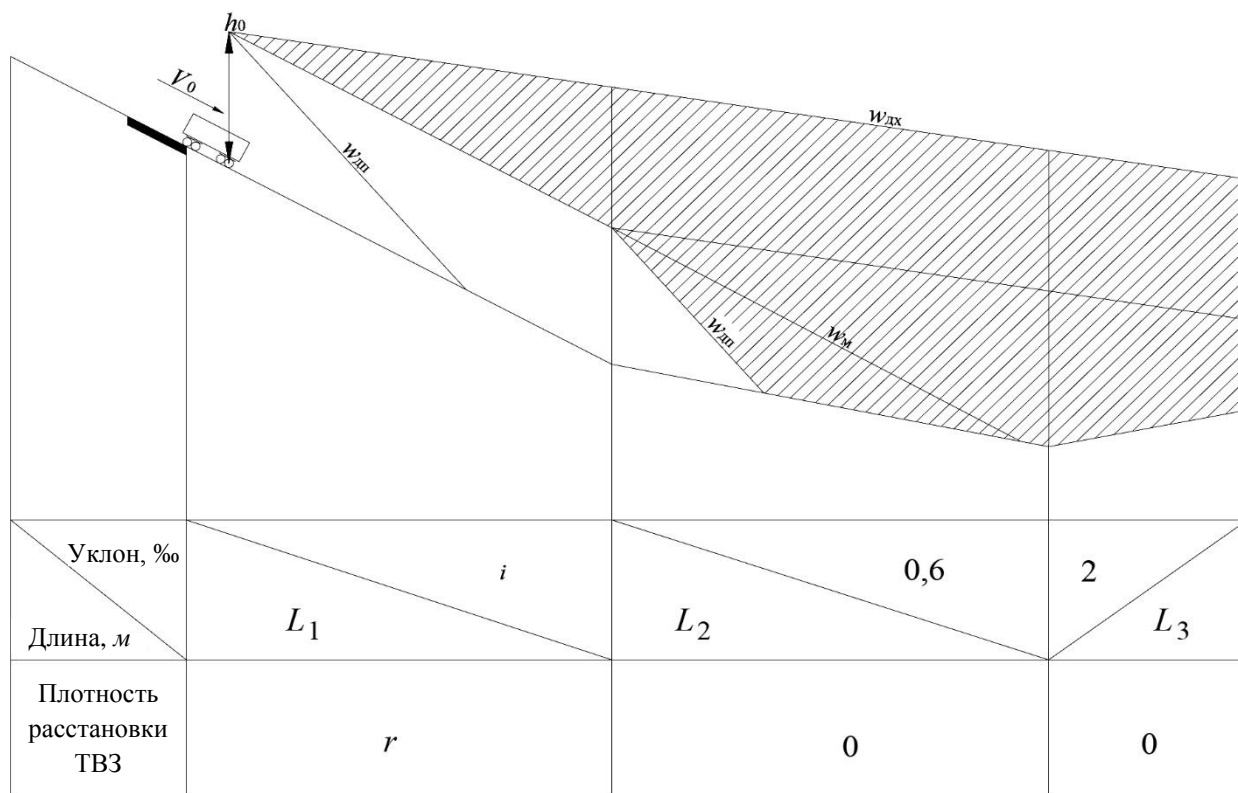


Рисунок 5.1 – Продольный профиль сортировочного пути и решения уравнения движения отцепа в энергетическом виде

- уклон i первого участка сортировочного пути длиной $L_1 = 400$ м;

-°плотность r расположения на этом пути точечных регуляторов скорости у вагонов.

Уклон сортировочного пути менялся в диапазоне от нормативных 0,6‰ до 3,5 ‰, а плотность расположения на ней ТВЗ – от 0 до 1 ед./м. Другие параметры системы оставались неизменными.

По всем вариантам выполнено моделирование процесса заполнения сортировочного пути вагонами и определены показатели качества процесса заполнения сортировочных путей вагонами.

5.2 Анализ влияния параметров системы квазинеперерывного регулирования скорости отцепов на качество заполнения сортировочных путей вагонами

По результатам моделирования, которые приведены в приложении Б, построены графики зависимостей степени заполнения сортировочного пути вагонами, вероятности подхода отцепов к вагонам на сортировочном пути с безопасной скоростью, времени осаживания вагонов, количества поврежденных вагонов по вариантам от параметров системы.

Результаты моделирования вероятности подхода отцепов к вагонам на сортировочном пути с безопасной скоростью при плотности расположения ТВЗ от 0 до 1 *ед./м*, а также при уклонах от 0,6 до 3,5 ‰ приведены в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Вероятность подхода с безопасной скоростью отцепов к вагонам на сортировочном пути, оснащённом системой квазинеперерывного регулирования скорости отцепов

Плотность ТВЗ, r , <i>ед./м</i>	Уклон, i ‰						
	0,6	1	1,5	2	2,5	3	3,5
0,0	0,389	0,478	0,533	0,351	0,152	0,061	0,035
0,1	0,389	0,509	0,670	0,730	0,549	0,307	0,159
0,2	0,386	0,510	0,689	0,829	0,838	0,710	0,477
0,3	0,378	0,501	0,684	0,836	0,889	0,882	0,801
0,4	0,373	0,496	0,676	0,832	0,890	0,896	0,869
0,5	0,367	0,488	0,671	0,828	0,891	0,908	0,910
0,6	0,361	0,481	0,663	0,822	0,890	0,906	0,906
0,7	0,358	0,472	0,654	0,818	0,889	0,908	0,911
0,8	0,357	0,469	0,648	0,813	0,888	0,907	0,910
0,9	0,348	0,459	0,637	0,807	0,885	0,907	0,910
1,0	0,342	0,454	0,630	0,802	0,883	0,907	0,911

Графики зависимости вероятности подхода отцепов к вагонам на сортировочном пути с безопасной скоростью от уклона сортировочного пути и плотности расположения ТВЗ представлены на рисунке 5.2.

Показатели качества заполнения сортировочного пути вагонами противоположно реагируют на изменении параметров системы квазинеперывного регулирования скорости. При увеличении плотности расположения точечных регуляторов скорости вероятность подхода отцепов к вагонам на сортировочном пути с безопасной скоростью асимптотично возрастает, а степень заполнения сортировочного пути вагонами уменьшается.

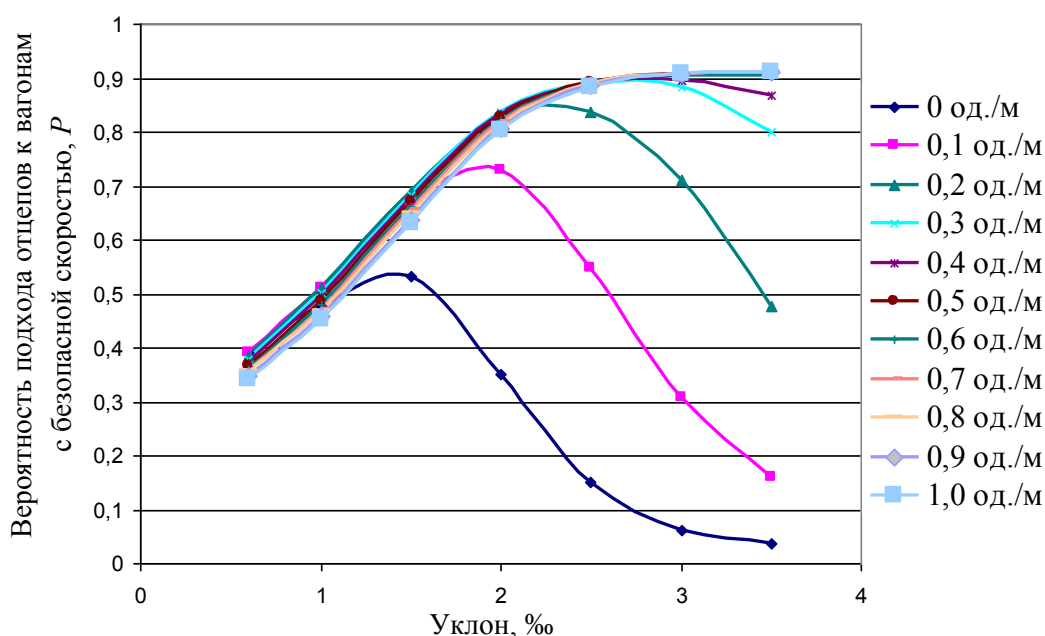


Рисунок 5.2 – Графики зависимости вероятности подхода отцепов к вагонам с безопасной скоростью от уклона сортировочного пути и плотности расположения ТВЗ

Анализ зависимостей (см. рис. 5.2) показывает, что из-за малой плотности расположения ТВЗ вместе с увеличением уклона сначала возрастает вероятность подхода отцепов к вагонам на сортировочном пути с безопасной скоростью, достигает определенного максимума, а потом спадает. Это происходит как за счет уменьшения доли отцепов с окнами, так и за счет уменьшения доли отцепов,

которые подходят к вагонам на сортировочном пути с опасной скоростью (рисунок 5.3).

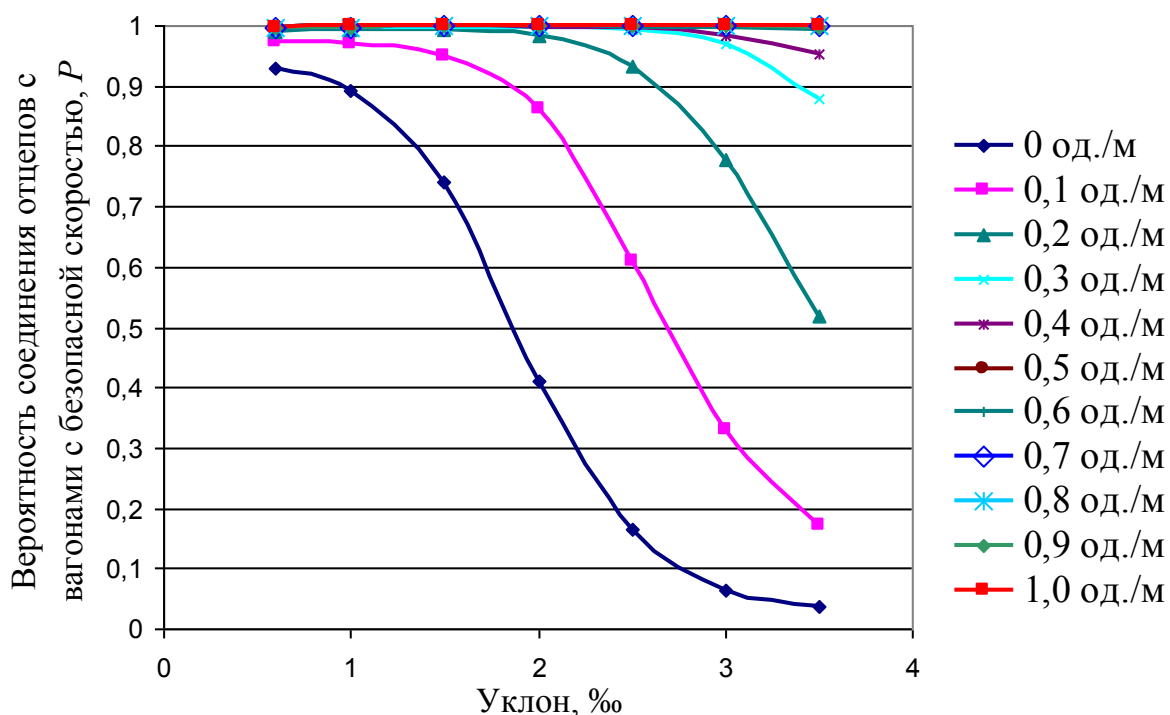


Рисунок 5.3 – Графики зависимости вероятности соединения отцепов с вагонами на сортировочном пути с безопасной скоростью от уклона сортировочного пути и плотности расположения ТВЗ

Анализируя графики зависимостей на рис. 5.3, можно отметить, что при достаточной плотности расположения ТВЗ можно обеспечить почти стопроцентную вероятность соединения отцепов с вагонами на сортировочном пути с безопасной скоростью на любом уклоне исследовательского диапазона.

Результаты моделирования степени заполнения сортировочного пути вагонами при плотности расположения ТВЗ от 0 до 1 *ед./м*, а также при уклонах от 0,6 до 3,5 ‰ приведены в таблице 5.2. Графики зависимости степени заполнения пути вагонами от уклона сортировочного пути и плотности расположения ТВЗ представлены на рисунке 5.4.

Таблица 5.2 – Степень заполнения вагонами сортировочного пути, оснащенного системой квазинеперерывного регулирования скорости отцепов

Плотность ТВЗ, r , ед./м	Уклон, i ‰						
	0,6	1	1,5	2	2,5	3	3,5
0,0	0,547	0,568	0,633	0,734	0,800	0,847	0,891
0,1	0,544	0,565	0,624	0,723	0,775	0,784	0,812
0,2	0,543	0,562	0,620	0,719	0,773	0,778	0,779
0,3	0,542	0,560	0,619	0,713	0,771	0,778	0,778
0,4	0,542	0,558	0,616	0,710	0,771	0,778	0,778
0,5	0,542	0,556	0,612	0,705	0,769	0,777	0,778
0,6	0,540	0,555	0,608	0,701	0,768	0,777	0,778
0,7	0,540	0,554	0,606	0,698	0,767	0,777	0,778
0,8	0,539	0,554	0,606	0,696	0,766	0,777	0,778
0,9	0,538	0,552	0,600	0,690	0,764	0,777	0,778
1,0	0,538	0,552	0,598	0,686	0,762	0,776	0,778

Степень заполнения пути вагонами должна быть наибольшей. Анализ зависимостей на рис. 5.4 показывает, что плотность расположения ТВЗ не существенно влияет на степень заполнения сортировочного пути вагонами. С увеличением плотности расположения ТВЗ степень заполнения сортировочного пути вагонами не существенно уменьшается. Также нужно отметить, что степень заполнения вагонами сортировочного пути, оборудованного системой квазинеперерывного регулирования скорости отцепов с использованием ТВЗ, достигает лишь 80 %. Это объясняется тем, что ТВЗ установлены лишь в начале сортировочного пути, дальше происходит нерегулируемое скатывание отцепов. Также следует отметить, что при увеличении уклона пути от 0,6 ‰ до

2,5 ‰ степень заполнения пути вагонами значительно возрастает, а при дальнейшем увеличении уклона наблюдается незначительный рост.

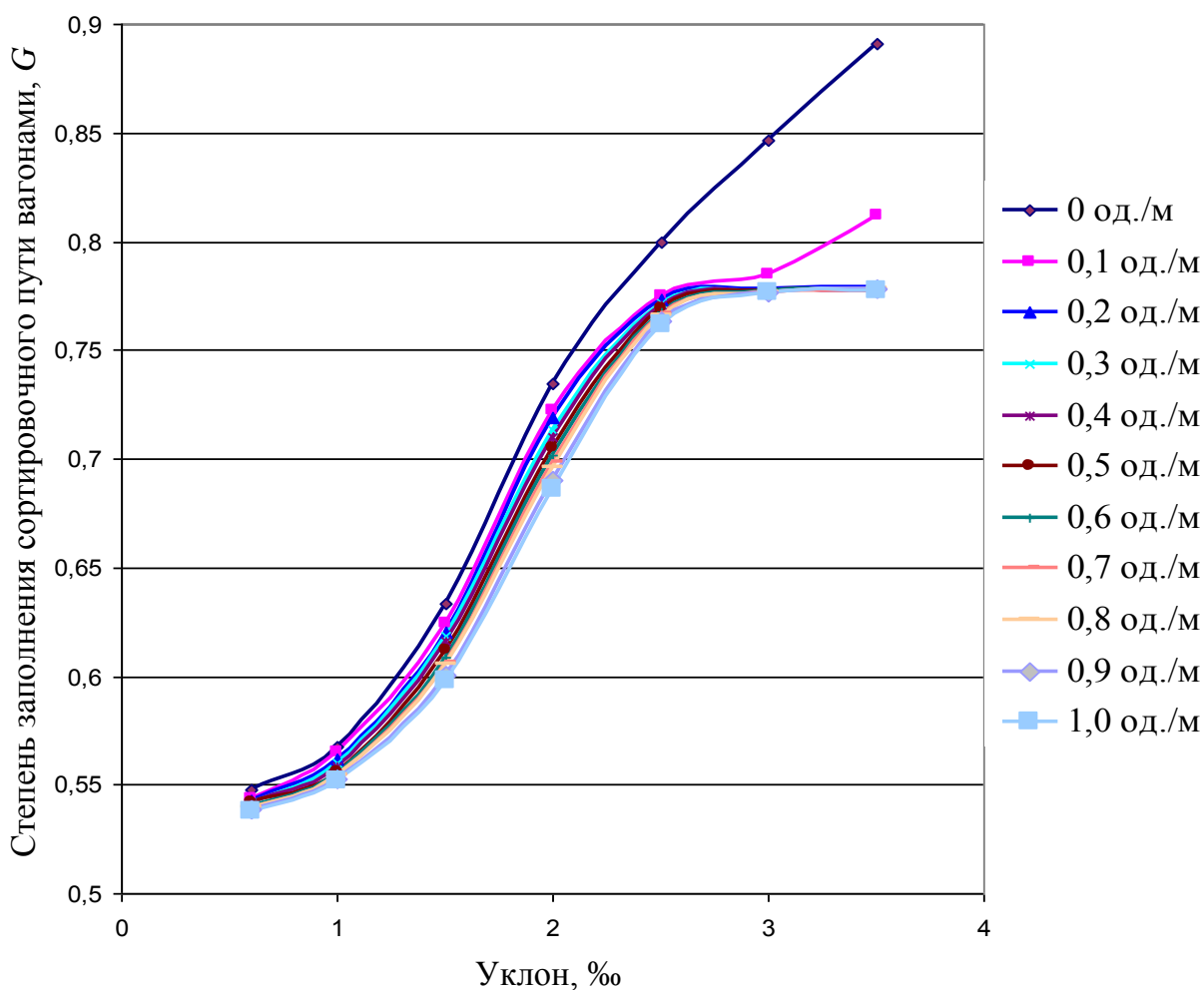


Рисунок 5.4 – Графики зависимости степени заполнения сортировочного пути вагонами от уклона и плотности расположения ТВЗ

Вероятность подхода отцепов к вагонам на сортировочном пути с безопасной скоростью и степень заполнения сортировочного пути вагонами противоречивые показатели. Они по-разному реагируют на изменения параметров системы квазинеперерывного регулирования скорости отцепов. Если один показатель возрастает, уменьшается другой. Сравнивая графики зависимостей показателей качества заполнения сортировочного пути вагонами (рис. 5.2 и 5.4) видим, что улучшить оба показателя можно только при условиях увеличения как уклона сортировочного пути, так и плотности расположения ТВЗ

на сортировочного пути. Ведь оснащение сортировочного пути ТВЗ дает положительные результаты, оба показателя улучшаются. Анализируя зависимости на рис. 5.2 - 5.4, однозначно сказать, какими должны быть параметры системы квазинеперерывного регулирования скорости отцепов с использованием ТВЗ, нельзя. Возможно дать лишь рекомендации относительно плотности расположения ТВЗ на определенном уклоне сортировочного пути, или наоборот.

Таким образом, исследованием установлено, что показатели качества заполнения сортировочного пути вагонами противоположно реагируют на изменении параметров системы квазинеперерывного регулирования скорости. При увеличении плотности расположения точечных регуляторов скорости вероятность подхода отцепов к вагонам на сортировочном пути с безопасной скоростью асимптотично растет, а степень заполнения сортировочного пути вагонами падает. При увеличении уклона сортировочного пути асимптотично увеличивается степень заполнения сортировочных путей вагонами, а вероятность подхода отцепов к вагонам на сортировочном пути с безопасной скоростью уменьшается. Чтобы одновременно улучшались оба показателя качества заполнения вагонами сортировочных путей нужно увеличивать и уклон сортировочного пути, и плотность расположения ТВЗ.

Результаты исследования показали, что применение ТВЗ может обеспечить только безопасную скорость подхода отцепов к вагонам на сортировочном пути с любым уклоном в рассмотренном диапазоне. При этом степень заполнения вагонами сортировочного пути остается практически неизменной.

В результате исследования получены зависимости показателей качества процесса заполнения сортировочных путей вагонами от уклона пути и плотности расположения на ней точечных регуляторов скорости, которые позволяют определить рациональные параметры системы квазинеперерывного регулирования скорости отцепов с обеспечением безопасной скорости подхода отцепов к вагонам на сортировочных путях и максимально возможное

заполнение их вагонами. Выявлено, что с использованием ТВЗ улучшить показатели качества заполнения сортировочных путей вагонами можно лишь при условии уклона пути $i > 1,5\%$.

6 ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СИСТЕМЫ КВАЗИНЕПЕРЕРЫВНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ СКОРОСТИ ОТЦЕПОВ

Анализ зависимости показателей качества заполнения вагонами сортировочных путей при оснащении их системой квазинеперерывного регулирования скорости не дает однозначного ответа на вопрос, какими параметрами должна обладать такая система, потому что показатели качества характеризуют разные стороны процесса заполнения сортировочного пути вагонами и не могут непосредственно сравниваться между собой. Поэтому надо установить еще одно ограничение на параметры системы, которое касается окупаемости оснащения сортировочных путей системой квазинеперерывного регулирования скорости отцепов.

6.1 Расчет капитальных вложений на оснащение сортировочных путей системой квазинеперерывного регулирования скорости отцепов и эксплуатационных расходов на ее содержание

Экономия капитальных вложений в варианте оснащения сортировочных путей системой квазинеперерывного регулирования скорости отцепов в сравнении с базовым вариантом без применения системы:

$$\begin{aligned} \Delta K = & n_{сч(1)}e_{сч(1)} - n_{сч(2)}e_{сч(2)} + n_{ск(1)}e_{ск(1)} - n_{ск(2)}e_{ск(2)} - C_{авт} + \\ & +(M_{Г(1)} - M_{Г(2)})e_{Г} - \Delta v_3 e_3, \end{aligned} \quad (6.1)$$

где $n_{сч(1)}$, $n_{ск(1)}$ – количество средств регулирования скорости движения отцепов в базовом варианте соответственно на спускной части горки и сортировочных путях;

$n_{сч(2)}$, $n_{ск(2)}$ – то же самое в сравниваемом варианте;

$e_{сч(1)}$, $e_{ск(1)}$ – стоимость одного средства, установленное соответственно на спускной части и сортировочных путях в базовом варианте, *тыс. грн.*;

$e_{сч(2)}$, $e_{ск(2)}$ – то же самое в сравниваемом варианте, *тыс. грн.*;

$C_{авт}$ – капитальные вложения на оснащение горки системой автоматизации расформирования составов, *тыс. грн.*;

$M_{Г(1)}$, $M_{Г(2)}$ – потребное количество горочных локомотивов по вариантам;

$e_{Г}$ – стоимость горочного локомотива, *тыс. грн.*;

Δv_3 , e_3 – соответственно увеличение объемов, m^3 , и стоимость выполнения земляных работ, *тыс. грн.*

Поскольку средства, которые используются в системах квазинеперерывного регулирования скорости вагонов в Украине не выпускают, стоимость их можно оценить по данным зарубежного опыта. Принято, что стоимость одного ТВЗ 8000 *грн.*

В расчете экономии капитальных вложений не учитываются расходы на земляные работы. Также не учитывается стоимость маневровых локомотивов, потому что на горке работает один маневровый локомотив во всех вариантах технического оснащения. Эксплуатационные расходы на содержание ТВЗ составляют 10% от них стоимости [28]. Стоимость установки ТВЗ определяется на весь сортировочный парк станции, а в сортировочном парке 23 пути.

Расчет стоимости установки ТВЗ на сортировочном пути и расходов на их содержание приведен в таблице 6.1.

Таблица 6.1 – Расчет расходов стоимости установки ТВЗ и расходов на их содержание

Количество ТВЗ, ед.	Стоимость установки ТВЗ, тыс. грн.	Расходы на содержание ТВЗ, тыс. грн.
40	320	32
80	640	64
120	960	96
160	1 280	128
200	1 600	160
240	1 920	192
280	2 240	224
320	2 560	256
360	2 880	288
400	3 200	320

6.2 Расчет экономии годовых эксплуатационных расходов, связанных с повреждением вагонов

Потери от повреждения вагонов на горках складываются из стоимости ремонта вагонов, дополнительных расходов на вагонный парк для компенсации потерь из-за простоя в ремонте, а также потерь оборотных средств из-за задержек в доставке грузов клиентуре [43].

Количество поврежденных вагонов на 1000 переработанных на горке рассчитывается по формуле:

$$n_{\text{повр}} = 0,00143 \bar{V}_{\text{подх}}^{3,865},$$

где $\bar{V}_{\text{подх}}$ – средняя скорость подхода отцепов к вагонам на сортировочном пути, км/ч.

С помощью модели скатывания отцепов с горки подсчитано количество поврежденных вагонов на 1⁰⁰⁰ переработанных. Распределение этого количества по вариантам приведено в таблице 6.2.

Таблица 6.2 – Количество поврежденных вагонов на 1000 переработанных

Плотность ТВЗ, r , ед./м	Уклон пути, i , ‰						
	0,6	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5
0	0,321	1,148	8,622	69,924	260,966	485,372	647,199
0,1	0,135	0,241	0,746	6,295	41,675	160,034	355,347
0,2	0,062	0,126	0,142	0,292	1,982	16,176	74,339
0,3	0,044	0,102	0,103	0,115	0,158	0,482	4,912
0,4	0,043	0,104	0,096	0,105	0,132	0,586	2,868
0,5	0,038	0,095	0,093	0,096	0,097	0,102	0,115
0,6	0,037	0,095	0,094	0,095	0,103	0,116	0,144
0,7	0,036	0,096	0,093	0,094	0,095	0,096	0,098
0,8	0,036	0,095	0,093	0,095	0,094	0,096	0,101
0,9	0,037	0,096	0,093	0,094	0,096	0,098	0,105
1,0	0,037	0,094	0,093	0,094	0,094	0,094	0,094

Количество поврежденных вагонов за год при суточной переработке N вагонов рассчитывается по формуле:

$$N_{\text{повр}} = \frac{N \cdot 365}{1000} n_{\text{повр}} = 0,365 N n_{\text{повр}}, \quad (6.2)$$

где $n_{\text{повр}}$ – количество поврежденных вагонов на 1000 расформированных;

N – суточная переработка вагонов на горке, $N=2000$ *ваг.*

Результаты расчета приведены в таблице 6.3.

Таблица 6.3 – Количество поврежденных вагонов за год

Плотность ТВЗ, r , ед./м	Уклон пути, i , ‰						
	0,6	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5
0	234	838	6 294	51 045	190 505	354 322	472 455
0,1	99	176	545	4 595	30 423	116 825	259 403
0,2	45	92	104	213	1 447	11 808	54 267
0,3	32	74	75	84	115	352	3 586
0,4	31	76	70	77	96	428	2 094
0,5	28	69	68	70	71	74	84
0,6	27	69	69	69	75	85	105
0,7	26	70	68	69	69	70	72
0,8	26	69	68	69	69	70	74
0,9	27	70	68	69	70	72	77
1,0	27	69	68	69	69	69	69

Графики зависимости количества поврежденных вагонов за год от параметров системы квазинеперерывного регулирования скорости отцепов на сортировочных путях приведены на рисунке 6.1.

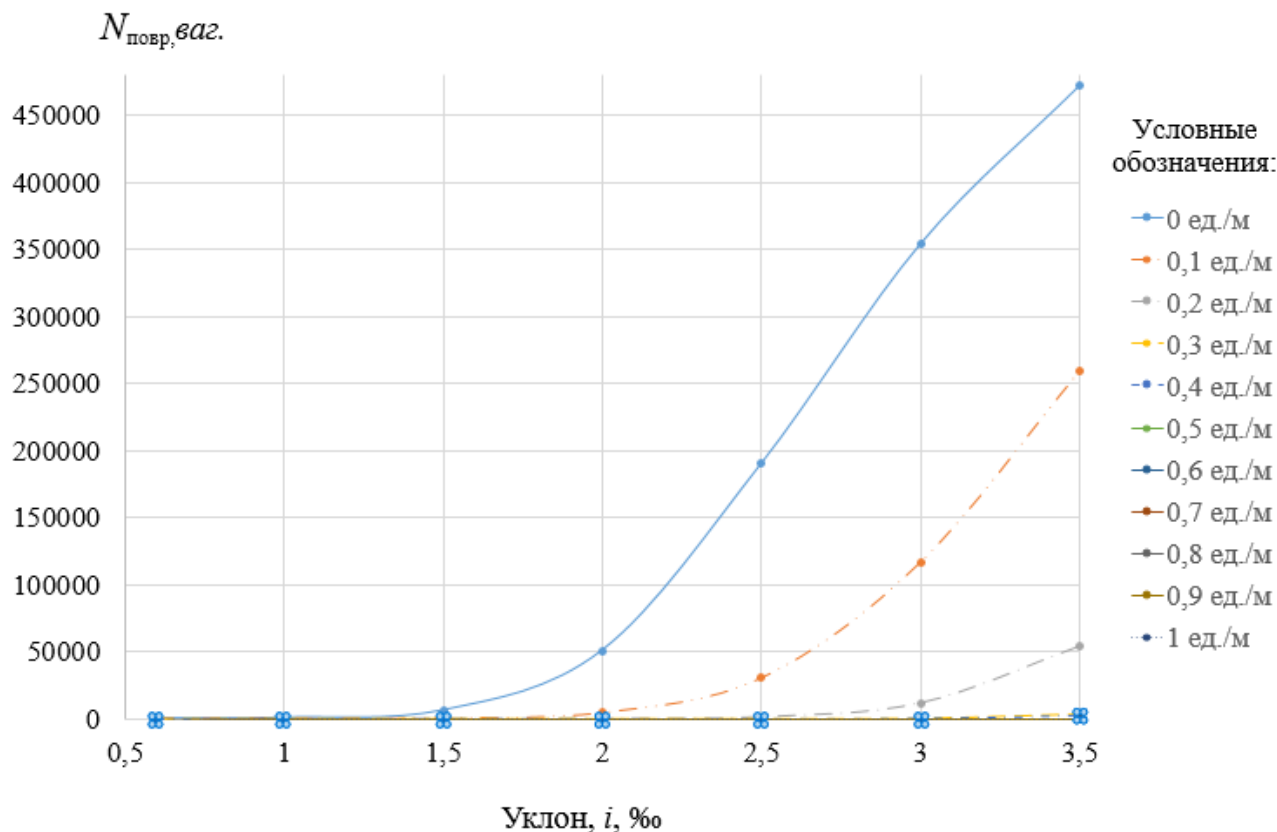


Рисунок 6.1 – Графики зависимости количества поврежденных вагонов за год от уклона сортировочного пути и плотности размещения ТВЗ

Анализируя графики на рис. 6.1, можно отметить, что количество поврежденных вагонов без ТВЗ на сортировочном пути резко возрастает при увеличении уклона. Но при их наличии количество поврежденных вагонов приближается к нулю. Ведь ТВЗ выполняют свои функции.

Расходы на ремонт вагонов (*тыс. грн.*) определяются по формуле

$$Z = N_{\text{повр}} C_p, \quad (6.3)$$

где C_p – стоимость ремонта одного вагона, тыс. грн., согласно приложению Б принято $C_p=85$ тыс. грн.;

$N_{\text{повр}}$ – количество поврежденных вагонов на 1000 переработанных чем год.

Результаты расчетов по вариантам приведено в таблице 6.4.

Таблица 6.4 – Расходы на ремонт вагонов, тыс. грн.

Плотность ТВЗ, r , ед./м	Уклон пути, i , ‰						
	0,6	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5
0	19 890	71 230	534 990	4 338 825	16192 925	30 117 370	40 158 675
0,1	8 415	14 960	46 325	390 575	2 585 955	9 930 125	22 049 255
0,2	3 825	7 820	8 840	18 105	122 995	1 003 680	4 612 695
0,3	2 720	6 290	6 375	7 140	9 775	29 920	304 810
0,4	2 635	6 460	5 950	6 545	8 160	36 380	177 990
0,5	2 380	5 865	5 780	5 950	6 035	6 290	7 140
0,6	2 295	5 865	5 865	5 865	6 375	7 225	8 925
0,7	2 210	5 950	5 780	5 865	5 865	5 950	6 120
0,8	2 210	5 865	5 780	5 865	5 865	5 950	6 290
0,9	2 295	5 950	5 780	5 865	5 950	6 120	6 545
1	2 295	5 865	5 780	5 865	5 865	5 865	5 865

Дополнительные расходы на вагонный парк (тыс. грн.) для компенсации потерь из-за простоев в ремонте

$$K_B = BЦ_B, \quad (6.4)$$

где B – потери перевозочных ресурсов из-за отцепки вагонов в ремонт;

C_B – средневзвешенная стоимость вагона, согласно приложением Б принято $C_B=1000$ тыс. грн.

$$B = \frac{N_{\text{повр}} t_{\text{пт}}}{0,95 \cdot 8760}, \quad (6.5)$$

где $t_{\text{пт}}$ – общий простой вагона в текущем ремонте, согласно приложению А принято $t_{\text{пт}}=13,3$ ч;

0,95·8760 – годовой фонд рабочего времени вагона (согласно приложению А, таблица А.4).

Результаты расчетов по вариантам приведены в таблице 6.5.

Таблица 6.5 – Дополнительные расходы на вагонный парк, тыс. грн.

Плотность ТВЗ, r , ед./м	Уклон пути, i , ‰						
	0,6	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5
0	374	1339	10059	81579	304460	566268	755065
0,1	158	281	871	7344	48621	186707	414571
0,2	72	147	166	340	2313	18871	86728
0,3	51	118	120	134	184	563	5731
0,4	50	121	112	123	153	684	3347
0,5	45	110	109	112	113	118	134
0,6	43	110	110	110	120	136	168
0,7	42	112	109	110	110	112	115
0,8	42	110	109	110	110	112	118
0,9	43	112	109	110	112	115	123
1	43	110	109	110	110	110	110

Потери оборотных средств (*тыс. грн.*) в результате задержек в доставке грузов клиентуре определяются по формуле

$$K_{об} = \frac{G \cdot C_T \cdot t_{пт}}{0,95 \cdot 8760} N_{пошк}, \quad (6.6)$$

где G – размер грузовой массы, которая перевозится в вагоне, согласно приложению А, таблица А.4 принято $G=65$ т;

C_T – стоимость 1 т грузовой массы, которая перевозится в вагоне, согласно приложению А, таблица А.4 принято $C_T=0,224$ *тыс. грн.*

Результаты расчетов по вариантам приведены в таблице 6.6.

Таблица 6.6 – Потери оборотных средств в результате задержек в доставке грузов клиентуре, *тыс. грн.*

Плотность ТВЗ, <i>r, ед./м</i>	Уклон пути, <i>i, ‰</i>						
	0,6	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5
0	5,45	19,50	146,46	1187,79	4432,94	8244,86	10993,75
0,1	2,30	4,10	12,68	106,92	707,93	2718,45	6036,15
0,2	1,05	2,14	2,42	4,96	33,67	274,77	1262,76
0,3	0,74	1,72	1,75	1,95	2,68	8,19	83,44
0,4	0,72	1,77	1,63	1,79	2,23	9,96	48,73
0,5	0,65	1,61	1,58	1,63	1,65	1,72	1,95
0,6	0,63	1,61	1,61	1,61	1,75	1,98	2,44
0,7	0,61	1,63	1,58	1,61	1,61	1,63	1,68
0,8	0,61	1,61	1,58	1,61	1,61	1,63	1,72
0,9	0,63	1,63	1,58	1,61	1,63	1,68	1,79
1	0,63	1,61	1,58	1,61	1,61	1,61	1,61

Экономия годовых эксплуатационных расходов (*тыс. грн.*), связанных с повреждением вагонов, по вариантам рассчитано как различие в сравнении с базовым вариантом [15] по формуле

$$\Delta E_{\text{в}} = (K_{\text{об}(1)} + K_{\text{в}(1)} + Z_{(1)}) - (K_{\text{об}(2)} + K_{\text{в}(2)} + Z_{(2)}), \quad (6.7)$$

где $K_{\text{об}(1)}$, $K_{\text{в}(1)}$, $Z_{(1)}$ – соответственно расходы оборотных средств, расходы на вагонный парк, и на ремонт вагонов в базовом варианте конструкции;
 $K_{\text{об}(2)}$, $K_{\text{в}(2)}$, $Z_{(2)}$ – соответственно расходы оборотных средств, расходы на вагонный парк, и на ремонт вагонов в рассматриваемых вариантах конструкции.

Результаты расчетов экономии годовых эксплуатационных расходов, связанных с повреждением вагонов, по вариантам приведены в таблице 6.7.

Таблица 6.7 – Экономия годовых эксплуатационных расходов, связанных с повреждением вагонов, *тыс. грн.*

Плотность ТВЗ, <i>r</i> , ед./м	Уклон пути, <i>i</i> , ‰						
	0,6	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5
0	0	-52 319	-524 926	-4 401 322	-16481549	-30671613	-40 904 464
0,1	11 694	5 024	-26 939	-377 756	-2 615 015	-10099281	-22 449 593
0,2	16 371	12 300	11 261	1 819	-105 072	-1 002 557	-4 680 416
0,3	17 498	13 859	13 773	12 993	10 308	-10 221	-290 355
0,4	17 584	13 686	14 206	13 600	11 954	-16 805	-161 116
0,5	17 844	14 293	14 379	14 206	14 119	13 859	12 993
0,6	17 931	14 293	14 293	14 293	13 773	12 907	11 174
0,7	18 017	14 206	14 379	14 293	14 293	14 206	14 033
0,8	18 017	14 293	14 379	14 293	14 293	14 206	13 859
0,9	17 931	14 206	14 379	14 293	14 206	14 033	13 600
1	17 931	14 293	14 379	14 293	14 293	14 293	14 293

По данным табл. 6.7 построены графики зависимости экономии годовых эксплуатационных расходов, связанных с повреждением вагонов, от уклона первого участка сортировочного пути и от плотности расположения ТВЗ (рисунок 6.2).

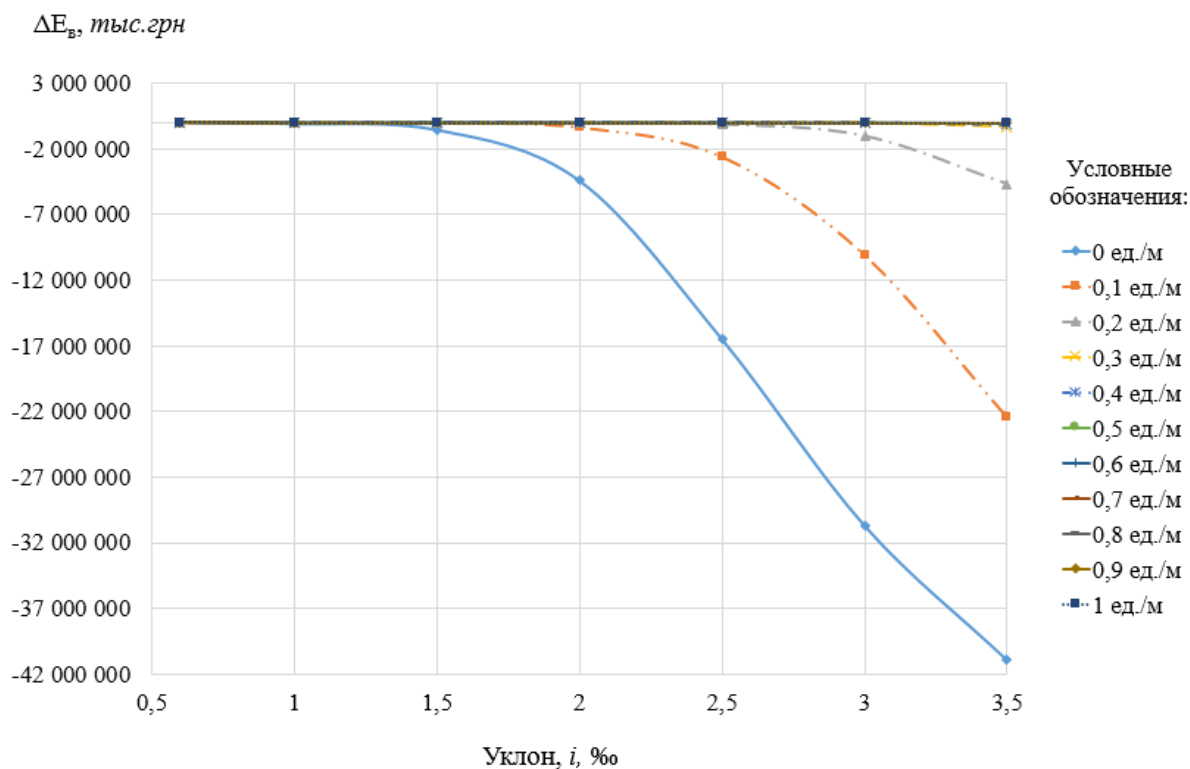


Рисунок 6.2 – Графики зависимости экономии годовых эксплуатационных расходов, связанных с повреждением вагонов, от уклона сортировочного пути и плотности расположения ТВЗ

Анализируя график возможно отметить, что расходы на ремонт вагонов, вагонный парк и оборотных средств уменьшаются от увеличения плотности расположения ТВЗ и от уменьшения уклона первого участка сортировочного пути.

6.3 Расчет экономии годовых эксплуатационных расходов, связанных с простоем составов в парке приема сортировочной станции

Изменение продолжительности простоя составов в парке приема в рассматриваемом варианте происходит в случае изменения горочного технологического интервала t_r в сравнении с базовым вариантом [15].

Для известных расчетных размеров переработки составов из-за сутки $n_p = 24$ состава (приложение А, таблица А.1) и изменения горочного технологического интервала от $t_{Г(1)}$ в базовом варианте к $t_{Г(2)}$ в том варианте, который рассматривается, простой составов в ожидании расформирования изменится на величину Δt_{III} , ч:

$$\Delta t_{III} = 0,000125 n_p^2 (t_{Г(1)}^2 - t_{Г(2)}^2) - 0,1568 \cdot n_p (t_{Г(1)} - t_{Г(2)}). \quad (6.8)$$

Расчеты $t_{Г(1)}$, $t_{Г(2)}$ приведены в приложении В таблице (В.1 – В.3)

Результаты расчета Δt_{III} приведены в таблице 6.8.

Таблица 6.8 – Сокращение времени простоя составов в парке приема, ч

Плотность ТВЗ, r , ед./м	Уклон пути, i , ‰						
	0,6	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5
0	0	0,875	2,018	2,694	3,023	3,126	3,223
0,1	-0,173	0,708	1,933	2,623	2,867	2,987	3,063
0,2	-0,279	0,601	1,87	2,593	2,846	2,900	2,945
0,3	-0,397	0,483	1,812	2,572	2,842	2,899	2,914
0,4	-0,462	0,410	1,763	2,552	2,838	2,898	2,914
0,5	-0,540	0,321	1,679	2,536	2,831	2,898	2,914
0,6	-0,622	0,251	1,619	2,506	2,820	2,897	2,914
0,7	-0,694	0,153	1,546	2,469	2,814	2,896	2,914
0,8	-0,763	0,093	1,522	2,468	2,808	2,895	2,913
0,9	-0,838	-0,021	1,396	2,429	2,796	2,893	2,912
1,0	-0,894	-0,076	1,326	2,409	2,786	2,893	2,912

По данным табл. 6.8 построенные графики зависимости сокращения времени простоя составов в парке приема от уклона сортировочного пути и плотности расположения ТВЗ (рисунок 6.3).

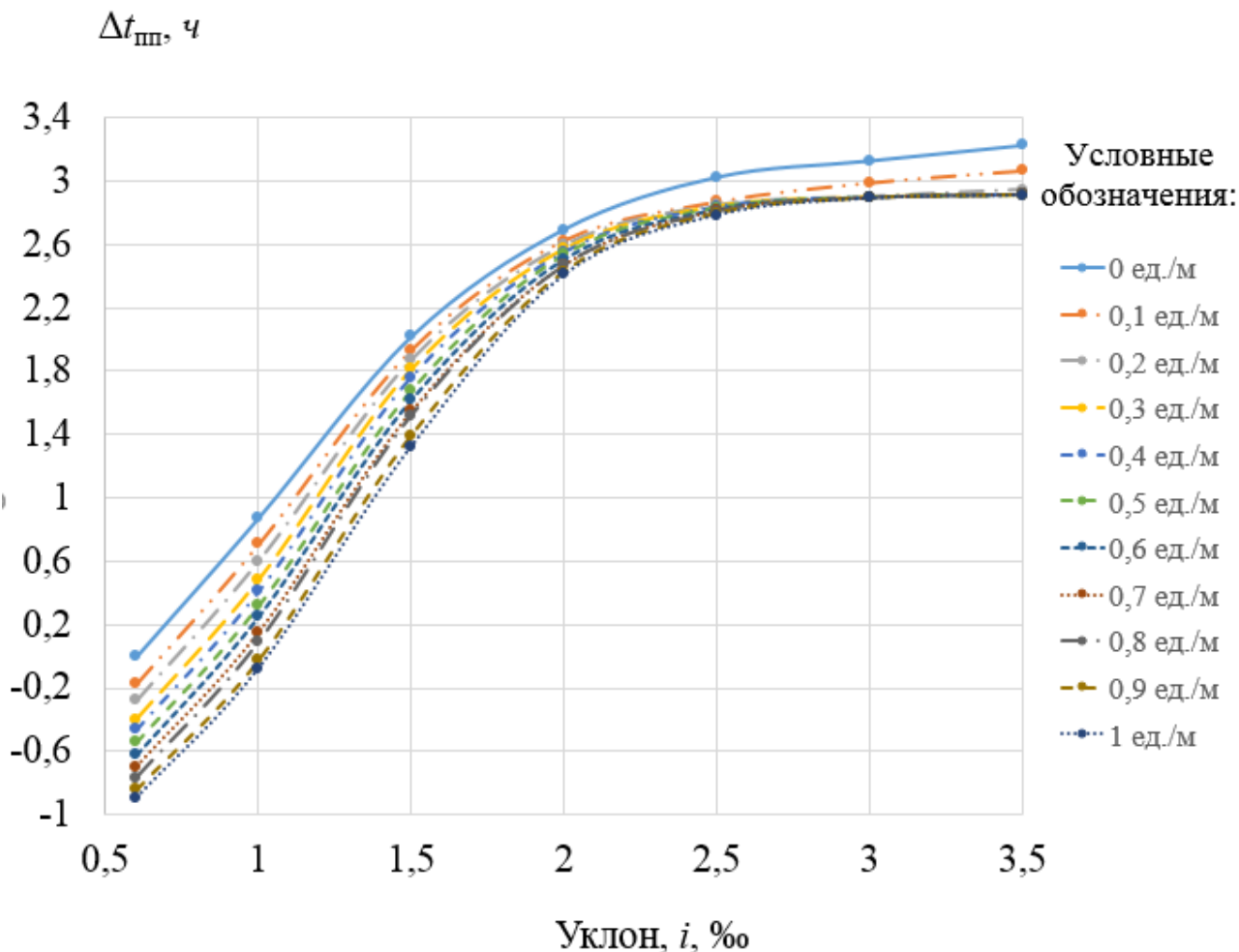


Рисунок 6.3 – Графики зависимости сокращения времени простоя составов в парке приема от уклона сортировочного пути и плотности расположения ТВЗ

На графике (см. рис. 6.3) четко прослеживается тенденция сокращения простоя составов в парке приема с увеличением уклона сортировочных путей. Плотность расположения ТВЗ на сортировочном пути почти не влияет на этот показатель.

Экономия расходов от сокращения продолжительности простоя составов в парке приема в случае уменьшения горочного технологического интервала в сравнении с базовым вариантом ΔE_{III} , (тыс. грн.) рассчитывается по формуле

$$\Delta E_{\text{III}} = 0,365 n_p \cdot m_c \cdot \Delta t_{\text{III}} \cdot e_{\text{В-ГОД}}, \quad (6.9)$$

где $e_{\text{В-ГОД}}$ – стоимость 1 вагоно-часа, согласно приложению А, таблица А.4 принято $e_{\text{В-ГОД}} = 2,0$ грн.

Результаты расчетов по вариантам приведено в таблице 6.9.

Таблица 6.9 – Экономия расходов от сокращения времени простоя составов в парке приема, тыс. грн.

Плотность ТВЗ, r , ед./м	Уклон пути, i , ‰						
	0,6	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5
0	0,0	2186,8	5110,9	6833,9	7705,3	7942,5	8103,0
0,1	-521,8	1643,5	4876,7	6676,2	7387,3	7705,3	7783,5
0,2	-744,3	1503,3	4722,0	6598,2	7387,3	7466,8	7546,3
0,3	-1040,8	1276,2	4567,6	6520,3	7307,8	7466,8	7466,8
0,4	-1263,3	1050,9	4412,9	6520,3	7307,8	7466,8	7466,8
0,5	-1484,3	825,3	4258,2	6362,5	7307,8	7466,8	7466,8
0,6	-1705,6	599,7	4103,5	6283,0	7229,9	7466,8	7466,8
0,7	-1852,9	449,6	3870,9	6203,5	7229,9	7466,8	7466,8
0,8	-2000,5	294,9	3716,2	6124,1	7229,9	7466,8	7466,8
0,9	-2221,5	0,0	3483,3	6044,6	7151,9	7466,8	7466,8
1	-2442,8	-224,1	3250,6	5965,1	7073,9	7466,8	7466,8

На рисунке 6.4 представлены зависимости экономии расходов от сокращения времени простоя составов в парке приема от уклона сортировочного пути и плотности расположения ТВЗ, построенные по данным табл. 6.9.

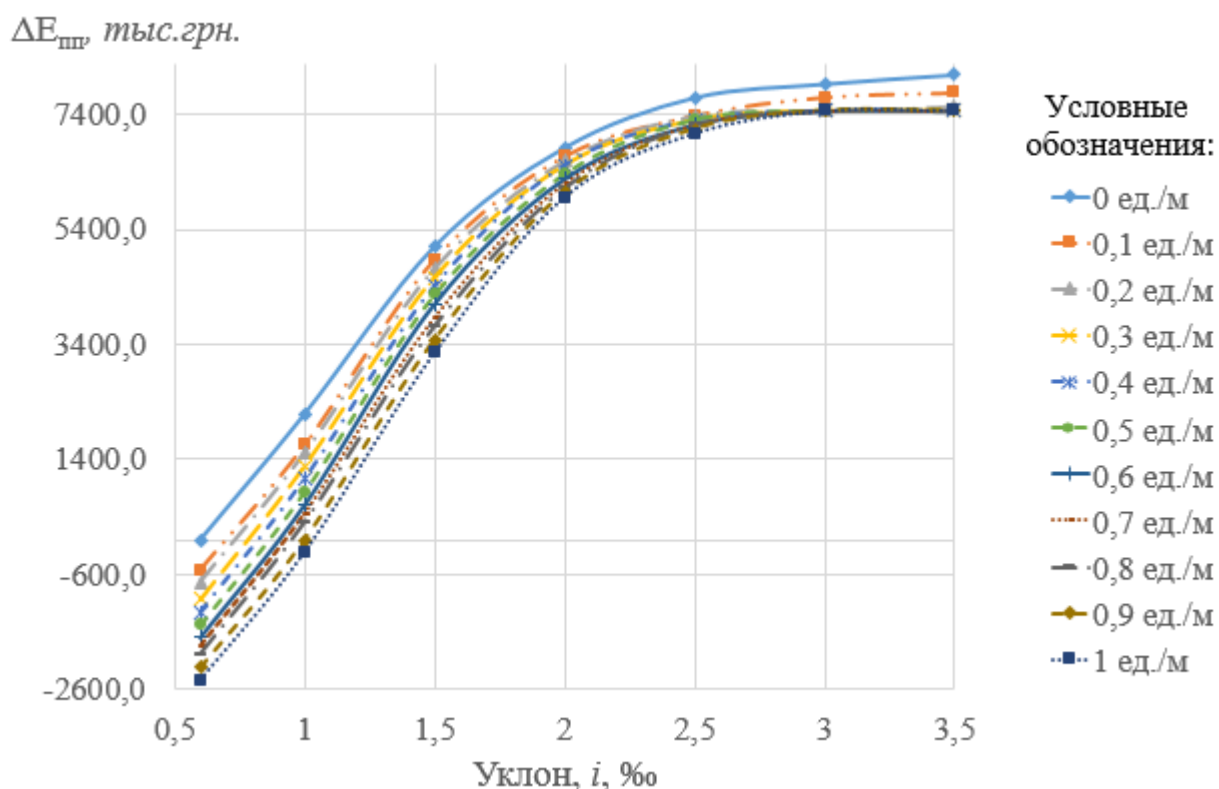


Рисунок 6.4 – Графики зависимости экономии расходов от сокращения времени простоя составов в парке приема от уклона сортировочного пути и плотности расположения ТВЗ

С увеличением уклона первого участка сортировочного пути и плотности расположения ТВЗ горочный технологический цикл уменьшается за счет уменьшения количества и продолжительности маневровых операций, связанных с осаживанием и подтягиванием вагонов. В базовом варианте плотность расположения ТВЗ равняется нулю, уклон сортировочного пути – 0,6 ‰. При сокращении горочного технологического цикла сокращается простой составов в парке приема в ожидании расформирования. Это в свою очередь приводит к уменьшению расходов, связанных с простоем составов в парке приема в ожидании расформирования. Как видно из графиков (рис. 6.4), оснащение сортировочных путей ТВЗ приводит к сокращению расходов по всем вариантам. Также можно отметить, что значительное сокращение расходов происходит при условии увеличения уклона сортировочных путей от 0,6 ‰ до 2 ‰. При дальнейшем увеличении уклона от 2,5 ‰ до 3,0 ‰ сокращение уже незначительное.

6.4 Расчет экономии приведенных годовых эксплуатационных расходов

После определения всех видов годовых эксплуатационных и капитальных вложений по каждому из вариантов технического оснащения сортировочных путей системой квазинеперерывного регулирования скорости отцепов рассчитана экономия приведенных годовых эксплуатационных расходов

$$E_{\text{пр}} = \Delta E_{\text{в}} + \Delta E_{\text{пп}} + e_{\text{н}} K_{\text{уст}} + K_{\text{сод}}, \quad (6.10)$$

где $K_{\text{сод}}$ и $K_{\text{уст}}$ – экономия расходов на содержание и установку ТВЗ соответственно. Значения $K_{\text{сод}}$ и $K_{\text{уст}}$ приведены в табл. 6.1;

$e_{\text{н}}$ – нормативный коэффициент окупаемости, согласно приложению Б принято $e_{\text{н}} = 0,1$.

Результаты расчетов приведенных годовых эксплуатационных расходов приведены в таблице 6.10.

Таблица 6.10 – Экономия приведенных годовых эксплуатационных расходов, млн грн.

Плотность ТВЗ, r , ед./м	Уклон пути, i , ‰						
	0,6	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5
0	0,00	-50,13	-519,82	-4394,49	-16473,84	-30663,67	-40896,36
0,1	11,24	6,73	-22,00	-371,02	-2607,56	-10091,51	-22441,75
0,2	15,76	13,93	16,11	8,55	-97,56	-994,96	-4672,74
0,3	16,65	15,33	18,53	19,71	17,81	-2,56	-282,70
0,4	16,58	14,99	18,87	20,38	19,52	-9,08	-153,39
0,5	16,68	15,44	18,96	20,89	21,75	21,65	20,78
0,6	16,61	15,28	18,78	20,96	21,39	20,76	19,03
0,7	16,61	15,10	18,70	20,94	21,97	22,12	21,95
0,8	16,53	15,10	18,61	20,93	22,03	22,18	21,84
0,9	16,29	14,78	18,44	20,91	21,93	22,08	21,64
1	16,13	14,71	18,27	20,90	22,01	22,40	22,40

По данным табл.6.10 построен графики зависимости приведенных годовых эксплуатационных расходов от уклона первого участка сортировочного пути и плотности расположения ТВЗ (рисунок 6.5).

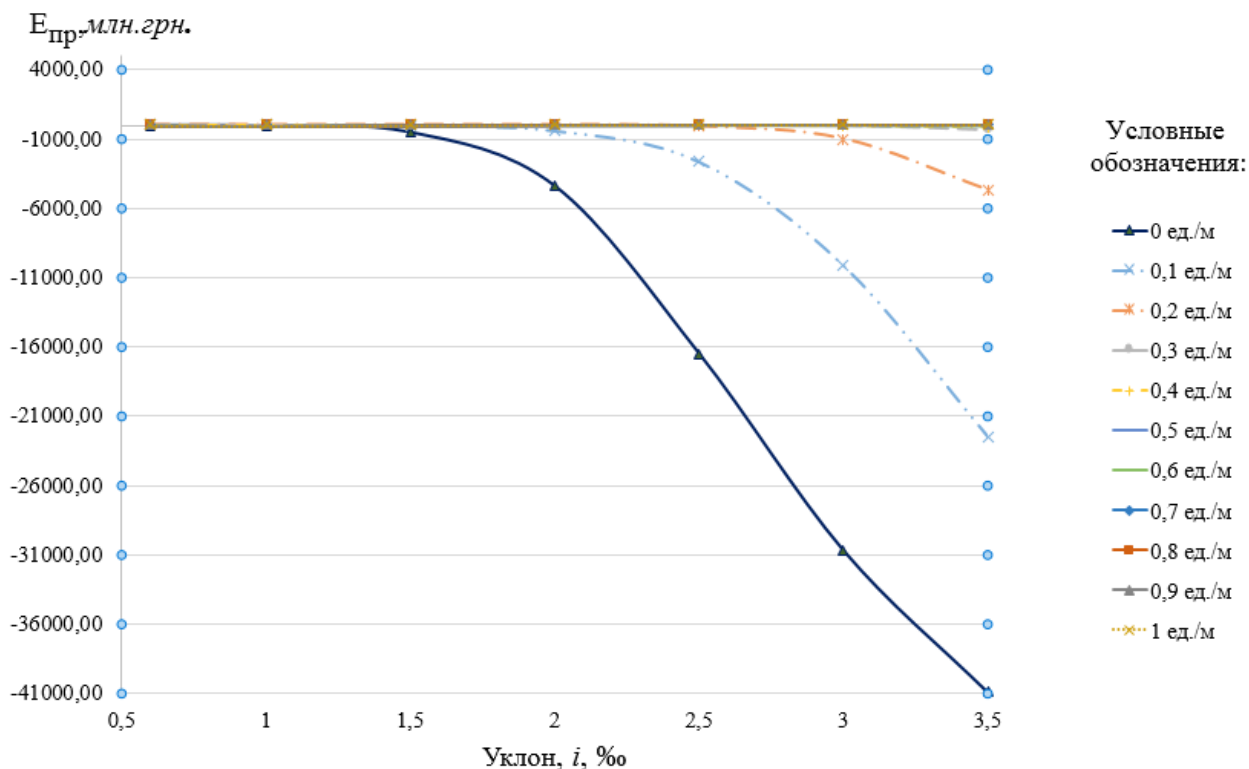


Рисунок 6.5 – Графики зависимости экономии приведенных годовых эксплуатационных расходов от уклона сортировочного пути и плотности расположения ТВЗ

Вариант оснащения сортировочных путей системой квазинеперерывного регулирования скорости отцепов будет более эффективным в сравнении с базовым вариантом, если его применение приведет к экономии приведенных годовых эксплуатационных расходов.

Если проанализировать графики зависимости приведенных годовых эксплуатационных расходов от уклона сортировочного пути и плотности расположения ТВЗ (рис. 6.5), то можно заметить, что зависимости имеют экстремальный характер. Приведенные годовые эксплуатационные расходы уменьшаются с увеличением уклона сортировочного пути и плотности расположения ТВЗ, достигают условного минимума, и потом возрастают.

Однако же это минимумы без учета стоимости работ по реконструкции профиля станции. Учет этих расходов может значительно ухудшить эффективность соответствующего варианта. Поэтому данными этого графика можно пользоваться только в условиях наличия соответствующего профиля сортировочных путей

Таким образом, можно предоставить следующие практические рекомендации: при наличии уклона сортировочных путей 2,5 ‰ экономически целесообразно устанавливать на нем ТВЗ с плотностью не больше 0,3 *ед./м*. Если уклон сортировочного пути 2 ‰, тогда плотность расположения ТВЗ должна быть несколько больше 0,2 *ед./м*, но эффект будет немного меньше.

Установлено, что можно достичь экономии приведенных годовых эксплуатационных расходов за счет увеличения уклона сортировочных путей и расположения на них ТВЗ. Значительная экономия приведенных годовых эксплуатационных расходов наблюдается при наличии уклона сортировочных путей 1,0 ‰ вместо нормативных 0,6 ‰, при условиях плотности расположения ТВЗ от 0,1 до 1,0 *ед./м*. Экономия порядка 5 *млн грн*. Более значительная экономия приведенных годовых эксплуатационных расходов, около 10 *млн грн.*, наблюдается при наличии уклона сортировочных путей 1,5 ‰, но только при условии плотности расположения ТВЗ от 0,2 *ед./м* и больше. Еще примерно 7,5 *млн грн*. экономии приведенных годовых эксплуатационных расходов можно ожидать при наличии уклона сортировочных путей 2,0 ‰, но при условиях плотности расположения ТВЗ больше 0,3 *ед./м*. Дальнейшее увеличение уклона сортировочных путей до 2,5 ‰ дает еще почти 5 *млн грн*. экономии приведенных годовых эксплуатационных расходов, но уже при условиях плотности расположения ТВЗ больше за 0,4 *ед./м*. При еще больших значениях уклона сортировочных путей экономия приведенных годовых эксплуатационных расходов почти неощутима.

Отсюда вывод о нецелесообразности увеличения уклона сортировочных путей больше 3 ‰. Т.е. дальше увеличивать уклон и плотность расположения ТВЗ нет смысла, потому что это не приведет к экономии приведенных годовых

эксплуатационных расходов, а лишь увеличит сумму капитальных вложений. При наличии уклона сортировочных путей 2,5 ‰ достаточно расположить ТВЗ с плотностью 0,3 *ед./м*.

Учет стоимости выполнения работ по реконструкции профиля может существенно повлиять на технико-экономическую эффективность оснащения сортировочных путей системой квазинеперерывного регулирования скорости отцепов с помощью ТВЗ. Поэтому при реконструкции продольного профиля к расчетам капитальных вложений нужно добавить расходы на выполнение земляных работ.

ВЫВОДЫ

В работе выполнен анализ работ, посвященных решению проблем функционирования подсистемы расформирования сортировочной станции, рассмотрена техническая характеристика и технологию работы станции Т, а также с учетом требований нормативных документов рассчитанная продолжительность выполнения основных технологических операций с поездами и составами на сортировочной станции.

Проанализированы статистические данные натуральных наблюдений за характеристиками вагонопотока, перерабатываемого на сортировочной горке, выполнена статистическая обработка случайных величин количества вагонов в отцепе, весовой категории отцепов, типа вагонов в отцепе. Данные наблюдений используются для моделирования заполнения сортировочных путей вагонами.

Проанализировано устройство и принцип действия точечных регуляторов скорости вагонов. Установлена взаимосвязь между уклоном сортировочного пути и плотностью расположения точечных регуляторов скорости вагонов на сортировочном пути. Выполнено моделирование процесса заполнения вагонами сортировочного пути, оснащенного системой квазинепрерывного регулирования скорости отцепов с использованием ТВЗ. По результатам моделирования выполнен анализ зависимостей показателей качества заполнения сортировочных путей вагонами от параметров системы квазинепрерывного регулирования скорости вагонов ТВЗ.

Исследованием установлено, что показатели качества заполнения сортировочного пути вагонами противоположно реагируют на изменении параметров системы квазинепрерывного регулирования скорости. При увеличении плотности расположения ТВЗ вероятность подхода отцепов к вагонам на сортировочном пути с безопасной скоростью асимптотично возрастает, а степень заполнения сортировочного пути вагонами падает. При увеличении уклона сортировочного пути асимптотично увеличивается степень

заполнения сортировочных путей вагонами, а вероятность подхода отцепов к вагонам на сортировочном пути с безопасной скоростью уменьшается. Чтобы одновременно улучшались оба показателя качества заполнения вагонами сортировочных путей нужно увеличивать и уклон сортировочного пути, и плотность расположения ТВЗ.

Анализ зависимости показателей качества заполнения вагонами сортировочных путей при оснащении их системой квазинеперерывного регулирования скорости не дает однозначного ответа на вопрос, какими параметрами должна обладать такая система, потому что показатели качества характеризуют разные стороны процесса заполнения сортировочного пути вагонами и не могут непосредственно сравниваться между собой. Поэтому выполнено технико-экономическое сравнение вариантов системы квазинеперерывного регулирования скорости отцепов на сортировочных путях.

Оценка приведенных годовых эксплуатационных расходов свидетельствует о нецелесообразности использования ТВЗ на сортировочных путях с уклонами, близкими к нормативному значению. Использовать ТВЗ целесообразно только в случае, если уклон сортировочных путей больше за 1,5‰

БИБЛІОГРАФІЯ

1.°Про схвалення Транспортної стратегії України на період до 2020 року, затвердженої розпорядженням Кабінету Міністрів України від 20 жовтня 2010 року № 2174 [Електронний ресурс]. – Режим доступа: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/2174-2010-%D1%80>

2.°Стратегія розвитку залізничного транспорту на період до 2020 р.: схвалено розпорядженням Кабінету Міністрів України від 16.12.2009р. за 27 № 1555 [Електронний ресурс]. – Режим доступа: http://transloq.com.ua/rasporjazhenie_kmu_1555r_strategija_razvitija_zhd_transporta

3.°Яновський, П. О. Результати аналізу існуючого стану та пропозиції з перспективи розвитку і розміщення на мережі залізниць сортувальних станцій для забезпечення прогнозних обсягів перевезень до 2020 року [Текст] / П. О. Яновський, А. А. Акуленко // Залізн. трансп. України. – 2010. – № 1. – С. 28–31

4.°Журавель В. В. Дослідження впливу реконструкції витяжних колій на ефективність функціонування сортувальної станції [Текст] / В. В. Журавель, І. Л. Журавель, А. І. Маслюк // Зб. наук. праць «Транспортні системи та технології перевезень» – Д., 2013. – с. 23– 27

5.°Козаченко, Д. М. Дослідження впливу технічного стану гальмових уповільнювачів на переробну спроможність сортувальних гірок/ Д. М. Козаченко, С. В. Гревцов, Т. В. Болвановська // Наука та прогрес транспорту. – 2016. – № 4 – С. 37 – 46

6.°Демченко Є.Б. Дослідження ефективності конструкції сортувальної гірки з горбами різної висоти [Текст] / Демченко Є.Б., Бобровський В.І. // Зб. наук. праць «Транспортні системи та технології перевезень» – Д., 2012. – с. 13– 18

7.°Березовий, М. І. Підвищення ефективності роботи залізничних станцій шляхом удосконалення спеціалізації сортувальних колій: авт. дис. к. т. н.: 05.22.20 / М. І. Березовий – Д., 2010. <http://eadnurt.diit.edu.ua/handle/123456789/101>

8. Бобровський °В. І. Підвищення ефективності функціонування сортувальних комплексів станцій в умовах нерівномірності вхідного потоку поїздів [Текст] / В. І. Бобровський, Є. Б. Демченко, А. С. Дорош // Зб. наук. праць «Транспортні системи та технології перевезень» – Д., 2015. – с. 16– 22

9. °Бобровський, В. І. Моделювання процесу насуву та розпуску составів на сортувальній гірці [Текст] / В. І. Бобровський, Є. Б. Демченко // Зб. наук. праць ДНУЗТ «Транспортні системи та технології перевезень». – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2012. – Вип. 4. – С. 13– 19.

10. °Макеєв В. А. Оценка эффективности управленческих решений на железнодорожном транспорте [Текст] / В. А. Макеєв // Экономика железных дорог. – 2008. – № 9. – С. 13– 29

11. °Шиш В. О. Перспективи та закордонний досвід розвитку систем автоматизації гірок сортувальних станцій [Текст] / В. О. Шиш // Матеріали семінару–наради «Розвиток сортувальних станцій». Знам'янка, 2010 – С. 31–40

12. °Куценко, М. Ю. Пристрої регулювання швидкості відчепів на сортувальних гірках України: вчора, сьогодні, завтра [Текст] / М. Ю. Куценко, О. А. Горбачев // Зб. наук. праць студентів та магістрів / УкрДАЗТ. – Х., 2006. – Вип. 74, Ч. 1. – С. 152-156

13. Назаров А. А. К вопросу оптимизации параметров системы регулирования скорости вагонов точечными вагонозамедлителями [Текст] / А. °А. Назаров, И. С. Бардак // Тези доповідей 4–ї міжнародної науково–практичної конференції «Проблеми та перспективи розвитку транспортних систем в умовах реформування залізничного транспорту: управління, економіка і технології» – К.: КУЕТТ, 2008. – С. 150–151

14. °Бобровский, В. И. Совершенствование конструкции и технологии работы сортировочных комплексов железнодорожных станций: монография / В. °И. Бобровский, Д. Н. Козаченко, А. И. Колесник, Е. Б. Демченко, А. С. Дорош. – Днепропетровск: Изд-во Маковецкий, 2012. – 232 с.

15. °Методичні рекомендації операторам сортувальних гірок щодо управління пристроями на механізованих і автоматизованих сортувальних гірках

[Електрон. ресурс]: Затв.: Наказ Укрзалізниці від 22.02.2013 р. № 042– Ц/од. – Режим доступа: http://static.scbist.com/scb/uploaded/1_1388495805.doc

16.°Назаров О. А. Заповнення сортувальних колій вагонами з безпечною швидкістю [Текст] / О. А. Назаров// Зб. наук. праць ДНУЗТ «Транспортні системи та технології перевезень». – Д.: Вид-во ДНУЗТ,2011.– С.58– 61

17.°Системы автоматизации сортировочных горок // Железнодорожный форум [Электронный ресурс]. – Режим доступа к ресурсу: <http://scbist.com/>

18.°Козаченко Д.М. Новий вагонний уповільнювач УВСК українського виробництва / Д. М. Козаченко, Р. В. Вернигора, М. І. Березовий, А. А. Гарбузов // Залізничний транспорт України. — 2010. — № 2. — С. 34—38

19.°Ангелейко, В. И. Железнодорожный путь и станции промышленных предприятий / В. И. Ангелейко. – Москва: Гостехиздат, 2012. – 302 с.

20.°Оптимизация режимов торможения отцепов на сортировочных горках [Текст]: Монография / под. ред. В. И. Бобровского – Д.: Изд-во Маковецкий, 2010. – 260 с

21.°Козаченко Д. Н. Устойчивость вагонов при торможении замедлителями / Д. Н. Козаченко, С. О. Пожидаев, К. И. Железнов // Зб. наук. праць «Транспортні системи та технології перевезень» – 2015. – № 10. – С.57– 63.

22.°Козаченко °Д. Н. Оптимизация распределения сортировочных путей между регулировщиками скорости вагонов [Текст] / Д. Н. Козаченко, В. И. Бобровский, С. В. Гревцов // Зб. наук. праць «Транспортні системи та технології перевезень»– 2017.– С.26– 36

23.°Directive 2000/14/EC of the European Parliament and of the Council [Електронний ресурс] – Режим доступа: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex%3A32000L0014>

24.°Костюк Б. С., Куренков П.В., Нехаев М.А., Рувинов И.Р. Модернизация сортировочных станций на железных дорогах Северной Америки. [Текст] / Б. С. Костюк, П. В. Куренков, М. А. Нехаев, И. Р. Рувинов // ООО «Тема», МИИТ,2013.– С. 33– 41

25.°Статистичний щорічник України за 2011 рік [Текст] / Державний комітет статистики України; за ред. О. Г. Осауленка. – К.: ТОВ "Август–трейд", 2012. – 559 с.

26.°Informative-control system for a classification yard [Text] // Eiserbahntechnische Rundschau 1992. – № 10. – s. 651–657

27.°Берндт Т. Сортировочные горки на железных дорогах мира [Текст] / Т. Берндт, С. В. Власенко // Автоматика, связь, информатика. 2007. – № 6. – С. 45–48

28.°Шабельников А. Н. Использование зарубежных систем автоматизации [Текст] / А. Н. Шабельников // Ж.-д. транспорт. – 2010. – № 8. – С. 54–55

29.°Шелухин В. И. Автоматизация й механизация сортировочных горок [Текст] / В. И. Шелухин // Маршрут, – М.: 2005. — 240 с.

30.°Бочаров О. П. Загальні принципи побудови інтегрованої інформаційно-керуючої системи сортувальної станції (ІКС СС) [Текст] / О. П. Бочаров, Б. П. Мороз, В. О. Шиш // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті, Науково-технічний журнал, 2010 №4, С. 46—48

31.°Reschel M. Modernization of Antwerpen-Nord classification yard [Text] / M. Reschel // Rail Engineering International. – 1988. – № 1. – pg. 6–9

32.°Евразия вести 2009 №1 [Електроний ресурс] / Режим доступу: <http://www.eav.ru/publ1.php?publid=2009-01a14>

33.°Тенденции развития железнодорожного транспорта: Материалы науч.– практ. конф., 16– 17 октября 2014 г./ Московский государственный университет путей сообщения. – Москва, 2014 г.– 115 с.

34.°Тенденции развития железнодорожного транспорта: Материалы совещания, 22 – 24 октября 2015 г./ Российская академия путей сообщения. – Москва, 2015 г. – 56 с.

35. Правила технічної експлуатації (ПТЕ) залізниць України

36.°Інструкція з руху поїздів (ІРП) і маневрової роботи на залізницях України

37. Сотников И. Б. Эксплуатация железных дорог (в примерах и задачах) Учебное пособие для вузов и техникумов ж.д. транспорта. – 4–е изд. перераб. и доп. М.: Транспорт, 1984. –224 с.

38.°Назаров О. А., Заповнення сортувальних колій вагонами з безпечною швидкістю [Текст] / О. А. Назаров // Зб. наук. праць «Транспортні системи та технології перевезень» – Д., 2011. – С. 58–61

39.°Гревцов С. В. Исследование условий разделения отцепов на механизированных тормозных позициях [Текст] / Гревцов С. В. // Зб. наук. праць «Транспортні системи та технології перевезень» – Д.,2016.– № 11– с.26– 32

40.°Божко М. П. Розрахунок і проектування сортувальної гірки [Текст]: Методичні вказівки до курсового проекту та дипломного проектування /М. П. Божко, Ю. О. Муха – Д.: Дніпропетр. нац. ун– т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2000. – 32 с.

41.°Назаров А. А. Оптимизация параметров системы квазинепрерывного регулирования скорости отцепов на показатели качества прицельного торможения [Текст] / А. А. Назаров // тезисы 68– й Международ. науч.– техн. конф. «Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта» – Д.: ДИИТ, 2008. – С. 60–61

42.°<http://www.axtone.eu/ru/kx-htc.html> Активные точечные замедлители КХ– НТС

43. Назаров О. А., Заповнення сортувальних колій вагонами з безпечною швидкістю [Текст] / О. А. Назаров // Зб. наук. праць «Транспортні системи та технології перевезень» – Д., 2011. – С. 58–61

СПИСОК РИСУНКОВ

Рисунок 1.1. – Точечный вагонный замедлитель типа Trackguard Retarger
TKG

Рисунок 2.1 – Принципиальная схема сортировочной станции

Рисунок 2.2 – Расчетная схема подсистемы расформирования

Рисунок 3.1 – Гистограмма распределения случайной величины весовой категории отцепов

Рисунок 3.2 – Многоугольник распределения случайной величины количества вагонов в отцепе

Рисунок 3.3 – Диаграмма распределения случайной величины типа вагонов в отцепе

Рисунок 4.1 – Капсюль ТВЗ в разрезе

Рисунок 4.2 – Принципиальная схема работы ТВУЗ

Рисунок 4.3 – Схема относительного расположения ТВЗ, колеса вагона и рельса в момент набегания колеса на головку капсюля замедлителя

Рисунок 5.1 – Продольный профиль сортировочного пути и решения уравнения движения отцепа в энергетическом виде

Рисунок 5.2 – Графики зависимости вероятности подхода отцепов к вагонам с безопасной скоростью от уклона сортировочного пути и плотности расположения ТВЗ

Рисунок 5.3 – Графики зависимости вероятности соединения отцепов с вагонами на сортировочном пути с безопасной скоростью от уклона сортировочного пути и плотности расположения ТВЗ

Рисунок 5.4 – Графики зависимости степени заполнения сортировочного пути вагонами от уклона и плотности расположения ТВЗ

Рисунок 6.1 – Графики зависимости количества поврежденных вагонов за год от уклона сортировочного пути и плотности расположения ТВЗ

Рисунок 6.2 – Графики зависимости экономии годовых эксплуатационных расходов, связанных с повреждением вагонов, от уклона сортировочного пути и плотности расположения ТВЗ

Рисунок 6.3 – Графики зависимости сокращения времени простоя составов в парке приема от уклона сортировочного пути и плотности расположения ТВЗ

Рисунок 6.4 – Графики зависимости экономии расходов от сокращения времени простоя составов в парке приема от уклона сортировочного пути и плотности расположения ТВЗ

Рисунок 6.5 – Графики зависимости экономии приведенных годовых эксплуатационных расходов от уклона сортировочного пути и плотности расположения ТВЗ

СПИСОК ТАБЛИЦ

Таблица 2.1 – Расчет времени заезда локомотива в парк приема за составом

Таблица 3.1 – Расчет среднего веса вагона в отцепе

Таблица 3.2 – Расчет параметров распределения случайной величины значений весовых категорий отцепов по результатам натуральных наблюдений

Таблица 3.3 – Расчет параметров распределения случайной величины количества вагонов в отцепе в сортировочном парке по результатам натуральных наблюдений

Таблица 3.4 – Расчет параметров распределения случайной величины типа вагонов в отцепе по результатам натуральных наблюдений

Таблица 5.1 – Вероятность подхода с безопасной скоростью отцепов к вагонам на сортировочном пути, оснащенный системой квазинеперерывного регулирования скорости отцепов

Таблица 5.2 – Степень заполнения вагонами сортировочного пути, оснащенного системой квазинеперерывного регулирования скорости отцепов

Таблица 6.1 – Расчет расходов стоимости установки ТВЗ и расходов на их содержание

Таблица 6.2 – Количество поврежденных вагонов на 1000 переработанных

Таблица 6.3 – Количество поврежденных вагонов за год

Таблица 6.4 – Расходы на ремонт вагонов, тыс. грн

Таблица 6.5 – Дополнительные расходы на вагонный парк, тыс. грн

Таблица 6.6 – Потери оборотных средств в результате задержек в доставке грузов клиентуре, тыс. грн.

Таблица 6.7 – Экономия годовых эксплуатационных расходов, связанных с повреждением вагонов, тыс. грн.

Таблица 6.8 – Сокращение времени простоя составов в парке приема, ч

Таблица 6.9 – Экономия расходов от сокращения времени простоя составов в парке приема, тыс. грн.

Таблица 6.10 – Экономия приведенных годовых эксплуатационных расходов,
млн грн.

АННОТАЦИЯ

Для повышения уровня интероперабельности и безопасности перевозочного процесса на железных дорогах Украины, обеспечения сохранности подвижного состава и перевозимых грузов необходимо внедрение новых технологий и новых технических устройств. Одной из таких технологий является применение систем квазинепрерывного регулирования скорости отцепов на сортировочной горке в целом и на сортировочных путях в частности. Это позволит повысить качество и уменьшить влияние человеческого фактора на процесс расформирования-формирования поездов.

В дипломной работе исследован процесс заполнения вагонами сортировочных путей на примере подсистемы расформирования сортировочной станции, выполнен анализ перерабатываемого вагонопотока в переработку, проанализирован зарубежный опыт эксплуатации различных систем квазинепрерывного регулирования скорости отцепов на сортировочной горке, выполнено исследование влияния параметров системы на показатели качества заполнения сортировочных путей вагонами, даны рекомендации относительно того, какими параметрами должна обладать система, чтобы показатели качества заполнения сортировочных путей были наилучшими.

Ключевые слова: отцеп, сортировочная горка, сортировочный путь, точечный вагонный замедлитель, уклон, железная дорога.

SUMMARY

To increase the level of interoperability and safety of the transportation process on the railways of Ukraine, to ensure the safety of rolling stock and transported goods, it is necessary to introduce new technologies and new technical devices. One of these technologies is the use for quasi-continuous speed control systems of the cut on the hump in general and on the sorting tracks in particular. This will improve the quality and reduce the influence of the human factor on the process of breaking up and forming trains.

In the diploma work, the process of filling marshalling tracks with cars was investigated using the example of a subsystem for breaking up trains of a marshalling yard, an analysis of the processed car flow for processing was carried out, foreign experience of operating various quasi-continuous speed control systems of cuts on a hump was analyzed, a study of the effect of system parameters on indicators of the quality of filling the sorting tracks with cars, recommendations are given as to what parameters the system should have in order for the quality indicators of filling the sorting tracks to be the best.

Keywords: cut, hump, sorting track, dot car retarder, slope, railway.