

**УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТА»**

УДК 656.212.4.001.2

ФИЛАТОВ
Евгений Анатольевич

**ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ СТРЕЛОЧНЫХ ГОРЛОВИН
ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ И ЭФФЕКТИВНОСТИ
МАНЕВРОВОЙ РАБОТЫ**

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

по специальности
05.22.08 – управление процессами перевозок

Гомель, 2021

Научная работа выполнена в учреждении образования «Белорусский государственный университет транспорта»

Научный руководитель

Негрей Виктор Яковлевич,

доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Управление эксплуатационной работой и охрана труда» Белорусского государственного университета транспорта

Официальные оппоненты:

Пазойский Юрий Ошарович,

доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Железнодорожные станции и транспортные узлы» Российского университета транспорта;

Васильев Степан Михайлович,

кандидат технических наук, доцент, декан механического факультета учреждения образования «Белорусский государственный университет транспорта»

Оппонирующая организация

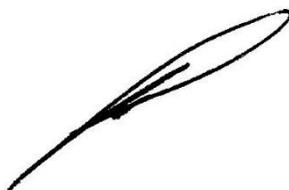
Конструкторско-технический центр Белорусской железной дороги

Защита состоится «17» декабря 2021 г. в 14-00 часов на заседании совета по защите диссертаций Д.02.27.01 при учреждении образования «Белорусский государственный университет транспорта» по адресу: 246653, г. Гомель, ул. Кирова, 34, ауд. 250, e-mail: cherninri@gmail.com, телефон ученого секретаря совета (+375232)95-37-91, факс (+375232)95-36-89.

С диссертацией можно ознакомиться в научно-технической библиотеке учреждения образования «Белорусский государственный университет транспорта».

Автореферат разослан 11 ноября 2021.

Ученый секретарь совета
по защите диссертаций,
кандидат технических наук



Р. И. Чернин

© Филатов Е.А., 2021

ВВЕДЕНИЕ

Увеличение массы и длины поездов является устойчивой тенденцией развития железнодорожного транспорта, вызывающей потребность модернизации подвижного состава и транспортной инфраструктуры. Экономическая целесообразность постоянно стимулирует повышение грузоподъемности и грузоместимости вагонов, что в свою очередь предъявляет особые требования к путевой инфраструктуре железнодорожных станций.

Маневровая работа на станциях сосредоточена в горловинах парков, которые проектируются с применением большого количества кривых и стрелочных переводов. Использование в таких зонах вагонов увеличенных размеров приводит к максимальным взаимным отклонениям элементов путевого развития и подвижного состава. Это создает наихудшие условия для выполнения маневровой работы в части обеспечения эффективного движения в сцепе и безопасного сцепления в кривых, особенно *s*-образных. Сцепление вагонов на таких участках должно происходить при непосредственном участии человека, однако это невозможно при роспуске с горки. В таком случае применение подвижного состава увеличенных размеров создает риски нарушения безопасности и эффективности маневров в стрелочных горловинах и может приводить к опасным отказам и даже сходу вагонов. Поэтому требуется проведение дополнительных исследований условий взаимодействия путевого развития железнодорожных станций с современным подвижным составом.

Анализ нормативной базы по проектированию железнодорожных станций и подвижного состава выявил существенные расхождения между ними в части технической совместимости транспортной инфраструктуры и подвижного состава. Это связано в основном с устойчивым увеличением длины подвижного состава, заметно опережающим темпы снижения криволинейности схем путевого развития. Как следствие, не гарантируется безопасность маневровой работы в стрелочных горловинах станций и промышленных предприятий за счет снижения эффективности взаимодействия такого подвижного состава с кривыми, стрелочными переводами и их комбинациями. Мало исследован широкий круг вопросов, связанных с границами опасных участков, ограничением параметров кривых, применения прямых вставок и других факторов взаимного влияния конструкций путевого развития и подвижного состава.

Комплексное исследование условий взаимодействия путевого развития и подвижного состава позволит систематизировать параметры их технической совместимости, усовершенствовать требования к проектированию транспортной инфраструктуры, определить и устранить опасные зоны на станциях с учетом технических особенностей эксплуатируемого вагонного потока. В связи с этим обоснование параметров стрелочных горловин для повышения безопасности и эффективности маневровой работы является своевременным и актуальным для повышения качества перевозочного процесса.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Связь работы с научными программами (проектами), темами

Исследования и научно-технические разработки по теме диссертации выполнялись в соответствии с:

1) Национальной стратегией устойчивого социально-экономического развития Республики Беларусь на период до 2030 года (одобрена протоколом заседания Президиума Совета Министров Республики Беларусь от 2 мая 2017 г. № 10) [пункт 5.5.3, в части совершенствования транспортной инфраструктуры, в целях формирования современной транспортной инфраструктуры, модернизации и развития];

2) Стратегией инновационного развития транспортного комплекса Республики Беларусь до 2030 года (утверждена приказом Министерства транспорта и коммуникаций Республики Беларусь от 25.02.2015 № 57-Ц) [глава 2, в части повышения безопасности транспортной деятельности за счет совершенствования норм и правил проектирования транспортной инфраструктуры; пункт 7.4 «Железнодорожный транспорт», в части модернизации и развития железнодорожной инфраструктуры];

3) Государственной программой развития транспортного комплекса Республики Беларусь на 2016–2020 годы (утверждена постановлением Совета Министров Республики Беларусь 28.04.2016 № 345) [глава 8, в части развития инфраструктуры и обновления подвижного состава, повышения эффективности использования ресурсов, повышения уровня качества и безопасности перевозок].

В соответствии с планами НИОКР при непосредственном участии автора выполнены следующие НИР:

1) «Разработка инструкции по проектированию (реконструкции) железнодорожных станций и узлов», БЖДПР/Ю 2038/5785, 01.12.08-31.12.09;

2) «Правила и нормы проектирования сортировочных устройств на Белорусской железной дороге», Д/Ю 722, 01.10.12-30.06.13;

3) госбюджетная НИР «Повышение безопасности и надежности работы элементов инфраструктуры железнодорожного транспорта».

Цель и задачи исследования

Целью диссертационного исследования является повышение безопасности и эффективности маневровой работы.

Для достижения поставленной цели решены следующие задачи:

– произведен системный анализ объекта и предмета исследования, выполнена постановка задачи исследования, определены критерии и методы исследования;

– изучены и проанализированы научные и практические подходы к организации перевозочного процесса и проектированию, учитывающие взаимное влияние путевого развития железнодорожных станций и подвижного состава;

- обоснованы новые и усовершенствованы существующие способы определения параметров путевого развития, обеспечивающие безопасность и эффективность маневровой работы по условию взаимодействия с подвижным составом;
- установлены расчетные категории вагонного парка и путевой инфраструктуры Белорусской железной дороги (БЧ), обоснован комплексный критерий технической совместимости конструкций путевого развития и подвижного состава;
- сформулированы требования к проектированию стрелочных горловин железнодорожных станций, обеспечивающие повышение безопасности и эффективности маневровой работы в условиях БЧ.

Объектами исследования является инфраструктура железнодорожных станций и промышленных предприятий, конструкции эксплуатируемого и перспективного подвижного состава.

Предметом исследования являются конструкционные параметры стрелочных горловин железнодорожных станций и подвижного состава, способы обоснования безопасности и эффективности их взаимодействия.

Выбор объекта и предмета исследования обусловлен необходимостью повышения безопасности и эффективности маневровой работы с учетом современных тенденций развития подвижного состава и требований к конструкциям путевого развития.

Научная новизна

Для повышения качества маневровой работы с современным подвижным составом:

- предложена методика комплексного обоснования параметров стрелочных горловин для повышения безопасности и эффективности маневровой работы;
- разработана расчетная модель взаимодействия схем путевого развития и подвижного состава на основе комплексного критерия их технической совместимости;
- идентифицированы и систематизированы условия взаимодействия элементов стрелочных горловин и подвижного состава;
- определены критерии оценки условий взаимодействия при движении вагонов в сцепе и автоматическом сцеплении, установлены расчетные параметры вагонного парка и стрелочных горловин;
- установлены требования к схемам путевого развития, обеспечивающие их техническую совместимость с подвижным составом для расчетных условий Белорусской железной дороги.

Положения, выносимые на защиту

1 Методика обоснования параметров стрелочных горловин для повышения безопасности и эффективности маневровой работы.

2 Расчетная модель взаимодействия схем путевого развития и подвижного состава, ее графическая интерпретация.

3 Способы расчета параметров стрелочных горловин, обеспечивающих техническую совместимость с подвижным составом.

4 Требования к проектированию стрелочных горловин железнодорожных станций, обеспечивающие повышение безопасности и эффективности маневровой работы в условиях Белорусской железной дороги.

Личный вклад соискателя ученой степени

Диссертация является самостоятельным и законченным научным исследованием проблем проектирования путевого развития железнодорожных станций для повышения безопасности и эффективности маневровой работы за счет обеспечения технической совместимости с подвижным составом. Положения, выносимые на защиту, разработаны соискателем лично, апробированы, имеют научную новизну и практическую значимость.

Соискателем проанализированы особенности существующих подходов к определению эксплуатационных ограничений, связанных с взаимным расположением путевого развития и подвижного состава. На их основе предложены новые способы оценки влияния конструкций схем путевого развития на безопасность маневровой работы.

Совместно с научным руководителем соискателем определялись вопросы постановки задач исследования, оценки и интерпретации полученных результатов.

Апробация диссертации и информация об использовании ее результатов

Научные результаты диссертации нашли полное отражение в опубликованных печатных работах соискателя, докладывались и обсуждались на следующих научных мероприятиях: открытых научных семинарах и заседаниях кафедр «Транспортные узлы» и «Управление эксплуатационной работой и охрана труда» УО «Белорусский государственный университет транспорта»; на VIII Международной научно-практической конференции, посвященной Году науки, «Проблемы безопасности на транспорте» (секции «Безопасность транспортных систем» и «Безопасность и надежность подвижного состава», БелГУТ, Гомель, 2017); VI Международной научно-практической конференции «Перспективы взаимодействия железных дорог и промышленных предприятий» (Днепр, 2017); IV Международной научно-практической конференции «Актуальные вопросы и перспективы развития транспортного и строительного комплексов» (Гомель, БелГУТ, 2018); Международной научно-практической конференции «Тихомировские чтения: Инновационные технологии перевозочного процесса» (Гомель, БелГУТ, 2018); X Международной научно-практической конференции «Проблемы безопасности на транспорте» (Гомель, БелГУТ, 2020)); Международной научно-практической конференции «Тихомировские чтения: Синергия технологии перевозочного процесса» (Гомель, БелГУТ, 2021).

Результаты диссертации использованы: в учебном процессе учреждения образования «Белорусский государственный университет транспорта»; при выполнении НИР

«Исследование параметров взаимодействия длиннобазных вагонов в кривых участках отдельных путей горочной горловины сортировочно-отправочного парка станции Могилев-2 при их роспуске с сортировочной горки», Д/Ю 7125, 04.04.2011-30.04.2011; в предложениях по НИР «Обследование конструкций сортировочных горок Белорусской железной дороги и разработка предложений по совершенствованию их параметров», Д/Ю 7345, 01.08.11-19.02.12; при выполнении НИР «Технико-экономическое обоснование реконструкции сортировочного комплекса станции Новополоцк», Д/Ю 1/7930, 01.08.12-15.11.12; хоздоговорной НИР № 293 ПЧ-3/11511 от 18.10.17 «Обследование немеханизированной сортировочной горки станции Степянка Минской дистанции пути УП "Минское отделение Белорусской железной дороги"».

Опубликование результатов диссертации

По теме диссертации опубликовано 14 работ, в том числе 6 статей в научных изданиях, включенных в перечень ВАК (4,68 а. л.), 7 публикаций в материалах конференций, 1 – в тезисах докладов.

Структура и объем диссертации

Диссертация состоит из введения, общей характеристики работы, четырех глав, заключения, списка литературы и приложений. Работа изложена на 292 страницах. Объем, занимаемый 107 рисунками, 22 таблицами и 6 приложениями, составляет 154 страницы. Список литературы состоит из 162 наименований, включая 14 публикаций соискателя, и занимает 13 страниц.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Во введении обоснована актуальность представленной работы.

В первой главе выполнен обзор сложившихся научных и практических подходов к определению взаимного положения элементов подвижного состава и путевого развития. Решение таких задач при эксплуатации железнодорожного транспорта особенно актуально в области проектирования вагонов и расчетах различных габаритов. Эти сферы эксплуатации железнодорожного транспорта широко исследованы многими учеными, среди них: Блохин Е.П., Бобровский В.И., Богданов В.М., Вериго М.Ф., Верцман Г.З., Карпущенко Н.И., Коган А.Я., Козаченко Д.Н., Козлов А.М., Котуранов В.Н., Лазаренко Ю.М., Лукин В.В., Малов А.Д., Негрей В.Я., Певзнер В.О., Правдин Н.В., Скиба И.Ф., Смехов А.А., Федотов Н.И., Хохлов А.А., Шадур Л.А. и другие.

Однако подходы, применяемые в различных направлениях эксплуатационной науки, имеют ряд существенных особенностей. Они отличаются расчетными параметрами элементов путевого развития, критериями выбора категорий вагонов с особыми условиями эксплуатации и контрольных точек подвижного состава (оси автосцепок,

тележек или внутренних колесных пар), способом учета дополнительных смещений вагонов в колее. Применяемые модели учитывают только полное расположение подвижного состава на участке круговой кривой, редко – *s*-образной кривой без вставки. В зависимости от сферы применения минимальные радиусы кривых изменяются в пределах от 150 до 480 м, а расчетные длины вагонов – от 17 до 24 м. Перечисленные выше отличия отдельных подходов затрудняют точное определение взаимного положения железнодорожной инфраструктуры и подвижного состава при маневровой работе.

Исследование изменения конструкций вагонов за более чем 120-летний период выявило устойчивый рост их длин со средним темпом до одного метра за десятилетие, что обеспечивало среднегодовое увеличение выноса консоли на 1 %. Анализ применения минимальных величин радиусов, начиная с 1950-х годов, также показал их рост со средним темпом около одного метра в год (со 140 до 200 м), что приводило к снижению выноса консоли в среднем лишь на 0,3 % ежегодно. Кроме того, эволюция конструкций стрелочных горловин привела к их существенному усложнению и значительной концентрации кривых (увязка большого количества путей, использование стрелочных переводов марки 1/6, применение минимальных длин прямых вставок и радиусов кривых).

Таким образом, для повышения эффективности и безопасности маневровой работы актуальным является исследование условий взаимодействия применяемых конструкций путевого развития и современного подвижного состава, что определяет цель и задачи представленной работы.

Во второй главе проанализированы технологические условия взаимодействия стрелочных горловин железнодорожных станций и подвижного состава при маневровой работе в условиях БЧ.

Зонами наибольшей концентрации критических условий взаимодействия на станциях являются стрелочные горловины, т. к. здесь сосредоточено наибольшее количество кривых, стрелочных переводов и маневровых операций с вагонами. Исследование схем горочных горловин станций БЧ позволило установить, что более 40 % кривых имеют *s*-образную конструкцию, большинство из которых образуются с участием стрелочных переводов. Выявлено, что более 20 % круговых кривых в анализируемых горловинах не соответствуют актуальным требованиям к проектированию путевого развития, более 40 % – нормам проектирования вагонов массовых типов, и более 80 % – вагонов увеличенных размеров.

Анализ структуры инвентарного парка грузовых вагонов БЧ показал, что действующие эксплуатационные ограничения размеров подвижного состава распространяются более чем на 1000 вагонов, при этом более 40 % из них – восьмиосные цистерны, более 25 % – фитинговые платформы. С учетом вагонов собственников на БЧ обращается около 1800 вагонов с эксплуатационными ограничениями по длине, которые создают потенциальные риски в работе станций.

Предложена классификация условий совместимости конструкций путевого

развития и подвижного состава, в основу которой положены 25 наиболее распространенных схем взаимодействия (таблица 1).

Таблица 1. – Характеристика схем взаимодействия элементов стрелочных горловин и подвижного состава

№ схемы	Элемент путевого развития	Описание взаимного расположения элементов схемы и вагона	Схема взаимодействия
1	2	3	4
1	<i>Однонаправленные сочетания элементов (круговые конструкции)</i>		
1.1	Одинокная кривая	вагон № 1: $(t_{11}, t_{12}) \in k$ ось сцепления: $n_{1,2} \in k$ вагон № 2: $(t_{21}, t_{22}) \in k$	
1.2	Сопряжение кривой и прямой	вагон № 1: $(t_{11}, t_{12}) \in k$; ось сцепления: $n_{1,2} \in \{k, d\}$; вагон № 2: $(t_{21}, t_{22}) \in d$	
		вагон № 1: $t_{11} \in d_1, t_{12} \in k$; ось сцепления: $n_{1,2} \in \{k, d_2\}$; вагон № 2: $(t_{21}, t_{22}) \in d_2$	
1.3	Составные круговые кривые	вагон № 1: $(t_{11}, t_{12}) \in k_1$; ось сцепления: $n_{1,2} \in \{k_1, k_2\}$; вагон № 2: $(t_{21}, t_{22}) \in k_2$	
		вагон № 1: $(t_{11}, t_{12}) \in k_1$; ось сцепления: $n_{1,2} \in \{k_1, k_2\}$; вагон № 2: $t_{21} \in k_2, t_{22} \in d$	
		вагон № 1: $t_{11} \in d_1, t_{12} \in k_1$; ось сцепления: $n_{1,2} \in \{k_1, k_2\}$; вагон № 2: $t_{21} \in k_2, t_{22} \in d_2$	
1.4	Составные круговые кривые с прямой вставкой	вагон № 1: $(t_{11}, t_{12}) \in k_1$; ось сцепления: $n_{1,2} \in d (l_d \leq n_1 + n_2)$; вагон № 2: $(t_{21}, t_{22}) \in k_2$	
		вагон № 1: $(t_{11}, t_{12}) \in k_1$; ось сцепления: $n_{1,2} \in \{k_1, d\}$; вагон № 2: $t_{21} \in d, t_{22} \in k_2$	
		вагон № 1: $t_{11} \in k_1, t_{12} \in d$; ось сцепления: $n_{1,2} \in d (l_d \geq n_1 + n_2)$; вагон № 2: $t_{21} \in d, t_{22} \in k_2$	

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4
1.4.4	Составные круговые кривые с прямой вставкой	вагон № 1: $(t_{11}, t_{12}) \in k_1$; ось сцепления: $n_{1,2} \in d_1 (l_d \leq n_1 + n_2)$; вагон № 2: $t_{21} \in k_2, t_{22} \in d_2$	
1.4.5		вагон № 1: $t_{11} \in d_1, t_{12} \in k_1$; ось сцепления: $n_{1,2} \in d_2 (l_d \leq n_1 + n_2)$; вагон № 2: $t_{21} \in k_2, t_{22} \in d_3$	
2	<i>Разнонаправленные сочетания элементов (s-образные конструкции)</i>		
2.1	s-образные кривые без прямой вставки	вагон № 1: $(t_{11}, t_{12}) \in k_1$; ось сцепления: $n_{1,2} \in \{k_1, -k_2\}$; вагон № 2: $(t_{21}, t_{22}) \in -k_2$	
2.1.2		вагон № 1: $(t_{11}, t_{12}) \in k_1$; ось сцепления: $n_{1,2} \in \{k_1, -k_2\}$; вагон № 2: $t_{21} \in -k_2, t_{22} \in -d$	
2.1.3		вагон № 1: $t_{11} \in d_1, t_{12} \in k_1$; ось сцепления: $n_{1,2} \in \{k_1, -k_2\}$; вагон № 2: $t_{21} \in -k_2, t_{22} \in -d_2$	
2.2	s-образные кривые с прямой вставкой	вагон № 1: $(t_{11}, t_{12}) \in k_1$; ось сцепления: $n_{1,2} \in d (l_d \leq n_1 + n_2)$; вагон № 2: $(t_{21}, t_{22}) \in -k_2$	
2.2.2		вагон № 1: $(t_{11}, t_{12}) \in k_1$; ось сцепления: $n_{1,2} \in d$; вагон № 2: $t_{21} \in d, t_{22} \in -k_2$	
2.2.3		вагон № 1: $t_{11} \in k_1, t_{12} \in d$; ось сцепления: $n_{1,2} \in d (l_d \geq n_1 + n_2)$; вагон № 2: $t_{21} \in d, t_{22} \in -k_2$	
2.2.4		вагон № 1: $(t_{11}, t_{12}) \in k_1$; ось сцепления: $n_{1,2} \in d_1 (l_d \leq n_1 + n_2)$; вагон № 2: $t_{21} \in -k_2, t_{22} \in -d_2$	
2.2.5		вагон № 1: $t_{11} \in d_1, t_{12} \in k_1$; ось сцепления: $n_{1,2} \in d_2 (l_d \leq n_1 + n_2)$; вагон № 2: $t_{21} \in -k_2, t_{22} \in -d_3$	

Окончание таблицы 1

1	2	3	4
2.3	2.3.1	вагон № 1: $t_{11} \in k_1, t_{12} \in k_2$; ось сцепления: $n_{1,2} \in \{k_2, -k_3\}$; вагон № 2: $t_{21} \in -k_3, t_{22} \in -k_4$	
2.3.2	2.3.2	вагон № 1: $t_{11} \in k_1, t_{12} \in k_2$; ось сцепления: $n_{1,2} \in \{k_2, -k_3\}$; вагон № 2: $t_{21} \in -k_3, t_{22} \in -d$	
2.3.3	2.3.3	вагон № 1: $t_{11} \in d_1, t_{12} \in k_2$; ось сцепления: $n_{1,2} \in \{k_2, -k_3\}$; вагон № 2: $t_{21} \in -k_3, t_{22} \in -d_2$	
2.4	2.4.1	вагон № 1: $t_{11} \in k_1, t_{12} \in k_2$; ось сцепления: $n_{1,2} \in d$; вагон № 2: $t_{21} \in -k_3, t_{22} \in -k_4$	
2.4.2	2.4.2	вагон № 1: $t_{11} \in k_1, t_{12} \in k_2$; ось сцепления: $n_{1,2} \in d$; вагон № 2: $t_{21} \in d, t_{22} \in (-k_3 \vee -k_4)$	
2.4.3	2.4.3	вагон № 1: $t_{11} \in (k_1 \vee k_2), t_{12} \in d$; ось сцепления: $n_{1,2} \in d (l_d \geq n_1 + n_2)$; вагон № 2: $t_{21} \in d, t_{22} \in (-k_3 \vee -k_4)$	
Примечание – k – кривая радиуса R ; d – прямой участок; « \leftarrow » – противоположное направление примыкания элемента по отношению к первому; $\{k, d\}, \{k_1, k_2\}$ – сопряжение элементов схемы; $t_{11}, t_{12}, t_{21}, t_{22}$ – передняя и задняя тележки первого и второго вагонов соответственно; $n_{1,2}$ – ось сцепления автосцепок; $2l$ – длина базы вагона; n_1, n_2 – длины консолей вагонов.			

Представленные схемы и описывают наиболее характерные случаи взаимодействия элементов горловины и подвижного состава. При этом анализ размещения вагонов на схеме показывает, что они должны быть исследованы для нахождения максимального взаимного отклонения консольных частей вагонов и границ опасной зоны.

Третья глава посвящена разработке способов обоснования параметров схем путевого развития, повышающих безопасность и эффективность маневровой работы при сцеплении и движении в сцепе.

Оценка эксплуатационных качеств схем путевого развития для обеспечения автоматического сцепления подвижного состава выполняется в соответствии с принципами, изложенными в Правилах и нормах проектирования вагонов. Так, *автоматическое сцепление вагонов* обеспечивается при превышении эффективной шириной захвата автосцепки B величины взаимного смещения автосцепок сцепляемых вагонов $b_{см}$. В соответствии с Правилами для участка сопряжения круговой кривой и прямой B_3 сравнивается с выносом автосцепки вагона в наружную сторону кривой.

Для обоснования параметров этой кривой наиболее простым способом является решение соответствующей системы уравнений. Первое уравнение характеризует эффективную ширину захвата, а второе – суммарный вынос консолей. Для схемы взаимодействия 1.2.1 (см. таблицу 1) система уравнений будет иметь вид

$$\begin{cases} B'[1,655 \sin(65 - \beta_0) - 0,5] = B_3; \\ (n(2l + n) - l_T^2) / 2R + \lambda = b_{см}, \end{cases} \quad (1)$$

где B' – полная ширина захвата при параллельно расположенных сцепных приборах, м;
 β_0 – угол пересечения продольных осей автосцепок,

$$\beta_0 = \arctg((l + n) / R); \quad (2)$$

n – длина консоли от пятникового сечения вагона до оси автосцепки, м;

l, l_T – половины длин базы вагона и тележки соответственно, м;

λ – дополнительное поперечное смещение центров зацепления автосцепок, мм.

После ряда математических преобразований получено выражение для непосредственного расчета допустимой величины радиуса круговой кривой при сопряжении ее с прямой (случай 1.2.1)

$$R > (l + n) / \operatorname{tg}\beta_0, \quad (3)$$

при этом

$$\operatorname{tg}\beta_0 = \frac{B' - \lambda}{0,7B' + (n(2l + n) - l_T^2) / (2l + 2n)}. \quad (4)$$

Например, при автоматическом сцеплении четырехосных крытых вагонов для перевозки автомобилей (модель 11-835) величина $R \geq 259$ м.

При смещении оси сцепления вагонов относительно точки сопряжения кривой и прямой (рисунок 1, а) на величину p необходимо использовать следующее выражение:

$$R > \frac{0,5p^2 + 0,5l_T^2 - (l + p)(n + 0,7B')}{\lambda - B'}. \quad (5)$$

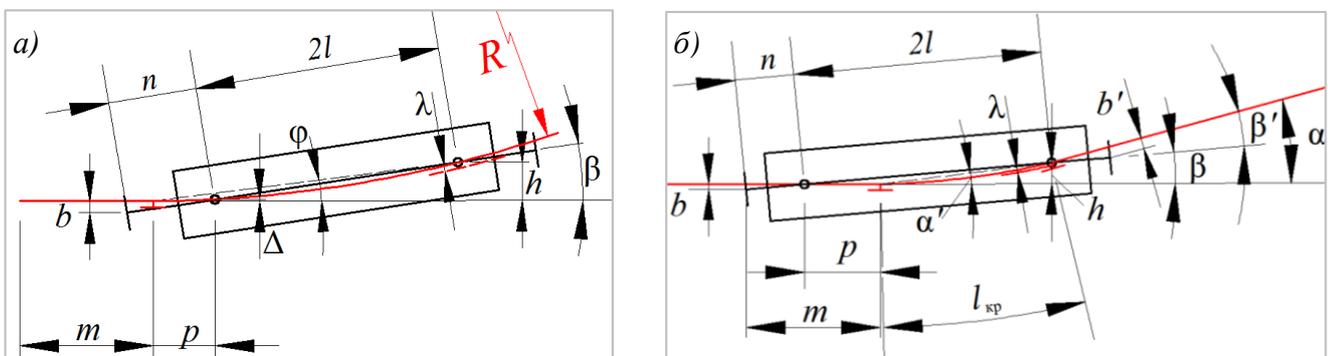


Рисунок 1. – Расчетные схемы взаимодействия при смещении зоны сцепления относительно точки сопряжения кривой и прямой (а) и с частичным расположением одного вагона в круговой кривой (б)

Так, при тех же исходных данных смещение точки сцепления на 2 м в сторону прямой обеспечивает допустимую величину радиуса $R \geq 244$ м.

Для случая частичного расположения вагонов одной тележкой в пределах круговой кривой (случай 1.2.2; рисунок 1, б) получены соответствующие условия расчета радиусов, которые обеспечивают их техническую совместимость в зоне тележки, располагаемой на прямом участке R_d и со стороны кривой R_k :

$$R_d > \frac{(2l - p)^2 + 0,25l_T^2}{\frac{4l}{0,7 + n/B'} + 2\lambda} \quad \text{и} \quad R_k > \frac{4l \cdot l_{кр} - (2l - p)^2 + 0,25l_T^2}{\frac{4l}{0,7 + n/B'} - 2\lambda}. \quad (6, 7)$$

Так, безопасное автоматическое сцепление вагонов модели 11-835 в кривой, эквивалентной симметричному стрелочному переводу марки 1/6, в зоне прямого участка обеспечивается при $R_d \geq 123$ м, а со стороны кривой – при $R_k \geq 184$ м.

Наиболее сложные условия обеспечения безопасности создаются на участке s -образной кривой без прямой вставки (случай 2.1.1, таблица 1). Соответствующая модель (рисунок 2) образована на основе схемы 1.2.1. Суммарный вынос консолей в точке сопряжения обратных кривых будет равен $2b_{см}$, а условие технической совместимости при автоматическом сцеплении в s -образной кривой $B' \geq 2b_{см}$ ($\beta_0 = 0$).

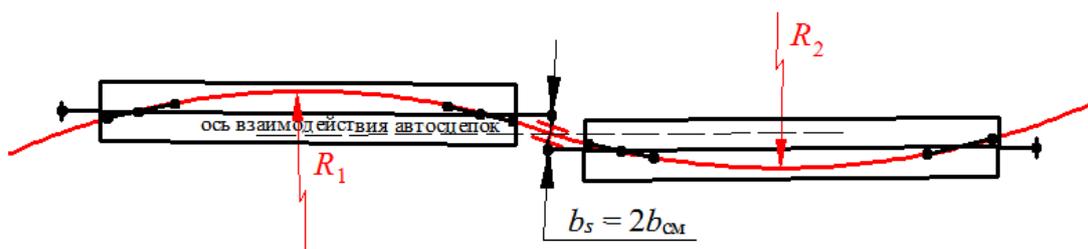


Рисунок 2. – Схема определения параметров взаимодействия s -образной кривой и подвижного состава при сцеплении

Для симметричных условий взаимодействия (совмещение точек сопряжения кривых и осей сцепления вагонов, $l_1 = l_2$, $n_1 = n_2$, $R_1 = R_2$) выражение для определения величины радиусов s -образной кривой (случай 2.1.1) имеет вид

$$R_S > \frac{n(2l + n) - l_T^2}{B' - 2\lambda}. \quad (8)$$

Совместимость s -образной кривой и четырехосных крытых вагонов для перевозки автомобилей обеспечивается при величине радиуса $R_S \geq 602$ м.

Для схемы взаимодействия 2.1.3, когда крайние тележки вагонов располагаются вне s -образной кривой, условие для определения радиусов кривых

$$R_{Sk} > \frac{4l \cdot l_{кр} - (2l - p)^2 + 0,25l_T^2}{2l \cdot B'/n - 2\lambda}. \quad (9)$$

Для этого случая безопасность взаимодействия s -образной кривой ($l_1 = l_2 = 12,5$ м) и вагонов модели 11-835 обеспечивается при $R_{Sk} \geq 484$ м.

При применении s -образной кривой с прямой вставкой и симметричном размещении вагонов в кривых (случай 2.2.1) также используется расчетная схема на рисунке 1, a , а величина радиуса должна определяться из выражения

$$R_{Sd} > \frac{2n(l+p) - p^2 - l_T^2}{B' - 2\lambda}. \quad (10)$$

Применение вставки длиной 6,25 м, например, повышает техническую совместимость s -образной кривой и $R_{Sd} \geq 523$ м.

С применением схемы на рисунке 1, b разработано условие определения радиуса для случая 2.2.3 ($d \geq n_1 + n_2$, ближайшие тележки на прямой вставке s -образной кривой)

$$R_{Sd}^d > n \frac{(2l-p)^2 + 0,25l_T^2}{2l \cdot B' + 2n \cdot \lambda}. \quad (11)$$

Так для s -образной кривой с прямой вставкой 12,5 м минимально допустимая величина радиуса составит $R_{Sd}^d \geq 238$ м.

Важным условием эффективности маневровой работы является *обеспечение движения вагонов в сцепе* без силового взаимодействия элементов конструкции автосцепки в кривой (рисунок 3). Это достигается, когда вынос центра зацепления автосцепок Δ_k не превышает допустимого смещения корпуса автосцепок δ_0 до соприкосновения ее с кромкой окна ударной розетки $\Delta_k \leq \delta_0$.

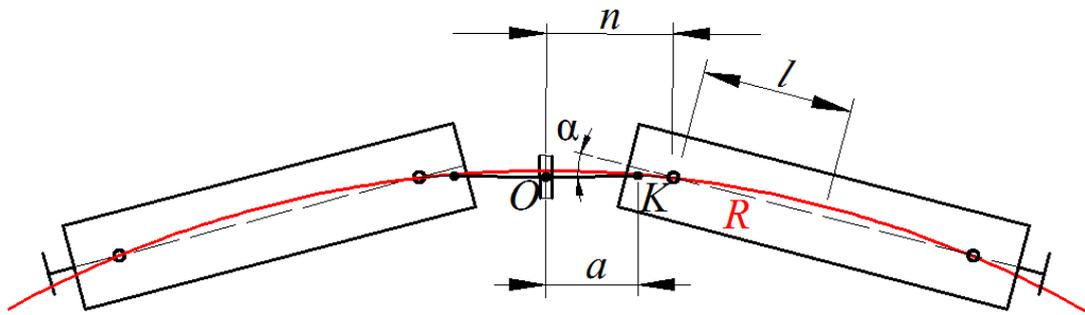


Рисунок 3. – Расчетная схема взаимодействия при движении в сцепе

С учетом выражения для определения выноса консоли b_{cm} (1) получено условие для определения радиуса кривой $R_{ДС}$, обеспечивающего эффективность маневров при движении вагонов в сцепе:

$$R_{ДС} \geq \frac{n(2l+n) - l_T^2}{2a \cdot \operatorname{tg} \alpha}. \quad (12)$$

где a – расстояние от оси поворота до центра зацепления;

α – угол отклонения корпуса автосцепки до соприкосновения ее с кромкой окна.

Известно, что механизм автосцепки в зависимости от условий движения может занимать четыре принципиальных положения в горизонтальной плоскости: без перекоса хомута и с перекосом его до упора в угольник при нормальном и заглубленном

положениях хвостовика. Углы отклонения стандартной автосцепки при этом изменяются в пределах от $5^{\circ}20'$ до $12^{\circ}17'$, что и определяет соответствующие величины радиусов R . Например, при движении сцепа из крытых вагонов модели 11-835 в зависимости от положения автосцепки радиусы ограничиваются значениями от 196 до 456 м. Следует отметить, что при меньших радиусах сцепление невозможно даже при ручном отклонении хвостовика автосцепки.

Сравнение условий выполнения маневровой работы с автоматическим сцеплением и движением в сцепе показало, что в первом случае требуется применение радиусов в 1,3–3 раза большей величины. Поэтому в качестве *комплексного критерия оценки технической совместимости конструкций путевого развития и подвижного состава* принято выполнение условия автоматического сцепления.

Наиболее универсальным методом, обеспечивающим близкий к эксперименту результат, является моделирование параметров взаимодействия схем путевого развития и подвижного состава (общее решение). Для этого реализован алгоритм, включающий решение ряда задач: 1) создание математической модели схемы путевого развития; 2) моделирование положения вагонов и их консолей в любой точке схемы; 3) определение траекторий движения контрольных точек вагонов и линий, характеризующих суммарный вынос консолей и эффективную ширину захвата автосцепок; 4) графическая интерпретация параметров взаимодействия, оценка выполнения установленного критерия технической совместимости схем путевого развития и подвижного состава.

Реализация рассмотренного алгоритма значительно упрощает вычисления и позволяет моделировать условия взаимодействия для схем высокой степени сложности. Полученные результаты представляются в виде специального графика с различным масштабом по осям: ось абсцисс характеризует развернутую длину пути $l_{п}$; ось ординат определяет положение автосцепки $b_{см}$ и эффективную ширину захвата B_3 в конкретной точке схемы (рисунок 4).

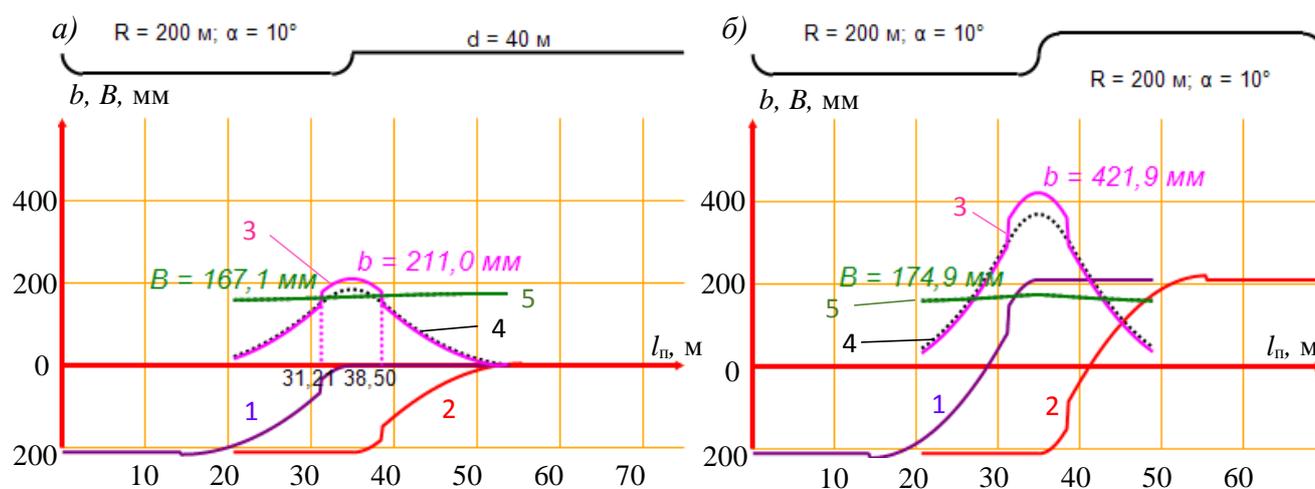


Рисунок 4. – Графическая интерпретация взаимодействия крытых вагонов модели 11-835 с круговой (а) и s-образной (б) кривыми радиусов 200 м

На рисунке 4 показан пример графической интерпретации результатов взаимодействия крытых вагонов модели 11-835 с круговой кривой радиуса 200 м (случай 1.2.1; рисунок 4, а) и *s*-образной кривой с радиусами 200 м (случай 2.1.1; рисунок 4, б). Линии 1 и 2 на рисунке 4 описывают траектории движения взаимодействующих автосцепок первого и второго вагонов соответственно. Изменение суммарного выноса консольных частей вагонов $b_{см}$ с учетом дополнительного поперечного смещения λ наружу кривой описывается линией 3, а без него – пунктирной линией 4. Линия 5 показывает изменение эффективной ширины захвата автосцепки. Так как положение линии 4 выше линии 5, то техническая совместимость соответствующих вагонов с одиночной (см. рисунок 4, а) и *s*-образной кривыми (см. рисунок 4, б) не обеспечивается. Также можно оценить степень этого несоответствия для круговой кривой ($\Delta = 44,5$ мм) и *s*-образной ($\Delta = 247$ мм).

Представленный метод обладает достаточной универсальностью для оценки путевого развития сложных конструкций по условию технической совместимости с подвижным составом. Предложенная имитационная модель позволяет исследовать условия взаимодействия в случаях, когда невозможно применение других методов: при сцеплении между собой вагонов различных конструкций, при размещении вагона одновременно на нескольких конструктивных элементах путевого развития, для определения наихудших условий взаимодействия. Разработанный алгоритм позволяет определять расположение неблагоприятных зон в исследуемых стрелочных горловинах, что необходимо для их пространственной локализации на станциях. Как видно из рисунка 4, а, в зоне сопряжения кривой и прямой безопасность маневровой работы с четырехосными платформами для крупнотоннажных контейнеров не обеспечивается на протяжении 7,29 м (от 31,21 до 38,50 м). Такие расчеты актуальны при размещении грузовых фронтов, которые допускается проектировать непосредственно за кривой.

Четвертая глава посвящена обоснованию параметров стрелочных горловин для повышения безопасности и эффективности маневровой работы для условий БЧ.

На основе анализа конструкций стрелочных горловин станций определены *базовые расчетные элементы*: кривая радиуса 200 м, одиночные стрелочные переводы марок 1/9 и 1/6, схема № 3 взаимного размещения стрелочных переводов (наихудшие условия взаимодействия). С учетом принятых расчетных элементов и существующих эксплуатационных ограничений по длине подвижного состава установлен *расчетный вагон массового типа* (ВМТ) – четырехосный полувагон модельного ряда 12-4004 (длина 20960 мм, база 15690 мм, консоль 2635 мм). Наибольшим вагоном (без учета транспортеров), находящимся на балансе Белорусской железной дороги, является четырехосная платформа для перевозки лесоматериалов модели 23-4000 (длина 23220, база 17750, консоль 2735), которая принимается в качестве *расчетного вагона увеличенных размеров* (ВУР) рабочего парка БЧ. Исследования конструкций вагонов различных размеров, выполненные автором путем моделирования различных условий взаимодействия, показали, что при превышении длиной консоли четырех метров подвижной состав следует относить к категории ВУР.

С помощью моделирования условий взаимодействия подвижного состава и путевого развития выполнена оценка технической совместимости норм проектирования железнодорожных станций по 33 позициям. Оказалось, что в условиях БЧ эффективность эксплуатационной работы с ВМТ обеспечивается по 25 элементам, а с ВУР – только по 16 элементам. Безопасность маневровой работы не обеспечивается в требованиях к *s*-образным кривым, образованным в том числе с применением стрелочных переводов.

Анализ схем стрелочных горловин позволил дополнительно выделить в отдельную категорию конструкции, образованные сочетанием стрелочных переводов и закрестовинных кривых. Поэтому разработка требований к проектированию путевого развития, обеспечивающих безопасность и эффективность маневровой работы с расчетными вагонами ВУР и ВМТ (таблица 2) выполнялась по трем основным позициям (криволинейные участки пути, стрелочные переводы, схемы взаимного размещения переводов между собой и в паре с кривой), объединяющим 19 конструкций.

Таблица 2. – Требования к проектированию путевого развития железнодорожных станций, обеспечивающих безопасность и эффективность маневров с подвижным составом

№ схемы	Описание схемы (действующие ограничения)	Параметры схем путевого развития, обеспечивающие безопасность маневров с вагонами расчетных групп, м	
		<i>массовых</i>	<i>увеличенных размеров</i>
1	2	3	4
1	Криволинейные участки пути		
1.1	Круговые кривые ($R = 200; 180$ м)	$R_{\min} = 170$ $l_{\text{кр}}^{R180}$ неогр. ($l_{\text{кр}}^{R140} < 10,4$)	$R_{\min} = 200$ $l_{\text{кр}}^{R180} < 14,1$ ($l_{\text{кр}}^{R140} < 9,4$)
1.2	S-образные кривые без вставки ($R = 200; 250$ м)	$R_{\min} = 390, l_{\text{кр}}$ неогр.; $l_{\text{кр}}^{R200/250/300} = 6,25/7,7/9,5$	$R_{\min} = 450, l_{\text{кр}}$ неогр.; $l_{\text{кр}}^{R200/250/300} = 6/7,4/8,9$
		$l_{\text{кр}}^{\max} = e^{0,947947+0,00435352R}$, $RC[140; 385]$	$l_{\text{кр}}^{\max} = e^{1,00537+0,00389576R}$, $RC[140; 448]$
1.3	S-образные кривые с прямой вставкой ($R = 200$ м, $d = 15$ м)	$R_{d4,5/6,25/12,5/15} = 345/253/184/171$	$R_{d4,5/6,25/12,5/15} = 408/303/226/207$
		$d_{R180/200/250} = 13,2/10,6/6,5$	$d_{R180/200/250} =$ не обесп./16,3/10,1
		$l_{\text{кр}(R200)}^{d4,5/6,25/2,5/15} = 5,3/7,68/\text{неогр.}$ $l_{\text{кр}(R250)}^{d4,5/6,25/2,5/15} = 7/11,48/\text{неогр.}$	$l_{\text{кр}(R200)}^{d4,5/6,25/2,5/15} = 5/6,84/10,96/14,52$ $l_{\text{кр}(R250)}^{d4,5/6,25/2,5/15} = 6,48/9,38/\text{неогр.}$
2	Расположение стрелочных переводов		
2.1	Одиночный стрелочный перевод (прямой участок, k)	не ограничивается	не ограничивается
2.2	Встречная разносторонняя укладка обыкновенных стрелочных переводов (схема № 1)		
2.2.1	1/11 ($d = 0 \dots 12,5$)	d не ограничивается	$d_{\min} = 1$
2.2.2	1/9 ($d = 0 \dots 12,5$)		$d_{\min} = 2,7$
2.3	Встречная односторонняя укладка обыкновенных стрелочных переводов (схема № 2)		
	1/11, 1/9 ($d = 0 \dots 12,5$)	d не ограничивается	d не ограничивается
2.4	Попутная разносторонняя укладка обыкновенных стрелочных переводов (схема № 3)		
	1/11, 1/9 ($d = 0 \dots 12,5$)	d не ограничивается	d не ограничивается
2.5	Схемы укладки № 4 и № 5 (модификации)		
2.5.1	1/11 ($d = 4,5 \dots 12,5$)	d не ограничивается	d не ограничивается
2.5.2	1/9 ($d = 4,5 \dots 12,5$)		$d_{\min\text{№}4} = 7,8; d_{\min\text{№}5} = 7,4$

Окончание таблицы 2

1	2	3	4	
2.6	Встречное расположение симметричных стрелочных переводов марки 1/6			
2.6.1	1/6 ($d = 5,26$)	$d_{\min} = 9,5$	$d_{\min} = 14$	
2.6.2	1/6 – 1/9 ($d = 5,26$)	$d_{\min}^{P50} = 4; d_{\min}^{P65} = 5,5$	$d_{\min}^{P50} = 9; d_{\min}^{P65} = 10,5$	
2.7	Попутное расположение симметричных стрелочных переводов марки 1/6			
2.7.1	1/6 _{ПОП} ($d = 4,5; 6,25; 7,46$)	$d_{\min} = 5,1$	$d_{\min} = 9,5$	
2.7.2	1/6 _{P50} ($d = 6,45$)	$d_{\min} = 7,7$	$d_{\min} = 12,1$	
	1/6 _{P65} ($d = 6,34$)	$d_{\min} = 7,8$	$d_{\min} = 12,2$	
2.7.3	1/9 – 1/6 (P50, $d = 4,5$)	$d_{\min} = 5$	$d_{\min} = 9,5$	
	1/9 – 1/6 (P65, $d = 4,5$)	$d_{\min} = 6,4$	$d_{\min} = 10,9$	
Схема № 4 (навстречу торцами крестовин)				
2.8	1/6 – 1/6 ($d = 4,5$)	$d_{\min} = 6,1$	$d_{\min} = 10,5$	
3	Взаимное расположение стрелочных переводов и кривых (s-образное расположение)			
3.1	Без вставки	1/11	$R_{\min} = 240$	$R_{\min} = 330$
		1/9	$d_{\min} = 1,3$ при $R = 500$	$d_{\min} = 1,5$ при $R = 1430$
		1/6	$d_{\min} = 3$ при $R = 530$	$d_{\min} = 3$ при $R = 1330$
3.2	С прямой вставкой	1/11	d_{P300} не огран.	$d_{P300} = 12,42$ ($e_{\min} = 4,7$)
			$R_{\min} = 237,31 - 20,4274\sqrt{d}$, $d \in [0; 10]$	$R_{\min} = 322,508 - 39,9704\sqrt{d}$, $d \in [0; 12,7]$
		1/9	$d_{P200} = 6,71$	$d_{P200} = 12,5$ ($e_{\min} = 4,4$)
			$d_{P300} = 4,48$	$d_{P300} = 10,12$ ($e = 4,1$)
			$R_{\min} = 736,841 - 205,626\sqrt{d}$, $d \in [1,3; 7,4]$	$R_{\min} = 2140,63 - 574,356\sqrt{d}$, $d \in [1,5; 11,7]$
		1/6	$d_{P200} = 8,75$ ($e_{\min} = 4,8$)	$d_{P200} = 13,85$ ($e_{\min} = 5,6$)
			$d_{P300} = 6,55$ ($e_{\min} = 5,1$)	$d_{P300} = 11,55$ ($e_{\min} = 5,9$)
			$R_{\text{мг}} = 878,632 - 310,35 \ln d$, $d \in [3; 9,5]$	$R_{\text{уп}} = 2237,34 - 780,662 \ln d$, $d \in [3; 13,9]$
4	Размещение грузовых фронтов			
4.1	Кривая – грузовой фронт, расстояние от кривой до грузового фронта $p = 0$	P_{P200}, P_{P180} не огран.; $P_{P140} = 5,4$	P_{P200} не огран.; $P_{P180} = 4,7; P_{P140} = 5,7$	

Разработанные требования к проектированию путевого развития являются реализацией предлагаемой методики обоснования параметров стрелочных горловин для обеспечения безопасности и эффективности маневровой работы для условий БЧ.

Особенностью роспуска с сортировочных горок является протекание процессов взаимодействия стрелочных горловин и подвижного состава без полного контроля со стороны человека. Поэтому обеспечение условий технической совместимости в зонах возможной остановки (ЗВО) горочных горловин является особенно актуальным для обеспечения безопасности роспуска составов.

Выполнен анализ параметров горочных горловин станций Белорусской железной дороги на обеспечение комплексного критерия технической совместимости с подвижным составом. Установлено, что наибольшая концентрация критических условий взаимодействия на станциях наблюдается в стрелочных горловинах, запроектированных

с применением симметричных стрелочных переводов марки 1/6. Это горловины сортировочных парков с количеством путей 13 и более (Брест-Восточный, Новополоцк, Барбаров, Гомель, Минск, Витебск и др.). Здесь значительно выше риски нарушения безопасности маневровой работы. Стоит отметить, что отклонения от предлагаемых величин прямых вставок между симметричными стрелочными переводами для ВМТ часто незначительны и не превышают 1–1,5 м, для ВУР разница составляет более 6 м.

В то же время существует ряд сортировочных горок (Жлобин, Лида, Волковыск и др.), построенных с применением более пологих марок переводов (1/9 и 1/11) и практически полностью соответствующих предлагаемому критерию (до 90 % путей обеспечивают безопасность маневров с ВМТ и ВУР).

Полученные в исследовании ограничения снижают неопределенность при проектировании железнодорожных станций в части применения трудных и особо трудных условий проектирования. Разработанные подходы к обоснованию параметров стрелочных горловин позволяют определить не только наличие, но и границы участков, не обеспечивающих безопасность и эффективность маневровой работы на железнодорожных станциях.

Применение предлагаемых требований позволит повысить безопасность и качество эксплуатационной работы за счет гарантированного обеспечения технической совместимости схем путевого развития и подвижного состава. Это устранит риск несцепления подвижного состава при маневрах, ликвидирует непредвиденные задержки в работе, облегчит труд причастных работников, снизит износ элементов подвижного состава и стрелочных горловин, уменьшит шумовое загрязнение в зоне маневров.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные научные результаты диссертации

В результате выполненных в диссертационной работе исследований получены следующие основные выводы.

1. Исследование параметров стрелочных горловин и подвижного состава на основе системного подхода позволило установить *основные причины снижения безопасности и эффективности маневровой работы.*

Выявлено, что автономное развитие методов определения параметров взаимодействия транспортной инфраструктуры и подвижного состава в различных сферах эксплуатации сформировало ряд отличительных особенностей, затрудняющих фактическую оценку влияния конструкции стрелочной горловины на положение подвижного состава в пространстве. Кроме того, установлено, что взаимные отклонения контрольных точек путевого развития и подвижного состава прямо пропорциональны размерам вагонов и обратно пропорциональны кривизне участка пути. При этом минимальные величины радиусов с 50-х годов XX века увеличивались в среднем на 1 м ежегодно,

что обеспечивало *темпы уменьшения взаимного отклонения элементов путевого развития и подвижного состава почти на 0,3 % ежегодно*. Однако рост длины грузовых вагонов «пространства 1520» более чем за 120-летний период достиг среднего темпа около одного метра за десятилетие (для платформ до 1,7 м), что *увеличивало взаимное отклонение элементов путевой инфраструктуры и подвижного состава в среднем за год на 1 %*. Кроме этого, эволюция конструкций стрелочных горловин привела к трехкратному увеличению их криволинейности и росту доли *s*-образных кривых до 5–13 раз [2–5, 8, 10–12].

2. Исследованы основные факторы, определяющие условия взаимодействия схем путевого развития и подвижного состава при маневровой работе в условиях БЧ. Установлено, что на полигоне дороги одновременно может находиться до двух тысяч вагонов с эксплуатационными ограничениями по длине. В то же время более 20 % кривых в стрелочных горловинах ряда станций имеют радиус менее минимального 200 м, а более 40 % образуют *s*-образные конструкции. Выявлена значительная неравномерность распространения элементов с ограничениями в горловинах существующих станций, связанная в основном с применением кривых малых радиусов и симметричных стрелочных переводов марки 1/6. Выполненные исследования позволили систематизировать условия взаимодействия и разработать 25 основных схем, требующих оценки влияния на безопасность и эффективность маневровой работы (см. таблицу 1) [3–6, 8, 10].

3. Разработаны способы расчета параметров ряда основных схем взаимодействия для оценки технической совместимости при автоматическом сцеплении и движении вагонов в сцепленном состоянии. Проанализировано влияние этих процессов на безопасность эксплуатационной работы на станциях. Установлено существенное влияние способов движения с вагонами (локомотивом или вагонами вперед) на эффективность маневровой работы. Установлен *комплексный критерий технической совместимости схем путевого развития и подвижного состава*. Применение его на практике обеспечивает безопасность маневров при сцеплении, снижает нагрузки на элементы конструкций путевого развития и подвижного состава при движении в сцепе более чем на 30 % [3–7, 9, 10, 12–14].

4. Разработана расчетная модель взаимодействия схем путевого развития и подвижного состава. Применение модели повышает точность расчетов, позволяет исследовать сложные схемы взаимодействия, определять размещение критических точек технической несовместимости, что значительно повышает возможности предлагаемой методики комплексного обоснования параметров стрелочных горловин [4, 6, 9, 11].

5. Проверено соответствие действующих норм проектирования предложенному критерию технической совместимости по 33 позициям. Установлено, что безопасность маневров с ВМТ обеспечивается для 75 % расчетных элементов, а с ВУР – только в 50 % случаев и связано с недостаточностью величин радиусов и длин прямых вставок.

Обоснованы параметры стрелочных горловин, обеспечивающие повышение безопасности и эффективности маневровой работы. Определена зона возможной остановки вагонов для условий горочных горловин Белорусской железной дороги. Характерными *s*-образными элементами этой зоны являются конструктивы «стрелочный перевод – закрестовинная кривая», которые предложено выделить при проектировании в отдельную категорию.

Анализ схем горочных горловин станций БЧ на соответствие предложенным требованиям показал, что размещение стрелочных переводов марки 1/6 в большинстве случаев не гарантирует безопасность маневров даже с ВМТ, при этом недостаток длины вставок между переводами часто не превышает 1–1,5 м. Обеспечение технической совместимости с ВУР требует увеличения вставок в ЗВО более чем на 6 м и значительного увеличения радиусов закрестовинных кривых. Для конструкций горловин, построенных с применением стрелочных переводов марок 1/9 и 1/11, по большинству путей безопасность маневровой работы по установленному критерию обеспечивается [1–7, 9–14].

Рекомендации по практическому использованию результатов

1. Применение разработанных требований при составлении технологических процессов работы и технико-распорядительных актов железнодорожных станций Белорусской железной дороги позволит локализовать наиболее опасные участки путей, идентифицировать в технологии работы категории вагонов, вызывающие эксплуатационные ограничения. Это повысит безопасность и эффективность маневровой работы, снизит степень участия работников в процессе сцепления, ускорит выполнение соответствующих технологических операций.

2. Методика обоснования параметров стрелочных горловин, обеспечивающая техническую совместимость с подвижным составом, может быть использована при разработке проектов строительства и реконструкции железнодорожных станций, особенно сортировочных комплексов. Это позволит значительно повысить эксплуатационные качества проектируемых схем путевого развития.

3. Разработанные подходы к обоснованию конструкций путевого развития для обеспечения технической совместимости с подвижным составом могут быть использованы при выпуске стрелочной продукции и подвижного состава улучшенных эксплуатационных качеств.

4. Результаты исследований внедрены в производственный процесс ПИРУП «Белжелдорпроект» и на станции Москва-Сортировочная-Киевская Московско-Смоленского центра организации работы железнодорожных станций в виде «Методики оценки рисков нарушения безопасности и снижения эффективности маневровой работы на основе параметров конструкций стрелочных горловин»; в образовательный процесс учреждения образования «Белорусский государственный университет транспорта».

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ АВТОРОМ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в научных изданиях, включенных в перечень изданий ВАК

1. Пожидаев, С.А. Автоматизированное проектирование плана горочной горловины с учётом обеспечения безопасного взаимодействия длиннобазного подвижного состава / С.А. Пожидаев, Е.А. Филатов, Е.Н. Иванов // Транспортные системы и технология перевозок : сб. науч. тр. Днепропетр. нац. ун-та ж.-д. трансп. им. акад. В. Лазаряна. – Днепропетровск : ДНУЖТ, 2013. – Вып. 6. – С. 82–85.

2. Пожидаев, С.А. Проектирование плана горочных горловин сортировочных парков с учетом обеспечения безопасного взаимодействия длиннобазного подвижного состава / С.А. Пожидаев, Е.А. Филатов // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2015. – № 2(31). – С. 42–47.

3. Филатов, Е.А. Комплексное обоснование параметров путевого развития железнодорожных станций и геометрических размеров подвижного состава / Е.А. Филатов // Транспортные системы и технологии перевозок : сб. науч. тр. Днепров. нац. ун-та ж.-д. трансп. им. акад. В. Лазаряна. – Днепр : ДНУЖТ, 2018. – Вып. 16. – С. 93–101.

4. Филатов, Е.А. Обоснование технической совместимости горловин железнодорожных станций и подвижного состава / Е.А. Филатов // Транспортные системы и технологии перевозок : сб. науч. тр. Днепров. нац. ун-та ж.-д. трансп. им. акад. В. Лазаряна. – Днепр : ДНУЖТ, 2020. – Вып. 19. – С. 25–36.

5. Филатов, Е.А. Повышение безопасности функционирования железнодорожных станций / Е.А. Филатов // Транспортные системы и технологии перевозок : сб. науч. тр. Днепропетр. нац. ун-та ж.-д. трансп. им. акад. В. Лазаряна. – Днепр : ДНУЖТ, 2017. – Вып. 13. – С. 78–83.

6. Филатов, Е.А. Расчет параметров путевых структур железнодорожных станций по критерию безопасности / Е.А. Филатов // Транспортные системы и технологии перевозок : сб. науч. тр. Днепропетр. нац. ун-та ж.-д. трансп. им. акад. В. Лазаряна. – Днепр : ДНУЖТ, 2017. – Вып. 14. – С. 86–94.

Материалы конференций

7. Филатов Е.А. Влияние *s*-образных кривых на безопасность маневровой работы / Е.А. Филатов // Тихомировские чтения: Синергия технологии перевозочного процесса : материалы Междунар. науч.-практ. конф. / М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. ; под общ. ред. А. А. Ерофеева. – Гомель : БелГУТ, 2021. – С. 387–391.

8. Филатов, Е.А. Влияние геометрических параметров путевых структур на работу железнодорожного транспорта / Е.А. Филатов // Актуальные вопросы и перспективы развития транспортного и строительного комплексов : материалы IV Междунар. науч.-практ. конф. : в 2 ч. Ч. 1 / М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, Бел. ж. д., Белорус. гос. ун-т трансп. ; под общ. ред. Ю.И. Кулаженко. – Гомель : БелГУТ, 2018. – С. 117–119.

9. Филатов, Е.А. Обеспечение безопасности перевозочного процесса при проектировании элементов плана путевого развития железнодорожных станций / Е.А. Филатов // Проблемы безопасности на транспорте : материалы VIII Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. Году науки : в 2 ч. Ч. 1 / М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, Бел. ж. д., Белорус. гос. ун-т трансп. ; под общ. ред. Ю.И. Кулаженко. – Гомель : БелГУТ, 2017. – С. 63–64.

10. Филатов, Е.А. Обеспечение безопасности при проектировании круговых кривых на железнодорожных станциях / Е.А. Филатов // Проблемы безопасности на транспорте : материалы IX Междунар. науч.-практ. конф. : в 2 ч. Ч. 1 / М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, Бел. ж. д., Белорус. гос. ун-т трансп. ; под общ. ред. Ю.И. Кулаженко. – Гомель : БелГУТ, 2019. – С. 84–86.

11. Филатов, Е.А. Обоснование параметров стрелочных горловин для обеспечения технической совместимости с подвижным составом / Е.А. Филатов // Проблемы безопасности на транспорте : материалы X Междунар. науч.-практ. конф. (Гомель, 26–27 ноября 2020 г.) : в 5 ч. Ч. 3 / М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, Бел. ж. д., Белорус. гос. ун-т трансп. ; под общ. ред. Ю.И. Кулаженко. – Гомель : БелГУТ, 2020. – С. 70–72.

12. Филатов, Е.А. Повышение эффективности конструкций путевых структур для выполнения маневровой работы / Е.А. Филатов // Тихомировские чтения: Инновационные технологии перевозочного процесса : материалы Междунар. науч.-практ. конф. / М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. ; под общ. ред. А.А. Ерофеева. – Гомель : БелГУТ, 2019. – С. 160–163.

13. Филатов, Е.А. Требования к параметрам подвижного состава и плану железнодорожных станций / Е.А. Филатов // Проблемы безопасности на транспорте : материалы VIII Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. Году науки : в 2 ч. Ч. 1 / М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, Бел. ж. д., Белорус. гос. ун-т трансп. ; под общ. ред. Ю. И. Кулаженко. – Гомель : БелГУТ, 2017. – С. 166–168.

Тезисы докладов

14. Филатов, Е.А. Повышение эффективности и безопасности использования железнодорожной инфраструктуры / Е.А. Филатов // Перспективы взаимодействия железных дорог и промышленных предприятий : тезисы 6-й Междунар. науч.-практ. конф. (Днепр, 29–30 ноября 2017 г.). – Днепр : ДНУЖТ, 2017. – С. 137–139.

РЭЗІЮМЭ

Філатаў Яўгеній Анатольевіч

Абгрунтаванне параметраў гарлавін для павышэння бяспекі і эфектыўнасці манеўровай работы

Ключавыя словы: бяспека манеўровай работы, тэхнічная сумяшчальнасць, стрэлачная гарлавіна, кругавая крывая, s-вобразная крывая, вагоны павялічаных памераў, аўтаматычнае счাপленне, зона верагоднага прыпынку, рух вагонаў у счэпе.

Мэтай працы з'яўляецца распрацоўка метадыкі абгрунтавання параметраў стрэлачных гарлавін чыгуначных станцый для павышэння бяспекі і эфектыўнасці манеўровай работы.

Аб'ект даследаванняў – інфраструктура чыгуначных станцый і прамысловых прадпрыемстваў, канструкцыі эксплуатаемага і перспектыўнага рухомага саставу.

Прадмет даследаванняў – канструктыўныя параметры стрэлачных гарлавін чыгуначных станцый і рухомага складу, спосабы абгрунтавання бяспекі і эфектыўнасці іх узаемадзеяння.

Даследаванне параметраў стрэлачных гарлавін і рухомага саставу на аснове сістэмнага падыходу дазволілі ўсталяваць *асноўныя прычыны зніжэння бяспекі і эфектыўнасці манеўровай работы.*

Аналіз канструкцый і асаблівасцяў эксплуатацыі стрэлачных гарлавін існуючых чыгуначных станцый дазволіў сістэматызаваць фактары, ўплываючыя на якасць тэхнічнага забеспячэння манеўровай работы, і прапанаваць 25 схем узаемадзеяння.

Распрацаваны метады вызначэння параметраў крывых розных тыпаў пры счাপленні і руху вагонаў ў счэпе, забяспечваючыя павышэнне бяспекі і эфектыўнасці манеўровай работы. Усталяваны *комплексны крытэрыі тэхнічнай сумяшчальнасці* канструкцый пуцявога развіцця і рухомага складу. На аснове аналізу існуючых інфраструктурных абмежаванняў вызначаны разліковыя катэгорыі вагонаў масавых тыпаў і павялічаных памераў.

Распрацавана імітацыйная мадэль ўзаемадзеяння элементаў схем шляхавага развіцця з рухомым саставам, якая дазваляе комплексна ацаніць іх бяспеку і эфектыўнасць. Аналіз існуючых патрабаванняў да праектавання пуцявога развіцця чыгуначных станцый выявіў парушэнне прапанаванага крытэрыю. Абгрунтаваны параметры стрэлачных гарлавін чыгуначных станцый, якія забяспечваюць павышэнне бяспекі і эфектыўнасці манеўровай работы ва ўмовах БЧ.

Апрабацыя распрацаваных патрабаванняў на схемах існуючых гарлавін станцый БЧ паказала магчымасць іх рэалізацыі як шляхам увядзення тэхналагічных абмежаванняў на працу з усталяванымі катэгорыямі вагонапатокаў і лакалізацыі небяспечных участкаў шляхоў, так і за кошт удасканалення канструкцый стрэлачных гарлавін.

РЕЗЮМЕ

Филатов Евгений Анатольевич

Обоснование параметров стрелочных горловин для повышения безопасности и эффективности маневровой работы

Ключевые слова: безопасность маневровой работы, техническая совместимость, стрелочная горловина, круговая кривая, *s*-образная кривая, вагоны увеличенных размеров, автоматическое сцепление, зона вероятной остановки, движение вагонов в сцепе.

Целью работы является разработка методики обоснования параметров стрелочных горловин железнодорожных станций для повышения безопасности и эффективности маневровой работы.

Объект исследований – инфраструктура железнодорожных станций и промышленных предприятий, конструкции эксплуатируемого и перспективного подвижного состава.

Предмет исследований – конструктивные параметры стрелочных горловин железнодорожных станций и подвижного состава, способы обоснования безопасности и эффективности их взаимодействия.

Исследование параметров стрелочных горловин и подвижного состава на основе системного подхода позволили установить *основные причины снижения безопасности и эффективности маневровой работы*.

Анализ конструкций и особенностей эксплуатации стрелочных горловин существующих железнодорожных станций позволил систематизировать факторы, влияющие на качество технического обеспечения маневровой работы, и предложить 25 схем взаимодействия.

Разработаны методы определения параметров кривых различных типов при сцеплении и движении подвижного состава в сцепе, обеспечивающие повышение безопасности и эффективности маневровой работы. Установлен *комплексный критерий технической совместимости* конструкций путевого развития и подвижного состава. На основе анализа существующих инфраструктурных ограничений определены расчетные категории вагонов массовых типов и увеличенных размеров.

Разработана имитационная модель взаимодействия схем путевого развития с подвижным составом, позволяющая комплексно оценить безопасность и эффективность их эксплуатации. Анализ существующих требований к проектированию путевого развития железнодорожных станций выявил нарушение предложенного критерия. Обоснованы параметры стрелочных горловин железнодорожных станций, обеспечивающих повышение безопасности и эффективности маневровой работы в условиях БЧ.

Апробация разработанных требований на схемах горловин станций БЧ показала возможность их реализации как путем введения технологических ограничений на работу с установленными категориями вагонопотоков и локализацией опасных участков путей, так и за счет совершенствования конструкций стрелочных горловин.

ABSTRACT

Filatau Yauheni Anatolyevich

Justification of parameters of switch openings for improving the safety and efficiency of shunting work

Keywords: safety of shunting work, technical compatibility, switch neck, circular curve, s-shaped curve, cars of increased dimensions, automatic coupling, the zone of probable stop, movement of cars in the coupling.

The purpose of this work is the development of a methodology for substantiating the parameters of the switch necks of railway stations to improve the safety and efficiency of shunting operations.

The object of research is the infrastructure of railway stations and industrial enterprises, designs of operated and prospective rolling stock.

The subject of research is the design parameters of switch necks of railway stations and rolling stock, ways to justify the safety and effectiveness of their interaction.

The study of the parameters of switch necks and rolling stock on the basis of a systematic approach made it possible to establish *the main reasons for reducing the safety and efficiency of shunting operations*.

Analysis of the structures and the peculiarities of the operation of the switch necks of existing railway stations made it possible to systematize the factors that affect the quality of technical support of maneuvering and offer 25 interaction schemes.

Methods have been developed for determining the parameters of curves of various types during adhesion and movement of rolling stock in a coupling for providing increased safety and efficiency of shunting operations. A *comprehensive criterion for the technical compatibility* of track development constructions and rolling stock has been established. Based on the analysis of existing infrastructural restrictions, the design categories of cars of mass types and oversized dimensions are determined.

A simulation model has been developed for the interaction of track development schemes with rolling stock, which makes it possible to comprehensively assess their safety and efficiency. Analysis of the existing requirements for the design of the track development of railway stations identified a violation of the proposed criterion. The parameters of the switch necks of railway stations are substantiated, which providing increased safety and efficiency of shunting operations.

The approbation of the developed requirements on the schemes of the existing necks of the BR stations showed the possibility of their implementation both by introducing technological restrictions on work with the established categories of car flows and the localization of dangerous track sections, and by improving the designs of the switch necks.



Научное издание

ФИЛАТОВ Евгений Анатольевич

**ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ СТРЕЛОЧНЫХ ГОРЛОВИН
ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ И ЭФФЕКТИВНОСТИ
МАНЕВРОВОЙ РАБОТЫ**

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

по специальности

05.22.08 – управление процессами перевозок

Подписано в печать 08.11.2021 г. Формат 60×84 ¹/₁₆.
Бумага офсетная. Гарнитура Times. Печать на ризографе.
Усл. печ. л. 1,4. Тираж 60 экз. Зак. 2645.

Издатель и полиграфическое исполнение:
Белорусский государственный университет транспорта.
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий
№ 2/104 от 01.04.2014.
№ 3/1583 от 14.11.2017.
Ул. Кирова, 34, 246653, г. Гомель.