

*На правах рукописи*



**Ильин Александр Михайлович**

**ПОВЫШЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ СТАНЦИОННЫХ ТРАНСПОРТНЫХ  
ПРОЦЕССОВ НА ОСНОВЕ РАЗВИТИЯ МЕТОДА РАСЧЕТА  
ЗАКРЕПЛЕНИЯ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА  
С ВАРЬИРУЕМЫМИ ПАРАМЕТРАМИ**

2.9.4 – Управление процессами перевозок

**АВТОРЕФЕРАТ**

на соискание ученой степени кандидата технических наук

**Екатеринбург**

2022

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

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор кафедры, заведующий кафедрой «Станции и грузовая работа»

**Числов Олег Николаевич**

Официальные  
оппоненты:

доктор технических наук, старший научный сотрудник, федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Российский университет транспорта», профессор кафедры «Железнодорожные станции и транспортные узлы»

**Кобзев Валерий Анатольевич**

кандидат технических наук, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I», доцент кафедры «Железнодорожные станции и узлы»

**Четчуев Максим Владимирович**

Ведущая организация

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

Защита состоится «07» октября 2022 г. в 11 часов 00 минут на заседании диссертационного совета 44.2.008.01 на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Уральский государственный университет путей сообщения» по адресу: 620034, г. Екатеринбург, ул. Колмогорова, д. 66, ауд. Б2-15 – зал диссертационного совета.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Уральский государственный университет путей сообщения» и на сайте по адресу <http://www.usurt.ru>.

Автореферат разослан «22» июля 2022 г.

Ученый секретарь диссертационного  
совета 44.2.008.01,  
доктор технических наук, профессор



Е.Н. Тимухина

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы исследования.** Железнодорожный транспорт, как отрасль существует в России более 180 лет (ОАО «РЖД» с 2003 г.) и входит в пятерку крупнейших поставщиков транспортных услуг в мире. Современные железные дороги Российской Федерации являются не просто сетью путей сообщения, а крупнейшим логистическим транспортным комплексом, оснащенным высокопроизводительным оборудованием и применяющим новейшие технологии и научные решения для перевозки пассажиров и грузов, тем самым предоставляя качественный транспортный продукт.

Основными критериями осуществления железнодорожной перевозки являются: безопасность, надежность, скорость, точность, всепогодность доставки. Все вышеперечисленные составляющие опираются на два фундаментальных фактора – безопасность и надежность, главенствующим из которых является безопасность. Следует отметить, что и ранее и в настоящее время нарушения безопасности движения, связанные с нарушением порядка и норм закрепления подвижного состава, окончательно не исключены из системы организации транспортных процессов на железнодорожном транспорте. В период с 2010 по 2020 гг. допущено 407 случаев нарушений безопасности движения, допущенных в хозяйстве перевозок, 13 из которых классифицированы как несанкционированное движение подвижного состава.

Несанкционированное движение подвижного состава один из наиболее опасных видов нарушений безопасности движения. Основной причиной ухода вагонов является нарушение технологии процесса закрепления. Произвести расчет возможного ущерба от последствий данного вида нарушения не представляется возможным. Анализ учтенных случаев несанкционированного движения подвижного состава на сети ОАО «РЖД» за период с 2000 по 2020 гг., а также крушения и аварии, допущенные из-за нарушения норм закрепления, технологии закрепления и регламента закрепления подвижного состава за период с 1996 по 2017 гг. показал, что допущены: 2 крушения, из них 1 из-за нарушения технологии закрепления подвижного состава; 8 аварий, из них 3 из-за нарушения технологии закрепления подвижного состава. Всего за период с 2000 по 2017 год произошло 30 случаев несанкционированного движения подвижного состава, из них 20 из-за нарушения технологии закрепления, в том числе из-за нарушений норм закрепления, что говорит о несовершенстве технологии закрепления подвижного состава, контроля над ее выполнением.

Анализом существующей технологии закрепления подвижного состава установлено наличие следующих проблем:

1. Отсутствие расчетов для закрепления разнородного подвижного состава, различного по длине в техническо-распорядительных актах (далее ТРА) станций, риск нарушений норм закрепления, возникающий при определении однородности и разнородности подвижного состава;

2. Риск расположения состава на спрямленном уклоне, который отличается от расчетного, а также риск расположения части подвижного состава за переломом

продольного профиля пути типа «гора», риск расположения подвижного состава на уклонах, превышающих 2,5‰;

3. Запрет в правилах технической эксплуатации железных дорог Российской Федерации (далее ПТЭ) на расчет норм закрепления подвижного состава в произвольном месте пути на продольном профиле типа «гора», налагает ограничение на эксплуатационную работу.

4. Риск ошибки при определении норм закрепления при значительном количестве вариантов расчета;

5. Отсутствие электронного контроля над сроками действия продольных профилей.

Решению данных проблем, а также развитию существующего метода расчета норм закрепления разнородного по длине и массе подвижного состава на станционных путях с вариативными продольными профилями, посвящена данная научная работа.

#### **Степень разработанности темы исследования.**

Исследования вопросов закрепления подвижного состава, обеспечения безопасности транспортных процессов, разработка устройств для закрепления рельсовых транспортных средств, представлены трудами ученых и инженеров В.М. Рудановского, И.П. Старшова, Е.И. Сычева, В.А. Буракова, В.А. Кобзева, Д.П. Маркова, В.И. Маршева, Н.И. Пачеса, М.И. Глушко, М.В. Четчуева, В.И. Бородулина, Б.Л. Каравацкого и др.

Вместе с тем, вопросы повышения безопасности технологии транспортных процессов по закреплению подвижного состава перспективных размеров длин и весовых норм на станционных путях с переменным профилем требуют дальнейшего развития. В ряде случаев, при закреплении подвижного состава, который попадает под определение разнородный в соответствии с приложением 17 Инструкции по движению поездов и маневровой работе на железнодорожном транспорте Российской Федерации (далее ИДП), нормы являются избыточными, что в свою очередь негативно влияет на эксплуатационные показатели и сохранность тормозных башмаков, так как на практике затруднителен накат колесными парами вагонов на большое число тормозных башмаков. Проблема заключается в том, что существующий метод расчета актуален для составов, состоящих из вагонов, с одинаковыми длинами по осям автосцепок, а также количеству осей, которые составляют всего порядка 20 % от общего количества грузовых поездов. Нормы закрепления для составов, состоящих из вагонов различных по длине и количеству осей, отсутствуют. При включении в составы грузовых поездов, вагонов, различных по длине и массе появляется риск того, что нормы закрепления в одних случаях будут недостаточны, а в ряде других случаев – избыточны.

**Целью диссертационного исследования** является повышение безопасности станционных транспортных процессов на основе развития метода расчета закрепления подвижного состава с варьируемыми параметрами на станционных путях переменного профиля.

Достижение цели исследования предполагает решение следующих задач:

- анализ отечественного и зарубежного опыта в области расчета норм закрепления подвижного состава;
- анализ существующей технологии закрепления подвижного состава и технических средств, применяемых при закреплении;
- разработка имитационной модели закрепляемого подвижного состава и уточненного расчета действующих сил;
- развитие метода определения норм закрепления подвижного состава с варьируемыми параметрами, а также разработка норм закрепления для перспективных типов вагонов (сочлененного, многоосного);
- разработка авторского алгоритма и программного комплекса определения норм закрепления подвижного состава, учитывающего разнородность подвижного состава по длине, количеству осей, условиям размещения на путях с различными типами продольных профилей, а также взаимного сочетания устройств закрепления друг с другом на основе уточненного расчета сил, действующих на подвижной состав;
- разработка рекомендаций по автоматизации и перспективной цифровизации транспортных процессов по закреплению подвижного состава.

**Объектом исследования** являются линейные предприятия железных дорог, технология транспортных процессов по закреплению подвижного состава, нормы закрепления подвижного состава, устройства обеспечения безопасности перевозок.

**Предмет исследования** – теоретико-методические подходы по определению технико-технологических решений по расчету норм закрепления подвижного состава, повышения безопасности станционных транспортных процессов.

Диссертация выполнена в рамках пунктов п.2 «Технология транспортных процессов», п.6 «Методологии и системы обеспечения безопасности движения» паспорта научной специальности 2.9.4 – Управление процессами перевозок (технические науки).

**Теоретико-методологической основой** исследования являются научные работы ученых в области повышения безопасности транспортных процессов по закреплению подвижного состава, методы аналитического и имитационного моделирования, а также законодательные, нормативные и программные документы РФ по вопросам государственной транспортной политики, отчетные и статистические данные Минтранса России, ОАО «РЖД», Северо-Кавказской железной дороги – филиала ОАО «РЖД», исследования ученых и специалистов железнодорожного транспорта.

**Научная новизна диссертационной работы** состоит в совершенствовании метода расчета норм закрепления подвижного состава с вариативными параметрами на основе уточненной имитационной модели воздействия сил, развития технико-технологических решений в организации транспортных процессов по закреплению подвижного состава на станционных путях переменного профиля и повышения безопасности организации железнодорожных перевозок.

**Практическая ценность** научных результатов диссертационного исследования состоит в повышении безопасности движения поездов, путем снижения ошибок при определении норм закрепления подвижного состава, улучшении эксплуатационных показателей, заключающихся в исключении

использования завышенного количества тормозных башмаков и применения автоматизированной программы расчета средств закрепления и журнала учета тормозных башмаков.

**Апробация работы.** Основные положения диссертационного исследования докладывались на международных научно-практических конференциях: «Транспорт: наука, образование, производство» («Транспорт»), «Транспорт и логистика: инновационная инфраструктура, интеллектуальные и ресурсосберегающие технологии, экономика и управление», г. Ростов-на-Дону, 2018–2021 гг., «Проблемы перспективного развития железнодорожных станций и узлов» (М-во трансп. и коммуникаций Республики Беларусь, УО «БелГУТ», г. Гомель, 2019), заседаниях кафедр «Станции и грузовая работа», «Управление эксплуатационной работой» ФГБОУ ВО РГУПС (г. Ростов-на-Дону), «Управление эксплуатационной работой» ФГБОУ ВО УрГУПС (г. Екатеринбург).

**Внедрение результатов работы.** Результаты диссертационного исследования используются в работе железнодорожных станций, входящих в Ростовский центр организации работы железнодорожных станций – структурного подразделения Северо-Кавказской дирекции управления движением – структурного подразделения центральной дирекции управления движением – филиала ОАО «РЖД» и подтверждены: двумя актами об использовании результатов научной работы, выданным Северо-Кавказской дирекцией управления движением.

**Публикации.** Основное содержание диссертации и результаты исследования опубликованы в 7 научных работах общим объемом 3,2 п.л. (авторских – 1,7 п.л.), в том числе 3 статьи в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК Министерства образования и науки Российской Федерации.

#### **Положения, выносимые на защиту:**

1. Использование методологических подходов в организации технологии транспортных процессов по закреплению подвижного состава, учитывающих фактор вариативности закрепляемого состава по длине, количеству осей, нагрузке на ось с учетом повагонного (поосного) расчета отклонений сил трения и сил сопротивления движению.

2. Развитие метода расчета норм закрепления подвижного состава на основе разработанной уточненной имитационной модели.

3. Алгоритм и программный комплекс определения норм закрепления подвижного состава, позволяющий рационально использовать средства, предназначенные для закрепления подвижного состава, решать проблемы определения количества тормозных башмаков, при закреплении подвижного состава различного рода по длине, количеству осей и типу профиля пути, формирования электронных табличных данных журнала расчета норм закрепления и учета нахождения тормозных башмаков на станции.

**Структура и объем работы** определены целью и задачами, поставленными и решенными в ходе исследования. Диссертация состоит из введения, 4 глав, заключения, библиографического списка из 117 наименований и 6 приложений. Работа изложена на 156 страницах основного текста, содержит 53 рисунка, 55 таблиц.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** приведено обоснование актуальности выбранной темы исследования, сформулированы цель и задачи по диссертационной работе, сформулированы научная новизна и практическая значимость полученных результатов, а также представлены данные об апробации результатов работы.

**В первой главе** произведен анализ развития систем обеспечения безопасности транспортных процессов на железнодорожных дорогах, существующей технологии расчета и закрепления подвижного состава различной массы и длины на путях железнодорожных станций, выполнена классификация устройств закрепления и особенностей их применения, приведенная на рисунке 1.

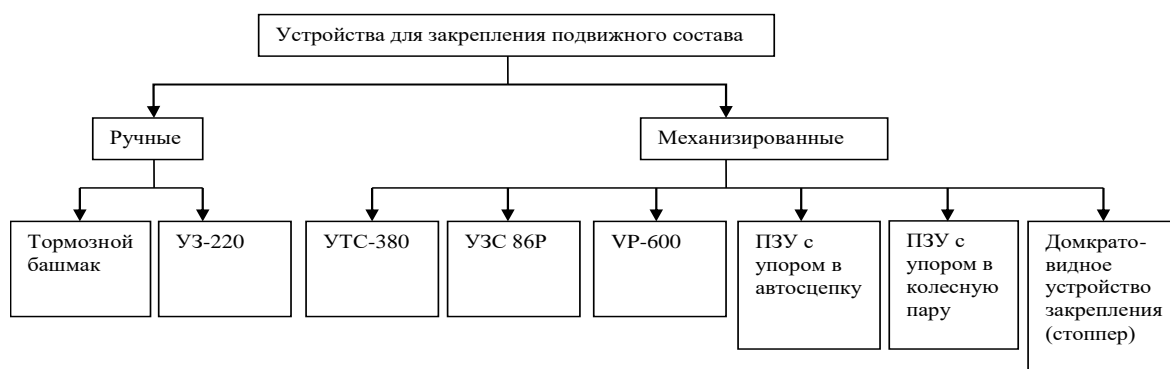


Рисунок 1 – Классификация основных устройств закрепления подвижного состава

Распределение транспортных происшествий и иных событий, связанных с нарушением безопасности движения и эксплуатации железнодорожного транспорта, допущенных на сети дорог, отнесенных за хозяйством перевозок за период с 2010 по 2022 гг.: крушение - 1; авария – 4; столкновение поездов с другими поездами – 5; сход в поезде – 23; прием поезда на занятый путь – 9; отправление поезда на занятый перегон – 6; прием и опрвление поезда по неготовому маршруту – 31; перевод стрелки под подвижным составом – 5; несанкционированное движение подвижного состава – 14; столкновение подвижного состава при маневрах – 122; проезд светофора с запрещающим показанием – 6; сход подвижного состава при маневрах – 345; наезд на посторонний предмет – 3. Несмотря на то, что несанкционированное движение подвижного состава происходит все реже, по сравнению с остальными случаями нарушений безопасности движения поездов, данный вид нарушений является наиболее опасным и тяжелым по возможным последствиям приводящий к крушениям и авариям.

На станциях, где предусматриваются отцепка локомотивов или вагонов от составов и производство маневровых операций, в целях исключения самопроизвольного ухода подвижного состава с роликовыми подшипниками должен быть применен трехэлементный продольный профиль вогнутого очертания. Но ввиду того, что на практике продольные профили путей существующих станций отличаются от трехэлементного, существуют различные варианты закрепления подвижного состава индивидуальные для каждого пути.

Выполненный анализ 373-х продольных профилей путей приема-отправления 16 основных станций Северо-Кавказской железной дороги – филиал

ОАО «РЖД» показал, что 23 % профилей путей относятся к монотонному типу, для которого характерно, что начиная с наибольшей отметки высоты в одном конце пути, каждая последующая точка, ограничивающая элемент профиля, находится ниже предыдущей, не опускаясь при этом ниже крайней точки в другом конце пути, 20 % – к пилообразному, для которого характерно, что ни одна промежуточная точка не будет выше наивысшей точки в одном конце пути или ниже низшей точки в другом конце пути, 45 % – к типу «гора», при котором хотя бы одна промежуточная точка находится выше одновременно обеих крайних точек пути и 12 % – к вогнутому типу, при котором хотя бы одна промежуточная точка расположена ниже одновременно обеих крайних точек пути. Известно, что наиболее проблемным типом продольного профиля железнодорожного пути, на котором необходимо производить закрепление подвижного состава с точки зрения безопасности станционных технологических процессов, является продольный профиль типа «гора». Именно данный тип продольного профиля преобладает на путях рассматриваемых станций.

Проанализированы составы грузовых поездов с последующим проведением расчета соотношения длин поездов в условных вагонах с количеством физических вагонов, входящих в их составы, принятых на приемоотправочные пути рассматриваемых станций, а также выполнен анализ случаев приема поездов, длина которых не совпадала с количеством физических вагонов по типам продольных профилей приемоотправочных путей.

Из анализа следует, что только у 20 % прибывших поездов на рассматриваемые станции СКЖД количество физических вагонов совпадает с количеством условных вагонов, соответственно для 80 % (191176 ед.) закрепленных поездов отсутствовали четкие нормы закрепления по причине несовпадения участков путей, которые занимали составы с участками, для которых произведены расчеты. 48 % поездов из указанного количества закреплены на путях с продольным профилем типа «гора».

**Во второй главе** проведен анализ причинно-следственных связей несанкционированного движения подвижного состава (рисунок 2). На основе исследования отечественного научного опыта в расчетах норм закрепления подвижного состава, определены основные недостатки существующего метода: проблема заключается в том, что п.3.9.1 (24) ТРА станций, на которых производится определение норм закрепления подвижного состава, содержат нормы, рассчитанные для составов поездов, состоящих из однородного подвижного состава. Обобщенный метод расчета и нормы для закрепления составов, состоящих из разнородного подвижного состава, отсутствует.

При данных обстоятельствах существует риск несанкционированного движения подвижного состава, так как в случае сочетания факторов расположения подвижного состава на продольном профиле «гора», превышения величины условной длины закрепляемого поезда над количеством закрепляемых физических вагонов, а так же определения норм закрепления, как для составов, состоящих из условных вагонов, появляется вероятность расположения на противоуклонах, при этом часть состава, расположенного на спуске может быть не закреплена.





Рисунок 2 - Диаграмма причинно-следственных связей несанкционированного движения подвижного состава

Например, характеристика пути, на котором необходимо закрепить грузовой состав, представлена в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристика продольного профиля пути

№ пп	Длина, м	Уклон, ‰	Отметка, м
0	0	0	75
1	30	2,3	75,069
2	50	2,5	75,194
3	50	2,4	75,314
4	50	2,3	75,429
5	50	-2,4	75,309

Таблица 2 – Характеристика закрепляемого подвижного состава

Номер вагона п/п	Длина вагона, м	Вес вагона брутто, т	Количество осей вагона	Род вагона
1	19,62	22	4	Платф.
2	19,62	80	4	Платф.
3	19,62	80	4	Платф.
4	19,62	80	4	Платф.
5	19,62	80	4	Платф.
6	19,62	80	4	Платф.
7	19,62	80	4	Платф.
8	14,00	80	4	Платф.
9	14,00	80	4	Полуваг.
10	14,00	80	4	Полуваг.
11	12,02	80	4	4-ос. Цс.
12	12,02	30	4	4-ос. Цс.

Фактическое занятие составом пути представлено на рисунке 3.

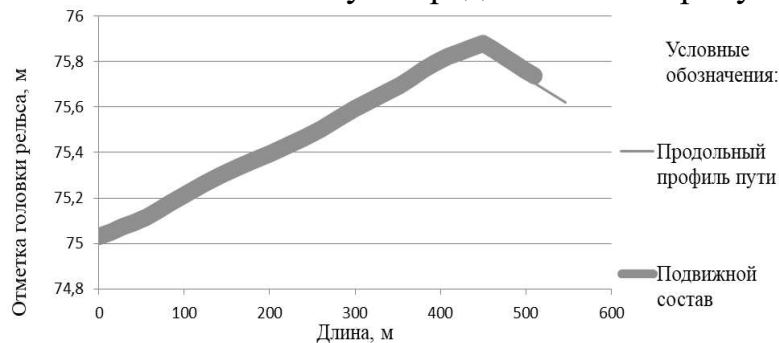


Рисунок 3 - Фактическое занятие пути двенадцатью вагонами при расположении их от нечетной горловины

Расчеты, выполненные, с применением действующей программы расчета норм закрепления для условных вагонов (полувагонов), короткобазных вагонов (4-осных цистерн) и платформ с длиной равной 19,62 м сведены в таблицы 3,4,5.

Таблица 3 – Нормы закрепления составов поездов, состоящих из полувагонов

Величина уклона (в тысячных)	Сторона закрепления состава	Нормы закрепления		
		Количество тормозных башмаков	Количество осей	
			Норма по формуле (1) ИДП	Норма по формуле (2) ИДП
2,4/2,4	С нечетной стороны	1	42	18
2,4/2,4		2	64	36
-/2,4		3	-	64
-1/-1	С четной стороны	0	52	52
2,4/2,4		1	64	64

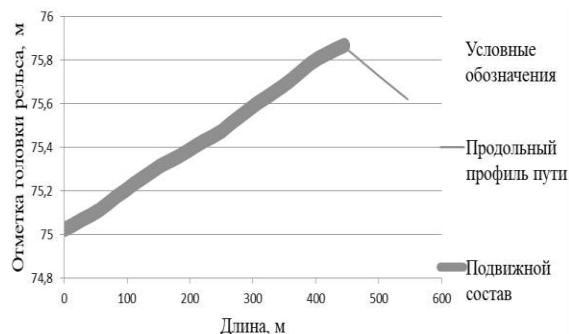


Рисунок 4 – Занятие продольного профиля пути составом, состоящим из двенадцати полувагонов

Таблица 4 – Нормы закрепления составов поездов, состоящих из 4-осных цистерн

Величина уклона (в тысячных)	Сторона закрепления состава	Нормы закрепления		
		Количество тормозных башмаков	Количество осей	
			Норма по формуле (1) ИДП	Норма по формуле (2) ИДП
2,4/2,4	С нечетной стороны	1	42	18
2,4/2,4		2	76	36
-/2,4		3	-	56
-/2,4	С четной стороны	4	-	76
-1/-1		0	60	60
2,4/2,4	1	76	76	

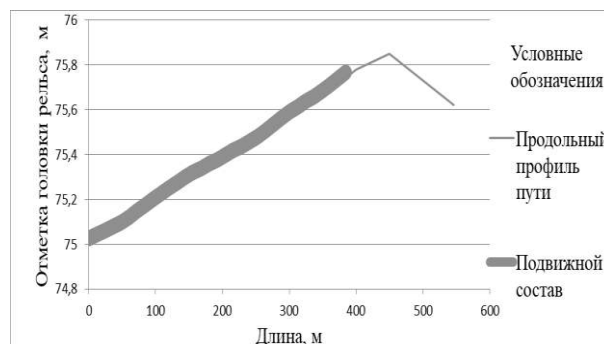


Рисунок 5 – Занятие продольного профиля пути составом из двенадцати четырехосных цистерн

Таблица 5 – Нормы закрепления составов поездов, состоящих из платформ длиной 19,62 м

Величина уклона (в тысячных)	С какой стороны производится закрепление	Нормы закрепления		
		Количество тормозных башмаков	Количество осей	
			Норма по формуле (1) ИДП	Норма по формуле (2) ИДП
2,4/2,4	С нечетной стороны	1	46	18
-/2,4		2	-	46
-1/-1	С четной стороны	0	36	36
2,4/2,4		1	46	46

Графическое отображение занятия пути приема поездом, состоящим из платформ длиной 19,62 м, не представляется возможным по причине превышения длины поезда полезной длины пути.

В результате получено, что по существующему методу расчета на условиях п.3.9.1 (24) ТРА станции будут определены нормы закрепления для 12 полувагонов – 3 тормозных башмака с нечетной стороны и 0 с четной; для четырёхосных цистерн – 3 тормозных башмака с нечетной стороны и 0 с четной; для платформ длиной 19,62 м – расчет произведен только до 46 осей, при необходимости закрепления 48

осей. Фактически, расчетом, произведенным ниже, установлена необходимость укладки одного тормозного башмака и с четной стороны.

Расчет норм закрепления при помощи формул, приведенных в приложении 17 ИДП, производится для составов, состоящих из одного рода вагонов (в основном для полувагонов), которые и вносятся в п.3.9.1 (24) ТРА станций. Такой способ удобен для грузовых станций, работающих с маршрутами или с составами, состоящими из одного рода вагонов, но для станций, работающих с составами, состоящими вагонов различного рода, такой способ не применим.

**Третья глава** посвящена формированию авторского метода расчета норм закрепления на основе развития и разработки способов решения. В таблице 6 представлено развитие метода расчета норм закрепления подвижного состава:

**I способ** – расчет, на основе формул и правил, приведенных в приложении 17 ИДП;

**II способ** – расчет посредством определения сил, действующих на подвижной состав (итерационный повагонный расчет);

**III способ** – расчет посредством определения сил, действующих на подвижной состав (итерационный поосный расчет).

Первый и второй способ расчета требуют данные длин вагонов по осям автосцепок, количества осей и веса (брутто) каждого вагона, условий постановки состава на пути с заданным продольным профилем. Реализация данного способа требует создание типового журнала учета тормозных башмаков для каждой станции, содержащий данные продольных профилей путей, внедрение алгоритма расчета норм закрепления в журнал учета тормозных башмаков, а также функцию импорта данных закрепляемых составов из электронных систем ОАО «РЖД» (ГИД «Урал-ВНИИЖТ», АСУ СТ) с их совмещением с продольными профилями путей.


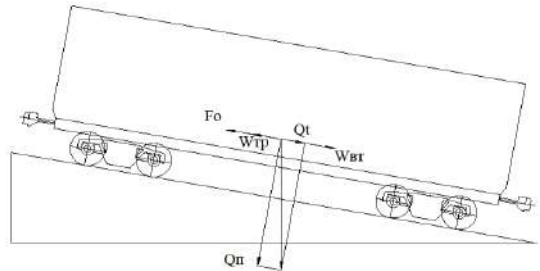
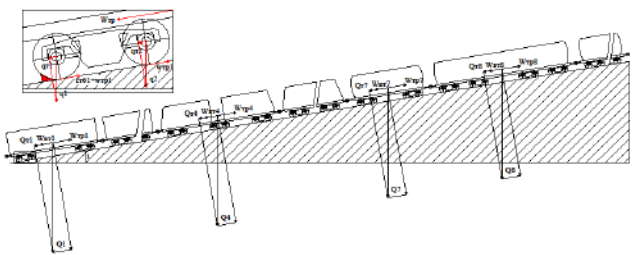
Третий способ, помимо вышеуказанных данных требует использование информации о расстоянии каждой оси вагона, относительно осей автосцепок.

Обозначения в формулах таблицы 6:

$K$  - потребное количество тормозных башмаков, шт.;  $n$  - количество осей закрепляемой группе, шт.;  $i$  - средняя величина уклона пути железнодорожного пути, на котором производится закрепление вагонов, ‰;  $k_б$  – число тормозных башмаков, шт.;  $f_{oj}$  – коэффициент тормозного действия тормозного башмака при трогании с места;  $q_{oj}$  – нагрузка на ось, под которую положен тормозной башмак, тс;  $N_i$  – число вагонов в составе;  $Q_i$  – вес вагона, тс;  $w_{тpи}$  – удельное сопротивление состава при трогании с места, кгс/тс;  $w_{вт}$  – удельное сопротивление от воздушной среды, кгс/тс;  $l_{сост}$  – длина состава, м;  $n_i$  – количество осей в вагоне;  $C_x$  – коэффициент воздушного сопротивления одиночного вагона;  $C_{xx}$  – коэффициент воздушного сопротивления вагонов середине состава;  $S$  – мидель (площадь поперечного сечения вагона), м<sup>2</sup>;  $t$  – температура воздуха, °С;  $v_{вт}^2$  – скорость ветра с учетом его направления, м/сек;  $i$  – уклон пути, ‰;  $q_i$  – нагрузка на оси вагонов;  $\sigma_{fj}$  – среднее квадратическое отклонение коэффициента тормозного действия башмака при трогании с места, кгс/тс;  $\sigma_w$  – среднее квадратическое отклонение удельного сопротивления трогания вагонов, кгс/тс;  $t_x$  – доверительный интервал, равный трем.

Постоянные величины принимаются равными значениям:  $C_x = 1,76$ ,  $C_{xx} = 0,88$ ,  $S = 8,5 \text{ м}^2$ ,  $f_{oj} = 0,15$ ,  $t_x = 3$ ,  $\sigma_{fj} = 0,03$ ,  $\sigma_w = 0,25 \text{ кгс/тс.}$ ,  $v_{вт} = 5 \text{ м/т}$ ,  $t = 0^\circ\text{С}$

Таблица 6 – Ведомость разработанных способов развития метода расчета норм закрепления подвижного состава

I способ	II способ	III способ
<p>Схема расположения подвижного состава на прямоотправочном пути с профилем «гора»</p>  <p>Расчетные формулы определения норм закрепления</p> <p>- для однородного подвижного состава:  <math display="block">K = \frac{n}{200} (1,5 \cdot i + 1); \quad (1)</math></p> <p>- для разнородного подвижного состава:  <math display="block">K = \frac{n}{200} (4 \cdot i + 1). \quad (2)</math></p>	<p>Схема повагонного приложения сил, действующих на закрепляемый подвижной состав</p>  <p>Расчетные формулы определения норм закрепления:</p> $\sum F_0 + \sum W_{TP} = W_{BT} + \sum Q_{\tau}, \quad (3)$ <p>Значения сил определяются по формулам:</p> $\sum F_0 = \sum_{i=1}^{k_6} f_{oj} \cdot q_{oj}, \quad (4)$ $\sum W_{TP} = \sum Q_i \cdot w_{TP} \cdot 10^{-3}, \quad (5)$ $W_{BT} = \frac{17,8 \cdot (C_x + (N-1) \cdot C_{xx}) \cdot S}{\sum Q_i \cdot (273+t)} \cdot v_{BT}^2, \quad (6)$ $\sum Q_{\tau} = \sum Q_i \cdot i \cdot 10^{-3}, \quad (7)$ <p>Т. к. на практике условия закрепления отличаются от расчетных, то для надежности норм закрепления введем дополнительную поправку – среднеквадратичное отклонение удельного сопротивления сил трения состава при трогании с места и силы тормозного действия башмаков при трогании с места.</p> $\sum Q_i \cdot i \cdot 10^{-3} + \frac{17,8 \cdot (C_x + (N-1) \cdot C_{xx}) \cdot S}{Q_i \cdot (273+t)} v_{BT}^2 = \sum_{i=1}^{k_6} f_{oj} \cdot q_{oj} + \sum Q_i \cdot w_{TP} \cdot 10^{-3} - t_x \sqrt{\sum_{i=1}^{k_6} \sigma_{fj}^2 \cdot q_{oj}^2 \cdot 10^6 + n' \cdot n \cdot \sigma_w^2 \cdot q_i^2}, \quad (8)$	<p>Схема поосного приложения сил, действующих на закрепляемый подвижной состав</p>  <p>Расчетные формулы поосного определения норм закрепления:</p> $\sum F_0 = \sum_{i=1}^{k_6} f_{oj} \cdot q_{oj}, \quad (9)$ $\sum W_{TP} = \sum n \cdot q_i \cdot w_{TP} \cdot 10^{-3}, \quad (10)$ $W_{BT} = \frac{17,8 \cdot (C_x + (N-1) \cdot C_{xx}) \cdot S}{\sum n q_i \cdot (273+t)} \cdot v_{BT}^2, \quad (11)$ $\sum Q_{\tau} = \sum n \cdot q_i \cdot i \cdot 10^{-3}, \quad (12)$ <p>С учетом среднеквадратических отклонений удельного сопротивления сил трения при трогании состава с места и силы тормозного действия башмаков при трогании с места, уравнение равновесия (3) для поосного расчета примет вид:</p> $\sum n \cdot q_i \cdot i \cdot 10^{-3} + \frac{17,8 \cdot (C_x + (N-1) \cdot C_{xx}) \cdot S}{\sum n \cdot q_i \cdot (273+t)} v_{BT}^2 = \sum_{i=1}^{k_6} f_{oj} \cdot q_{oj} + \sum n \cdot q_i \cdot w_{TP} \cdot 10^{-3} - t_x \sqrt{\sum_{i=1}^{k_6} \sigma_{fj}^2 \cdot q_{oj}^2 \cdot 10^6 + n' \cdot n \cdot \sigma_w^2 \cdot q_i^2}, \quad (13)$

Расчет норм закрепления **I-м способом**, начинается с определения величин уклонов, на которых располагаются каждый вагон, для этого производится совмещение продольного профиля пути с составом – производится привязка расположение головного вагона с точкой, расположенной на продольном профиле, затем выполняется расчет норм для каждого вагона, входящего в состав отдельно по формулам (1) и (2) приложения 17 ИДП. Рассмотрены профиль пути, приведенный в таблице 1, и параметры закрепляемого подвижного состава согласно таблице 2.

Применение **I способа** расчета с нечетной и четной стороны состава приведено в таблицах 7 и 8.

Таблица 7 – Расчет норм закрепления с нечетной стороны состава

№ вагона	Определение количества осей расположенных на соответствующем элементе продольного профиля					Количество тормозных башмаков для закрепления заданного количества осей					Кол-во т.б на 1закр. вагон	Кол-во т.б. с нараст.	Округление	Уклон, %
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11				
1	4,0	-	-	-	-	0,20	-	-	-	-	0,20	0,20	1	2,3
2	2,1	1,9	-	-	-	0,11	0,10	-	-	-	0,21	0,42	1	2,3
3	-	4,0	-	-	-	-	0,22	-	-	-	0,22	0,64	1	2,4
4	-	4,0	-	-	-	-	0,22	-	-	-	0,22	0,86	1	2,4
5	-	0,3	3,7	-	-	-	0,02	0,20	-	-	0,21	1,07	2	2,4
6	-	-	4,0	-	-	-	-	0,21	-	-	0,21	1,28	2	2,4
7	-	-	2,5	1,5	-	-	-	0,13	0,08	-	0,21	1,49	2	2,4
8	-	-	-	4,0	-	-	-	-	0,20	-	0,20	1,69	2	2,4
9	-	-	-	4,0	-	-	-	-	0,20	-	0,20	1,90	2	2,4
10	-	-	-	4,0	-	-	-	-	0,20	-	0,20	2,10	3	2,4
11	-	-	-	0,2	3,8	-	-	-	0,01	-0,16	-0,15	1,95	3	2,0
12	-	-	-	-	4,0	-	-	-	-	-0,17	-0,17	1,78	3	1,6

Из таблицы 7, графа 14 выбрано максимальное значение равное 3, которое и будет количеством тормозных башмаков, необходимых для закрепления указанного состава с нечетной стороны.

Таблица 8 – Расчет норм закрепления с четной стороны состава

№ вагона	Количество тормозных башмаков для закрепления заданного количества осей					Кол-во т.б на 1 вагона	№ вагона	Кол-во т.б на 1 вагона	Кол-во т.б. с нараст.	Округление
	2	3	4	5	6					
1	-0,16	-	-	-	-	-0,16	12	0,21	0,21	1
2	-0,09	-0,08	-	-	-	-0,17	11	0,19	0,40	1
3	-	-0,18	-	-	-	-0,18	10	-0,16	0,24	1
4	-	-0,18	-	-	-	-0,18	9	-0,16	0,08	1
5	-	-0,01	-0,16	-	-	-0,17	8	-0,16	-0,09	0
6	-	-	-0,17	-	-	-0,17	7	-0,17	-0,26	0
7	-	-	-0,11	-0,06	-	-0,17	6	-0,17	-0,43	0
8	-	-	-	-0,16	-	-0,16	5	-0,17	-0,60	0
9	-	-	-	-0,16	-	-0,16	4	-0,18	-0,78	0
10	-	-	-	-0,16	-	-0,16	3	-0,18	-0,96	0
11	-	-	-	-0,01	0,20	0,19	2	-0,17	-1,13	0
12	-	-	-	-	0,21	0,21	1	-0,16	-1,30	0

Аналогично, из таблицы 8 графы 11 выбираем максимальное значение равное 1, которое и будет количеством тормозных башмаков, необходимых для закрепления состава с четной стороны.

Во **II способе**, используется разработанный итерационный повагонный расчет норм закрепления, который позволяет определить точное количество тормозных башмаков, зачастую меньшее по количеству, чем определяемое по формулам (1) и (2) приложения 17 ИДП без ущерба для безопасности движения. Так как на практике условия закрепления отличаются от расчетных, то для надежности норм закрепления введена дополнительная поправка – среднеквадратичное отклонение удельного сопротивления сил трения состава и силы тормозного действия башмаков при трогании с места.

В расчеты использованы постоянные величины:  $C_x = 1,76$ ,  $C_{xx} = 0,88$ ,  $S = 8,5 \text{ м}^2$ ,  $f_{oj} = 0,15$ ,  $t_x = 3$ ,  $\sigma_{fj} = 0,055 \text{ кгс/тс}$ ,  $\sigma_w = 0,25 \text{ кгс/тс}$ ,  $v_{вт} = 5 \text{ м/т}$ ,  $t = 0^\circ\text{C}$ .

В основе данного способа лежит уравнение (8), таблица 6.

Для определения тангенциальной составляющей силы тяжести также производится определение величины уклона, на котором расположен каждый вагон закрепляемого состава (таблица 9), а затем производится выбор вагонов, под которые планируется укладка тормозных башмаков и последующее определение сил, действующих на каждый вагон состава в отдельности, а затем суммирование сил, начиная с головного вагона, головного и второго, для трех вагонов с головы и так далее для всего состава. Из полученных величин определяется наименьшее значение. В случае, если данная величина принимает отрицательное значение производится укладка тормозных башмаков до тех пор, пока минимальное значение сумм величин сил, действующих на состав не примет положительное значение. Затем, аналогичным образом производится расчет сил, действующих с хвоста состава. Данный способ позволяет точнее определять количество тормозных башмаков для закрепления подвижного состава, что способствует уменьшению их количества при закреплении составов даже при условии укладки тормозных башмаков под легковесные вагоны, нагрузка на оси которых не является максимальной для закрепляемой группы.

Рассмотрен пример профиля пути, приведенный в таблице 1, и параметры закрепляемого подвижного состава согласно таблице 2. Расчеты представлены в таблицах 9, 10 и 11.

Таблица 9 – Расчет уклонов пути, на которых располагается подвижной состав

№вагона	Определение расположения вагонов на элементах продольного профиля пути					Определение уклонов, на которых располагаются вагоны, ‰				
1	19,6	-	-	-	-	2,3	-	-	-	-
2	10,4	9,2	-	-	-	2,4	-	-	-	-
3	-	19,6	-	-	-	-	2,5	-	-	-
4	-	19,6	-	-	-	-	2,5	-	-	-
5	-	1,5	18,1	-	-	-	2,4	-	-	-
6	-	-	19,6	-	-	-	-	2,4	-	-
7	-	-	12,3	7,3	-	-	-	2,4	-	-
8	-	-	-	14,0	-	-	-	-	2,3	-
9	-	-	-	14,0	-	-	-	-	2,3	-
10	-	-	-	14,0	-	-	-	-	2,3	-
11	-	-	-	0,7	11,4	-	-	-	-2,1	-
12	-	-	-	-	12,0	-	-	-	-	-2,4

Таблица 10 – Определение сил, действующих на состав при укладке 1 тормозного башмака под головной вагон с нечетной стороны

Тангенциальная составляющая силы тяжести, с нарастающим, тс	Сила трения состава при трогании с места с нарастающим, тс	Составляющая силы воздушно го напора вдоль пути, тс	Сила тормозного действия башмаков с нарастающим, тс	Среднекв. отклонение коэф. удельного сопротивления сил трения состава при трогании с места, тс	Среднекв. отклонение удельного сопротивления силы тормозного действия башмаков, тс	Среднекв. отклонение сил трения состава при трогании с места и тормозного действия башмаков, тс	Суммарная величина сил, действующая на состав, тс
0,05	0,05	0,02	0,83	0,027225	0,00003	0,50	0,31
0,24	0,13	0,01	0,83	0,027225	0,00083	0,50	0,21
0,44	0,21	0,02	0,83	0,027225	0,00203	0,51	0,07
0,64	0,29	0,02	0,83	0,027225	0,00363	0,53	-0,07
0,83	0,37	0,02	0,83	0,027225	0,00563	0,54	-0,19
1,02	0,45	0,02	0,83	0,027225	0,00803	0,56	-0,32
1,21	0,53	0,03	0,83	0,027225	0,01083	0,59	-0,47
1,39	0,61	0,03	0,83	0,027225	0,01403	0,61	-0,59
1,57	0,69	0,03	0,83	0,027225	0,01763	0,64	-0,72
1,75	0,77	0,03	0,83	0,027225	0,02163	0,66	-0,84
1,58	0,85	0,03	0,83	0,027225	0,02603	0,69	-0,62
1,51	0,91	0,04	0,83	0,027225	0,02671	0,70	-0,51

Таблица 11 – Значение результирующей силы, действующей на состав с нечетной стороны

Порядк. номер вагона	Вариант раскладки т.б.	Результирующая сила, действующая на состав, тс	Вариант раскладки т.б.	Результирующая сила, действующая на состав, тс	Вариант раскладки т.б.	Результирующая сила, действующая на состав, тс
1	2	3	4	5	6	7
1	2	0,93	2	0,93	1	0,31
2	-	0,82	1	2,60	-	0,21
3	-	0,69	-	2,46	1	1,71
4	-	0,56	-	2,34	-	1,58
5	-	0,43	-	2,23	-	1,47
6	-	0,31	-	2,11	-	1,35
7	-	0,17	-	1,98	-	1,23
8	-	0,05	-	1,88	-	1,12
9	-	-0,07	-	1,77	-	1,01
10	-	-0,19	-	1,66	-	0,90
11	-	0,04	-	1,90	-	1,14
12	-	0,16	-	2,02	-	1,26

Аналогичным образом производим расчет количества тормозных башмаков, которые необходимо уложить с четной стороны. Расчет показал, что необходима укладка 1 тормозного башмака с четной стороны. Кроме того, при укладке с нечетной стороны одного тормозного башмака под первый вагон и одного под третий, требуется на один тормозной башмак меньше, чем по нормам определенным существующим способом.

В III способе, на основе разработанного итерационного поосного расчета, используется уравнение (13), которое отличается от формулы (8) тем, что определение сил, действующих на состав производится для каждой оси закрепляемого подвижного состава. При этом отсутствует необходимость в определении спрямленного уклона в случае расположения вагона с занятием двух элементов продольного профиля пути с уклонами разной величины. Требуется определение величины уклона, на котором располагается каждая ось

закрепляемого состава. Для определения воздействия тангенциальной составляющей силы тяжести необходимо знать координату каждой оси на продольном профиле пути. Сведения о расстоянии каждой оси относительно осей сцепления автосцепок известны и определены для каждого вагона, эксплуатируемого на сети ОАО «РЖД», но не содержатся в информационных базах ОАО «РЖД». Для практического применения данного метода на сети дорог необходимо внести в базы данных информацию о расстояниях каждой оси вагона относительно осей автосцепок. Для определения тангенциальной составляющей силы тяжести необходимо произвести определение расположения состава относительно элементов продольного профиля пути. Данную операцию можно выполнить путем разметки мест установки крайних вагонов на путях. Порядок определения значений остальных сил, аналогичен порядку, указанному при описании второго способа. Тангенциальная сила тяжести определяется после определения действия данной силы на каждую ось вагонов.

Достоинство данного способа заключается в возможности определения норм закрепления для составов, в которые включены вагоны перспективного типа – сочлененные вагоны, состоящие из трех двухосных тележек с одновременной опорой каждой части вагона на вторую тележку, расположенной в месте сцепления частей вагона.

Рассмотрен пример профиля пути, приведенный в таблице 13 и параметры закрепляемого подвижного состава согласно таблице 12. Сформированы формы таблиц расчета норм закрепления (таблицы 14, 15, 16).

Таблица 12 – Параметры закрепляемого подвижного состава с учетом перспективных типов

Порядковые №№ вагонов	Род вагона	Длина вагона, м	Количество осей	Вес брутто, т	Расстояние от оси автосцепки головного вагона до осей автосцепок последующих вагонов, м	Нагрузка брутто на оси вагонов, т/ось
1	2	3	4	5	6	7
1	Полувагон	13,92	4	40	13,92	10
2	Полувагон	13,92	4	80	27,84	20
3	Полувагон	13,92	4	80	41,76	20
4	Сочлененный	19,54	6	120	61,30	20
5	Сочлененный	19,54	6	120	80,84	20
6	Сочлененный	19,54	6	115	100,38	19,2
7	цистерна 4-осн.	12,02	4	82	112,4	20,5
8	цистерна 8-осн.	21,12	8	140	124,42	17,5
9	цистерна 8-осн.	21,12	8	140	136,44	17,5

Таблица 13 – Данные продольного профиля приемоотправочного пути

Порядковый номер элемента профиля пути	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Длина элемента пути, м	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	46
Уклон элемента пути, м	1,5	2,2	2	1,6	1,7	2,3	1,9	2,4	1,4	-2,4	-2,39
Расстояние с нарастающим итогом, м	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	546



Принято условие расположения подвижного состава у границы полезной длины с нечетной стороны. Расчет координат каждой оси колесной пары рассматриваемых вагонов относительно осей автосцепок приведен в табл. 14.

Таблица 14 - Расстояние от осей автосцепок вагонов до осей колесных пар

Порядковый номер оси	Полувагон	Цистерна четырехосная	Цистерна восьмиосная	Сочлененный шестиосный вагон
1	1,71	1,185	1,14	1,825
2	3,56	3,035	2,99	3,675
3	10,36	8,985	5,265	8,845
4	12,21	10,835	7,115	10,695
5	-	-	14,93	15,865
6	-	-	16,78	17,715
7	-	-	18,13	-
8	-	-	19,98	-

Таблица 15 – Расчет расстояний от оси автосцепки головного вагона до осей каждой колесной пары последующих вагонов

Номер вагона	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Расстояние каждой оси колесной пары, относительно оси сцепления крайней с головы состава автосцепки вагона, м	1,71	-	-	-	-	-	-	-	-
	3,56	15,63	-	-	-	-	-	-	-
	10,36	17,48	29,55	-	-	-	-	-	-
	12,21	24,28	31,4	43,585	-	-	-	-	-
	-	26,13	38,2	45,435	63,125	-	-	-	-
	-	-	-	50,605	64,975	82,665	-	-	-
	-	-	-	52,455	70,145	84,515	101,57	-	-
	-	-	-	57,625	71,995	89,685	103,42	113,54	-
	-	-	-	59,475	77,165	91,535	109,37	115,39	134,66
	-	-	-	-	79,015	96,705	111,22	117,67	136,51
	-	-	-	-	-	-	-	119,52	138,79
	-	-	-	-	-	-	-	127,33	140,64
	-	-	-	-	-	-	-	129,18	148,45
	-	-	-	-	-	-	-	130,53	150,3
	-	-	-	-	-	-	-	132,38	151,65
-	-	-	-	-	-	-	-	153,5	
Значение уклонов, на которых располагается каждая ось вагона рассматриваемого состава, %	1,5	-	-	-	-	-	-	-	-
	1,5	1,5	-	-	-	-	-	-	-
	1,5	1,5	1,5	-	-	-	-	-	-
	1,5	1,5	1,5	1,5	-	-	-	-	-
	-	1,5	1,5	1,5	2,2	-	-	-	-
	-	-	1,5	2,2	2,2	2,2	-	-	-
	-	-	-	2,2	2,2	2,2	2	-	-
	-	-	-	2,2	2,2	2,2	2	2	-
	-	-	-	2,2	2,2	2,2	2	2	2
	-	-	-	-	2,2	2,2	2	2	2
	-	-	-	-	-	2,2	-	2	2
	-	-	-	-	-	-	-	2	2
	-	-	-	-	-	-	-	2	2
	-	-	-	-	-	-	-	2	1,6
	-	-	-	-	-	-	-	2	1,6
-	-	-	-	-	-	-	-	1,6	
Значение $Q_{тi}$ - тангенциальной составляющей силы тяжести, действующей на каждую ось, тс	0,015	-	-	-	-	-	-	-	-
	0,015	0,030	-	-	-	-	-	-	-
	0,015	0,030	0,030	-	-	-	-	-	-
	0,015	0,030	0,030	0,030	-	-	-	-	-
	-	0,030	0,030	0,030	0,044	-	-	-	-
	-	-	0,030	0,044	0,044	0,042	-	-	-
	-	-	-	0,044	0,044	0,042	0,041	-	-
	-	-	-	0,044	0,044	0,042	0,041	0,035	-
-	-	-	0,044	0,044	0,042	0,041	0,035	0,035	

Продолжение таблицы 15

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	-	-	-	-	0,044	0,042	0,041	0,035	0,035
	-	-	-	-	-	0,042	-	0,035	0,035
	-	-	-	-	-	-	-	0,035	0,035
	-	-	-	-	-	-	-	0,035	0,035
	-	-	-	-	-	-	-	0,035	0,028
	-	-	-	-	-	-	-	0,035	0,028
	-	-	-	-	-	-	-	-	0,028
Значение $Q_{\tau i}$ - тангенциальной составляющей силы тяжести, тс	0,060	0,120	0,120	0,236	0,264	0,253	0,164	0,280	0,259

Таблица 16 – Расчет результирующих сил, действующих на закрепляемый грузовой состав с нечетной стороны

Тангенициальная составляющая силы тяжести $Q_{\tau}$ , на каждый вагон в отдельности, тс	Тангенициальная составляющая силы тяжести $Q_{\tau}$ , с нарастающим, тс	Сила трения состава при трогании с места, тс	Сила трения состава при трогании с места с нарастающим, тс	Составляющая силы воздушного напора вдоль пути, тс	Сила тормозного действия башмаков с нарастающим, тс	Среднеквадратическое отклонение удельного сопротивления сил трения состава при трогании с места и силы тормозного действия башмаков при трогании с места	Суммарная величина сил, действующая на состав, тс
0,060	0,060	0,066	0,066	0,003	3,000	1,273	1,730
0,120	0,180	0,083	0,149	0,003	3,000	1,276	1,690
0,120	0,300	0,083	0,232	0,003	3,000	1,280	1,648
0,236	0,536	0,124	0,356	0,004	3,000	1,287	1,530
0,264	0,800	0,124	0,481	0,005	3,000	1,295	1,381
0,253	1,053	0,123	0,604	0,005	3,000	1,304	1,241
0,164	1,217	0,083	0,687	0,006	3,000	1,317	1,148
0,280	1,497	0,160	0,847	0,006	3,000	1,328	1,016
0,259	1,756	0,160	1,007	0,007	3,000	1,341	0,904
Минимальное значение результирующей силы, тс							0,904

Из таблицы 16, столбец 8, следует, что после укладки двух тормозных башмаков под головной вагон минимальный запас результирующей силы имеет положительное значение и составляет 0,904 тс. При укладке одного тормозного башмака подголовной вагон минимальная результирующая сила будет иметь отрицательное значение равное - 0,249 тс. Это означает, что одного тормозного башмака, уложенного с нечетной стороны будет недостаточно для удержания состава.

Аналогично производится расчет сил, действующих с четной стороны. Расчет показал, что с четной стороны на состав действует сила, равная 0,250 тс, следовательно, укладка тормозных башмаков с четной стороны не требуется.

В рамках исследования разработан и реализован электронный журнал учета тормозных башмаков, используемых для закрепления подвижного состава, созданный в среде табличного процессора MS Excel, содержащий авторский алгоритм автоматизированного определения норм закрепления согласно п.3.9.1 (24) ТРА станций. Данный журнал позволил исключить ошибки, допускаемые персоналом на этапе многовариантного определения норм закрепления на станциях Чапаевка-Ростовская, Божковская, Новомихайловская, Звереве, Сулин, Лесостепь, Кадамовка, Усть-Донецкая,

путях грузового двора станции Лихая, а также ошибок при учете тормозных башмаков, о чем получен акт внедрения.

Принципиальная схема работы алгоритма, производящего автоматизированное определение однородности/разнородности подвижного состава приведена на рисунке 6. Блок-схема алгоритма способов расчета норм закрепления приведена на рисунке 7, внешний вид электронного журнала учета тормозных башмаков приведен на рисунке 8.

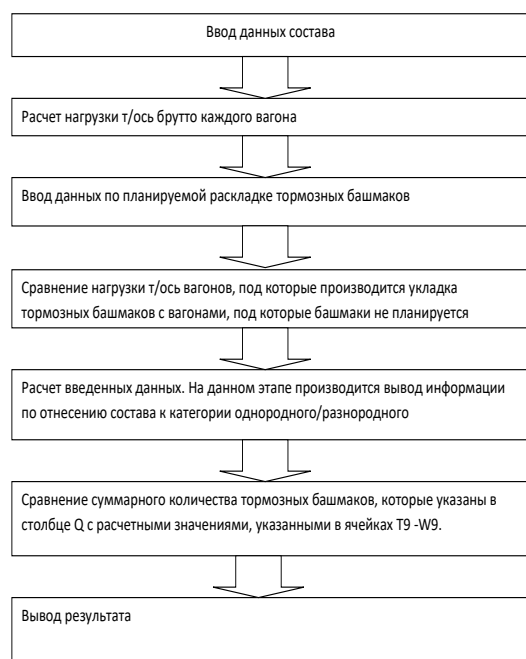


Рисунок 6 - Блок-схема алгоритма определения степени однородности/разнородности подвижного состава

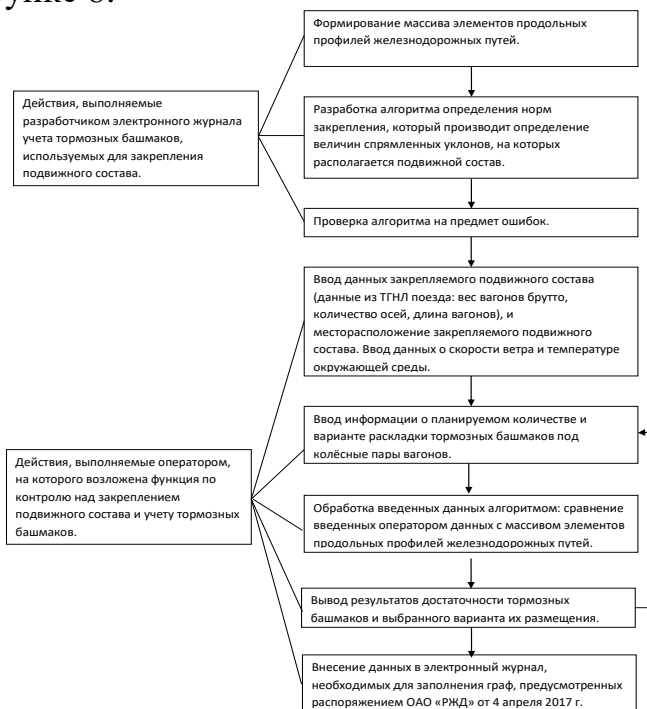


Рисунок 7 - Блок-схема алгоритма расчета норм закрепления разработанными способами

В третьей главе также представлены параметры эффективности использования устройств закрепления (УЗ) подвижного состава:

1. Коэффициент зависимости количества используемых УЗ на количество закрепленных осей:

$$K_{\text{исп}}^{(i)} = \frac{n_{\text{уз}}^{(i)}}{n_{\text{ос}}^{(i)}}, \quad (13)$$

где  $n_{\text{уз}}^{(i)}$  - количество устройств, необходимых для закрепления подвижного состава;  $n_{\text{ос}}^{(i)}$  - количество закрепляемых осей подвижного состава.

2. Коэффициент занятости УЗ:

$$K_{\text{вр}}^{\text{сущ. (проект)}} = \frac{t_{\text{уз}} \cdot N_{\text{поездов}} \cdot \Delta n_{\text{уз}}^{\text{сущ. (проект)}}}{1440}, \quad (14)$$

где  $t_{\text{уз}}$  - время на укладку 1 тормозного башмака, принятое 3 мин;  $N_{\text{поездов}}$  - количество закрепленных поездов;  $\Delta n_{\text{уз}}^{\text{сущ. (проект)}}$  - разница в количестве

укладываемых башмаков, рассчитанных по существующей и предлагаемой технологии.

3. Коэффициент разнородности подвижного состава:

$$K_p = \frac{N_{i \text{ ваг}}}{N_{\text{у.в.}}}, \quad (15)$$

где  $N_{i \text{ ваг}}$  – количество закрепленных вагонов, шт.;  $N_{\text{у.в.}}$  – количество закрепленных вагонов, выраженных в условных вагонах, шт.

**Четвертая глава** посвящена апробации и обоснованию эффективности внедрения автоматизированного способа определения норм закрепления подвижного состава и ведения электронного учета тормозных башмаков, используемых для закрепления подвижного состава на станциях полигона СКЖД, а так же экономии, за счет изменения технологии закрепления составов на станциях с большим объемом маневровой работы (таблица 17).

Таблица 17 - Эффективность нового метода определения норм закрепления

№ пп	Показатели	Метод расчета норм закрепления подвижного состава	
		Существующий	Авторский
1	Вероятность несанкционированного движения подвижного состава с сопутствующим ущербом при его возникновении	-	↓
2	Влияние человеческого фактора на процесс учета тормозных башмаков и контроля над нормами закрепления	-	↓
3	Определенные нормы для расчета закрепления составов, состоящих из разнородных вагонов, различных по длине и количеству осей, типам обращающихся локомотивов и т.п.	НЕТ	ДА
4	Качество учета использования тормозных башмаков	-	↑
5	Количество проверочных мероприятий (инвентаризаций, проверок журналов учета, поиск ошибок)	-	↓
6	Ограничения, связанные с отсутствием расчета норм закрепления в произвольном месте пути	ДА	НЕТ
7	Возможность логического контроля над сроками действия продольных профилей путей	НЕТ	ДА
8	Дополнительные капитальные вложения в реализацию проекта	-	НЕТ
9	Улучшение условий работы управленческого персонала (снижение загрузки ДСП)	-	- 8 % (57 мин за смену)
10	Обеспечение возможности перехода на безбумажную технологию	НЕТ	ДА
11	Экономия времени на закрепление подвижного состава (на примере станции Лихая при годовом прибытии 25 тыс груз. поездов), суток/год	-	29



3. Разработаны имитационные модели вариантов закрепления подвижного состава в соответствии с выбранными способами расчета и уточненными формулами расчета сил.

4. Разработан алгоритм и интерфейс электронного журнала учета тормозных башмаков, позволяющий в автоматизированном режиме учитывать тормозные башмаки, определять нормы закрепления, а также выполнять процесс отнесения составов к категории однородного/разнородного, что позволяет исключить факты нарушения норм закрепления допускаемые на этапе их определения и решить проблему отсутствия норм закрепления для составов поездов, состоящих из вагонов различных по длине и количеству осей.

5. Выполнена оценка эффективности реализации разработанных методов расчета норм закрепления подвижного состава на путях с вариативными параметрами на полигоне Северо-Кавказской железной дороги, которые позволят повысить качество учета использования тормозных башмаков, снять ограничения, связанные с отсутствием расчета норм закрепления в произвольном месте пути, обеспечить возможность логического контроля над сроками действия продольных профилей путей, снизить сменную загрузку дежурных по станции на 8 % (57 мин), получить экономию годового времени на закрепление подвижного состава (на примере станции Лихая) на 29 суток.

#### **Рекомендации и перспективы дальнейших исследований по теме:**

Выполненные в диссертационной работе теоретические и методологические исследования могут служить научной основой для изучения направлений по повышению безопасности как грузовых так и пассажирских перевозок. Их реализация в транспортном процессе обеспечит повышение эффективности транспортных процессов по закреплению различных видов подвижного состава и развития систем цифровизации на основе ведения электронного журнала учета тормозных башмаков, автоматизации определения однородности/разнородности закрепляемых грузовых и пассажирских поездов при использовании рационального количества тормозных башмаков при соответствующем уровне безопасности движения.

### **СПИСОК РАБОТ ОПУБЛИКОВАННЫХ АВТОРОМ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ**

#### ***Научные работы, опубликованные в изданиях, рекомендованных ВАК:***

1. Ильин А.М., Числов О.Н. Совершенствование методологических и технико-технологических решений по закреплению перспективных видов подвижного состава на станционных железнодорожных путях // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. 2022. № 1 (60). С. 38–48. DOI 10.52170/1815-9265\_2022\_60\_38

2. Числов О.Н., Ильин А.М., Боева А.С. Повышение надежности закрепления подвижного состава на станционных путях // Железнодорожный транспорт, № 10, М.: Транспорт, 2020. – Стр. 24 – 29.

3. Числов О.Н., Ильин А.М. Многовариантная верификационная методика расчета норм закрепления подвижного состава на железнодорожных путях станций // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. 2020. № 3(79). С. 115-123.

**Публикации в журналах и научных сборниках:**

4. Ильин А.М. О вопросе моделирования закрепления подвижного состава на железнодорожных станционных путях с переменными параметрами // Сборник научных трудов «Транспорт: наука, образование, производство». Т. 3. Технические науки. - Ростов н/Д: ФГБОУ ВО РГУПС. 2021. С. 139-143.

5. Числов О.Н., Ильин А.М., Веревкина О.И. Расчет норм закрепления составов поездов на станционных приемоотправочных путях в условиях переменных параметров подвижного состава и продольного профиля // Проблемы перспективного развития железнодорожных станций и узлов: междунар. сб. науч. ст. / РБ, Гомель, УО «БелГУТ». 2019. С. 129–136.

6. Ильин А.М., Боева А.С. Использование искусственного интеллекта в сфере повышения безопасности движения поездов // Труды Ростовского государственного университета путей сообщения. 2019. №3. С.11-20.

7. Числов О.Н., Ильин А.М. Развитие автоматизированной методики расчета норм закрепления подвижного состава на станционных железнодорожных путях // Сборник научных трудов II Междунар. научн.-практ. конференции «Транспорт и логистика: инновационная инфраструктура, интеллектуальные и ресурсосберегающие технологии, экономика и управление». - Ростов н/Д: ФГБОУ ВО РГУПС. 2018. С. 247-251.

**Личный вклад соискателя.** Основные положения и результаты исследований самостоятельно получены автором. Личный вклад автора в работах, опубликованных в соавторстве: [1-3, 5-7] – постановка задач исследований, проведение расчетов, обработка и обобщение полученных результатов.

**Ильин Александр Михайлович**

**ПОВЫШЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ СТАНЦИОННЫХ ТРАНСПОРТНЫХ  
ПРОЦЕССОВ НА ОСНОВЕ РАЗВИТИЯ МЕТОДА РАСЧЕТА  
ЗАКРЕПЛЕНИЯ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА  
С ВАРЬИРУЕМЫМИ ПАРАМЕТРАМИ**

2.9.4 – Управление процессами перевозок (технические науки)

Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Подписано в печать 28.06.2022  
Формат 60×84/16. Усл.-печ. л. 1,4  
Тираж 100 экз. Заказ № 22

УрГУПС  
620034, г. Екатеринбург, ул. Колмогорова, д. 66