

На правах рукописи



БОЛАНДОВА ЮЛИЯ КОНСТАНТИНОВНА

**МЕТОДЫ ОЦЕНКИ УСТОЙЧИВОСТИ ОТ ОПРОКИДЫВАНИЯ
КОНТЕЙНЕРОВ ПРИ ПЕРЕВОЗКЕ НА СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ПЛАТФОРМАХ**

05.22.07 – Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Москва-2021

Работа выполнена в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Российский университет транспорта»

Научный руководитель: Доктор технических наук, профессор
Попов Владимир Георгиевич

Официальные оппоненты: **Лапшин Василий Фёдорович**,
доктор технических наук, профессор,
федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Уральский государственный университет путей
сообщения», кафедра «Вагоны», профессор
Антипин Дмитрий Яковлевич,
кандидат технических наук, доцент,
федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждения высшего образования
«Брянский государственный технический
университет», учебно-научный институт
транспорта, директор

Ведущая организация: Акционерное общество Научная организация
«Тверской институт вагоностроения»

Защита состоится 16 сентября 2021 г., в 13:00 на заседании диссертационного совета Д 218.005.01 на базе федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Российский университет транспорта» по адресу: 127994, г. Москва, ул. Образцова, д. 9, стр. 9, ауд. 2505.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте РУТ (МИИТ), www.miit.ru.

Автореферат разослан «___» _____ 2021 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета  Воронин Николай Николаевич

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования

Существующие нормативно-правовые документы, действующие до настоящего времени, в основном направлены на решение задач прочности элементов подвижного состава, элементов верхнего строения пути и других задач. При этом в качестве нормативных параметров, как правило, учитывались режимы силового воздействия и допускаемые напряжения, которые обычно достигаются при динамических режимах воздействия в поезде на груженный вагон.

Нормативной документацией при проектировании контейнеров являются требования Российского морского регистра судоходства, а в части учета режимов движения контейнера на железнодорожном подвижном составе учитываются только нормативные величины вертикальных и поперечных ускорений, характерных для груженных контейнеров, кроме этого, не оговорена система связи контейнера с рамой вагона. Вместе с тем изменения климатических характеристик России, в частности ветровых, а также увеличение скорости движения, несовершенство системы закрепления контейнеров на раме специализированных платформ делает актуальной проблему устойчивости контейнеров от опрокидывания.

На сети железных дорог России происходят случаи падения порожних контейнеров со специализированных платформ (таблица 1), эти происшествия обусловлены высокими значениями скоростей движения, динамических и ветровых нагрузок.

В виду того, что порожний контейнер в пути следования не закреплён на раме и испытывает воздействие ветровой нагрузки, а также динамическую вертикальную силу от колебаний тележки, наиболее опасным режимом является опрокидывание порожнего контейнера с рамы на двухпутном участке железной дороги с попаданием его в бок проходящему встречному поезду.

Череда транспортных происшествий, вызванных опрокидыванием контейнеров, поставила руководство ОАО «РЖД» перед необходимостью разработки порядка организации работы по перевозке порожних контейнеров на железнодорожных платформах в условиях прогнозирования по маршруту их следования сильного ветра, шквала или урагана (Распоряжение ОАО «РЖД» №2115р от 19 октября 2016 г.). Очевидно, что подобные меры не решают проблемы опрокидывания порожних контейнеров, а только несут в себе организационную корректировку перевозочного процесса.

Подобные проблемы возникают при использовании некоторых типов грузовых вагонов, которые имеют большую площадь наветренной поверхности и эксплуатируются при малых величинах нагрузки. К ним относятся крытые

вагоны для перевозки автомобилей и некоторые вагоны специального назначения. При воздействии ветровых нагрузок на такие вагоны не обеспечивается их устойчивость при движении и, поэтому, для обеспечения устойчивости таких вагонов применяют комплект балласта для понижения центра тяжести и обеспечения устойчивости от опрокидывания.

При проведении расчетов по оценке устойчивости порожних вагонов было установлено, что в различных документах используются различные величины расчетной ветровой нагрузки, в частности в нормах 50 кгс/м^2 (ГОСТ 33211-2014), вместе с тем в книге «Расчет вагонов на прочность» под редакцией Шадура Л.А. расчетная ветровая нагрузка принимается 100 кгс/м^2 . В этих документах нет обоснования величины расчетной ветровой нагрузки. В соответствии с этим возникает неопределенность при выборе величины нормативной ветровой нагрузки, которую требуется уточнить в данном исследовании.

Таблица 1 – Случаи падения контейнеров со специализированных платформ на сети железных дорог Российской Федерации

Дата	Дорога	Регион	Участок	Количество упавших контейнеров	Скорость ветра, м/с
23.09.2019	Южно-Уральская железная дорога	Оренбургская область	Сара - Халилово	1	22
23.06.2019	Забайкальская железная дорога	Забайкальский край	Урульга - Тарская	1	31
13.08.2016	Забайкальская железная дорога	Амурская область	Архара-Домикан	16	33
17.12.2014	Дальневосточная железная дорога	Приморский край	Хмыловский-Находка-В	3	32
21.04.2014	Северная железная дорога	Ямало-Ненецкий автономный округ	Обская - Харп	11	32-34
05.07.2011	Приволжская железная дорога	Саратовская область	Красавка - Кологривовка	6	21-23

Изменение климата, происходящее в мире и нашей стране, обуславливает появление характерных погодных режимов, к которым относятся ураганы, шквалы, смерчи, ветер со скоростью более 25 м/с . Все это вызывает необходимость разработки методики оценки устойчивости порожнего контейнера от опрокидывания и методов оценки аварийного риска ветровых и других опасных воздействий окружающей среды на движение подвижного состава по определенному маршруту. В дальнейшем необходимо включить в ГОСТ 26686-96 «Вагоны-платформы магистральных железных дорог колеи 1520 мм. Общие технические условия» обязательное требование о применении фитинговых упоров с конструкцией, обеспечивающей устойчивость контейнера от опрокидывания при воздействии ветровых нагрузок. Это позволит

минимизировать риски, связанные с последствиями опрокидывания контейнеров.

Степень разработанности темы

За последние 20 лет в области оценки устойчивости и безопасности при движении подвижного состава, перевозочного процесса в целом и, в частности, безопасности железнодорожных контейнерных перевозок был проведен ряд исследований, выполненный российскими и зарубежными учеными. Исследования в данной области проводились следующими учеными: В.М. Лисенковым, В.Н. Филипповым, Г.И. Петровым, А.Н. Шамаковым, В.В. Хусидовым, Ю.С. Ромен, С. В. Петровым, В.Д. Катиным, К.Н. Луценко, А.М. Орловой, П.В. Козловым, Л.Р. Рудаковой, Н.Н. Слюсарь Ю.А. Машинистовым, А.Н. Гуда, И.В. Мартынюком, С.И. Мягковым, В.П. Удиловым, В.А. Тарасенко. Вопросы устойчивости подвижного состава, большегрузных железнодорожных цистерн, элементов обшивки кузовов за последние 20 лет освещались в следующими учеными: Я.Д. Подлесниковым, Э.К. Мамедовым, М.Л. Коротенко, А.А. Милаковой, С. А. Марушко, Даукша А.С., а также другими учеными.

Цель исследования заключается в разработке методов оценки устойчивости от опрокидывания контейнеров при перевозке на специализированных железнодорожных платформах с учетом характерных эксплуатационных режимов, оценки аварийного риска и уточнении расчетных режимов воздействия ветровой нагрузки на контейнеры.

Поставленная цель достигается решением следующих задач:

- рассмотреть существующие подходы к оценке устойчивости и безопасности при движении подвижного состава и провести анализ безопасности железнодорожных контейнерных перевозок;
- разработать метод оценки аварийного риска ветровых и других опасных воздействий окружающей среды на движение подвижного состава по определенному маршруту;
- определить условия опрокидывания (расчетную нагрузку) от ветрового воздействия порожних контейнеров разных типов со специализированных железнодорожных платформ при различных эксплуатационных режимах;
- предложить технические решения по повышению устойчивости от опрокидывания под действием ветровой нагрузки порожних контейнеров со специализированных железнодорожных платформ при различных эксплуатационных режимах;
- разработать метод испытаний устройств крепления контейнера к специализированной железнодорожной платформе, обеспечивающих устойчивость контейнеров от опрокидывания при нормативной ветровой нагрузке.

Объект исследования: подвижной состав железных дорог, специализированные платформы, контейнеры грузовые.

Предмет исследования: влияние ветровых и других опасных воздействий окружающей среды на устойчивость порожних контейнеров и безопасность движения подвижного состава.

Методы исследования: методологической основой теоретических исследований является системный подход, методы теоретической механики, теории вероятности и математической статистики.

Научная новизна в области исследований заключается в разработке методики определения расчётных ветровых нагрузок в соответствии с требованием норм расчётов вагонов на прочность, что позволило определить «расчетные максимальные нагрузки» в виде силового параметра, выраженного в кгс/м². Определены условия опрокидывания (ветровая нагрузка и скорость ветра на высоте 10 м для контейнеров) от ветрового воздействия порожних контейнеров разных типов со специализированных железнодорожных платформ при различных эксплуатационных режимах.

Разработан метод оценки аварийного риска от ветровых и других опасных воздействий окружающей среды при движении подвижного состава по маршруту.

Разработана методика проведения испытаний (сертификационных испытаний) фитинговых упоров для вновь проектируемых специализированных вагонов- платформ на устойчивость контейнеров от опрокидывания при максимальной ветровой нагрузке.

Теоретическая и практическая значимость работы заключается в возможности определения условий опрокидывания (ветровая нагрузка и скорость ветра на высоте 10 м для контейнеров) от ветрового воздействия порожних контейнеров разных типов со специализированных железнодорожных платформ при различных эксплуатационных режимах.

Метод оценки аварийного риска от ветровых и других опасных воздействий окружающей среды при движении подвижного состава по маршруту позволяет количественно оценить вероятность транспортного происшествия, инициированного опасными природными воздействиями на сети железных дорог Российской Федерации, выявить участки наиболее подверженные опасным природным явлениям, и предложить организационно-технические решения для нивелирования воздействия окружающей природной среды.

На основании предложенных методов разработана программа и выполнены оценки риска транспортных происшествий для маршрутов доставки грузов к портам Азово-Черноморского бассейна.

Разработана методика проведения испытаний (сертификационных испытаний) фитинговых упоров для вновь проектируемых специализированных вагонов-платформ на устойчивость контейнеров от опрокидывания при максимальной ветровой нагрузке.

Положения, выносимые на защиту:

- метод оценки устойчивости контейнеров с учетом характерных эксплуатационных режимов;
- метод оценки аварийного риска от ветровых и других опасных воздействий окружающей среды при движении подвижного состава по маршруту;
- расчет условия опрокидывания (расчетную нагрузку) от ветрового воздействия порожних контейнеров разных типов со специализированных железнодорожных платформ при различных эксплуатационных режимах;
- методика проведения испытаний (сертификационных испытаний) фитинговых упоров для вновь проектируемых специализированных вагонов-платформ на устойчивость контейнеров от опрокидывания при максимальной ветровой нагрузке;

Степень достоверности и апробация результатов обусловлена использованием официальных статистических данных, опубликованных Министерством Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий (МЧС России), Росгидрометом, Роспотребнадзором, Росстатом, ОАО «РЖД», а также корректным применением методов теоретической механики, теории вероятности и математической статистики.

Основные положения и результаты диссертации были представлены и обсуждались на научных мероприятиях, в том числе на международных и всероссийских научно-практических конференциях: IX, X, XII, XII Всероссийской конференции молодых ученых и специалистов «Будущее машиностроения России» (Москва, МВТУ им. Баумана, 2016 г., 2017 г., 2019 г., 2020 г.); XVIII Ежегодной научно-практической конференции «Безопасность движения поездов» (Москва, МИИТ, 2017 г.); III Международной научно-практической конференции научного отделения № 10 Российской академии ракетных и артиллерийских наук «Военная безопасность России: взгляд в будущее» (Москва, 2018 г.); VI Международной научно-практической конференции «Техносферная и экологическая безопасность на транспорте» (Санкт-Петербург, 2018 г.)

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырёх разделов, основных результатов и выводов, списка литературы, состоящего из 152 наименований. Общий объем диссертации составляет 153 страницы машинописного текста, содержит 43 рисунка и 24 таблицы.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Введение содержит обоснования актуальности выбранной темы диссертационного исследования.

В первом разделе представлен анализ, опубликованных работ, посвященных оценке устойчивости подвижного состава от опрокидывания, а также оценке аварийного риска при железнодорожных перевозках. При этом отмечено, что проблема оценки устойчивости от опрокидывания подвижного состава является актуальной и успешно решалась для вагонов с повышенным центром тяжести и вагонов специального назначения для перевозки крупногабаритных грузов.

Произведён анализ климатических данных территории РФ, где наблюдается большое число случаев возникновения ураганного ветра. В таблице 2 приведены значения минимальных, средних и максимальных значений скорости ветра, приведшей к материальному и социальному ущербу за период с 1991 по 2019 год по регионам России и в целом по стране.

Таблица 2 – Сведения о ветровом воздействии, повлекшем материальный и социальный ущерб на территории России за период с 1991 по 2019 год

№ п/п	Субъект РФ	Число случаев с 1991-2019 г.	Число случаев в год	Минимальное значение скорости ветра, при которой был нанесен материальный и социальный ущерб	Среднее значение скорости ветра, при которой был нанесен материальный и социальный ущерб	Максимальное значение скорости ветра, при которой был нанесен материальный и социальный ущерб
				м/с		
1	Красноярский край	217	8	25	29	40
2	Алтайский край	161	6	24	29	40
3	Кемеровская область	118	4	24	29	40
4	Новосибирская область	117	4	24	28	40
5	Сахалинская область	104	4	23	35	63
6	Республика Башкортостан	97	3	24	27	34
7	Забайкальский край	94	3	25	30	40
8	Краснодарский край	86	3	25	33	45
9	Мурманская область	73	3	22	30	46
10	В целом по России	2963	106	17	29	63

Во втором разделе разработан метод оценки аварийного риска при движении подвижного состава от ветровых нагрузок и других опасных воздействий окружающей среды.

Введем следующие обозначения: $C_{j,i,m}$ – событие, представляющее собой опасное природное явление (ОПЯ) ($m = 1, 2, \dots, M$), в том числе возникновение сильного ветра или шквала, произошедшее в географическом районе России, на территории которого находится i -й участок j -ой железной дороги; $D_{j,i,m}$ – событие, характеризующее воздействие ОПЯ m -го вида (события $C_{j,i,m}$) на социотехническую систему железнодорожного транспорта на i -ом участке j -ой железной дороги и приводящее к транспортному происшествию; $V_{j,i,m} = D_{j,i,m} \times C_{j,i,m}$ – транспортное происшествие, вызванное воздействием ОПЯ m -го вида на социотехническую систему железнодорожного транспорта на i -ом участке j -ой железной дороги; $N_{j,i,m}$ – среднее годовое число ОПЯ m -го вида, происходящих в географическом районе России, на территории которого находится i -й участок j -ой железной дороги, 1/год; $L_{j,i,m}$ – характерный пространственный масштаб ОПЯ m -го вида, происходящего в географическом районе России, на территории которого находится i -й участок j -ой железной дороги, км; $T_{j,i,m}$ – характерное время действия ОПЯ m -го вида, происходящего в географическом районе России, на территории которого находится i -й участок j -ой железной дороги, ч.

Оценка вероятности транспортного происшествия при движении подвижного состава (поезда) в четном направлении по i -му участку j -ой железной дороги, вызванного ОПЯ m -го вида, производится по формуле:

$$R''(B_{j,i,m}) = R''(D_{j,i,m} \times C_{j,i,m}) = P''(C_{j,i,m}) \cdot P''(D_{j,i,m} | C_{j,i,m}), \quad (1)$$

где $P''(D_{j,i,m} | C_{j,i,m}) = P''(L_{j,i,m} | C_{j,i,m}) \cdot P''(T_{j,i,m} | C_{j,i,m})$.

$P''(C_{j,i,m})$ – вероятность возникновения в данном географическом районе ОПЯ m -го вида за среднее время нахождения поезда, движущегося в четном направлении по i -му участку, протяженностью $L_{j,i}$.

$$P''(C_{j,i,m}) = 1 - e^{-\frac{N_{j,i,m} \cdot t_{j,i}''}{365 \cdot 24}}, \quad (2)$$

где $t_{j,i}'' = L_{j,i} / V_{j,i}''$, $V_{j,i}''$ – участковая скорость движения поездов на i -ом участке j -ой железной дороги в четном направлении, км/час;

$P''(L_{j,i,m} | C_{j,i,m})$ – условная вероятность воздействия на социотехническую систему железнодорожного транспорта события $C_{j,i,m}$, характерного пространственного масштаба $L_{j,i,m}$, приведшего к транспортному происшествию с поездом, движущимся в четном направлении по i -му участку j -ой железной дороги, определяется нормированным распределением Эрланга k_x -го порядка.

$P''(T_{j,i,m}|C_{j,i,m})$ – условная вероятность воздействия на социотехническую систему железнодорожного транспорта события $C_{j,i,m}$, характерного временного масштаба $T_{j,i,m}$, приведшего к транспортному происшествию с поездом, движущимся в четном направлении по i -му участку j -ой железной дороги, определяется нормированным распределением Эрланга k_t -го порядка.

Оценка вероятности транспортного происшествия при движении поезда в четном направлении по i -му участку j -ой железной дороги, вызванного всеми возможными ОПЯ M видов ($m = 1, 2, 3, \dots, M$) производится по формуле:

$$R''(B^M_{j,i}) = \sum_{m=1}^M \varphi_m \cdot R''(B_{j,i,m}) \quad (3)$$

где φ_m – относительная частота возникновения данного опасного явления вида m среди других видов.

В выражениях (1) и (3), записанных для оценки вероятностей транспортного происшествия $R'(B_{j,i,m}), R'(B^M_{j,i})$ при движении поезда в нечетном направлении по i -му участку j -ой железной дороги, соответствующие значения $P'(C_{j,i,m}), P'(L_{j,i,m}|C_{j,i,m}), P'(T_{j,i,m}|C_{j,i,m})$ определяются по формулам, аналогичным для четного направления движения поездов при соответствующей замене данных.

Тогда, вероятности транспортного происшествия $R(B_{j,i,m}), R(B^M_{j,i})$ при движении подвижного состава (поездов) в двух направлениях по i -му участку j -ой железной дороги в результате ОПЯ m -го вида или всех возможных ОПЯ M видов ($m = 1, 2, 3, \dots, M$), можно определить по формулам (с учетом совместности событий):

$$R(B_{j,i,m}) = R''(B_{j,i,m}) + R'(B_{j,i,m}) - R''(B_{j,i,m}) \times R'(B_{j,i,m}), \quad (4)$$

$$R(B^M_{j,i}) = R''(B^M_{j,i}) + R'(B^M_{j,i}) - R''(B^M_{j,i}) \cdot R'(B^M_{j,i}). \quad (5)$$

Оценка вероятности транспортного происшествия при движении подвижного состава (поезда) по I ($i = 1, 2, 3, \dots, I$) участкам j -ой железной дороги в результате ОПЯ m -го вида при движении поезда в четном направлении производится по формуле:

$$R''(B^I_{j,m}) = 1 - \prod_{i=1}^I [1 - R''(B_{j,i,m})], \quad (6)$$

где $B^I_{j,m}$ – транспортное происшествие – событие, последовавшее после опасного воздействия ОПЯ m -го вида на социотехническую систему железнодорожного транспорта на I ($i = 1, 2, 3, \dots, I$) участках j -ой железной дороги.

Оценка вероятности $R'(B^I_{j,m})$ для нечетного направления определяется аналогично при соответствующей замене данных.

По формулам, аналогичным формулам (1)-(6), можно произвести оценку вероятности транспортного происшествия $R(B^{I,M}_j)$ при движении поезда по I ($i = 1, 2, 3, \dots, I$) участкам j -ой железной дороги в результате опасного воздействия всех возможных опасных явлений, и оценку вероятности транспортного происшествия $R(B^{I,M,J})$ при движении поезда по маршруту (по I участкам ($i = 1, 2, 3, \dots, I$) J железных дорог ($j = 1, 2, 3, \dots, J$)).

Здесь $B^{I,M}_j$ – событие, последовавшее после воздействия всех возможных ОПЯ M видов ($m = 1, 2, 3, \dots, M$) на социотехническую систему железнодорожного транспорта на I ($i = 1, 2, 3, \dots, I$) участках j -ой железной дороги;

$B^{I,M}$ – транспортное происшествие – событие, последовавшее после воздействия всех возможных ОПЯ M на социотехническую систему железнодорожного транспорта на I ($i = 1, 2, 3, \dots, I$) участках J ($j = 1, 2, 3, \dots, J$) железных дорог.

Оценку аварийного риска транспортного происшествия при движении подвижного состава по i -у участку j -ой железной дороги в результате ОПЯ m -го вида, можно получить по формуле:

$$R_{\mathcal{E}}(B_{j,i,m}) = R(B_{j,i,m}) \cdot Y(B) \quad (7)$$

Согласно классификации, аварийные транспортные происшествия - нарушения безопасности движения (НБД) подразделяются на крушение – B_1 , аварию – B_2 ; транспортное происшествие (сход или столкновение подвижного состава без последствий крушения или аварии) – B_3 .

Практическая невозможность прогнозируемых оценок экономического ущерба от возникновения нарушений безопасности движения определенного вида B_n ($n=1,2,3$) в результате воздействия ОПЯ на социотехническую систему железнодорожного транспорта, и приводящих к транспортным происшествиям при движении подвижного состава, заставляет обращаться к использованию консервативных допущений и апостериорных статистических данных по НБД. С учетом этого можно записать уравнение для оценки математического ожидания ущерба от транспортного происшествия:

$$Y(B) = \sum_{n=1}^3 \alpha_n \cdot Y(B_n), \quad (8)$$

где α_n – относительные частоты появления определенного вида НБД B_n ($n = 1, 2, 3$);

$Y(B_n)$ – математические ожидания экономического ущерба от одного из событий видов B_n ($n = 1, 2, 3$), руб.

Значения $Y(B_n)$, определялись по данным работ Красковского А.Е. с помощью метода дисконтирования.

Оценку аварийных рисков для случаев $B^M_{j,i}; B^I_{j,m}; B^{I,M}_j; B^{I,J,M}$ (для I участков на одной железной дороге или на J железных дорогах) можно получить аналогично, умножив соответствующие вероятности возникновения транспортных происшествий на величину математического ожидания ущерба $Y(B)$.

В этом же разделе представлены оценки аварийного риска опасных воздействий окружающей среды на движение подвижного состава по пяти маршрутам Северо-Кавказской железной дороги. Выбранные маршруты позволяют транспортировать грузы к трем крупным портам Азово-Черноморского бассейна, и на полуостров Крым по Крымскому мосту.

В работе установлены частоты неблагоприятных природных явлений, выявленных в результате анализа данных 33-х метеостанций Северо-Кавказского управления по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, находящихся на маршруте.

На основании предложенных методов и в соответствии с ГОСТ 33433–2015 «Безопасность функциональная. Управление рисками на железнодорожном транспорте» были определены частоты (вероятности) транспортных происшествий (таблица 3), вызванного всеми возможными ОПЯ, а именно: ветер со скоростью 25 м/с и более; сильный дождь; наводнение; гололедно-изморозевые отложения с толщиной стенки гололеда 15 и более мм; сильный снегопад интенсивностью 20 и более мм в сутки.

Таблица 3 Принятые уровни интенсивностей

Наименование маршрута	Количественное значение вероятности транспортного происшествия, $R^{I,M}_j$	Уровень интенсивности	Описание
Маршрут №1 Морозовская-Новороссийск	$1,46 \cdot 10^{-3}$	Частое	Вероятность частого возникновения. Постоянное наличие опасности
Маршрут №2 Котельниково-Керчь	$5,95 \cdot 10^{-4}$	Вероятное	
Маршрут №3 Морозовская – Керчь	$9,2 \cdot 10^{-4}$	Вероятное	
Маршрут №4 Невинномысская Туапсе (через Краснодар)	$5,15 \cdot 10^{-4}$	Вероятное	
Маршрут №5 Невинномысская-Туапсе	$3,13 \cdot 10^{-4}$	Вероятное	

Используя полученные значения аварийного риска в соответствии с ГОСТ 33433–2015 «Безопасность функциональная. Управление рисками на железнодорожном транспорте» произведено качественное оценивание риска для каждого маршрута. Установлено, что для маршрута №1 риск является недопустимым. Риск должен исключаться. Обработка риска необходима. Для Маршрутов № 2-5 риск является нежелательным, должен быть снижен. Обработка риска необходима и сводится к устранению последствий.

В третьем разделе представлен метод расчета ветровых нагрузок, приводящих к опрокидыванию порожних контейнеров при движении подвижного состава. Использовано уравнение моментов сил, приложенных к контейнеру, относительно оси его вращения при нахождении железнодорожной платформы грузового поезда на кривом участке пути железной дороги (рисунок 1).

Основная распределенная ветровая нагрузка \vec{w} (Па) заменяется сосредоточенной силой давления ветра, которая приложена к геометрическому центру подветренной поверхности контейнера и действует нормально к ней.

Учитывается сила тяжести контейнера \vec{F}_T , а также сила трения поверхности контейнера о фитинги F_{mp} , действующая вдоль поверхности трения и возникающая от силы давления ветра на контейнер и нормальной составляющей силы тяжести контейнера к поверхности трения. Центробежная сила $F_{цб}$ действует в центре масс контейнера в направлении параллельном поверхности земли.

Тогда уравнение моментов сил, приложенных к контейнеру, относительно к оси его вращения и определяющее условия его опрокидывания, будет иметь следующий вид:

$$\sum_i M_i \geq 0, \quad (9)$$

где $M_i = F_i \cdot l_i$ – произведение модуля силы \vec{F}_i на плечо силы l_i – кратчайшее расстояние от линии действия силы до оси вращения контейнера.

Из уравнения (9) было получено выражение для определения основной ветровой нагрузки, приводящей к опрокидыванию контейнера:

$$w \geq \frac{m \left[g(b \cdot \cos \alpha - h \cdot \sin \alpha) + 0,077 \frac{V_{II}^2}{R} (h \cdot \cos \alpha + b \cdot \sin \alpha) \right]}{(h - 2k_{mp} b) \cdot L \cdot h}. \quad (10)$$

Уравнение (10) было преобразовано относительно V – скорости ветра на уровне 10 м над поверхностью земли в соответствии со Сводом Правил 20.13330.2016 «Нагрузки и воздействия»:

$$V \geq \sqrt{\frac{m \left[g(b \cdot \cos \alpha - h \cdot \sin \alpha) + 0,077 \frac{V_{II}^2}{R} (h \cdot \cos \alpha + b \cdot \sin \alpha) \right]}{0,43 \cdot k(z_e) \cdot c \cdot h \cdot l \cdot [1 + \zeta(z_e) \nu] (h - 2k_{mp} b)}}, \text{ м/с}, \quad (11)$$

где $\zeta(z_e)$ - коэффициент пульсаций давления ветра; $k(z_e)$ – аэродинамический коэффициент, учитывающий изменение ветрового давления для эквивалентной высоты Z_e .

В качестве географического района транспортного происшествя выбран район А – «открытые побережья морей, озер и водохранилищ, в сельской местности, в том числе с постройками высотой менее 10 м., пустыни, степи, лесостепи, тундра», как наиболее опасный.

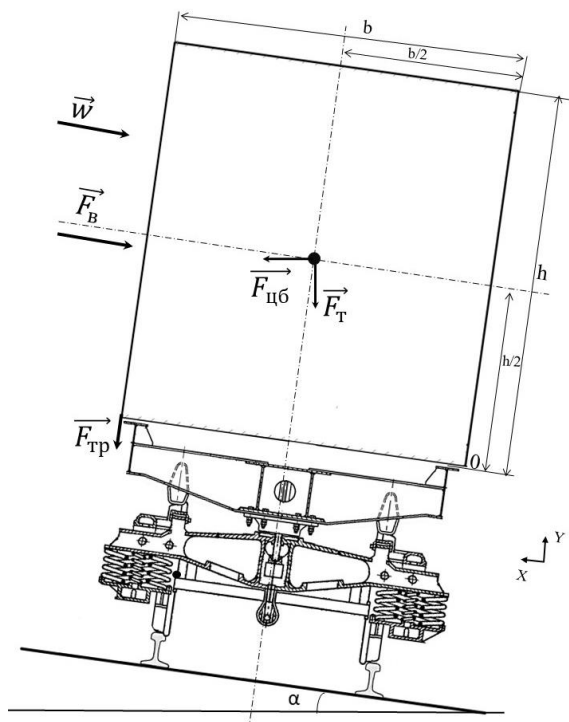


Рисунок 1 – Схема действия сил в срединном сечении контейнера

В работе получены значения основной ветровой нагрузки и скорости ветра, приводящих к опрокидыванию различных типов контейнеров в прямых и кривых участках пути при максимальной величине возвышения наружного рельса на кривом участке пути железной дороги в размере 150 мм. Результаты расчетов представлены в таблице 4. Сравнение полученных результатов с результатами математического моделирования устойчивости крепления порожних контейнеров и анализа, действующих на вагоны поперечных сил от ветрового воздействия и встречного состава (ООО «ХЕКСА» www.hexa.ru) дает возможность утверждать, что имеет место удовлетворительное совпадение.

Анализ расчетных данных показывает, что наименьшие ветровые нагрузки, приводящие к опрокидыванию порожних контейнеров, реализуются при

остановке поезда в кривой с возвышением наружного рельса 150 мм и направлением ветра к центру кривой.

В эксплуатации этому режиму соответствует движение поезда с малой скоростью или его остановка в кривой с возвышением наружного рельса 150 мм после получения предупреждения о штормовом ветре.

Полученные значения ветровых нагрузок, приводящие к опрокидыванию порожних контейнеров, соответствуют скорости ветра порядка 30-35 м/с и примерно равные средним значениям скорости ветра на территории России, но значительно ниже максимальных значений.

Таблица 4 – Результаты расчета

№ п/п	Тип контейнера	Радиус кривой, R	Условия опрокидывания порожних контейнеров, установленных на стандартные фитинговые упоры, от ветровой нагрузки в кривом участке пути				Условия опрокидывания от воздействия ветровой нагрузки жестко закрепленных контейнеров (порожных) на раме платформы в кривом участке пути			
			Ветровая нагрузка, w		Скорость ветра		Ветровая нагрузка		Скорость ветра	
		м	Па	кгс/м ²	м/с	Км/ч	Па	кгс/м ²	м/с	Км/ч
1	1EEE	250	845,33	86,20	30,64	110,29	1561,48	159,23	41,64	149,90
2	1EE		1066,61	108,76	34,41	123,89	1877,48	191,45	45,66	164,37
3	1AAA		900,94	91,87	31,63	113,86	1736,84	177,11	43,92	158,09
4	1AA		1135,08	115,75	35,50	127,81	2086,50	212,76	48,13	173,28
5	1A		1196,84	122,04	36,45	131,24	2278,09	232,30	50,29	181,06
6	1BBB		869,38	88,65	31,07	111,85	2204,14	224,76	49,47	178,10
7	1BB		1083,28	110,46	34,68	124,86	2639,46	269,15	54,14	194,89
8	1B		1249,30	127,39	37,25	134,08	2914,37	297,18	56,89	204,79
9	1CC		1174,83	119,80	36,12	130,02	3766,81	384,11	64,67	232,82
10	1C		1354,89	138,16	38,79	139,63	4147,95	422,97	67,87	244,32

В связи с этим было предложено жестко закрепить контейнер на раме платформы, чтобы понизить центр тяжести конструкции и повысить устойчивость контейнеров к опрокидыванию. Для этого были определены условия опрокидывания от воздействия ветровой нагрузки жестко закрепленных контейнеров на раме платформы при нахождении грузового поезда на кривом участке пути железной дороги.

Основная распределённая ветровая нагрузка \vec{w} (Па), действующая на подветренную поверхность контейнеров и рамы платформы, заменяется сосредоточенной силой давления ветра, которая приложена к геометрическому центру подветренной поверхности контейнеров и рамы платформы, действует нормально к ней.

Силы, действующие на систему элементов платформы «контейнеры – рама платформы», с учётом сделанных допущений можно записать в следующем виде:

Сила давления ветра, приложена к геометрическому центру подветренной поверхности контейнеров и рамы платформы, действует нормально к ней:

$$\vec{F}_B = \vec{w} \cdot (\sum S_{\kappa,i} + S_P), \quad (12)$$

где $S_{\kappa,i} = L_i \cdot h_i$ – площадь подветренной поверхности i -го контейнера ($i=1, \dots, n$), m^2 (здесь L_i, h_i – длина и высота i -го контейнера соответственно); S_P – площадь подветренной поверхности платформы без бортов, принимается в соответствии с техническими условиями размещения и крепления грузов в вагонах и контейнерах. m^2 ;

Сила тяжести системы элементов платформы «контейнеры – рама платформы» действует в центре масс срединного сечения контейнеров и рамы платформы:

$$\vec{F}_T = M \cdot \vec{g}, \quad (13)$$

где $M = (\sum m_{\kappa,i} + m_p)$ – масса контейнеров и рамы платформы; $m_{\kappa,i}$ – масса i -го контейнера; m_p – масса рамы платформы.

Центробежная сила действует в центре масс срединного сечения системы элементов платформы «контейнеры – рама платформы» в направлении параллельном поверхности земли:

$$\vec{F}_{цб} = 0,077 \cdot \frac{MV_{\Pi}^2}{R} \cdot \vec{i}, \quad (14)$$

где V_{Π} – скорость подвижного состава в кривой, $км/ч$, а R – радиус кривой, $м$, \vec{i} – орт в направлении оси x .

Ординату центра масс в срединном сечении системы элементов платформы «контейнеры – рама платформы» относительно плоскости, соединяющей поверхности скользунов тележки, определим по формуле:

$$h_{ум} = \frac{\sum m_{\kappa,i} \cdot h_{\kappa,i} + m_p \cdot h_p}{\sum m_{\kappa,i} + m_p} - h_c, \quad (15)$$

$h_{\kappa,i}$ – ордината центра масс i -го контейнера относительно уровня головки рельсов; h_p – ордината центра масс рамы платформы относительно уровня головки рельсов; h_c – высота скользунов тележки относительно уровня головки рельса.

Необходимо сделать допущение – ординаты геометрического центра подветренной поверхности контейнеров и геометрического центра подветренной поверхности рамы платформы относительно уровня головки рельса совпадают с аналогичными ординатами центра масс относительно уровня головки рельсов.

В срединном сечении (рисунок 2) системы элементов платформы «контейнеры - рама платформы» относительно оси вращения (ось скользуна) действуют следующие моменты сил:

$$M_1 = w \cdot \left[\sum (S_{\kappa,i} h_{\text{цц},\kappa,i}) + S_p \cdot h_{\text{цц},p} \right], \quad (16)$$

$$M_2 = -F_T \cos(\alpha + \alpha_1) \cdot b_1 + F_T \sin(\alpha + \alpha_1) \cdot h_{\text{цм}}, \quad (17)$$

$$M_3 = -F_{\text{цб}} \cos(\alpha + \alpha_1) \cdot h_{\text{цм}} + F_{\text{цб}} \sin(\alpha + \alpha_1) \cdot b_1, \quad (18)$$

где $h_{\text{цц},\kappa,i} = h_{\kappa,i} - h_c$ – ордината геометрического центра подветренной поверхности i -го контейнера относительно плоскости, соединяющей поверхности скользунов тележки; $h_{\text{цц},p} = h_p - h_c$ – ордината геометрического центра подветренной поверхности рамы платформы относительно плоскости, соединяющей поверхности скользунов тележки; $2b_1$ – расстояние между осями скользунов; α – угол наклона платформы в кривой за счет возвышения рельса; α_1 – угол наклона рамы платформы за счет зазоров в скользунах.

Углы α_1 и α_2 вычисляются по зависимостям:

$$\alpha = \arcsin\left(\frac{z}{2S}\right) \text{ и } \alpha_1 = \arctg\left(\frac{\varepsilon}{2b_1}\right), \quad (19)$$

где h_p – возвышение рельса в кривой с учетом фактических перекосов; $2S$ – расстояние между кругами катания колесной пары; ε – суммарные зазоры в скользунах между надрессорной балкой и рамой платформы.

Из уравнения (9) найдено выражение для определения воздействия ветровой нагрузки жестко закрепленных контейнеров на раме платформы:

$$w \geq \frac{\left[F_T \cos(\alpha + \alpha_1) - F_{\text{цб}} \sin(\alpha + \alpha_1) \right] \cdot b_1 + \left[F_{\text{цб}} \cos(\alpha + \alpha_1) - F_T \sin(\alpha + \alpha_1) \right] \cdot h_{\text{цм}}}{\sum (S_{\kappa,i} h_{\text{цц},\kappa,i}) + S_p \cdot h_{\text{цц},\kappa,i}} \quad (20)$$

Анализ результатов, представленных в таблице 4, показывает, что жесткое закрепление контейнера на раме платформы позволяет существенно повысить устойчивость контейнера от опрокидывания. Для участка Крымская – Новороссийск повторяемость сильного ветра со скоростью 30 и более м/с – составляет в среднем 16 случаев в год, 40 более м/с – 2 случая в год.

Все полученные результаты могут служить основанием к пересмотру требований ГОСТ 26686-96 «Вагоны-платформы магистральных железных дорог колеи 1520 мм. Общие технические условия» к конструкциям фитинговых упоров, так как полученная в расчетах скорость ветра, опрокидывающая порожние контейнеры, значительно ниже максимальных значений скорости ветра и часто повторяется на территории России (таблица 2).

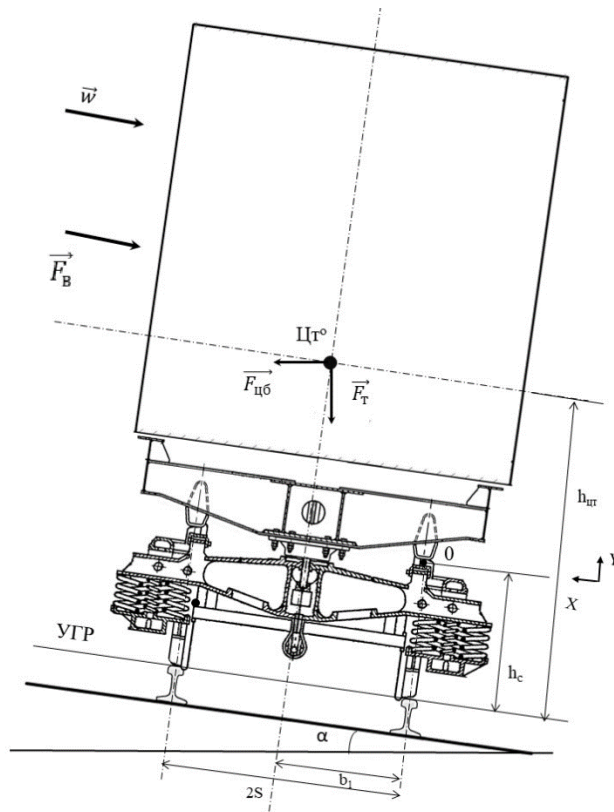


Рисунок 2 – Схема действия сил, приложенных к контейнеру жестко прикрепленного к раме специализированной железнодорожной платформы

В четвертом разделе рассмотрены основные направления модернизации конструкции фитинговых упоров и креплений контейнеров к железнодорожным платформам. Сделаны общие выводы о недостатках фитинговых упоров запирающего типа, к которым относится сложность конструкции, большая металлоёмкость, необходимость в применении ручного труда при осуществлении фиксации контейнера, и трудность эксплуатации при сложных метеорологических условиях, связанных с обледенением и заклиниванием деталей запирающих фитинговых узлов.

Также в четвертом разделе описана методика проведения испытаний (сертификационных испытаний) фитинговых упоров для вновь проектируемых специализированных вагонов-платформ на устойчивость контейнеров от опрокидывания при максимальной ветровой нагрузке.

Ввиду того, что наименьшие ветровые нагрузки, приводящие к опрокидыванию порожних контейнеров, реализуются при остановке поезда в кривой, с возвышением наружного рельса 150 мм, и направлением ветра к центру кривой. Для проведения испытаний использован этот расчетный режим, как самый консервативный.

В эксплуатации этому режиму соответствует движение поезда с малой скоростью или его остановка в кривой с возвышением наружного рельса 150 мм после получения предупреждения о штормовом ветре.

Для создания нагрузок, имитирующих возвышение наружного рельса в кривой в поперечной плоскости, устанавливаются накладки на рельс либо при испытании на полигоне платформа с контейнером устанавливается в кривой (рисунок 3) на угол $\alpha = \arctg(h_p/2s)$.

Равнодействующую силу ветровой нагрузки F_B , действующей нормально к поверхности контейнера, имитирует натянутый трос электрической лебедки.

Электрическая лебедка устанавливается согласно схеме (рисунок 3). Для измерения создаваемой электрической лебедкой нагрузки, устанавливается тяговый динамометр. Контейнер обвязывается крестообразно через фитинги стальными стяжками, в месте пересечения стяжек при помощи крюка крепится трос, который проходя через рычаг, натягивается посредством электрической лебедки.

Трос электрической лебедки должен натягиваться до силы F_T , при которой начинается процесс опрокидывания контейнера. Опрокидывающая нагрузка фиксируется в момент выхода фитингов с противоположной от троса стороны контейнера из пазов днища контейнера (отсутствие соединения фитингов с днищем контейнера).

Равнодействующую силу ветровой нагрузки F_B , действующей нормально к поверхности контейнера, вычисляется по формуле:

$$F_B = F_T \cos(\gamma - \alpha), \quad (21)$$

где $\gamma = \arccos(L_L/L_T)$, L_L – расстояние по горизонтали от электрической лебедки до поверхности контейнера (платформы); L_T – длина троса электрической лебедки.

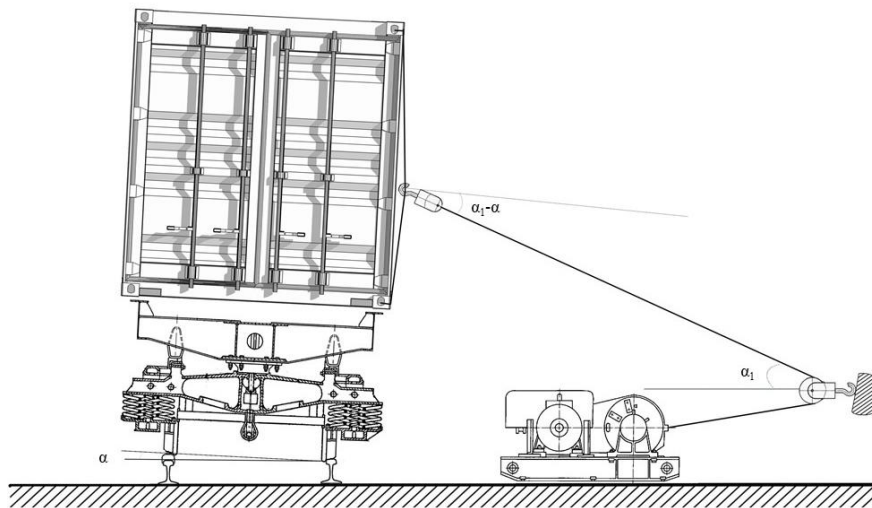


Рисунок 3 – Схема испытательного стенда

Также предложены формулы для оценки погрешности измерений при проведении серии испытаний. В приложении Б диссертации представлен документ, разработанный в соответствии со стандартами и правилами, который

устанавливает требования к структуре и содержанию программы и методики испытаний фитинговых упоров специализированных железнодорожных платформ с целью обеспечения устойчивости контейнеров от опрокидывания. Этот документ определяет порядок проведения испытаний, организацию подготовки и производства работ при проведении испытаний.

Основные положения методики проведения испытаний (сертификационных испытаний) фитинговых упоров для вновь проектируемых специализированных вагонов- платформ на устойчивость контейнеров от опрокидывания при максимальной ветровой нагрузке могут быть внесены в ГОСТ 33788-2016 «Вагоны грузовые и пассажирские. Методы испытаний на прочность и динамические качества».

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Произведён анализ климатических данных территории РФ, где наблюдается большое число случаев возникновения ураганного ветра и получена таблица средней скорости ветра для регионов Российской Федерации. Максимальная скорость ветра на территории Российской Федерации достигает порядка 40-50 м/с. Составлена расчетная схема для определения условий опрокидывания порожних и мало загруженных контейнеров при различных ветровых нагрузках. Определены критические значения ветровых нагрузок, что позволяет обосновать расчетные ветровые нагрузки.

2. Разработан метод оценки аварийного риска ветровых и других опасных воздействий окружающей среды на движение подвижного состава по определенному маршруту. Этот метод позволил количественно оценить аварийный риск ветровых и других опасных воздействий окружающей среды для пяти маршрутов Северо-Кавказской железной дороги и выявить наиболее безопасный маршрут.

3. Предложена методика определения расчётных ветровых нагрузок в соответствии с требованием норм расчётов вагонов на прочность, что позволило определить «расчетные максимальные нагрузки» в виде силового параметра, выраженного в кгс/м². Определены условия опрокидывания (ветровая нагрузка и скорость ветра на высоте 10 м для контейнеров) от ветрового воздействия порожних контейнеров разных типов со специализированных железнодорожных платформ при различных эксплуатационных режимах. Установлено, что ветровая нагрузка при скорости ветра 40 м/с с учетом коэффициента запаса 1,5 составляет 200 кгс/м².

4. На основе анализа конструкций вариантов закреплений контейнеров установлено, что типовые варианты креплений, применяемые на

специализированных железнодорожных платформах для перевозки контейнеров, не обеспечивают устойчивость от опрокидывания. Признано целесообразным проектировать устройства закрепления, обеспечивающие надежную фиксацию контейнера при максимальных ветровых нагрузках. Разработана методика проведения испытаний (сертификационных испытаний) фитинговых упоров для вновь проектируемых специализированных вагонов-платформ на устойчивость контейнеров от опрокидывания при максимальной ветровой нагрузке 200 кгс/м². Для обеспечения устойчивости при воздействии максимальной ветровой нагрузке равной 200 кгс/м², конструкция удерживающего устройства должна обеспечивать вертикальное усилие с учетом коэффициента запаса не менее 3000 кгс.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

а) В рецензируемых научных изданиях:

1. Попов, В.Г. Оценка аварийного риска при движении поездов в результате воздействия чрезвычайных ситуаций природного характера, возникающих в окружающей среде / В.Г. Попов, Ф.И. Сухов, Ю.К. Боландова // Наука и техника транспорта. – 2018. – №4. – С. 115-120.
2. Попов, В.Г. Культура обеспечения безопасности транспорта / В.Г. Попов, Ф.И. Сухов, Ю.К. Боландова // Мир транспорта. – 2019. – № 2 – С. 206-217.
3. Попов, В.Г. Условия опрокидывания порожних контейнеров под воздействием ветровых нагрузок / В.Г. Попов, А.В. Матешева, Ф.И. Сухов, Ю.К. Боландова // Мир транспорта. – 2019. – № 6. – С. 50-61.
4. Сухов, Ф.И. Управление безопасностью и культура безопасности на транспорте / Ф.И. Сухов, В.Г. Попов, Ю.К. Боландова, Е.Г. Асманкин // Известия Петербургского университета путей сообщения. – 2019. – № 4. – С. 611-619.

б) В международной реферативной базе данных Scopus:

5. Popov, V. Safe Train Route Options / V. Popov, P. Sukhov, J. Bolandova // Advances in Intelligent Systems and Computing. – Springer Nature Switzerland AG. – 2020. – Vol. 1116. – Pp. – 899-908. – DOI: 10.1007/978-3-030-37919-3_89

в) В других изданиях и материалах конференций:

6. Попов, В.Г. Экономическая оценка аварийного риска воздействия природных чрезвычайных ситуаций при движении поездов / В.Г. Попов, Ф.И. Сухов, Ю.К. Боландова // Надежность. – 2019. – № 19 (2). – С. 49–54.
7. Боландова, Ю.К. Экологическая безопасность при транспортировке опасных грузов железнодорожным транспортом // Материалы IX Всероссийской конференции молодых ученых и специалистов «Будущее машиностроения

России»: сборник докладов / Союз машиностроителей России, Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана. – Москва: Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2016. – С. 463-466.

8. Боландова, Ю.К. К вопросу воздействия чрезвычайных ситуаций природного характера на движение поездов // Труды VII научно-практической конференции Безопасность движения поездов. – Москва 2017.– С. IV-10-IV-13.

9. Боландова, Ю.К. Управление риском, как путь к устойчивому развитию // Труды Всероссийской научно-практической конференции Неделя науки - 2017., в двух частях, часть 2. - М.: МГУПС (МНИТ), 2017.– С. 463-466.IV-12-IV-13.

10. Боландова Ю.К. К оценке аварийного риска при движении поездов в результате воздействия чрезвычайных ситуаций природного характера [Текст] / Ю.К. Боландова, В.Г. Попов, Ф.И. Сухов, // Материалы X Всероссийской конференция молодых ученых и специалистов (с международным участием) «Будущее машиностроения России»: сборник докладов. 25–28 сентября 2017 г. / Союз машиностроителей России, Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана. – Москва: Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2017. –с. 304-308

11. Попов, В.Г. Комплексный подход в вопросе безопасности воинских перевозок железнодорожным транспортом / В.Г. Попов, Ф.И. Сухов, Ю.К. Боландова // В сборнике: Военная безопасность России: взгляд в будущее: Материалы 3-й Международной научно-практической конференции научного отделения № 10 Российской академии ракетных и артиллерийских наук. Москва, 15 марта 2018 года / Российская академия ракетных и артиллерийских наук, Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана, Военная академия Генерального штаба Вооруженных Сил Российской Федерации. – Москва: Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2018. – С. 256-262.

12. Попов, В.Г. Оценка экологического риска от чрезвычайных ситуаций природного характера при движении грузовых поездов / В.Г. Попов, Ф.И. Сухов, Ю.К. Боландова // Труды VI Международной научно-практической конференции Техносферная и экологическая безопасность на транспорте (ТЭБТРАНС-2018), Санкт-Петербург, 24–26 октября 2018 г. – СПб. : ФГБОУ ВО ПГУПС, 2018. – С. 184-189.

13. Боландова, Ю.К. Оценка аварийного риска при движении поездов от воздействия природных процессов на инженерные сооружения железнодорожного транспорта / Ю.К. Боландова, В.Г. Попов // В сборнике: Потаповские чтения – 2019 Сборник материалов ежегодной Всероссийской научно-практической конференции, посвященной памяти доктора технических наук, профессора Александра Дмитриевича Потапова. – Москва 2019. С. 236-240.

14. Попов, В.Г. К вопросу безопасности железнодорожных контейнерных перевозок на ветрозависимом участке «Крымский мост» / В.Г. Попов, Ф.И. Сухов, Ю.К. Боландова, // Материалы XII Всероссийской конференции молодых ученых и специалистов (с международным участием) «Будущее машиностроения России» (Москва, 24–27 сентября 2019 г.) : сборник докладов / Союз машиностроителей России, Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет). – Москва: Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2019. С. 599-604.

15. Попов, В.Г. Способы управления экологическим риском аварийных ситуаций на железнодорожном транспорте, возникающим в результате опасных воздействий окружающей среды / В.Г. Попов, Ф.И. Сухов, Ю.К. Боландова // Материалы XIII Всероссийской конференции молодых ученых и специалистов (с международным участием) «Будущее машиностроения России» (Москва, 22–25 сентября 2020 г.) : сборник докладов / Союз машиностроителей России, Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана (национальный исследовательский университет). – Москва: Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2020. С. 388-393.

Боляндова Юлия Константиновна
**МЕТОДЫ ОЦЕНКИ УСТОЙЧИВОСТИ ОТ
ОПРОКИДЫВАНИЯ КОНТЕЙНЕРОВ ПРИ ПЕРЕВОЗКЕ НА
СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ
ПЛАТФОРМАХ**

05.22.07 Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание
ученой степени кандидата технических наук

Подписано к печати ____ . ____ . 2021 г.
Объем 1,5 усл. п.л.

Заказ № _____
Тираж 80 экз.

Формат 60×90/16

127994, г. Москва, ул. Образцова, д. 9 стр. 9,
ЦСО Отдел дизайна, вёрстки и печати РУТ (МИИТ)