

Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Российский университет транспорта»

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

Диссертация на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Научный руководитель  
доктор технических наук, профессор  
Попов Владимир Георгиевич

Москва – 2021

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ ПОДХОДОВ К ОЦЕНКЕ УСТОЙЧИВОСТИ ПРИ ДВИЖЕНИИ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА.....	11
1.1 Актуальные вопросы обеспечения устойчивости и безопасности движения подвижного состава.....	11
1.2 Анализ безопасности железнодорожных контейнерных перевозок.....	15
1.3 Определение условий опрокидывания порожних контейнеров под воздействием ветровых нагрузок на прямом участке пути.....	28
1.4 Выводы по разделу 1.....	31
2 МЕТОД ОЦЕНКИ АВАРИЙНОГО РИСКА ОТ ВЕТРОВЫХ И ДРУГИХ ОПАСНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ПРИ ДВИЖЕНИИ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА ПО МАРШРУТУ.....	33
2.1 Оценка вероятности возникновения опасных воздействий окружающей среды на движение подвижного состава по маршруту железной дороги.....	33
2.2 Экономическая оценка аварийного риска при движении подвижного состава по участку пути от опасных воздействий окружающей среды.....	41
2.3 Оценка маршрутов движения подвижного состава с целью минимизации аварийного риска опасных воздействий окружающей среды.....	43
2.4 Выводы по разделу 2.....	69
3 ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСЛОВИЙ ОПРОКИДЫВАНИЯ ОТ ВЕТРОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ПОРОЖНИХ КОНТЕЙНЕРОВ ПРИ ДВИЖЕНИИ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА.....	71
3.1 Метод расчета ветровых нагрузок, приводящих к опрокидыванию порожних контейнеров при движении подвижного состава.....	72
3.2 Определение условий опрокидывания от воздействия ветровой нагрузки жестко закрепленных контейнеров (порожних и с грузом) на раме платформы	

при нахождении грузового поезда на кривом участке пути железной дороги.....	79
3.3 Результаты расчета ветровых нагрузок, приводящих к опрокидыванию порожних контейнеров при движении подвижного состава.....	84
3.4 Выводы по разделу 3.....	88
4 ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ПО ПОВЫШЕНИЮ УСТОЙЧИВОСТИ ОТОПРОКИДЫВАНИЯ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ВЕТРОВОЙ НАГРУЗКИ ПОРОЖНИХ КОНТЕЙНЕРОВ СО СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ПЛАТФОРМ.....	90
4.1 Анализ устройств и способов креплений контейнеров и грузов к железнодорожным платформам.....	90
4.2 Методика проведения испытаний (сертификационных испытаний) фитинговых упоров для вновь проектируемых специализированных вагонов-платформ на устойчивость контейнеров от опрокидывания при максимальной ветровой нагрузке.....	98
4.3 Методы ветрозащиты на железнодорожном транспорте.....	103
4.4 Способы обработки риска транспортных происшествий.....	107
4.5 Выводы по разделу 4.....	109
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	110
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	112
Приложение А.....	134
Приложение Б.....	138

## ВВЕДЕНИЕ

### 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 [25,29,75].

Нормативной документацией при проектировании контейнеров являются требования Российского морского регистра судоходства [72], 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.

Черета 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.) [102]. Очевидно, что подобные меры не решают проблемы опрокидывания порожних контейнеров, а только несут в себе организационную корректировку перевозочного процесса.

**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.	Карымский район, 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

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 [29]  $50 \text{ кгс/м}^2$  (ГОСТ 33211-

2014), вместе с тем в книге [104] «Расчет вагонов на прочность» под редакцией Шадура Л.А. расчетная ветровая нагрузка принимается  $100 \text{ кгс/м}^2$ . 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.

Изменение климата, происходящие в мире и в нашей стране, обуславливает появление характерных погодных режимов, к которым относятся: ураганы, шквалы, смерчи, ветер со скоростью более  $25 \text{ м/с}$ . 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. Конструкции современных удерживающих устройств должны обеспечивать устойчивость контейнеров от опрокидывания при воздействии ветровой нагрузки, эти требования должны найти отражение в ГОСТ 26686-96 «Вагоны-платформы магистральных железных дорог колеи  $1520 \text{ мм}$ . Общие технические условия» [28]. Это позволит минимизировать риски аварийных транспортных происшествий.

**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.

**В работе поставлены и решены следующие задачи:**

- 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 теории вероятности, математической статистики и теоретической механики.

**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/м<sup>2</sup>. 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 разработано программное обеспечение 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 и выводов** 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 теории вероятности, математической статистики и теоретической механики.

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, МГТУ 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.).

### **Реализация результатов исследований**

В диссертационной работе определены условия опрокидывания от ветровой нагрузки порожних контейнеров различного типа со специализированных железнодорожных платформ.

Произведен выбор наиболее безопасного маршрута для перевозки грузов к портам Азово-Черноморского бассейна Северо-Кавказской железной дороги с целью минимизации аварийного риска опасных воздействий окружающей среды.

Результаты диссертационной работы используются в учебном процессе в курсах «Экология» для студентов специальностей «Технология транспортных процессов», «Вагоны и вагонное хозяйство», «Строительство железных дорог, мостов и транспортных тоннелей».

# 1 АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ ПОДХОДОВ К ОЦЕНКЕ УСТОЙЧИВОСТИ ПРИ ДВИЖЕНИИ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

## 1.1 Актуальные вопросы обеспечения устойчивости и безопасности движения подвижного состава

Железнодорожный подвижной состав и его составные части по прочности, устойчивости и техническому состоянию должны обеспечивать безопасное движение поездов с наибольшими скоростями в пределах допустимых значений. [98]. За последние 20 лет в области оценки безопасности при движении подвижного состава, перевозочного процесса в целом, аварийного риска был проведен ряд исследований, выполненный российскими и зарубежными учеными. Исследования в данной области проводились следующими учеными: В.М. Лисенковым [54-58], В.Н. Филипповым [127-132], Г.И. Петровым [88], И.В. Козловым [50], А.Н. Шамаковым [137], В.В. Хусидовым [134], Ю.С. Ромен [107], С.В. Петровым [89], К.Н. Луценко [59], В.Д. Катиным [48,48], И.В. Мартынюк [62-67], А.Е. Соловьевым [109,110], Н.Н. Слюсарь [108], Е.В. Безугловой [4], Ю.А. Машинистовым [69], В.П. Удиловым [122], В.А. Тарасенко [116,117], А.М. Сумренковой [114].

Вопросы устойчивости подвижного состава, большегрузных железнодорожных цистерн, элементов обшивки кузовов за последние 20 лет освещались в исследованиях следующих ученых: Я.Д. Подлесниковым [92], Э.К. Мамедовым [60], М.Л. Коротенко [51], А.А. Милаковой [70], С. А. Марушко [68], Даукша А.С. [36], а также другими учеными.

Рассмотрим актуальные исследования в области обеспечения устойчивости подвижного состава, безопасности перевозочного процесса и совершенствования методов оценки риска при железнодорожных перевозках.

Статистическая теория безопасности движения поездов впервые была сформулирована профессором В.М. Лисенковым как самостоятельная научная дисциплина.

Обновление технико-технологической базы, задействованной в перевозочном процессе, повышение надежности технических средств является одной из ключевых задач обеспечения гарантированной безопасности и надежности перевозочного процесса.

С точки зрения обеспечения безопасности перевозочного процесса, проводятся исследования коллективами ученых кафедры «Вагоны и вагонное хозяйство» МИИТа. В.Н. Филипповым, Г.И. Петровым, С.В. Беспалько, Ю.Н. Шебеко, произведен анализ статистических данных об аварийных ситуациях при транспортировке опасных грузов на железных дорогах, разработаны расчетные аварийные режимы механических воздействий.

На основе анализа сходов восьмиосных цистерн большого диаметра, предназначенных для перевозки бензина и сжиженных углеводородных газов [92] Я.Д. Подлесниковом разработана математическая модель проведения анализа аварийных ситуаций, произведены расчеты по определению устойчивости вышеуказанных цистерн в кривых с радиусом 250 м [132].

Кроме этого, для груженых железнодорожных цистерн производилась оценка устойчивости А.А. Тармаевым, Г.И. Петровым, Н.Ю. Сосновым. Была определена зависимость максимального уровня рамных сил от величины высоты центра тяжести и скорости движения. Рассмотрена зависимость максимального уровня боковых сил от величины высоты центра тяжести и скорости движения [118].

Проблема обеспечения устойчивости от опрокидывания успешно решалась при перевозке негабаритных грузов специализированными транспортными средствами. Так, в ходе проектирования транспортного средства для перевозки длинномерных и крупногабаритных грузов в наклонном положении, описанного в патенте [68] предусматривалось устройство подвижных противовесов, что позволило увеличить поперечную устойчивость транспортного средства и повысить безопасность его эксплуатации [84].

А.С. Даукшей выполнена масштабная работа по разработке оптимальных конструкций съемных кузовов и в том числе универсальных контейнеров [36]. Проведен расчета коэффициента запаса устойчивости груза. С помощью имитационного моделирования в программе Flow Simulation определены нагрузки, действующие на платформу со съемным кузовом. Разработаны устройства, закрепляющие съемный кузов на платформе. Совместно с ООО «Тихвинский испытательный центр железнодорожной техники» проведены испытания удерживающих устройств.

С.И. Тимковым в работе [120] построена математическая модель колебаний порожнего вагона, и предложены рекомендации по обеспечению безопасности движения порожних вагонов в условиях синфазности (совпадения двух или нескольких фаз колебаний) в прямых и кривых участках пути [120].

П.В. Козловым получены уравнения для коэффициента запаса устойчивости от опрокидывания при движении шестиосного грузового вагона сочлененного типа [50].

Е.А. Черняковым разработаны методы оценки надежности движения поездов с учетом вероятностного характера сил, действующих в контакте колеса с рельсом [136].

В тоже время, проводились исследования, направленные на изучения влияния внешних воздействий окружающей среды на устойчивость и безопасность движения подвижного состава.

Под руководством профессора В.Г. Попова было проведен ряд исследований в области оценки риска при железнодорожных перевозках. Ф.И. Суховым создана таксономия транспортных происшествий за 1998 – 2006. Проведена математическая обработка событий нарушения безопасности движения методом максимального правдоподобия [115]. С.В. Петровым был использован апостериорный подход для количественной оценки вероятности возникновения транспортного происшествия при перевозке нефти и нефтепродуктов [90].

И.В. Мартынюк в своей диссертации [67] пользовался методами статистического анализа, экспертных оценок. В области воздействия природных

опасностей на железнодорожный транспорт автор рассматривает воздействие сейсмологических факторов, лавин и селей, а также штормов и смерчей в прибрежной зоне РФ.

Природно-климатические факторы, влияющие на железнодорожный транспорт с точки зрения затрат на содержание и ремонт, рассматривались в исследовании А.М. Сумренковой на примере Дальневосточной железной дороги. Передоложен интегральный показатель оценки уровня природно-климатического риска [114]. Климатические условия определены по данным 37 метеостанций, находящимся в непосредственной близости к участкам Дальневосточной железной дороги. На основании этих данных производится расчет коэффициента климатической опасности, который определяется из отношения частоты повторения  $i$ -го климатического явления к средней величине повторений  $i$ -го опасного климатического явления на дороге. Суммирование коэффициентов сложности технических условий и климатической опасности дает качественный показатель, характеризующий уровень природно-климатического риска. Этот показатель приводится ко всем дистанциям пути Дальневосточной железной дороги. Уровень риска определен автором при помощи имитационного моделирования методом Монте-Карло [114].

Влияние смерча, как опасного природного явления по отношению к комплексу морских нефтеналивных терминалов рассматривает Ю.В. Шацкова. Количественную оценку риска эксплуатации нефтеналивных терминалов от смерча автор производит при помощи имитационного моделирования. Эксперименты в ходе имитационного моделирования показали, что зависимость вероятности происшествия от факторов опасности носит нелинейный характер [139].

Изменение климата и увеличение количества экстремальных погодных явлений, таких как выпадение аномального количества осадков и высокая продолжительность оказывает опасное влияние на объекты транспортного комплекса, так как является причиной оползневой активности. Доктором технических наук Е.В. Безугловой была рассмотрена проблема оценки и

управления оползневый риск транспортными природно-техническими системами черноморского побережья Кавказа. Вероятность оползневого процесса автор исследования предлагает определить интегрированием баллов оценки состояния или повреждения элементов транспортных природно-технических систем с учетом их веса [4]. Автор производит оценку более 1500 транспортных природно-технических систем и предлагает количественную вероятностную оценку воздействия факторов на элементы природных и технологических объектов. Величина балла оценки состояния и балла оценки повреждения получена на основе эмпирического и экспертного методов.

## 1.2 Анализ безопасности железнодорожных контейнерных перевозок

**Контейнер** — это единица транспортного оборудования, которая имеет постоянную техническую характеристику, обеспечивающую прочность для многократного применения (в течение установленного срока службы, если таковой имеется); специальную конструкцию, обеспечивающую перевозку грузов одним или несколькими видами транспорта в прямом и смешанном сообщениях без промежуточной перегрузки грузов; приспособления, обеспечивающие механизированную перегрузку с одного вида транспорта на другой; конструкцию, позволяющую легко загружать и выгружать груз; внутренний объем, равный 1 м<sup>3</sup> и более [32].

В настоящее время в области контейнерных перевозок существуют единые требования к перевозимым контейнерам, их габаритам, массе и устройствам креплений. Эти требования регламентированы стандартами [32-34]. На железнодорожных платформах контейнеры крепятся в основном фитинговыми упорами [31] без непосредственной фиксации.

## Классификация контейнеров

Универсальные грузовые можно классифицировать по следующим признакам [14]:

- по назначению;
- по грузоподъемности.

Универсальные контейнеры предназначены для перевозки различных типов грузов, хранящихся в таре и без нее или в облегченной упаковке (рисунок 1.1).



Рисунок 1.1 – Общий вид универсального контейнера

Универсальные контейнеры могут различаться по тоннажности, выделяют крупнотоннажные (межконтинентальные) контейнеры, среднетоннажные (внутриконтинентальные) и малотоннажные, массой до 1,2 т. Основные размеры универсальных контейнеров приведены в таблице 1.1.



Таблица 1.1 – Основные размеры универсальных контейнеров [33]

№ п/п	Тип контейнера	Обычное название	Длина	Ширина	Высота	Масса порожнего контейнера	Площадь поветренной поверхности
			м	м	м	кг	м
1	1EE	45-футовый	13,716	2,438	2,591	3700	35,54
2	1EEE	45-футовый <i>high cube</i>			2,896	3800	39,72
3	1A	40-футовый	12,192		2,438	3200	29,72
4	1AA	40-футовый стандарт			2,591	3500	31,59
5	1AAA	40-футовый <i>high cube</i>			2,896	3600	35,31
6	1B	30-футовый	9,125		2,438	2500	22,25
7	1BB	30-футовый стандарт	9,125	2,438	2,591	2500	23,64
8	1BBB	30-футовый <i>high cube</i>			2,896	2600	26,43
9	1C	20-футовый	6,058		2,438	1800	14,77
10	1CC	20-футовый стандарт			2,591	1800	15,70

### Насыпные контейнеры

Используются для перевозки сыпучих грузов.

### Контейнеры-платформы

Оборудованы вертикальными торцевыми стойками, используются для транспортировки тяжеловесных длинномерных грузов (рисунок 1.2). Имеют угловые фитинги.

**Термоизолированные контейнеры** способны длительное время поддерживать определенный температурный режим.

**Вентилируемые контейнеры** оборудованы естественной либо искусственной системой вентиляции воздуха, и предназначены для транспортировки грузов требующий постоянный воздухообмен.



**Рисунок 1.2 – Общий вид платформы- контейнера**

**Рефрижераторные контейнеры** предназначены для транспортировки скоропортящихся грузов, обеспечивают заданный температурный режим и условия транспортировки, снабжены рефрижераторным оборудованием и термоизоляцией (рисунок 1.3).



**Рисунок 1.3 – Общий вид универсального и контейнера-рефрижератора**

**Танк-контейнер или контейнер-цистерна** – контейнер, состоящий из следующих основных элементов: цистерны (или цистерн) и каркаса (или рамных

элементов для контейнеров-цистерн, не имеющих продольных несущих элементов) [14].

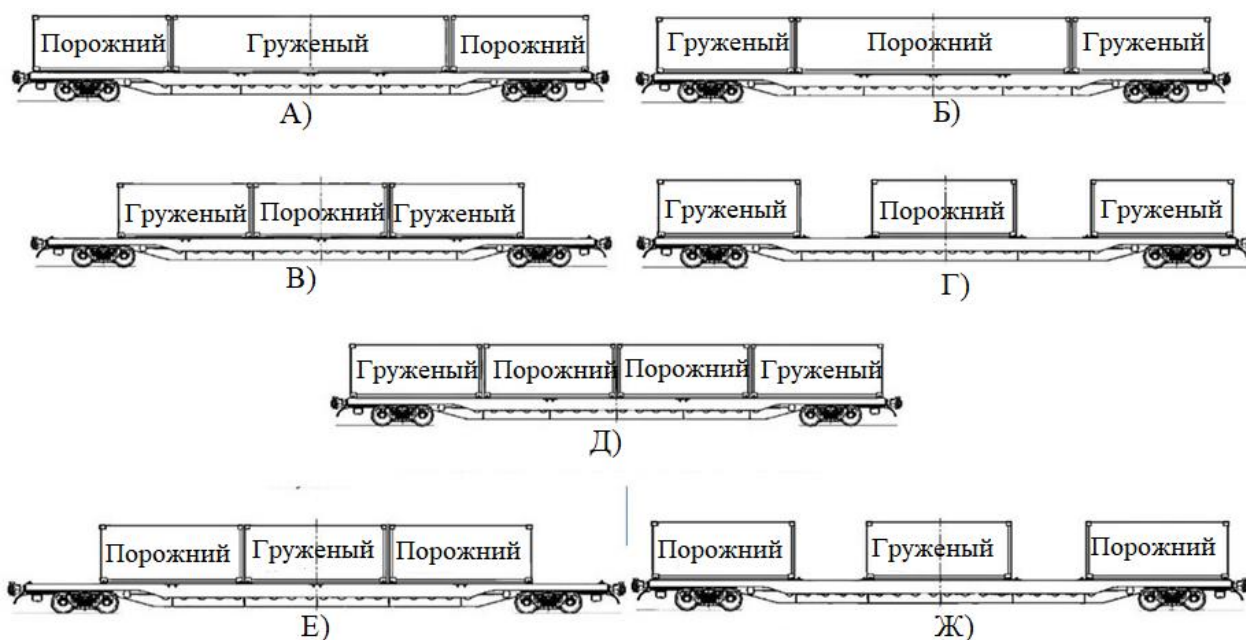


Рисунок 1.4 – Общий вид танк-контейнера

### Особенности крепления контейнеров

Способы крепления порожних контейнеров приведены на рисунке 1.5.

Способ крепления должен соответствовать требованиям ГОСТ Р ИСО 3874-2008 Контейнеры грузовые серии 1. Перегрузка и крепление [35].

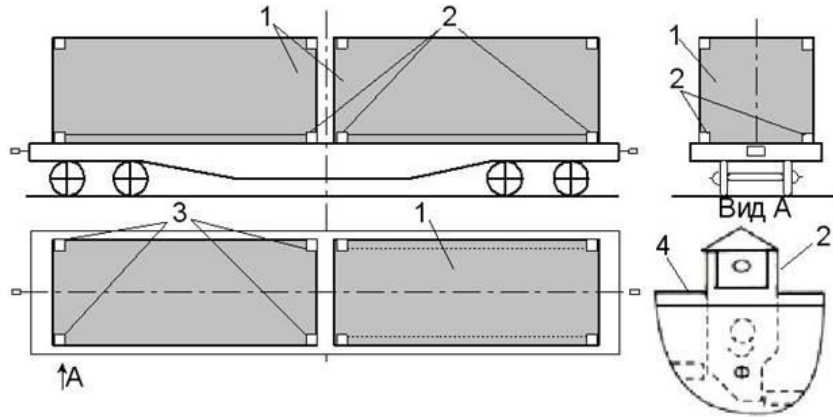


*A, B – способы перевозки контейнера типа 1А совместно с контейнерами 1С;*

*B, Г, Д, Е, Ж – способы перевозки контейнеров типа 1С*

Рисунок 1.5 – Способы крепления порожних контейнеров к железнодорожной платформе

Фитинговые упоры приводят в рабочее положение и размещают контейнеры таким образом, чтобы упорные головки упоров вошли в отверстия фитингов (рисунок 1.6).

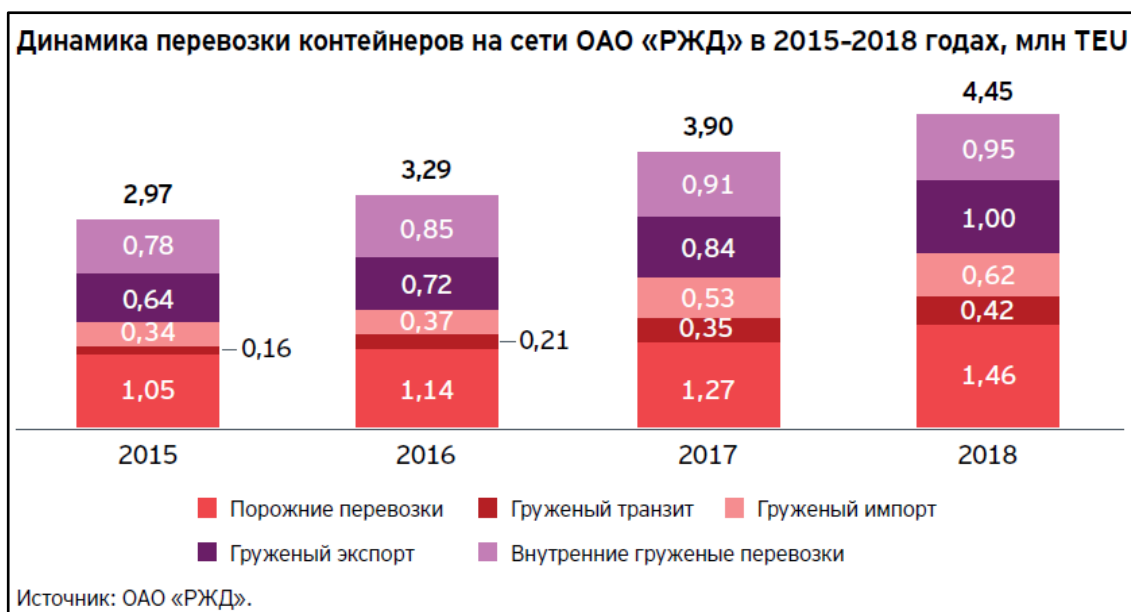


*1- контейнер, 2-фитинг, 3-упорная головка, 4- рама платформы.*

**Рисунок 1.6 – Общий вид размещения контейнеров на специализированной железнодорожной платформе**

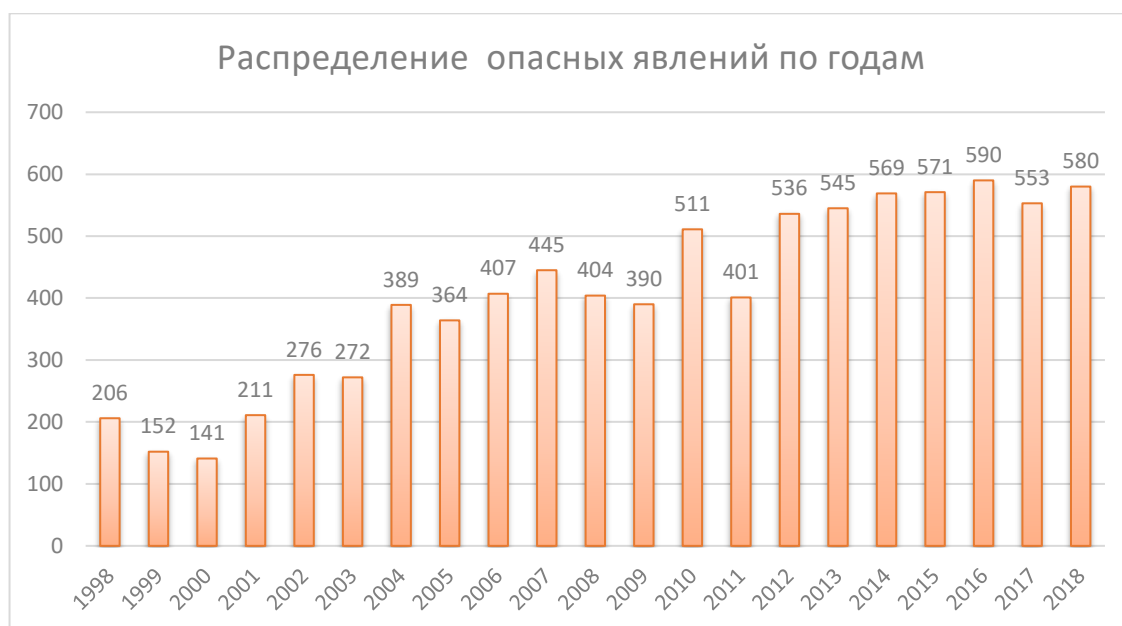
Стандартные фитинговые упоры не обеспечивают надежной фиксации контейнеров, что подтверждается случаями опрокидывания контейнеров со специализированных железнодорожных платформ.

В тоже время, объемы железнодорожных контейнерных перевозок ежегодно увеличиваются. Динамику перевозки контейнеров на сети ОАО РЖД можно видеть на диаграмме 1.7. За 2019 год объем перевозимых порожних контейнеров составил 1,46 млн двадцатифутовых эквивалентов (TEU), что составило 32,8 % от всего объема перевозимых контейнеров [105]. Относительно показателя 2019 года - 5 млн TEU — в 2020 году объем вырос до 5,8 млн TEU, что на 15,9 % больше показателей 2019 года.



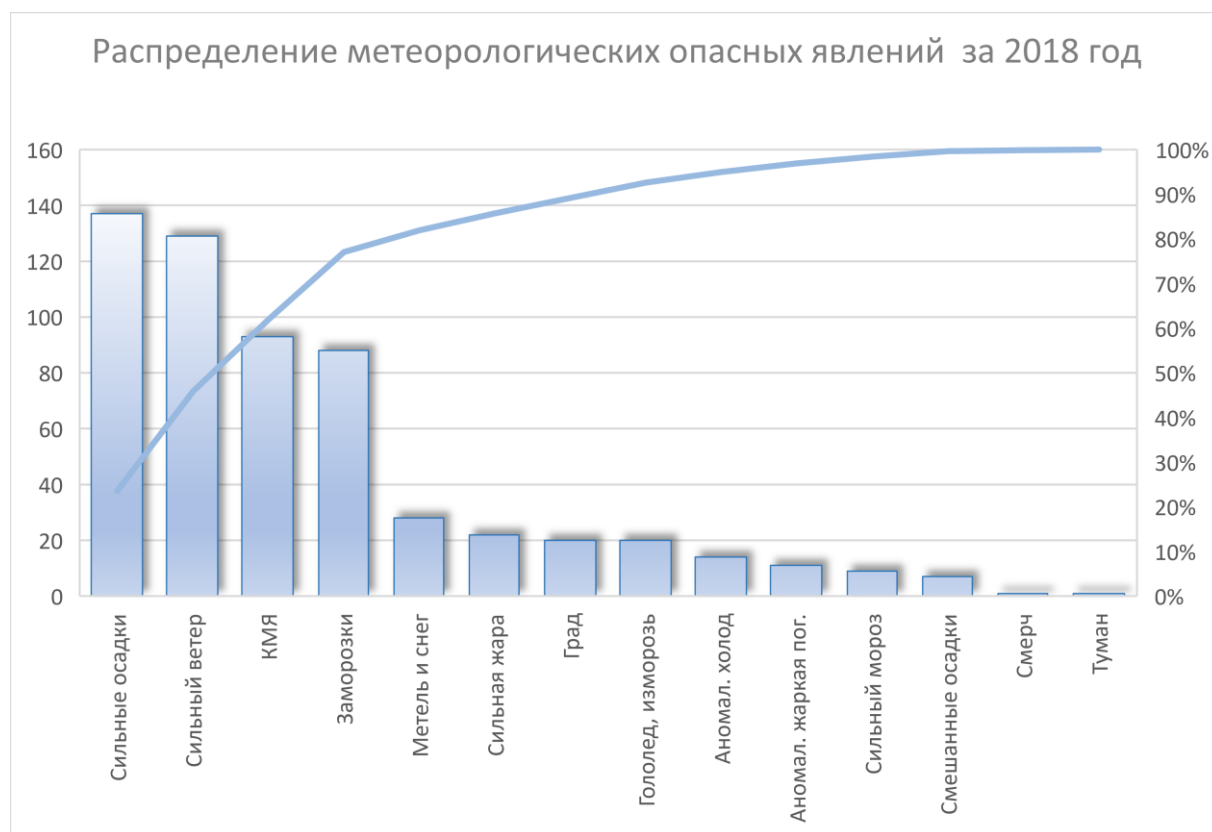
**Рисунок 1.7 – Динамика перевозки контейнеров на сети ОАО «РЖД» с 2015 по 2018 г., млн TEU**

При этом, в научных отчетах Межправительственной группы экспертов по изменению климата постоянно отмечается рост экстремальных и опасных явлений в период потепления. На территории Российской Федерации также наблюдается тенденция к увеличению числа опасных метеорологических опасных явлений (рисунок 1.8).



**Рисунок 1.8 – Распределение гидрометеорологических опасных явлений**

На основании анализа данных Доклада об особенностях климата на территории РФ за 2018 год [37] можно видеть на диаграмме (рисунок 1.9), что наиболее часто встречающимися опасными явлениями являются «Сильные осадки» и «Сильный ветер». Средняя скорость ветра 25 м/с и более наблюдалась в 2018 году повсеместно.



**Рисунок 1.9 – Анализ доклада об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2018 год [37]**

**Сильный ветер** – Движение воздуха относительно земной поверхности со скоростью или горизонтальной составляющей свыше 14 м/с [27].

**Шквалы и смерчи** относятся к локальным явлениям погоды.

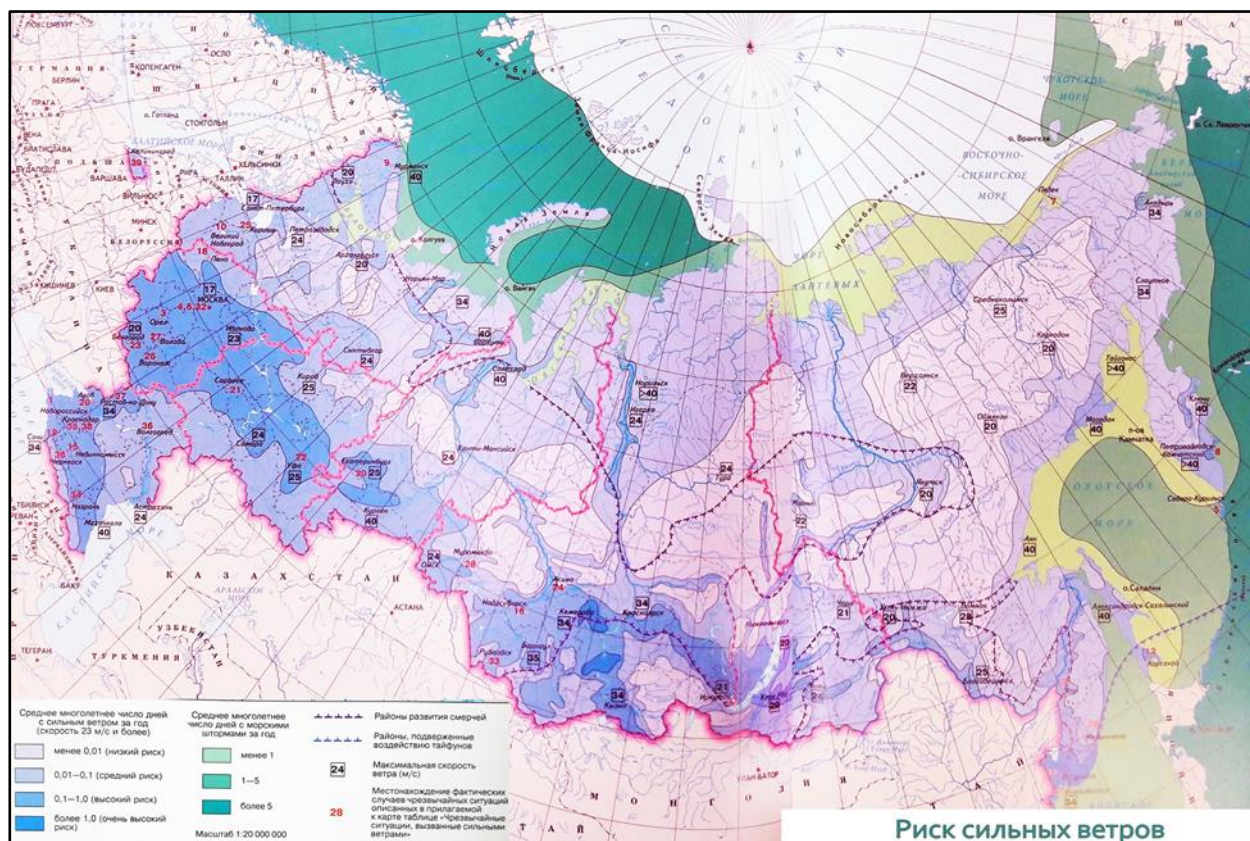
**Шквалом** называется резкое усиление ветра с изменением его направления в течение короткого времени. Скорость ветра при шквале нередко достигает 25–30 м/с, что намного превышает скорость основного градиентного ветра. Шквалу присущи многие черты волны, в которой сдвиги ветра наблюдаются как в вертикальном, так и горизонтальном направлении [42].

С целью оценки аварийного риска и уточнении расчетных режимов воздействия ветровой нагрузки на контейнеры произведён анализ климатических данных территории РФ [138], где наблюдается большое число случаев возникновения ураганного ветра. В таблице 1.2 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 1.2 – Сведения о ветровом воздействии, повлекшем материальный и социальный ущерб на территории России за период с 1991 по 2019 год [138]**

№ 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	Республики Северного Кавказа	55	2	25	30	41
4	Кемеровская область	118	4	24	29	40
5	Новосибирская область	117	4	24	28	40
6	Сахалинская область	104	4	23	35	63
7	Республика Башкортостан	97	3	24	27	34
8	Забайкальский край	94	3	25	30	40
9	Краснодарский край	86	3	25	33	45
10	Мурманская область	73	3	22	30	46
11	Республика Татарстан	63	2	22	27	40
12	Челябинская область	57	2	24	28	40
13	Чукотский автономный округ	56	2	25	38	51
14	Томская область	55	2	24	27	40
15	Республика Бурятия	54	2	24	28	40
16	Ставропольский край	52	2	24	30	41
17	Самарская область	50	2	24	27	34
18	Омская область	47	2	25	28	40
19	Республика Алтай	45	2	24	32	45
20	Республика Хакасия	44	2	25	29	36
21	В целом по России	2963	106	17	29	63

На рисунке 1.10 представлена карта «Риск сильных ветров» на территории Российской Федерации.



**Рисунок 1.10 – Риск сильных ветров [3]**

При анализе картографических данных следует выделять участки с наибольшей повторяемостью сильных ветров, так как именно на этих участках вероятность транспортных происшествий будет выше.

Для Новороссийска характерна высокая повторяемость ветров (бора) со скоростью более 40 м/с. Для острова Сахалин наблюдается повторяемость ветров со скоростью более 50 м/с.

Наибольшая повторяемость чрезвычайных ситуаций, вызванных сильными ветрами, отмечается в Красноярском крае, Алтайском крае, Северном Кавказе, Кемеровской области, Новосибирской области и на острове Сахалин [3].

### **Влияние ветра на основные службы железнодорожного транспорта**

Ветер более 12 м/с оказывает существенное влияние на различные службы железнодорожного транспорта [46]:

- на объекты службы сигнализации и связи;
- на объекты электрификации и энергетического хозяйства;



- на объекты службы контейнерных перевозок и коммерческой работы;
- на объекты локомотивной службы;
- на работу службы движения.

На схеме приведены основные последствия влияния ветрового воздействия, классифицированные по типам служб железнодорожного транспорта (рисунок 1.11).



**Рисунок 1.11 – Влияние ветра на основные службы железнодорожного транспорта**

В частности, на контейнерную службу ветер оказывает влияние при погрузо-разгрузочных работах, где используются краны высотой не более 14 м, при силе ветра силой более 12 м/с работа на кране запрещается. Кроме этого, при прогнозировании в пути следования контейнерного поезда, содержащего в своем составе порожние контейнеры, вводится порядком [102] существенные ограничения в скорости движения вплоть до полной остановки поезда. Ведение контейнерного поезда при прогнозировании ветра на маршруте следования требует от машиниста повышенного внимания, что обусловлено возможностью опрокидывания порожних контейнеров с железнодорожных платформ.

Имел место ряд случаев нарушения безопасности движения, возникающих в результате опрокидывания порожних контейнеров на ветрозависимых участках железных дорог Российской Федерации и стран СНГ:

22 апреля 2014 г. 11 контейнеров с грузом общим весом 20 тонн опрокинуло шквалистым ветром с грузового контейнерного поезда в Ямало-Ненецком автономном округе. Скорость ветра при этом достигала 20 м/с [74];

29 декабря 2015г. 5 часов 30 минут при сильном порывистом ветре более 25 м/с на перегоне Вишневка-Анар Карагандинского отделения дороги с грузового контейнерного поезда №1076 был опрокинут один порожний контейнер. В результате чрезвычайного происшествия задержаны 12 пассажирских поездов [20];

13 августа 2016 г., на 8046-м километре перегона Домикан-Архара Забайкальской железной дороги произошло падение семи порожних контейнеров с грузового поезда. Контейнеры упали на чётный путь и перекрыли движение встречному грузовому поезду (рисунок 1.12). Движение поездов заблокировано в обоих направлениях. Причиной аварии стало ухудшение погодных условий [73];



**Рисунок 1.12 – Падение порожних контейнеров на перегоне Домикан-Архара Забайкальской железной 13 августа 2016 г.**

20 мая 2014 г на Киевском направлении, недалеко от Наро-Фоминска произошла самая трагичная авария, связанная с опрокидыванием порожних

контейнеров. Накренившиеся контейнеры врезались в пассажирский поезд Москва-Кишинёв, который следовал по встречному пути. Шесть человек погибли, десятки – получили травмы [61].

Подобные ситуации на железных дорогах, причём не только в отношении контейнерных поездов, происходят в странах Европы и США.

3 января 2018 г. в Швейцарии из-за воздействия ураганного ветра со скоростью более 50 м/с с рельсов сошёл поезд. Для предотвращения последствий стихийных явлений в этот день Федеральные железные дороги Швейцарии объявили об отмене транспортного сообщения по популярному туристическому маршруту Юнгфрауйох [150].

13 марта 2019 г. в американском штате Нью-Мексико возле населенного пункта Логан сошли с рельсов 26 вагонов товарного поезда (рисунок 1.13). Необычность ситуации заключается в том, что вагоны, а упали с моста под воздействием сильного ветра [153].



**Рисунок 1.13** Падение 26 вагонов товарного поезда в США 13 марта 2019 г.[88]

В соответствии с ГОСТ 33211-2014 (Приложение 3 к СМГС) ветровая нагрузка, действующая на груз,  $W_{\Pi}$  определяется с учетом удельной ветровой нагрузки, равной 50 кгс/м<sup>2</sup> по формуле:

$$W_{\Pi} = 50 S_{\Pi} / 1000, \quad (1.1)$$

где  $S_{\Pi}$  - площадь наветренной поверхности груза.

В книге «Расчет вагонов на прочность» под редакцией Л.А. Шадура [104] ветровая нагрузка, действующая на груз, принимается равной  $100 \text{ кгс/м}^2$ .

Учитывая наличие случаев опрокидывания порожних контейнеров с фитиновых железнодорожных платформ, становится очевидно, что необходима разработка методики по определению устойчивости контейнера от опрокидывания от действия ветровых нагрузок, с последующим изменением ГОСТ 33211-2014 и ГОСТ 33788-2016.

### 1.3 Определение условий опрокидывания порожних контейнеров под воздействием ветровых нагрузок на прямом участке пути

Из уравнения моментов сил, приложенных к контейнеру, относительно оси его вращения при нахождении грузового поезда на прямом участке пути железной дороги (рисунок 1.14) найдены условия опрокидывания контейнера от воздействия ветровой нагрузки. Основная распределенная ветровая нагрузка  $\vec{W}$  (Па) заменена сосредоточенной силой давления ветра, приложенной к геометрическому центру подветренной поверхности контейнера, действующей нормально к ней. Учитывается сила тяжести контейнера  $\vec{F}_T$ , а также сила трения поверхности контейнера о фитинги  $F_{тр}$ , которая действует вдоль поверхности трения и возникает от силы давления ветра на контейнер и нормальной составляющей силы тяжести контейнера к поверхности трения. На рисунке 1.14 представлена схема срединного сечения контейнера, показывающая основные силы, действующие на контейнер.

Силы, действующие на контейнер, с учетом сделанных предположений записаны в следующем виде [16]:

Сила давления ветра, приложенная к геометрическому центру подветренной поверхности контейнера и действующей нормально к ней:

$$\vec{F}_B = \vec{w} \cdot S, \quad (1.2)$$

где  $S$ – площадь подветренной поверхности контейнера.

$$S=L \cdot h, \quad (1.3)$$

здесь  $L, h$ – длина и высота контейнера соответственно.

Сила тяжести контейнера будет действовать в центре масс

$$\vec{F}_T = m \cdot \vec{g}, \quad (1.4)$$

где  $m$ – масса порожнего контейнера.

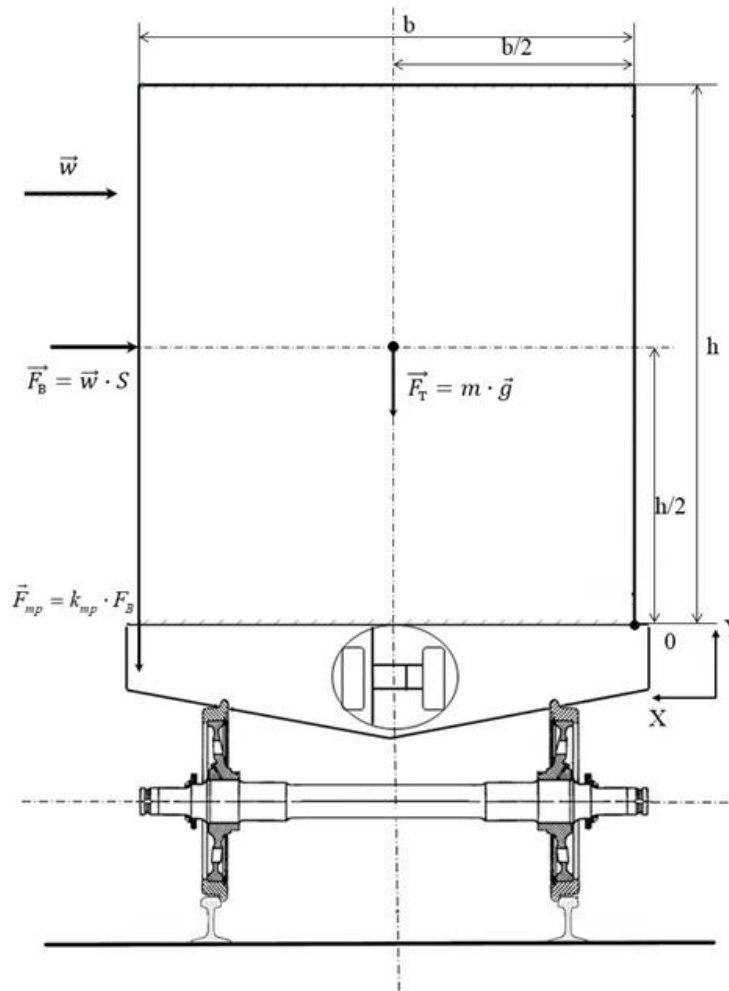


Рисунок 1.14 – Схема действия сил в срединном сечении контейнера

Сила трения поверхности контейнера о фитинги  $\vec{F}_{тр}$ , действующая вдоль поверхности трения:

$$\vec{F}_{mp} = k_{mp} \cdot F_B, \quad (1.5)$$

где  $k_{mp}$  – коэффициент трения покоя.

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

$$\sum_i M_i \geq 0, \quad (1.6)$$

где  $M_i = F_i l_i$  – произведение модуля силы  $\vec{F}_i$  на плечо силы  $l_i$  – кратчайшее расстояние от линии действия силы до оси вращения контейнера. Момент силы считается положительным, если он вращает контейнер по часовой стрелке, в противном случае момент силы считается отрицательным.

В срединном сечении на контейнер относительно оси вращения действуют следующие моменты сил:

$$M_1 = -F_B \cdot \frac{h}{2}, \quad (1.7)$$

$$M_2 = F_T, \quad (1.8)$$

$$M_3 = F_{mp} \cdot b = k_{mp} F_B \cdot b \quad (1.9)$$

Из уравнения (1.17) с учетом уравнений (1.1-1.5, 1.8-1.10) получим уравнение для основной ветровой нагрузки, приводящей к опрокидыванию контейнера, в случае воздействия ветровых нагрузок:

$$w \geq \frac{m \cdot g \cdot b}{h \cdot L \cdot (h - 2k_{mp} b)}, \quad (1.10)$$

Расчет опрокидывающей скорости ветра произведен через зависимость скорости воздуха и ветрового давления.

Нормальное ветровое давление на препятствие в первом приближении определяется по формуле [22]:

$$w = 0,5 \rho \cdot V^2, \quad (1.11)$$

где  $V$  - скорость ветра,

$\rho$  - плотность воздуха,

0,5 - коэффициент сопротивления (обтекания).

Используя выражение (1.11) получим выражение:

$$V \geq \sqrt{\frac{m \cdot g \cdot b}{0,5 \rho \cdot h \cdot l \cdot (h - 2k_{mp} b)}} \quad (1.12)$$

Таким образом, получены значения (таблица 1.3) скорости ветра, приводящей к опрокидыванию порожних контейнеров различных типов, при нахождении поезда на прямом участке пути.

**Таблица 1.3 – Результаты расчёта**

Тип контейнера	Прямой участок пути железной дороги			
	Ветровая нагрузка, $w$		Скорость ветра $V$ м/с	Классификация ветров, [2]
	Па	кгс/м <sup>2</sup>		
40-футовый высокий контейнер (High Cube) 40' HC	1165	118,79	34,29	Ураган
40-футовый стандартный контейнер (Dry Van) 40' DV	1435,5	146,38	38,06	Ураган
20-футовый стандартный контейнер (Dry Cube) 20' DC	1596,16	9,80	40,13	Ураган
пятитонный контейнер, УК-5	2620,39	267,20	51,42	Ураган

Полученные значения согласуются с анализом климатических данных территории Российской Федерации. Таким образом, для территорий, где наблюдается высокая повторяемость ветров более 40 – 50 м/с, существует риск опрокидывания порожних контейнеров.

## 1.4 Выводы по разделу 1

1. Проведен анализ актуальных исследований, посвященных оценке устойчивости подвижного состава от опрокидывания, а также оценке аварийного и природного 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. Рассмотрены основные типы контейнеров для перевозки грузов и приведена статистика их опрокидывания при воздействии ветровых нагрузок;

2. В вопросах оценки аварийного риска в существующих моделях условия окружающей среды, влияющие на железнодорожный транспорт либо не фигурируют, либо предлагаются к рассмотрению отдельные конкретные виды чрезвычайных ситуаций. Таким образом, предлагается разработка инвариантного метода, позволяющего оценить аварийный риск от всех возможных опасных природных явлений окружающей среды, в том числе ветрового воздействия;

3. Проведен анализ климатических данных территории Российской Федерации, определены территории, где зафиксировано наибольшее число случаев ураганного ветра и средняя скорость ветра 30 м/с, при которой был нанесен материальный и социальный ущерб. Однако, требуется уточнять ветровой режим и метеорологические условия для конкретных участков железной дороги, где осуществляются основные перевозки контейнеров;

4. Получены ориентировочные значения скорости ветра, приводящей к опрокидыванию порожних контейнеров. Эти значения будут использованы при оценке риска и уточнении метеорологических условий для маршрутов следования контейнерных поездов.



## 2 МЕТОД ОЦЕНКИ АВАРИЙНОГО РИСКА ОТ ВЕТРОВЫХ И ДРУГИХ ОПАСНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ПРИ ДВИЖЕНИИ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА ПО МАРШРУТУ

### 2.1 Оценка вероятности возникновения опасных воздействий окружающей среды на движение подвижного состава по маршруту железной дороги

В качестве опасных воздействий окружающей среды используются чрезвычайные ситуации и опасные природные явления (по классификации проф. С.И. Мягкова [113]), относящиеся к средней степени тяжести последствий. Они представляют собой не слишком разрушительные ураганы, наводнения, техногенные аварии на потенциально опасных технических объектах с повреждением и разрушением населенных пунктов, транспортных коммуникаций, характеризуются частотой появления порядка  $10^{-1}$ - $10^1$  случаев в год, характерным временем действия порядка  $10^0$ - $10^2$  часов и характерным пространственным масштабом порядка  $10^{-1}$ - $10^1$  километров [1,23,97].

Оценка аварийного риска производится для движения поездов по  $i$ -му участку  $j$ -ой железной дороги, движение по которому характеризуется следующими показателями:

$N''_{j,i}$  – пропускная способность  $i$ -го участка  $j$ -ой железной дороги в четном направлении (число поездов, проходящих по участку в сутки), число поездов /сутки;

$N'_{j,i}$  – пропускная способность  $i$ -го участка  $j$ -ой железной дороги в нечетном направлении (число поездов, проходящих по участку в сутки), число поездов /сутки;

В общем случае  $N'_{j,i} \neq N''_{j,i}$ , для парного графика движения поездов  $N'_{j,i} = N''_{j,i}$ .

При необходимости оценки риска ветрового воздействия на подвижной состав, перевозящий контейнеры, в том числе и порожние, учитывается

ежегодное количество такого подвижного состава, проходящего по участку железной дороги.

Для действующей железной дороги в качестве размера движения поездов может браться наличная, результирующая пропускная способность, для перспективных грузовых и пассажирских потоков - потребная пропускная способность, для проектируемой железной дороги - ожидаемая пропускная способность.

Будем считать, что поезда организованно движутся в определенном направлении (четном или нечетном) по  $i$ -у участку  $j$ -ой железной дороги со средними временными интервалами между поездами:

$$\Delta\bar{T}_{j,i}'' = 24 / N_{j,i}'', \text{ час}; \quad (2.1)$$

$$\Delta\bar{T}_{j,i}' = 24 / N_{j,i}', \text{ час}; \quad (2.2)$$

И средними пространственными интервалами между поездами:

$$\Delta\bar{X}_{j,i}'' = V'' \times \Delta\bar{T}_{j,i}'', \text{ км}; \quad (2.3)$$

$$\Delta\bar{X}_{j,i}' = V' \times \Delta\bar{T}_{j,i}', \text{ км}, \quad (2.4)$$

где  $V''_{j,i}$  и  $V'_{j,i}$  участковые скорости поездов на  $i$ -м участке  $j$ -ой железной дороги в четном и нечетном направлении соответственно (для параллельного графика движения поездов  $V''_{j,i} = V'_{j,i}$ ), км/час.

При совместном движении грузовых и пассажирских поездов в одном направлении на  $i$ -м участке  $j$ -ой железной дороги в качестве  $V''_{j,i}$  и  $V'_{j,i}$  для обеспечения консервативности допущений, принимаются участковая скорость грузовых поездов.

Для характеристики опасного природного явления (ОПЯ) введены следующие обозначения:

$C_{j,i,m}$  – событие, представляющее собой ОПЯ  $m$ -го вида, 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;

$B_{j,i,m} = D_{j,i,m} \times C_{j,i,m}$  – транспортное происшествие [99], 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 природных и техногенных ОПЯ  $m$ -го вида, происходящих в географическом районе России, на территории которого находится  $i$ -й участок  $j$ -ой железной дороги ( $m = 1, 2, \dots, M$ ), 1/год;

$L_{j,i,m}$  – характерный пространственный масштаб природного и техногенного ОПЯ  $m$ -го вида, происходящего в географическом районе России, на территории которого находится  $i$ -й участок  $j$ -ой железной дороги ( $m = 1, 2, \dots, M$ ), км;

$T_{j,i,m}$  – характерное время действия природного и техногенного ОПЯ  $m$ -го вида, происходящего в географическом районе России, на территории которого находится  $i$ -й участок  $j$ -ой железной дороги ( $m=1,2,\dots,M$ ), ч.

Оценка вероятности транспортного происшествия при движении поездов в четном направлении по  $i$ -му участку  $j$ -ой железной дороги, вызванного опасными состояниями объектов окружающей среды, а именно, ОПЯ  $m$ -го вида вычисляется по следующей формуле:

$$R''(B_{j,i,m}) = R''(D_{j,i,m} \times C_{j,i,m}) = P''(C_{j,i,m}) \cdot P''(D_{j,i,m} | C_{j,i,m}) \quad (2.5)$$

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

В формуле (2.5)  $P(C_{j,i,m})$  – вероятность возникновения в данном географическом районе ОПЯ  $m$ -го вида за среднее время нахождения поезда, движущегося в четном направлении  $i$ -му участку  $j$ -ой железной дороги, протяженностью  $L_{j,i}$ .

$$P''(C_{j,i,m}) = 1 - e^{-\frac{N_{j,i,m} \cdot l_{j,i}}{365 \cdot 24 \cdot V_{j,i}''}}, \quad (2.6)$$

где  $V_{j,i}''$  - участковые скорости поездов, км/час;

$l_{j,i}$  - длина  $i$ -го участка  $j$ -ой железной дороги, км;

$$t_{j,i}'' = l_{j,i} / V_{j,i}'';$$

Тогда можно получить:

$$P''(C_{j,i,m}) = 1 - e^{-\frac{N_{j,i,m} \cdot t_{j,i}''}{365 \cdot 24}}. \quad (2.7)$$

В формуле (6)  $P''(L_{j,i,m} | C_{j,i,m})$  - 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, оценивается из предположения, что поток поездов в пространстве подчиняется нормированному закону Эрланга  $k_x$  порядка. Тогда:

$$P''(L_{j,i,m} | C_{j,i,m}) = \int_0^{L_{j,i,m}} f_x''(x) dx, \quad (2.8)$$

где  $f_x(x)$  - плотность вероятности нормированного распределения Эрланга порядка  $k_x$ , которая равна:

$$f_x''(x) = \frac{k_x \lambda_x'' (k_x \lambda_x'' x)^{k_x - 1}}{(k_x - 1)!} e^{-k_x \lambda_x'' x}; \quad \lambda_x'' = 1 / \Delta \bar{X}_{j,i}''; \quad (2.9)$$

$$P''(L_{j,i,m} | C_{j,i,m}) = 1 - e^{-k_x \lambda_x'' L_{j,i,m}} \sum_{k=0}^{k_x - 1} \frac{(k_x \lambda_x'' L_{j,i,m})^k}{k!}. \quad (2.10)$$

Математическое ожидание величины  $x$  нормированного распределения Эрланга порядка  $k_x$  (формула (2.9)) равно:

$$M[X] = \frac{1}{\lambda_x} = \Delta \bar{X}_{j,i} \quad (2.11)$$

Дисперсия величины  $x$  нормированного распределения Эрланга порядка  $k_x$  (формула (8)) равна:

$$D[X] = \frac{1}{k_x (\lambda_x)^2} = \frac{(\Delta \bar{X}_{j,i})^2}{k_x} \quad (2.12)$$

$P''(T_{j,i,m} | C_{j,i,m})$  - 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.

$P''(T_{j,i,m} | C_{j,i,m})$  оценивается из предположения, что поток поездов во времени подчиняется нормированному закону Эрланга  $k_t$  порядка.

Тогда:

$$P''(T_{j,i,m} | C_{j,i,m}) = \int_0^{T_{j,i,m}} f_t''(t) dt \quad (2.13)$$

где  $f_t(t)$  - плотность вероятности нормированного распределения Эрланга порядка  $k_t$ .

$$P''(T_{j,i,m} | C_{j,i,m}) = \int_0^{T_{j,i,m}} f_t''(t) dt; \quad \lambda_t'' = 1 / \Delta \bar{T}_{j,i} \quad (2.14)$$

$$P''(T_{j,i,m} | C_{j,i,m}) = 1 - e^{-k_t \lambda_t'' T_{j,i,m}} \sum_{k=0}^{k_t-1} \frac{(k_t \lambda_t'' T_{j,i,m})^k}{k!} \quad (2.15)$$

Математическое ожидание величины  $t$  нормированного распределения Эрланга порядка  $k_t$  (формула (2.14)) равно:

$$M[T] = \frac{1}{\lambda_t} = \Delta \bar{T}_{j,i} / 60 \quad (2.16)$$

Дисперсия величины  $t$  нормированного распределения Эрланга порядка  $k_t$  (формула (2.14)) равна:

$$D[T] = \frac{1}{k_t(\lambda_t)^2} = \frac{(\Delta\bar{T}_{j,i} / 60)^2}{k_t} \quad (2.17)$$

Очевидно, что при  $k_x \rightarrow \infty$ ,  $k_t \rightarrow \infty$  формулы (2.8-2.10) и (2.11-2.13) описывают регулярный поток проездов, движущихся в четном направлении по  $i$ -му участку  $j$ -ой железной дороги с пространственным и временным интервалом  $\Delta\bar{X}$ ,  $\Delta\bar{T}$  соответственно.

Оценка вероятности транспортного происшествия при движении поездов в нечетном направлении по  $i$ -му участку  $j$ -ой железной дороги, вызванного опасными состояниями объектов окружающей среды, а именно, ОПЯ  $m$ -го вида, производится по формуле:

$$R'(B_{j,i,m}) = R'(D_{j,i,m}) = P'(C_{j,i,m}) \cdot P'(D_{j,i,m} | C_{j,i,m}), \quad (2.18)$$

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

В выражении (2.18)  $P'(C_{j,i,m})$ ,  $P'(L_{j,i,m} | C_{j,i,m})$ ,  $P'(T_{j,i,m} | C_{j,i,m})$  для нечетного направления движения поездов по  $i$ -му участку  $j$ -ой железной дороги определяются по формулам аналогичным для четного направления движения поездов при соответствующей замене данных.

Тогда вероятность возникновения хотя бы одного транспортного происшествия  $R(B_{j,i,m})$  при движении поездов в четном и нечетном направлениях по  $i$ -у участку  $j$ -ой железной дороги, вызванного ОПЯ  $m$ -го вида, с учетом совместности событий можно определить по формуле:

$$R(B_{j,i,m}) = R''(B_{j,i,m}) + R'(B_{j,i,m}) - R''(B_{j,i,m}) \times R'(B_{j,i,m}) \quad (2.19)$$

Пользуясь формулами (2.5), (2.18) можно получить оценки вероятности транспортного происшествия при движении поездов по участкам маршрутам и направлениям.

Оценка вероятности хотя бы одного транспортного происшествия при движении поездов по  $i$ -му участку  $j$ -ой железной дороги, вызванного всеми возможными опасными состояниями объектов окружающей среды, а именно,

природными или техногенными ОПЯ  $M$  видов ( $m=1,2,3,\dots,M$ ), производится по следующим формулам:

при движении поездов в четном направлении:

$$R''(B^M_{j,i}) = \sum_{m=1}^M \phi_m \cdot R''(B_{j,i,m}), \quad (2.20)$$

при движении поездов в нечетном направлении:

$$R'(B^M_{j,i}) = \sum_{m=1}^M \phi_m \cdot R'(B_{j,i,m}), \quad (2.21)$$

при движении поездов в четном и нечетном направлении:

$$R(B^M_{j,i}) = R''(B^M_{j,i}) + R'(B^M_{j,i}) - R''(B^M_{j,i}) \times R'(B^M_{j,i}) \quad (2.22)$$

где  $\phi_m$  - частота возникновения ОПЯ  $m$ -го вида среди других видов ОПЯ,  $\sum_{m=1}^M \phi_m = 1$ ;

$B^M_{j,i}$  – транспортное происшествие (сход или столкновение поезда с определенными последствиями) – событие, последовавшее после воздействия всех возможных  $M$  видов ОПЯ на социо-техническую систему железнодорожного транспорта на  $i$ -м участке  $j$ -ой железной дороги.

Оценка вероятности хотя бы одного транспортного происшествия при движении поездов по  $I$  ( $i=1,2,3,\dots,I$ ) участкам  $j$ -ой железной дороги, вызванного опасными состояниями объектов окружающей среды, а именно опасного природного явления  $m$ -го вида производится по следующим формулам:

при движении поездов в четном направлении:

$$R''(B^I_{j,m}) = 1 - \prod_{i=1}^I [1 - R''(B_{j,i,m})] \quad (2.23)$$

при движении поездов в нечетном направлении:

$$R'(B^I_{j,m}) = 1 - \prod_{i=1}^I [1 - R'(B_{j,i,m})] \quad (2.24)$$

при движении поездов в четном и нечетном направлении:

$$R(B^I_{j,m}) = 1 - \prod_{i=1}^I [1 - R(B_{j,i,m})] \quad (2.25)$$

где  $B_{j,i}^I$  – аварийное транспортное происшествие (сход или столкновение поезда с определенными последствиями) – событие, последовавшее после воздействия ОПЯ  $m$ -го вида на социо-техническую систему железнодорожного транспорта на  $I$  ( $i=1,2,3,\dots,I$ ) участках  $j$ -ой железной дороги.

Оценка вероятности хотя бы одного транспортного происшествия при движении поездов по  $I$  ( $i=1,2,3,\dots,I$ ) участкам  $j$ -ой железной дороги, вызванного всеми возможными опасными состояниями объектов окружающей среды производится по следующим формулам:

при движении поездов в четном направлении:

$$R''(B_{j,}^{I,M}) = 1 - \prod_{i=1}^I [1 - R''(B_{j,i}^M)] \quad (2.26)$$

при движении поездов в нечетном направлении:

$$R'(B_{j,}^{I,M}) = 1 - \prod_{i=1}^I [1 - R'(B_{j,i}^M)] \quad (2.27)$$

при движении поездов в четном и нечетном направлении:

$$R(B_{j,}^{I,M}) = 1 - \prod_{i=1}^I [1 - R(B_{j,i}^M)] \quad (2.28)$$

где  $B_{j,}^{I,M}$  – аварийное транспортное происшествие (сход или столкновение поезда с определенными последствиями) – событие, последовавшее после воздействия всех возможных  $M$  видов ОПЯ на социо-техническую систему железнодорожного транспорта на  $I$  ( $i=1,2,3,\dots,I$ ) участках  $j$ -ой железной дороги.

Оценка вероятности хотя бы одного транспортного происшествия при движении поездов по  $I$  участкам ( $i=1,2,3,\dots,I$ )  $J$  железных дорог ( $j=1,2,3,\dots,J$ ), вызванного всеми возможными опасными состояниями объектов окружающей среды производится по следующим формулам:

при движении поездов в четном направлении:

$$R''(B^{J,I,M}) = 1 - \prod_{i=1}^I [1 - R''(B_j^{I,M})] \quad (2.29)$$

при движении поездов в нечетном направлении:



$$R'(B^{J,I,M}) = 1 - \prod_{i=1}^I [1 - R'(B_j^{I,M})] \quad (2.30)$$

при движении поездов в четном и нечетном направлении:

$$R(B^{J,I,M}) = 1 - \prod_{i=1}^I [1 - R(B_j^{I,M})] \quad (2.31)$$

где  $B^{J,I,M}$  – аварийное транспортное происшествие (сход или столкновение поезда с определенными последствиями) - событие, последовавшее после воздействия всех возможных  $M$  видов ОПЯ на социо-техническую систему железнодорожного транспорта на  $I$  ( $i=1,2,3,\dots,I$ ) участках  $J$  ( $j=1,2,3,\dots,J$ ) железных дорог.

Если в формулах (2.26)-(2.28) в качестве  $I$  взять все участки  $j$ -ой железной дороги, то можно получить соответствующие оценки аварийных рисков для  $j$ -ой железной дороги в целом ( $j=1,2,3,\dots,J$ ). Если в формулах (2.30)-(2.32) взять  $I$  участков ( $i=1,2,3,\dots,I$ )  $J$  железных дорог ( $j=1,2,3,\dots,J$ ), то можно получить соответствующие оценки аварийных рисков для различных маршрутов и направлений движения поездов.

Для удобства расчетов по оценке аварийного риска от ветровых и других опасных воздействий окружающей среды при движении подвижного состава по маршруту разработана программа, описание и общий вид которой приведен в приложении А.

## **2.2 Экономическая оценка аварийного риска при движении подвижного состава по участку пути от опасных воздействий окружающей среды**

Для экономической оценки транспортного происшествия (сход или столкновение поезда с определенными последствиями) использованы данные работ [2, 93-96]. Согласно [99] аварийные транспортные происшествия - нарушения безопасности движения (НБД) поездов подразделяются на крушение -

$B_1$ , аварию  $-B_2$ ; транспортное происшествие (сход или столкновение поезда без последствий крушения или аварии)- $B_3$ .

Используя метод дисконтирования [53] и статистические данные работы [93,95], записано уравнение для оценки математического ожидания экономического ущерба от НБД ( $B_1, B_2, B_3$ ):

$$(B_n) = Y_0(B_n)(1+r)^p \quad (2.32)$$

где  $Y_0(B_1)=2 \cdot 10^6$  руб.,  $Y_0(B_2)=0,5 \cdot 10^6$  руб.,  $Y_0(B_3)=7 \cdot 10^3$  руб.,  $p = \Gamma - 2000$ , лет,  $\Gamma$  – год анализа риска,  $r$  – норма дисконтирования ( $r=0,1-0,12$ ).

Практическая невозможность прогнозных оценок экономического ущерба от возникновения определенного вида НБД  $B_n$  при воздействии опасных природных явлений на социо-техническую систему железнодорожного транспорта и приводящих к аварийным транспортным происшествиям при движении поездов, заставляет обращаться к использованию консервативных допущений и апостериорных статистических данных по нарушениям безопасности движения поездов. С учетом этого можно записано уравнение:

$$Y(B) = \sum_{n=1}^3 \alpha_n \cdot Y(B_n) \quad (2.33)$$

где  $\alpha_n$  – относительные частоты появления определенного вида НБД  $B_n (n=1,2,3)$ , которые по данным работ [52,93,96] можно оценить, как  $\alpha_1=0,05, \alpha_2=0,114, \alpha_3=0,82$ .

Тогда экономическую оценку риска хотя бы одного транспортного происшествия с поездом при движении по  $i$ -му участку  $j$ -ой железной дороги, вызванного опасными состояниями объектов окружающей среды, а именно, ОПЯ  $m$ -го вида, можно получить по формулам:

$$\begin{aligned} \text{В четном направлении} \quad R''_9(B_{j,i,m}) &= R''(B_{j,i,m}) \cdot Y(B) . \\ \text{В нечетном направлении} \quad R'_9(B_{j,i,m}) &= R'(B_{j,i,m}) \cdot Y(B) . \\ \text{В четном и нечетном направлениях} \quad R_9(B_{j,i,m}) &= R(B_{j,i,m}) \cdot Y(B) . \end{aligned} \quad (2.34)$$

Экономическую оценку риска хотя бы одного транспортного происшествия с поездом при движении по  $i$ -му участку  $j$ -ой железной дороги, вызванного опасными состояниями объектов окружающей среды, а именно, ОПЯ всех возможных  $M$  видов, можно получить по формулам:

$$\begin{aligned} \text{В четном направлении} \quad R''_9(B_{j,i}^M) &= R''(B_{j,i}^M) \cdot Y(B) . \\ \text{В нечетном направлении} \quad R'_9(B_{j,i}^M) &= R'(B_{j,i}^M) \cdot Y(B) . \\ \text{В четном и нечетном направлениях} \quad R_9(B_{j,i}^M) &= R(B_{j,i}^M) \cdot Y(B) . \end{aligned} \quad (2.35)$$

Экономическую оценку риска хотя бы одного транспортного происшествия с поездом при движении по  $I$  ( $i=1,2,3\dots,I$ ) участкам  $j$ -ой железной дороги, вызванного опасными состояниями объектов окружающей среды, а именно, ОПЯ  $m$ -го вида, можно получить по формулам:

$$\begin{aligned} \text{В четном направлении} \quad R''_9(B_{j,m}^I) &= R''(B_{j,m}^I) \cdot Y(B) . \\ \text{В нечетном направлении} \quad R'_9(B_{j,m}^I) &= R'(B_{j,m}^I) \cdot Y(B) . \\ \text{В четном и нечетном направлениях} \quad R_9(B_{j,m}^I) &= R(B_{j,m}^I) \cdot Y(B) . \end{aligned} \quad (2.36)$$

### **2.3 Оценка маршрутов движения подвижного состава с целью минимизации аварийного риска опасных воздействий окружающей среды**

В качестве экспериментальной оценки аварийного риска опасных воздействий окружающей среды на движение подвижного состава по маршруту предлагается использовать эксплуатационные показатели Северо-Кавказской железной дороги (СКЖД). Выбор объясняется тем, что именно на территории Южного и Северо-Кавказского федеральных округов, как правило, чаще всего реализуются опасные воздействия окружающей среды.

На основании статистических данных [123,124,125] и графика циклических повторяющихся опасных природных явлений, для территории Южного и Северо -

Кавказского федеральных округов (ЮФО и СКФО) в летний период характерны следующие виды природных источников ЧС:

- сильные осадки – на всей территории ЮФО и СКФО;
- очень сильный дождь, гроза, град, шквалистый ветер - на всей территории ЮФО и СКФО;
- высокие уровни воды;
- сильный ветер – на всей территории ЮФО и СКФО;
- сход селей – Краснодарский край, Республика Ингушетия, Республика Северная Осетия – Алания, Кабардино – Балкарская Республика, Чеченская Республика;
- опасные геологические явления – Республика Адыгея, Краснодарский край, Республика Крым, Ростовская область, г. Севастополь, вся территория СКФО;
- землетрясения – Республика Адыгея, Краснодарский край, Республика Крым, г. Севастополь, вся территория СКФО;
- крупный град - на всей территории ЮФО и СКФО;
- природные пожары – на всей территории ЮФО и СКФО;
- смерчи – Краснодарский край, Республика Крым, г. Севастополь;
- сильная жара - на всей территории ЮФО и СКФО.

Для зимнего времени года характерны следующие виды природных источников ЧС:

- сильные осадки - на всей территории ЮФО и СКФО;
- сильное гололедно-изморозевые отложения на всей территории ЮФО и СКФО;
- сильный ветер – на всей территории ЮФО и СКФО;
- опасные геологические явления – вся территория СКФО;
- землетрясения –

При выборе региона также учитывались эксплуатационные показатели дороги за 2018 год:

- в дальнем сообщении перевезено 11,4 млн пассажиров;

- услугами пригородного пассажирского сообщения воспользовалось 24,4 млн пассажиров;

- грузооборот более 109 млрд тонно-километров.

В качестве примера проведена оценка риска  $R(B_{1,1,1})$  возникновения, хотя бы одного, транспортного происшествия при движении грузовых поездов в четном и нечетном направлениях по участку «Куберле–Котельниково» ( $i=1$ ) Северо-Кавказской железной дороги ( $j=1$ ), вызванного опасным природным явлением, а также техногенным явлением:

1) «Ветер со скоростью 25 и более м/с ( $m=1$ )»  $N_{1,1,1}=1$ ;  $L_{1,1,1}=10$  км;  $T_{1,1,1}=3$  ч.;

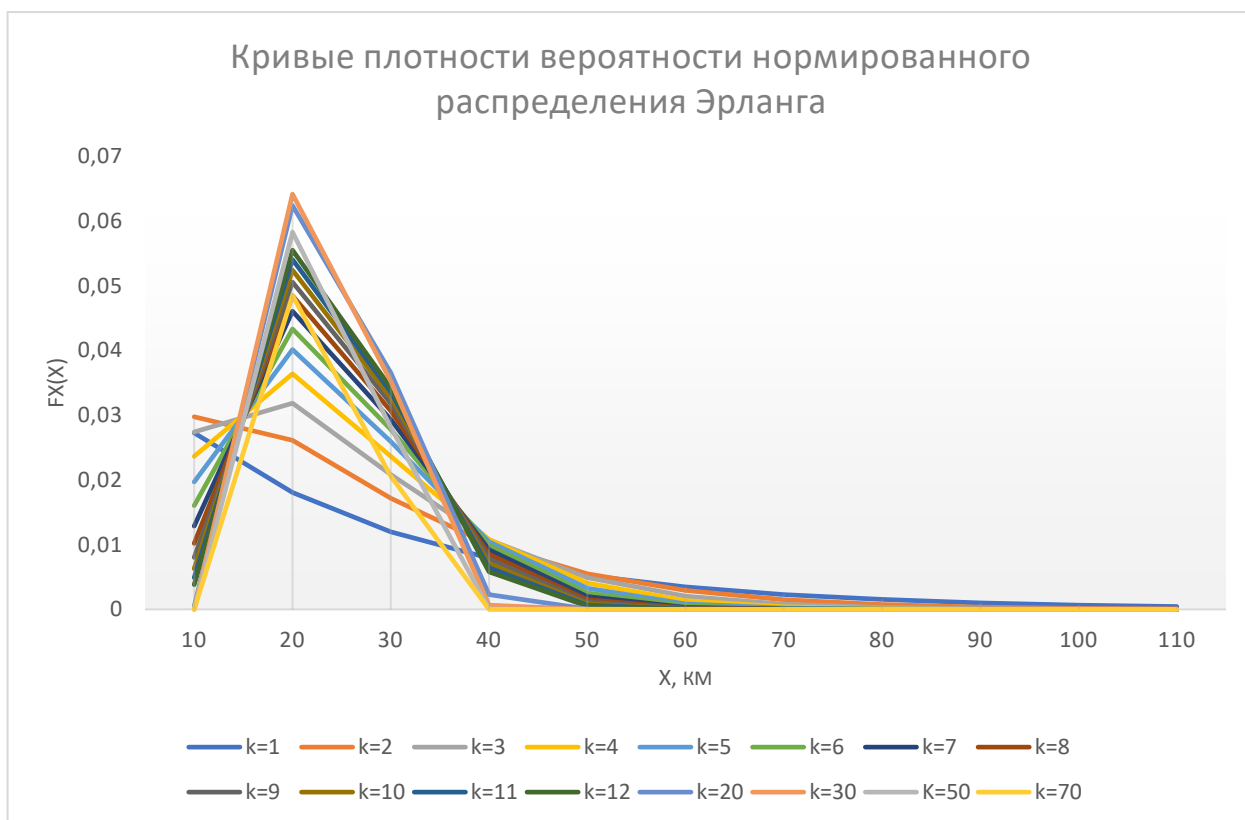
2) «Сильный дождь 20 и более см в сутки ( $m=2$ )»  $N_{1,1,2}=1$ ;  $L_{1,1,2}=15$  км;  $T_{1,1,2}=3$  ч.;

3) «Гололедно-изморозевые отложения с толщиной стенки гололеда 15 и более мм( $m=3$ )»  $N_{1,1,3}=0,1$ ;  $L_{1,1,3}=1$  км;  $T_{1,1,3}=2$  ч.;

4) «Сильный снегопад интенсивностью 20 и более мм в сутки ( $m=4$ )»  $N_{1,1,4}=1$ ;  $L_{1,1,4}=3$  км;  $T_{1,1,4}=8$  ч.

Участок «Куберле – Котельниково» имеет следующие характеристики [5]. Длина участка –  $L_{1,1}=108,9$  км с 11 перегонами. Движение по данному участку характеризуется частично-пакетным, параллельным графиком движения с пропускной способностью  $-N_{1,1}=36$  пар поездов/сут,

Расчеты производятся по формулам (2.9 и 2.14). При изменении параметра  $k$  от 1 до 70, получены различные кривые плотности вероятности нормированного распределения Эрланга. Чем больше  $k$ , тем они круче, тем меньше случайная величина отличается от своего среднего значения. Это видно из рисунка 2.1.



**Рисунок 2.1 – Кривые плотности вероятности нормированного распределения Эрланга**

В связи с этим, на практике, требуется выявить количество необходимых уточнений в расчете вероятности  $R(B_{1,1,1})$  возникновения, хотя бы одного, транспортного происшествия.

В работе [45] пропускная способность данного участка определялась по формуле:

$$N_{1,1} = \frac{2(1440 - t_{техн})\alpha_n}{(2 - \gamma_n)(t' + t'' + \tau_a + \tau_{\sigma} + t_{пз}) + (J' + J)\gamma_n} \quad (2.37)$$

где:

$t_{техн} = 60$  мин – продолжительность технологического «окна» на однопутном участке;

$\alpha_n$  – коэффициент надежности технических средств,  $\alpha_n = 0,96$ ;

$\gamma_n$  – коэффициент пакетности,  $\gamma_n = 0,5$ ;

$t' = 21$  мин,  $t'' = 17$  мин – время хода поездов по ограничивающему перегону в нечетном и четном направлениях;

$\tau_a=1\text{мин}$ ,  $\tau_b=1\text{мин}$  – станционные интервалы по станциям ограничивающего перегона;

$t_{pz}$  – суммарное время на разгон и замедление,  $t_{pz}=3\text{мин}$ ;

$J', J''$  – интервал в пакетах в четном и нечетном направлениях  $J' = J''=8\text{мин}$ .

Расчеты по формулам (2.1-2.4) при заданных исходных данных позволили получить следующие величины:

$$\Delta\bar{T}_{1,1} = 36,8\text{ мин}, V_{1,1} \approx 40\text{ км/час}, \Delta\bar{X}_{1,1} = 24,43\text{ км}.$$

Формулу (2.38) можно записать в виде:

$$N_{1,1} = \frac{(1440 - t_{\text{техн}})\alpha_n}{\frac{1}{2}[2T_{\text{оп}}(1 - \gamma_n) + \gamma_n T_{\text{п}}]} \quad (2.38)$$

где для  $\gamma_n=0,5$ ;

$T_{\text{он}} = t' + t'' + \tau_a + \tau_b + t_{pz}$  – период следования 1 пары одиночных поездов в четном и нечетном направлениях;

$T_n = T_{\text{он}} + J' + J''$  – период следования (в пакете) 2 пар поездов в четном и нечетном направлениях.

Следовательно, можно оценить максимальные и минимальные временные интервалы между поездами, движущимися в четном или в нечетном направлении, будут равны (в любой точке данного участка):

$$\Delta T_{\text{max}} = 43\text{ мин}; \Delta T_{\text{мин}} = 0,5\text{ мин}; T_{\text{п}} = 29,5\text{ мин}. \quad (2.39)$$

Тогда максимальные и минимальные пространственные интервалы между поездами, движущимися в четном или в нечетном направлении, будут равны (в любой момент времени):

$$\Delta X_{\text{max}} = V_{1,1} \times \Delta T_{\text{max}} / 60 = 28,67\text{ км} \quad (2.40)$$

$$\Delta X_{\text{мин}} = V_{1,1} \times \Delta T_{\text{мин}} / 60 = 19,67\text{ км} \quad (2.41)$$

Значения средних, максимальных и минимальных временных и пространственных интервалов между поездами, движущимися в четном или в нечетном направлении, позволят оценить значения параметров  $k_t$  и  $k_x$

нормированных распределений Эрланга. Используя формулы (2.11), (2.12), (2.16) и (2.17), получим:

$$M[T] = \Delta \bar{T}_{1,1} / 60, \quad \sqrt{D[T]} = (\Delta T_{\max} - \Delta T_{\min}) / 60;$$

$$M[X] = \Delta \bar{X}_{1,1}, \quad \sqrt{D[X]} = \Delta X_{\max} - \Delta X_{\min};$$

$$k_x = \frac{M[X]^2}{D[X]} \approx 7, \quad k_t = \frac{M[T]^2}{D[T]} \approx 7. \quad (2.42)$$

Для участка «Куберле– Котельниково» предлагается оценить значения условных вероятностей по времени, по масштабу для ОПЯ:

1) «Ветер со скоростью 25 и более м/с ( $m=1$ )»  $N_{1,1,1}=1$ ;  $L_{1,1,1}=10$  км;  
 $T_{1,1,1}=3$  ч.

При  $k_x$  и  $k_t=7$

$$P''(C_{1,1,1}) = P'(C_{1,1,1}) = 0,000308$$

$$P''(T_{1,1,1} | C_{1,1,1}) = P'(T_{1,1,1} | C_{1,1,1}) = 0,99$$

$$P''(L_{1,1,1} | C_{1,1,1}) = P'(L_{1,1,1} | C_{1,1,1}) = 0,02664$$

$$P''(D_{1,1,1} | C_{1,1,1}) = P'(D_{1,1,1} | C_{1,1,1}) = 0,99 \times 0,02664 = 0,0263736$$

$$R''(D_{1,1,1} | C_{1,1,1}) = R'(D_{1,1,1} | C_{1,1,1}) = 0,000308 \times 0,0263736 = 8,21 \cdot 10^{-6}$$

$$R(B_{1,1,1}) = 8,21 \cdot 10^{-6} + 8,21 \cdot 10^{-6} - 8,21 \cdot 10^{-6} \times 8,21 \cdot 10^{-6} = 1,64 \cdot 10^{-5}$$

2) «Сильный дождь 20 и более см в сутки ( $m=2$ )»  $N_{1,1,2}=1$ ;  $L_{1,1,2}=15$  км;  
 $T_{1,1,2}=3$  ч.

При  $k_x$  и  $k_t=7$

$$P''(C_{1,1,2}) = P'(C_{1,1,2}) = 0,000308$$

$$P''(T_{1,1,2} | C_{1,1,2}) = P'(T_{1,1,2} | C_{1,1,2}) = 0,99$$

$$P''(L_{1,1,2} | C_{1,1,2}) = P'(L_{1,1,2} | C_{1,1,2}) = 0,141824$$

$$P''(D_{1,1,2} | C_{1,1,2}) = P'(D_{1,1,2} | C_{1,1,2}) = 0,99 \times 0,141824 = 0,14040576$$

$$R''(D_{1,1,2} | C_{1,1,2}) = R'(D_{1,1,2} | C_{1,1,2}) = 0,000308 \times 0,14040576 = 4,37 \cdot 10^{-5}$$

$$R(B_{1,1,2}) = 4,37 \cdot 10^{-5} + 4,37 \cdot 10^{-5} - 4,37 \cdot 10^{-5} \times 4,37 \cdot 10^{-5} = 8,74 \cdot 10^{-5}$$



3) «Гололедно-изморозевые отложения с толщиной стенки гололеда 15 и более мм ( $m=3$ )»  $N_{1,1,3}=0,1$ ;  $L_{1,1,3}=1$  км;  $T_{1,1,3}=2$  ч.

$$P''(C_{1,1,3}) = P'(C_{1,1,3}) = 3,08 \cdot 10^{-5}$$

$$P''(T_{1,1,3} / C_{1,1,3}) = P'(T_{1,1,3} / C_{1,1,3}) = 0,99$$

$$P''(L_{1,1,3} / C_{1,1,3}) = P'(L_{1,1,3} / C_{1,1,3}) = 2,38 \cdot 10^{-8}$$

$$P''(D_{1,1,3} / C_{1,1,3}) = P'(D_{1,1,3} / C_{1,1,3}) = 0,99 \times 2,38 \cdot 10^{-8} = 2,35 \cdot 10^{-8}$$

$$R''(D_{1,1,3} C_{1,1,3}) = R'(D_{1,1,3} C_{1,1,3}) = 3,08 \cdot 10^{-5} \times 2,35 \cdot 10^{-8} = 7,33 \cdot 10^{-13}$$

$$R(B_{1,1,3}) = 7,33 \cdot 10^{-13} + 7,33 \cdot 10^{-13} - 7,33 \cdot 10^{-13} \times 7,33 \cdot 10^{-13} = 1,46 \cdot 10^{-12}$$

4) «Сильный снегопад интенсивностью 20 и более мм в сутки ( $m=4$ )»  
 $N_{1,1,4}=1$ ;  $L_{1,1,4}=3$  км;  $T_{1,1,4}=8$  ч.

$$P''(C_{1,1,4}) = P'(C_{1,1,4}) = 0,000308$$

$$P''(T_{1,1,4} / C_{1,1,4}) = P'(T_{1,1,4} / C_{1,1,4}) = 1$$

$$P''(L_{1,1,4} / C_{1,1,4}) = P'(L_{1,1,4} / C_{1,1,4}) = 3,17 \cdot 10^{-5}$$

$$P''(D_{1,1,4} / C_{1,1,4}) = P'(D_{1,1,4} / C_{1,1,4}) = 1 \times 3,17 \cdot 10^{-5} = 3,17 \cdot 10^{-5}$$

$$R''(D_{1,1,4} C_{1,1,4}) = R'(D_{1,1,4} C_{1,1,4}) = 0,000308 \times 3,17 \cdot 10^{-5} = 9,78 \cdot 10^{-9}$$

$$R(B_{1,1,4}) = 9,78 \cdot 10^{-9} + 9,78 \cdot 10^{-9} - 9,78 \cdot 10^{-9} \times 9,78 \cdot 10^{-9} = 1,95 \cdot 10^{-8}$$

В результате оценки риска по формулам (2.32-2.33) были получены финансовые показатели в случае реализации аварии в результате опасных природных явлений: «Ветер со скоростью 23 и более м/с ( $m=1$ )», «Сильный дождь 20 и более см в сутки ( $m=2$ )», «Гололедно-изморозевые отложения с толщиной стенки гололеда 15 и более мм ( $m=3$ )», «Сильный снегопад интенсивностью 20 и более мм в сутки ( $m=4$ )»..

$$Y(B) = 1\,570\,000 \text{ руб.}$$

$$R^{\exists}(B_{1,1,1}) = 1\,570\,000 \times 1,64 \cdot 10^{-5} = 25,74 \text{ руб.}$$

$$R^{\exists}(B_{1,1,2}) = 1\,570\,000 \times 8,74 \cdot 10^{-5} = 137,2 \text{ руб.}$$

$$R^{\exists}(B_{1,1,3}) = 1\,570\,000 \times 1,46 \cdot 10^{-12} = 2,29 \cdot 10^{-6} \text{ руб.}$$

$$R^{\exists}(B_{1,1,4}) = 1\,570\,000 \times 1,95 \cdot 10^{-8} = 0,03 \text{ руб.}$$

Направления основных железнодорожных магистралей определяются концентрированными перевозками экспортно-импортных и транзитных грузопотоков, транспортируемых через систему морских портов на Черном и Азовском морях:

Ростов-на-Дону - Туапсе;

Ростов-на-Дону - Новороссийск;

Ростов-на-Дону - Кавказ;

Аксарайская - Новороссийск;

Волгоград - Тамань;

Наиболее загруженными на сети железных дорог СКЖД являются направления: Крымская – Новороссийск и Чертково-Миллерово -Лихая - Ростов-на-Дону.

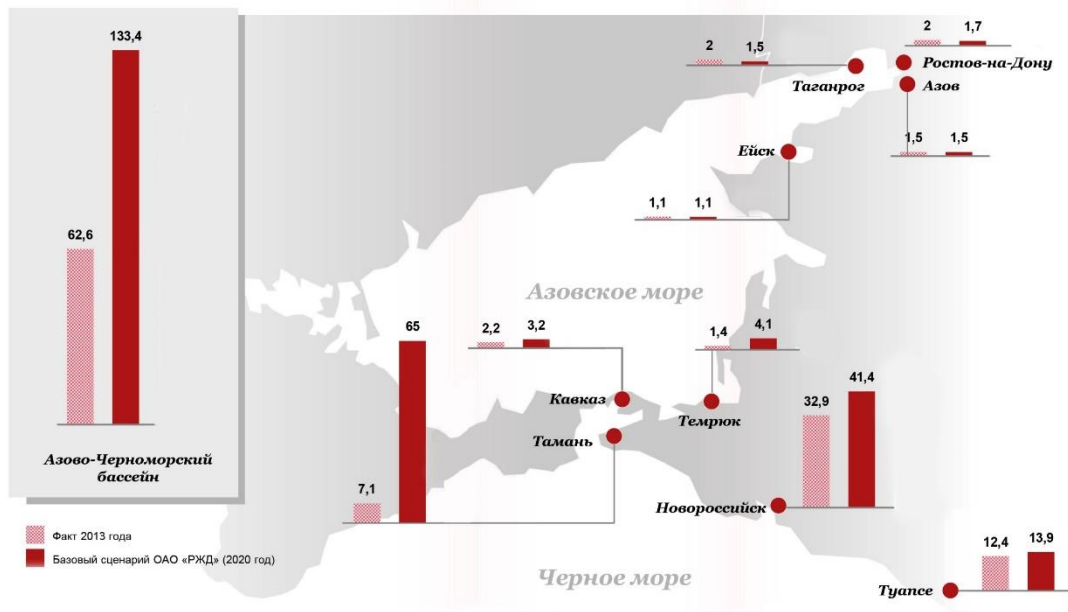
Согласно Распоряжению Правительства РФ от 30 сентября 2018 г. № 2101-р на полигоне СКЖД реализуется комплексный инвестиционный проект «Развитие и обновление железнодорожной инфраструктуры на подходах к портам Азово-Черноморского бассейна» [44,47,135]. Цель проекта достижение объема перевозок грузов 120-130 млн тонн в год., обеспечение межрегиональных транспортно-экономических связей промышленных центров Урала и Поволжья с районами Северного Кавказа и портами Азово-Черноморского бассейна. Ожидается переключение грузового движения в обход Краснодарского узла на участок Тимашевская – Крымская. Согласно проектной документации и техническому заданию [44] предусмотрено строительство второго главного пути на участке Тихорецкая – Газырь выполняется для повышения пропускной способности участка сети Котельниково – Крымская в связи с планируемым увеличением объемов перевозок, вызванным строительством нового портового хозяйства в бухте Железный Рог, а также организацией железнодорожного сообщения с Крымским Федеральным округом и перспективным развитием Новороссийского морского порта (рисунок 2.2) [47].

Из рисунка 2.3 видно, что основной грузопоток направлен в три крупных порта Азово-Черноморского бассейна. Это порт «Новороссийск», где в соответствии с базовым сценарием компании ОАО РЖД ожидается годовой оборот грузов 41,4 млн. т., порт «Тамань» - 65 млн. т. и порт «Туапсе» - 13,9 млн. т. [106]. Основной грузопоток будет направлен через порт «Тамань». Следует отметить, что порт Новороссийск в настоящее время является лидером по перевалке импортных порожних контейнеров.



**Рисунок 2.2 – Развитие ж/д инфраструктуры на подходах к портам Азово-Черноморского бассейна**

**Сравнение перспективных грузопотоков, проходящих через порты Азово-Черноморского бассейна в 2020 году, млн т**



**Рисунок 2.3 – Сравнение перспективных грузопотоков, проходящих через порты Азово-Черноморского бассейна**

Для определения степени безопасности транспортирования контейнерных поездов к портам Азово-Черноморского бассейна было выбрано 5 маршрутов различного класса, грузонапряженности пути, а также сложности плана пути. Выбранные маршруты приведены на карте (рисунок 2.4).

Маршруты подобраны таким образом, чтобы до основных портов Азово-Черноморского бассейна подвижной состав мог достичь различными способами.

Маршрут №1 Морозовская – Лихая – Замчалово – Звереве – Горная – Кизитеринка – Батайск – Староминская – Тимашевская - разъезд 9.км – Крымская – Новороссийск показан на рисунке 3.2 голубым цветом.

Маршрут №2 - реконструируемый Котельниково – Тихорецкая – Козырьки – Величковка – 9 км – Юровский – Красная стрела – Тамань - Керчь показан на рисунке 5.3 зеленом цветом.

Маршрут №3 Морозовская - Лихая – Замчалово – Звереве – Горная – Кизитеринка -Ростов гл. - Заречная – Батайск - Койсуг – Каяла - Тихорецкая -

Краснодар -Энем - Крымская-9 км. - Юровский - Красная стрела - Тамань-Керчь показан на рисунке 5.3 красным цветом.

Маршрут №4 Невинномысская - Армавир Ростовский – Кавказская-Краснодар – Энем – Кривенковская – Туапсе показан на рисунке 5.3 фиолетовым цветом.

Маршрут №5 Невинномысская - Армавир Ростовский – Курганная – Белореченская – Комсомольская – Кривенковская – Туапсе показан на рисунке 2.4 синим цветом.



**Рисунок 2.4 – Маршруты перевозки грузов к портам Азово-Черноморского бассейна**

В настоящее время на полигоне Северо-Кавказской железной дороги на однопутных участках размеры движения составляют до 40 пар поездов в сутки, большие размеры движения отмечаются только на участках с преобладающим пригородным движением. Однопутные участки с двухпутными вставки позволяют обеспечить пропускную способность в диапазоне 40-60 пар в сутки.

Пропускная способность свыше 60 пар поездов в сутки обеспечивается только на двухпутных участках. В таблице 2.1 представлены перспективные целевые размеры движения поездов для реконструируемого маршрута с обходом Краснодарского узла, ожидаемые компанией ОАО РЖД к 2020 году.

**Таблица 2.1. – Перспективные целевые размеры движения поездов для реконструируемого маршрута Котельниково – Керчь [44].**

Расчетные годы	Размеры движения, пар. поездов в сут., грузовые/пасс., приг.	Потребная пропускная способность	Пропускная способность после строительства второго пути	Резерв пропускной способности
2016	52 (фактически исполненные)	-	-	-
2020	80/21	114	154	40
2025	85/23	122	154	32

Одним из ключевых этапов процесса анализа риска является анализ частот нежелательных для железнодорожного транспорта событий, для этого в ходе работы были проанализированы следующие источники метеорологической информации:

- для маршрута №1 - данные метеостанций Северо-Кавказского управления по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды» [125], находящихся на маршруте, а именно: Морозовск (Идентификатор локальный – 34545); Белая Калитва (Идентификатор локальный - 34539); Шахты (Идентификатор локальный - 34635); Ростов-на-Дону (Идентификатор локальный - 34630); Староминская (Идентификатор локальный - 34729); Каневская (Идентификатор локальный - 34825); Тимашевск (Идентификатор локальный – 34922); Славянск-на-Кубани (Идентификатор локальный – 34924); Крымск (Идентификатор локальный - 37002);

- для маршрута №2 - данные метеостанций Северо-Кавказского управления по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды» [125], находящихся на маршруте, а именно: Котельниково (Идентификатор локальный - 34655); Зимовники (Идентификатор локальный - 34743); Белая глина

(Идентификатор локальный - 34836); Тихорецк (Идентификатор локальный - 34838); Кореновск (Идентификатор локальный -34926); Крымск (Идентификатор локальный - 37002). Для оценки ветрового режима Кречинского пролива были использованы наблюдения 34 береговых гидрометеорологических станций за период с 1936 по 1966 г., а также наблюдения, производившиеся на транспортных, торговых, гидрографических и экспедиционных судах за период с 1880 по 1966 г. [112];

- для маршрута №3 - данные метеостанций Северо-Кавказского управления по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды» [125], находящихся на маршруте, а именно: Морозовск (Идентификатор локальный – 34545); Белая Калитва (Идентификатор локальный - 34539); Шахты (Идентификатор локальный - 34635); Ростов-на-Дону (Идентификатор локальный - 34630); Кущевская (Идентификатор локальный - 34737); Сосыка (Идентификатор локальный - 34834); Тихорецк (Идентификатор локальный - 34838); Кореновск (Идентификатор локальный - 34926); Краснодар (Идентификатор локальный – 34927); Крымск (Идентификатор локальный - 37002).

- для маршрута №4 - данные метеостанций Северо-Кавказского управления по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды» [125], находящихся на маршруте, а именно: Невинномысск (Идентификатор локальный – 37036); Армавир (Идентификатор локальный - 37031); Краснодар (Идентификатор локальный – 34927); Горный (Идентификатор локальный - 37017).

- для маршрута №5 - данные метеостанций Северо-Кавказского управления по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды» [125], находящихся на маршруте, а именно: Невинномысск (Идентификатор локальный – 37036); Армавир (Идентификатор локальный - 37031); Белореченск (Идентификатор локальный – 37013); Горный (Идентификатор локальный - 37017).

В таблице 2.2 приведены частоты неблагоприятных природных явлений для маршрута №1 Морозовская – Лихая – Замчалово – Звереве – Горная –

Кизитеринка – Батайск – Староминская – Тимашевская - разъезд 9.км – Крымская – Новороссийск

**Таблица 2.2. – Частоты характерных опасных явлений окружающей среды природного характера для территории маршрута Морозовская – Новороссийск Северо-Кавказской железной дороги**

№ п/п	Наименование участка	Ветер	Сильный дождь	Наводнение	Сели, Оползни, обвалы	Гололедно-изморозевые отложения с толщиной стенки гололеда 15 и более мм	Сильный снегопад интенсивностью 20 и более мм в сутки
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Морозовская-Лихая	1	1	0	0	0,1	2
2	Лихая-Замчалово	1	1	0	0	0,1	2
3	Замчалово-Звереве	1	1	0	0	0,1	2
4	Звереве-Горная	1	1	0	0	0,1	2
5	Горная-Кизитеринка	2	1	0	0	0,1	2
6	Кизитеринка-Батайск	2	1	0	0	0,1	2
7	Батайск-Староминская	2	2	0	0	0,1	2
8	Староминская-Тимашевская	2	2	0	0	0,2	2
9	Тимашевская-9.км	2	2	0	0	0,2	2
10	9 км.-Крымская	2	2	0,5	0	0,2	2
11	Крымская-Новороссийск	15	2	0,5	0,25	0,2	2

В таблице 2.3 приведены частоты неблагоприятных природных явлений для маршрута №2 - реконструируемый Котельниково – Тихорецкая – Козырки – Величковка – 9 км – Юровский – Красная стрела – Тамань - Керчь.



**Таблица 2.3 – Частоты характерных опасных явлений окружающей среды природного характера для территории маршрута Котельниково – Керчь Северо-Кавказской железной дороги**

№ п/п	Наименование участка	Ветер	Сильный дождь	Наводнение	Гололедно-изморозевые отложения с толщиной стенки гололеда 15 и более мм	Сильный снегопад интенсивностью 20 и более мм в сутки
1	2	3	4	5	6	7
1	Котельниково -Куберле	1	1	0	0,1	1
2	Куберле-Сальск	1	1	0	0,1	1
3	Сальск- Тихорецкая	1	1	0	0,1	1
4	Тихорецкая -Козырьки	2	1	0	0,1	2
5	Козырьки - Величковка	2	1	0	0,1	2
6	Величковка -9 км	2	1	0,5	0,2	2
7	9 км.-Юровский	2	2	0,5	0,2	2
8	Юровский - Красная стрела	2	2	0,5	0,2	2
9	Красная стрела-Тамань	2	2	0,5	0,2	2
10	Тамань-Керчь	15	2	0,5	0,2	2

В таблице 2.4 приведены частоты неблагоприятных природных явлений для маршрута №3 - 3 Морозовска - Лихая – Замчалово – Зверевое – Горная – Кизитеринка -Ростов гл. - Заречная – Батайск - Койсуг – Каяла - Тихорецкая - Краснодар -Энем - Крымская-9 км. - Юровский - Красная стрела - Тамань-Керчь.

**Таблица 2.4 – Частоты характерных опасных явлений окружающей среды природного характера для территории маршрута Морозовская – Керчь Северо-Кавказской железной дороги**

№ п/п	Наименование участка	Ветер	Сильный дождь	Наводнение	Гололедно-изморозевые отложения с толщиной стенки гололеда 15 и более мм	Сильный снегопад интенсивностью 20 и более мм в сутки
1	2	3	4	5	6	7
1	Морозовска-Лихая	1	1	0	0,1	2
2	Лихая-Замчалово	1	1	0	0,1	2
3	Замчалово-Звереве	1	1	0	0,1	2
4	Звереве-Горная	1	1	0	0,1	2
5	Горная-Кизитеринка	2	1	0	0,1	2
6	Кизитеринка-Ростов гл.	2	1	0	0,1	2
7	Ростов гл.-Заречная	2	1	0	0,1	2
8	Заречная-Батайск	2	1	0	0,1	2
9	Батайск-Койсуг	2	1	0	0,1	2
10	Койсуг-Каяла	2	1	0	0,1	2
11	Каяла-Тихорецкая	2	1	0	0,1	2
12	Тихорецкая Краснодар	2	1	0,5	0,2	2
13	Краснодар -Энем	2	2	0,5	0,2	2
14	Энем-Крымская	2	2	0,5	0,2	2

Продолжение Таблицы 2.4

1	2	5	6	7	8	9
15	Крымская-9 км.	2	2	0,5	0,2	2
16	9 км.-Юровский	2	2	0,5	0,2	2
17	Юровский - Красная стрела	2	2	0,5	0,2	2
18	Красная стрела-Тамань	2	2	0,5	0,2	2
19	Тамань-Керчь	15	2	0,5	0,2	2

В таблице 2.5 приведены частоты неблагоприятных природных явлений для маршрутов №4 Невинномысская - Армавир Ростовский – Кавказская-Краснодар – Энем – Кривеньковская – Туапсе и №5 Невинномысская - Армавир Ростовский – Курганная – Белореченская – Комсомольская – Кривеньковская. Протяжённость маршрута №4 - 429 км, №5 – 306 км.

**Таблица 2.5 – Частоты характерных опасных явлений окружающей среды природного характера для территории маршрутов Невинномысская-Туапсе Северо-Кавказской железной дороги (через Краснодар)**

№ п/п	Наименование участка	Ветер	Сильный дождь	Наводнение	Сели, Оползни, обвалы	Гололедно-изморозевые отложения с толщиной стенки гололеда 15 и более мм	Сильный снегопад интенсивностью 20 и более мм в сутки
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Невинномысская -Армавир Ростовский	2	2	0,5	0	0,2	2
2	Армавир Ростовский-Кавказская	2	2	0,5	0	0,2	2
3	Кавказская-Краснодар	2	2	0,5	0	0,2	2
4	Краснодар - Энем	2	2	0,5	0	0,2	2
5	Энем-Кривеньковская	2	2	0,5	0,1	0,2	2
6	Кривеньковская-Туапсе	10	2	0,5	0,25	0,2	1

**Таблица 2.6 – Частоты характерных опасных явлений окружающей среды природного характера для территории маршрутов Невинномысская-Туапсе Северо-Кавказской железной дороги**

№ п/п	Наименование участка	Ветер	Сильный дождь	Наводнение	Сели, Оползни, обвалы	Гололедно-изморозевые отложения с толщиной стенки гололеда 15 и более мм	Сильный снегопад интенсивностью 20 и более мм в сутки
1	2	3	4	5	6	7	8
2	Невинномысская -Армавир Ростовский	2	2	0,5	0	0,2	2
3	Армавир Ростовский-Курганная	2	2	0,5	0	0,2	2
4	Курганная - Белореченская	2	2	0,5	0	0,2	2
5	Белореченская-Комсомольская	2	2	0,5	0,25	0,2	2
6	Комсомольская -Кривенковская	2	2	0,5	0,25	0,2	2
7	Кривенковская-Туапсе	10	2	0,5	0,25	0,2	1

Для оценки риска хотя бы одного транспортного происшествия при движении поездов по выбранным маршрутам Северо-Кавказской железной дороги, вызванного всеми возможными опасными состояниями объектов окружающей среды были определены  $\varphi_m$  - частоты возникновения ЧС  $m$ -го вида среди других видов ЧС,  $\sum_{m=1}^M \varphi_m = 1$ .

Снижение рисков транспортных происшествий может быть достигнуто различными способами. Наиболее очевидным способом является анализ маршрутов перевозок. В ряде исследований, проводимыми зарубежными учеными [143,149] была предпринята попытка оценить возможности повышения безопасности перевозки опасных грузов путем перенаправления опасных материалов по альтернативному маршруту. Например, на маршруте Нью-Йорк-Шарлотт альтернативный маршрут привел к снижению риска на 91%, но за счет увеличения длины маршрута следования на 25 %. Однако, в некоторых случаях не

представляется возможным использовать альтернативный маршрут ввиду особенностей географического положения и рельефа местности региона.

Участок Крымская – Новороссийск был и остается единственной железнодорожной линией к порту Новороссийск. Главной особенностью этого участка являются Новороссийские железнодорожные тоннели, они расположены в месте пересечения железнодорожной линией Главного Кавказского хребта. В настоящее время Новороссийские тоннели, в связи с ростом грузооборота Новороссийского порта, являются одним из самых напряжённых и критических участков Северо-Кавказской железной дороги. Кроме этого, климатической особенностью участка Крымская-Новороссийск является частая повторяемость сильных северо-восточных (норд-ост или «бора») и южных («моряк») ветров. Порой скорость ветров этих направлений может достигать 35 м/с, а при порывах может доходить до 80 м/с.

Таким образом, в случае невозможности перенаправления поездов с опасными грузами по альтернативному маршруту, необходимо проводить идентификацию риска, определение его уровня и обработку риска в соответствии с требованиями ГОСТ 33433-2015 [30]. На рисунке 2.5 можно видеть схему управления рисками.

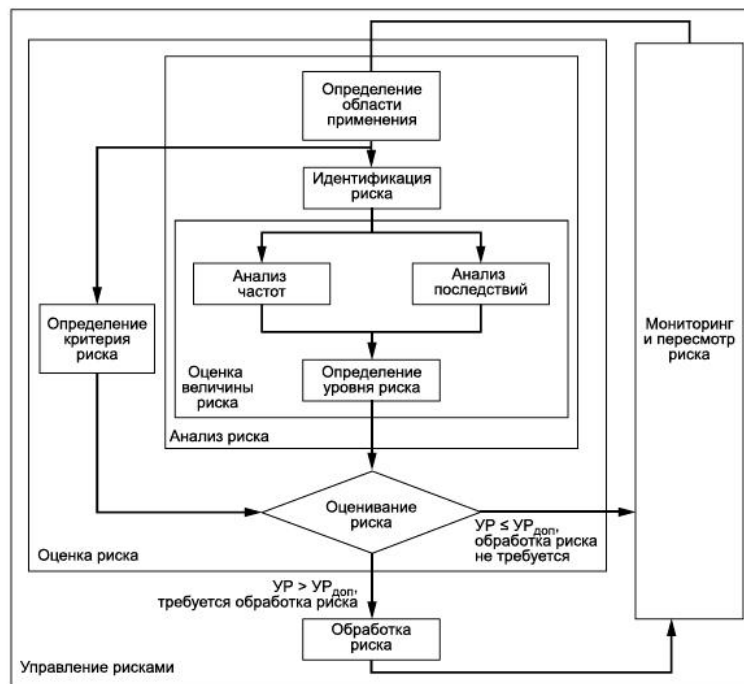


Рисунок 2.5 - Процесс управления рисками [30]

В соответствии с [30] были получены частоты (вероятности) происходящих событий. Результаты расчета приведены в таблицах 2.7-2.10.

Для Маршрута №1 Морозовская-Новороссийск вероятность хотя бы одного транспортного происшествия при движении поездов составила  $1,34 \cdot 10^{-3}$ , что в соответствии с типовыми уровнями частот возникновения событий можно охарактеризовать как постоянное наличие опасности.

Для Маршрута №2 Котельниково-Керчь вероятность хотя бы одного транспортного происшествия при движении поездов составила  $5,35 \cdot 10^{-4}$ , для Маршрута №3 Морозовская – Керчь -  $8,39 \cdot 10^{-4}$ , для Маршрута №4 Невинномысская Туапсе (через Краснодар) -  $4,92 \cdot 10^{-4}$ , для Маршрута №5 Невинномысская-Туапсе -  $3,03 \cdot 10^{-4}$ . Такие вероятности для этих маршрутов, соответствии с типовыми уровнями частот возникновения событий, можно охарактеризовать, как частые.

Используя метод дисконтирования (формула 2.33) произведем анализ последствий от трех видов нарушения безопасности движения (НБД) поездов: крушение –  $B_1$ , авария –  $B_2$ ; транспортное происшествие (сход или столкновение поезда без последствий крушения или аварии)- $B_3$  в пересчете на 2020 год анализа риска, получим:

$$Y(B_1)=2 \cdot 10^6 \text{руб.} \cdot (1+1,2)^{2020-2000}=19\ 292\ 600 \text{руб.},$$

$$Y(B_2)=0,5 \cdot 10^6 \text{руб.} \cdot (1+1,2)^{2020-2000}=4\ 823\ 146 \text{руб.},$$

$$Y(B_3)=0,5 \cdot 10^6 \text{руб.} \cdot (1+1,2)^{2020-2000}=67\ 530 \text{руб.}.$$

Используя уравнение (2.34) получим количественное выражение материального ущерба, нанесенного подвижному составу и инфраструктуре железнодорожного транспорта в рублях:

$$Y(B)=0,05 \cdot 19\ 292\ 600 \text{руб.} + 0,114 \cdot 4\ 823\ 146 \text{руб.} + 0,82 \cdot 67\ 530 \text{руб.} = 1\ 570\ 000 \text{руб.}$$

Полученное значение 1 570 тыс. руб. в пересчете на минимальные размеры оплаты труда составит 139 МРОТ, что в соответствии с типовыми уровнями тяжести последствий может быть классифицирован, как незначительный уровень тяжести последствий.

**Таблица 2.7 – Результаты расчёта эколого-экономической оценки аварийного риска от ОПЯ для маршрута Морозовская – Новороссийск Северо-Кавказской железной дороги**

Наименование участка	Ветер со скоростью 25 и более м/с	Сильный дождь 20 и более см в сутки	Наводнение	Гололедно-изморозевые отложения с толщиной стенки гололеда 15 и более мм	Сильный снегопад интенсивностью 20 и более мм в сутки	Вероятность $R^M_{i,j}$	Риск по участку, руб	
	m =1	m =2	m =3	m =5	m =6			
i	Маршрут №1 Морозовская – Новороссийск							
1	Морозовская-Лихая	$1,4 \cdot 10^{-5}$	$8,2 \cdot 10^{-5}$	0	$8,2 \cdot 10^{-6}$	$3,2 \cdot 10^{-8}$	$2,3 \cdot 10^{-5}$	37,54
2	Лихая-Замчалово	$4,1 \cdot 10^{-5}$	$4,9 \cdot 10^{-5}$	0	$4,9 \cdot 10^{-6}$	$2,3 \cdot 10^{-6}$	$2,3 \cdot 10^{-5}$	36,62
3	Замчалово-Звереве	$4,5 \cdot 10^{-5}$	$5,8 \cdot 10^{-5}$	0	$5,7 \cdot 10^{-6}$	$2 \cdot 10^{-6}$	$2,6 \cdot 10^{-5}$	41,29
4	Звереве-Горная	$1,25 \cdot 10^{-4}$	$1,59 \cdot 10^{-4}$	0	$1,5 \cdot 10^{-5}$	$5,6 \cdot 10^{-6}$	$7,2 \cdot 10^{-5}$	113,71
5	Горная-Кизитеринка	$6 \cdot 10^{-4}$	$7,5 \cdot 10^{-4}$	0	$3,7 \cdot 10^{-5}$	$1,4 \cdot 10^{-5}$	$3,8 \cdot 10^{-5}$	610,29
6	Кизитеринка-Батайск	$5,5 \cdot 10^{-6}$	$2,5 \cdot 10^{-5}$	0	$1,2 \cdot 10^{-6}$	$8,2 \cdot 10^{-9}$	$7,2 \cdot 10^{-6}$	11,36
7	Батайск-Староминская	$2,5 \cdot 10^{-4}$	$5,9 \cdot 10^{-4}$	0	$2,9 \cdot 10^{-5}$	$1,1 \cdot 10^{-6}$	$2,7 \cdot 10^{-4}$	437,62
8	Староминская-Тимашевская	$2,5 \cdot 10^{-4}$	$6,2 \cdot 10^{-4}$	0	$6,2 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-6}$	$2,8 \cdot 10^{-4}$	445,60
9	Тимашевская-9.км	$6 \cdot 10^{-5}$	$2,6 \cdot 10^{-4}$	0	$2,6 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-7}$	$1 \cdot 10^{-4}$	165,50
10	9 км.-Крымская	$4,6 \cdot 10^{-6}$	$2 \cdot 10^{-5}$	$5 \cdot 10^{-6}$	$2 \cdot 10^{-6}$	$7,61506 \cdot 10^{-9}$	$7,79 \cdot 10^{-6}$	12,23
11	Крымская-Новороссийск	$3 \cdot 10^{-4}$	$1,5 \cdot 10^{-4}$	$3,8 \cdot 10^{-5}$	$1,53 \cdot 10^{-5}$	$8,25072 \cdot 10^{-8}$	$2,45 \cdot 10^{-4}$	384,37 Р
	Вероятность $R^l_{j,m}$	$1,7 \cdot 10^{-3}$	$2,7 \cdot 10^{-3}$	$4,3 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-4}$	$2,7 \cdot 10^{-5}$	$1,4 \cdot 10^{-3}$	2 294,77

Таблица 2.8 – Результаты расчёта эколого-экономической оценки аварийного риска от ОПЯ для маршрута Котельниково – Керчь Северо-Кавказской железной дороги

Наименование участка	Ветер со скоростью 25 и более м/с	Сильный дождь 20 и более см в сутки	Наводнение	Гололедно-изморозевые отложения с толщиной стенки гололеда 15 и более мм	Сильный снегопад интенсивностью 20 и более мм в сутки	Вероятность, $R^M_{ij}$	Риск по участку, руб	
	m =1	m =2	m =3	m =5	m =6			
i	Маршрут №2 Котельниково – Керчь							
12	Котельниково -Куберле	$1,6 \cdot 10^{-5}$	$8,8 \cdot 10^{-5}$	0	$8,1 \cdot 10^{-6}$	$1,9 \cdot 10^{-8}$	$3,4 \cdot 10^{-5}$	53,44
13	Куберле-Сальск	$1,7 \cdot 10^{-5}$	$8,3 \cdot 10^{-5}$	0	$8,3 \cdot 10^{-6}$	$2,1 \cdot 10^{-8}$	$3,2 \cdot 10^{-5}$	51,65
14	Сальск-Тихорецкая	$1,1 \cdot 10^{-5}$	$6,7 \cdot 10^{-5}$	0	$6,7 \cdot 10^{-6}$	$1,2 \cdot 10^{-8}$	$2,5 \cdot 10^{-5}$	40,4
15	Тихорецкая - Козырьки	$1,8 \cdot 10^{-4}$	$2,1 \cdot 10^{-4}$	0	$2,1 \cdot 10^{-5}$	$9,4 \cdot 10^{-7}$	$1,1 \cdot 10^{-4}$	179,76
16	Козырьки - Величковка	$7 \cdot 10^{-5}$	$1,5 \cdot 10^{-4}$	0	$1,2 \cdot 10^{-5}$	$1,5 \cdot 10^{-7}$	$5,2 \cdot 10^{-5}$	82,41
17	Величковка -9 км	$4 \cdot 10^{-4}$	$3,4 \cdot 10^{-4}$	$1,7 \cdot 10^{-4}$	$6,9 \cdot 10^{-5}$	$3,9 \cdot 10^{-6}$	$2,2 \cdot 10^{-4}$	348,88
18	9 км.- Юровский	$2 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-4}$	$2,5 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-5}$	$2,5 \cdot 10^{-8}$	$3,9 \cdot 10^{-5}$	61,18
19	Юровский - Красная стрела	$5 \cdot 10^{-6}$	$2,5 \cdot 10^{-5}$	$6,6 \cdot 10^{-6}$	$2,5 \cdot 10^{-6}$	$6,5 \cdot 10^{-9}$	$9,7 \cdot 10^{-6}$	15,37
20	Красная стрела- Тамань	$1,6 \cdot 10^{-5}$	$8,2 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-5}$	$8,2 \cdot 10^{-6}$	$2 \cdot 10^{-8}$	$3,1 \cdot 10^{-5}$	49,34
21	Тамань- Керчь	$4 \cdot 10^{-5}$	$2,7 \cdot 10^{-5}$	$6,7 \cdot 10^{-6}$	$2,7 \cdot 10^{-6}$	$6,8 \cdot 10^{-9}$	$3,3 \cdot 10^{-5}$	52,54
Вероятность $R^l_{j,m}$		$7,8 \cdot 10^{-4}$	$1,1 \cdot 10^{-3}$	$2,3 \cdot 10^{-4}$	$1,5 \cdot 10^{-4}$	$5,1 \cdot 10^{-6}$	$5,9 \cdot 10^{-4}$	840,39



**Таблица 2.9 – Результаты расчёта эколого-экономической оценки аварийного риска от ОПЯ для маршрута Морозовская – Керчь Северо-Кавказской железной дороги**

Наименование участка	Ветер со скоростью 25 и более м/с	Сильный дождь 20 и более см в сутки	Наводнение	Гололедно-изморозевые отложения с толщиной стенки гололеда 15 и более мм	Сильный снегопад интенсивностью 20 и более мм в сутки	Вероятность, $R_{ij}^M$	Риск по участку, руб	
	m =1	m =2	m =3	m =5	m =6			
i	Маршрут №3 Морозовская – Керчь							
22	Морозовская-Лихая	$1,4 \cdot 10^{-5}$	$8,2 \cdot 10^{-5}$	0	$8,2 \cdot 10^{-6}$	$3,2 \cdot 10^{-8}$	$2,3 \cdot 10^{-5}$	37,54
23	Лихая-Замчалово	$4,1 \cdot 10^{-5}$	$4,9 \cdot 10^{-5}$	0	$4,9 \cdot 10^{-6}$	$2,3 \cdot 10^{-6}$	$2,3 \cdot 10^{-5}$	36,62
24	Замчалово-Звереве	$4,5 \cdot 10^{-5}$	$5,7 \cdot 10^{-5}$	0	$5,7 \cdot 10^{-6}$	$2 \cdot 10^{-6}$	$2,6 \cdot 10^{-5}$	41,29
25	Звереве-Горная	$1,2 \cdot 10^{-4}$	$1,5 \cdot 10^{-4}$	0	$1,5 \cdot 10^{-5}$	$5,6 \cdot 10^{-6}$	$7,2 \cdot 10^{-5}$	113,71
26	Горная-Кизитеринка	$6 \cdot 10^{-4}$	$7,5 \cdot 10^{-4}$	0	$3,7 \cdot 10^{-5}$	$1,4 \cdot 10^{-5}$	$3,8 \cdot 10^{-4}$	610,29
27	Кизитеринка-Ростов гл.	$7,6 \cdot 10^{-5}$	$7,5 \cdot 10^{-5}$	0	$7,5 \cdot 10^{-6}$	$5,2 \cdot 10^{-7}$	$4,5 \cdot 10^{-5}$	71,07
28	Ростов гл.-Заречная	$5,6 \cdot 10^{-6}$	$6,4 \cdot 10^{-6}$	0	$3,2 \cdot 10^{-7}$	$2,7 \cdot 10^{-8}$	$3,4 \cdot 10^{-6}$	5,46
29	Заречная-Батайск	$7,5 \cdot 10^{-7}$	$2,4 \cdot 10^{-6}$	0	$2,4 \cdot 10^{-7}$	$6,7 \cdot 10^{-10}$	$7,8 \cdot 10^{-7}$	1,22
30	Батайск-Койсуг	$8,5 \cdot 10^{-7}$	$2,9 \cdot 10^{-6}$	0	$2,9 \cdot 10^{-7}$	$7 \cdot 10^{-10}$	$9,1 \cdot 10^{-7}$	1,43
31	Койсуг-Каяла	$8,8 \cdot 10^{-6}$	$1,8 \cdot 10^{-5}$	0	$1,8 \cdot 10^{-6}$	$1,5 \cdot 10^{-8}$	$7,1 \cdot 10^{-6}$	11,16
32	Каяла-Тихорецкая	$7,7 \cdot 10^{-5}$	$1,6 \cdot 10^{-4}$	0	$1,6 \cdot 10^{-5}$	$1,2 \cdot 10^{-7}$	$6,3 \cdot 10^{-5}$	100,32
33	Тихорецкая-Краснодар	$2,1 \cdot 10^{-5}$	$6,2 \cdot 10^{-5}$	$3,1 \cdot 10^{-5}$	$1,2 \cdot 10^{-5}$	$2,1 \cdot 10^{-8}$	$2,1 \cdot 10^{-5}$	33,77
34	Энем-Кривенкьковская	$8,5 \cdot 10^{-5}$	$1,7 \cdot 10^{-4}$	$4,3 \cdot 10^{-5}$	$1,7 \cdot 10^{-5}$	$5,4 \cdot 10^{-7}$	$8,1 \cdot 10^{-5}$	127,85
35	Энем-Крымская	$3,7 \cdot 10^{-5}$	$8,3 \cdot 10^{-5}$	$4,1 \cdot 10^{-5}$	$1,6 \cdot 10^{-5}$	$5,9 \cdot 10^{-8}$	$3,9 \cdot 10^{-5}$	62,49
36	Крымская-9 км.	$4,6 \cdot 10^{-6}$	$2 \cdot 10^{-5}$	$5 \cdot 10^{-6}$	$2 \cdot 10^{-6}$	$7,6 \cdot 10^{-9}$	$7,7 \cdot 10^{-6}$	12,23
37	9 км.-Юровский	$2 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-4}$	$2,5 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-5}$	$2,5 \cdot 10^{-8}$	$3,9 \cdot 10^{-5}$	61,18
38	Юровский -Красная стрела	$5 \cdot 10^{-6}$	$2,5 \cdot 10^{-5}$	$6,6 \cdot 10^{-6}$	$2,5 \cdot 10^{-6}$	$6,5 \cdot 10^{-9}$	$9,7 \cdot 10^{-6}$	15,37

## Продолжение таблицы 2.9

39	Красная стрела- Тамань	$1,6 \cdot 10^{-5}$	$8,2 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-5}$	$8,2 \cdot 10^{-6}$	$2 \cdot 10^{-8}$	$3,1 \cdot 10^{-5}$	49,34
40	Тамань- Керчь	$4 \cdot 10^{-5}$	$2,7 \cdot 10^{-5}$	$6,7 \cdot 10^{-6}$	$2,7 \cdot 10^{-6}$	$6,8 \cdot 10^{-9}$	$3,3 \cdot 10^{-5}$	52,54
Вероятность $R^l_{j,m}$		$1,2 \cdot 10^{-3}$	$1,9 \cdot 10^{-3}$	$1,8 \cdot 10^{-4}$	$1,7 \cdot 10^{-4}$	$2,6 \cdot 10^{-5}$	$9,2 \cdot 10^{-4}$	1444,3

**Таблица 2.10 – Результаты расчёта эколого-экономической оценки аварийного риска от ОПЯ для маршрута Невинномысская-Туапсе (через Краснодар) Северо-Кавказской железной дороги**

Наименование участка	Ветер со скоростью 25 и более м/с	Сильный дождь 20 и более см в сутки	Наводнение	Сели, Оползни, обвалы	Гололедно-изморозевые отложения с толщиной стенки гололеда 15 и более мм	Сильный снегопад интенсивностью 20 и более мм в сутки	Вероятность $R^M_{ij}$	Риск по участку, руб.	
	m = 1	m = 2	m = 3	m = 4	m = 5	m = 6			
i	Маршрут №4 Невинномысская-Туапсе (через Краснодар)								
41	Невинномысская - Армавир Ростовский	$4,8 \cdot 10^{-6}$	$1 \cdot 10^{-4}$	$2,6 \cdot 10^{-5}$	0	$\cdot 10^{-5}$	$2,5 \cdot 10^{-8}$	$3,6 \cdot 10^{-5}$	52,11
42	Армавир Ростовский-Кавказская	$1,1 \cdot 10^{-4}$	$3,2 \cdot 10^{-4}$	$8,1 \cdot 10^{-5}$	0	$3,24 \cdot 10^{-5}$	$3,5 \cdot 10^{-7}$	$1,3 \cdot 10^{-4}$	200,86
43	Кавказская-Краснодар	$3,5 \cdot 10^{-6}$	$2,8 \cdot 10^{-5}$	$7 \cdot 10^{-6}$	0	$2,8 \cdot 10^{-6}$	$2,3 \cdot 10^{-9}$	$1 \cdot 10^{-5}$	13,82
44	Краснодар - Энем	$8,5 \cdot 10^{-5}$	$1,7 \cdot 10^{-4}$	$4,3 \cdot 10^{-5}$	0	$1,7 \cdot 10^{-5}$	$5,4 \cdot 10^{-7}$	$8,1 \cdot 10^{-5}$	124,60
45	Энем-Кривеньковская	$2,2 \cdot 10^{-5}$	$1,2 \cdot 10^{-4}$	$3,1 \cdot 10^{-5}$	$7,6 \cdot 10^{-14}$	$1,2 \cdot 10^{-5}$	$2,3 \cdot 10^{-8}$	$4,6 \cdot 10^{-5}$	64,79
46	Кривеньковская-Туапсе	$1,8 \cdot 10^{-4}$	$4,9 \cdot 10^{-4}$	$2,4 \cdot 10^{-5}$	$1,6 \cdot 10^{-12}$	$9,9 \cdot 10^{-6}$	$6,7 \cdot 10^{-8}$	$2 \cdot 10^{-4}$	316,74
Вероятность $R^l_{j,m}$		$4,1 \cdot 10^{-4}$	$1,2 \cdot 10^{-3}$	$2,1 \cdot 10^{-4}$	$1,7 \cdot 10^{-12}$	$8,6 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-6}$	$5,1 \cdot 10^{-5}$	808,34

**Таблица 2.11 – Результаты расчёта эколого-экономической оценки аварийного риска от ОПЯ для маршрута Невинномысская-Туапсе Северо-Кавказской железной дороги**

Наименование участка	Ветер со скоростью 25 и более м/с	Сильный дождь 20 и более см в сутки	Наводнение	Сели, Оползни, обвалы	Гололедно-изморозевые отложения с толщиной стенки гололеда 15 и более мм	Сильный снегопад интенсивностью 20 и более мм в сутки	Вероятность $R_{i,j}^M$	Риск по участку, руб.	
	m	m =1	m =2	m =3	m =4	m =5			m =6
i	Маршрут №5 Невинномысская-Туапсе								
47	Невинномысская - Армавир Ростовский	$4,8 \cdot 10^{-6}$	$1 \cdot 10^{-4}$	$2,6 \cdot 10^{-5}$	0	$1 \cdot 10^{-5}$	$2,5 \cdot 10^{-8}$	$3,6 \cdot 10^{-5}$	52,11
48	Армавир Ростовский -Курганная	$5,6 \cdot 10^{-6}$	$3,3 \cdot 10^{-5}$	$8,4 \cdot 10^{-6}$	0	$3,3 \cdot 10^{-6}$	$5,5 \cdot 10^{-9}$	$1,2 \cdot 10^{-5}$	18,79
49	Курганная - Белореченская	$1 \cdot 10^{-5}$	$5,8 \cdot 10^{-5}$	$1,4 \cdot 10^{-5}$	0	$5,8 \cdot 10^{-6}$	$1 \cdot 10^{-8}$	$2,1 \cdot 10^{-5}$	31,91
50	Белореченская-Комсомольская	$3,4 \cdot 10^{-6}$	$1,9 \cdot 10^{-5}$	$4,9 \cdot 10^{-6}$	$2,8 \cdot 10^{-14}$	$1,9 \cdot 10^{-6}$	$3,7 \cdot 10^{-9}$	$7,1 \cdot 10^{-6}$	10,99
51	Комсомольская – Кривеньковская	$1,5 \cdot 10^{-5}$	$8,8 \cdot 10^{-5}$	$2,2 \cdot 10^{-5}$	$1,3 \cdot 10^{-13}$	$8,8 \cdot 10^{-6}$	$1,6 \cdot 10^{-8}$	$3,1 \cdot 10^{-5}$	45,49
52	Кривеньковская- Туапсе	$1,8 \cdot 10^{-4}$	$4,9 \cdot 10^{-4}$	$2,4 \cdot 10^{-5}$	$1,6 \cdot 10^{-12}$	$9,9 \cdot 10^{-6}$	$6,7 \cdot 10^{-8}$	$2 \cdot 10^{-4}$	316,74
	Вероятность $R_{j,m}^I$	$2,2 \cdot 10^{-4}$	$8 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-4}$	$1,8 \cdot 10^{-12}$	$4 \cdot 10^{-5}$	$1,2 \cdot 10^{-7}$	$3,1 \cdot 10^{-4}$	490,73

Используя матрицу риска (рисунок 2.6) можно произвести оценивание риска для каждого маршрута.

Используя полученные значения аварийного риска в соответствии с ГОСТ 33433—2015 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.

Уровень частоты		Уровень тяжести последствий			
		Транспортное происшествие (сход или столкновение поезда без последствий крушения или аварии) >50 тыс. руб.	Происшествия при перевозке опасных грузов, приведшие к чрезвычайным ситуациям межрегионального и федерального характера. > 100 тыс. руб.	Авария 1) причинен тяжкий вред здоровью менее пяти человек; 2) возникла чрезвычайная ситуация, при которой пострадало менее десяти человек; 3) нарушены условия жизнедеятельности менее 100 человек; 4) поврежден железнодорожный подвижной состав и	Крушение 1) погиб один и более человек; 2) причинен тяжкий вред здоровью пяти и более человек; 3) возникла чрезвычайная ситуация, при которой пострадало десять и более человек; 4) поврежден железнодорожный подвижной состав до степени исключения из инвентаря;
				Незначительный	Несущественный
$R > 10^{-3}$	Частое	Нежелательный	Недопустимый	Недопустимый	Недопустимый
$10^{-3} < R < 10^{-4}$	Вероятное	Допустимый	Нежелательный	Недопустимый	Недопустимый
$10^{-4} < R < 10^{-5}$	Случайное	Допустимый	Нежелательный	Нежелательный	Недопустимый
$10^{-5} < R < 10^{-6}$	Редкое	Не принимаемый в расчет	Допустимый	Нежелательный	Нежелательный
$10^{-6} < R < 10^{-7}$	Крайне редкое	Не принимаемый в расчет	Не принимаемый в расчет	Допустимый	Допустимый
$X < 10^{-7}$	Маловероятное	Не принимаемый в расчет	Не принимаемый в расчет	Не принимаемый в расчет	Не принимаемый в расчет

Рисунок 2.6 – Матрица рисков транспортных происшествий

В результате анализа таблиц 2.7-2.11 и оценки вероятности транспортного происшествия было произведено сравнение маршрута №4 «Невинномысская – Туапсе» и Маршрута №5 «Невинномысская – Туапсе через Краснодарский узел» построена диаграмма (Рисунок 2.8)

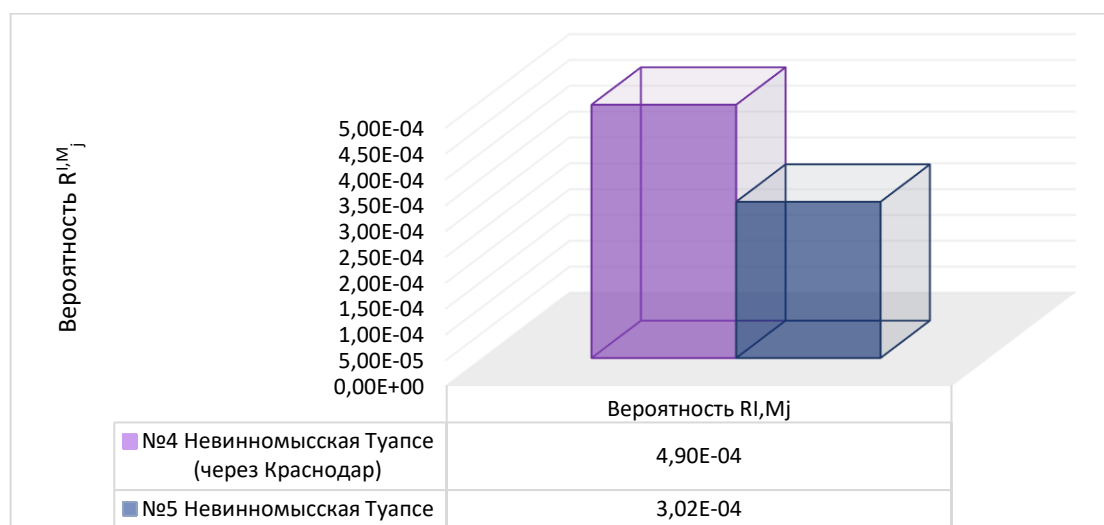


Рисунок – 2.7 Результаты расчета вероятности транспортного происшествия  $R(B_{M_j,i})$  при следовании поездов с опасным грузом по двум маршрутам Северо-Кавказской железной к порту Туапсе

Из диаграммы (рисунок 2.7) видно, что Маршрут №4 «Невинномысская – Туапсе» показывает меньшее значение вероятности транспортного происшествия, чем Маршрут №5 «Невинномысская – Туапсе через Краснодарский узел». Поэтому, грузоперевозчикам предпочтительнее выбрать Маршрут №4.

## 2.4 Выводы по разделу 2

1. Согласно [21] с помощью обобщенного закона Эрланга можно аппроксимировать практически любое распределение случайной величины. Поэтому, пользуясь основными положениями теории вероятностей и математической статистики, а также применив нормированный закон Эрланга порядка  $k_x$  и  $k_t$  для моделирования транспортного потока поездов, разработан метод оценки аварийного риска от ветровых и других опасных воздействий окружающей среды при движении подвижного состава. Получены выражения, позволяющие определить:

- оценку вероятности транспортных происшествий от нескольких типов природных воздействий окружающей среды;
- оценку вероятности транспортных происшествий для различных маршрутов и направлений движения поездов;
- математическое ожидание экономического ущерба от нарушений безопасности движения;

2. На основании статистических данных выбран регион Российской Федерации, где наиболее неблагоприятным образом природные опасности;

3. Предложенный метод оценки риска транспортного происшествия вследствие воздействия опасного природного явления, позволил:

- произвести оценку риска, а также его экономическую составляющую для участка «Куберле-Котельниково» СКЖД;

- оценку аварийного риска опасных воздействий окружающей среды на движение подвижного состава по пяти маршрутам Северо-Кавказской железной дороги, которые позволяют транспортировать контейнерные поезда к трем крупным портам Азово-Черноморского бассейна, и на полуостров Крым по Крымскому мосту.

4. На основании оценки аварийного риска выбран наиболее безопасный маршрут движения подвижного состава с целью минимизации аварийного риска опасных воздействий окружающей среды.

### **3 ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСЛОВИЙ ОПРОКИДЫВАНИЯ ОТ ВЕТРОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ПОРОЖНИХ КОНТЕЙНЕРОВ ПРИ ДВИЖЕНИИ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА**

Как уже было отмечено в главе 1, на территории Российской Федерации, стран СНГ, США имел место ряд случаев нарушения безопасности движения, возникающих в результате опрокидывания порожних контейнеров на ветрозависимых участках железных дорог.

Распоряжением ОАО РЖД [102] был утверждён ряд мер, предполагающий снизить риск возникновения транспортных происшествий при перевозке порожних контейнеров на специализированных железнодорожных платформах в условиях прогнозирования по маршруту их следования сильного ветра, шквала или урагана.

При наличии на ветрозависимом участке сильного ветра, шквала или урагана с перпендикулярным направлением по отношению к оси железнодорожного пути запрещается:

- допускать на ветрозависимом участке встречное движение пассажирских поездов с грузовым поездом, в составе которых осуществляется перевозки контейнеров, при скорости ветра более 20 м/с;

- отправлять на ветрозависимый участок грузовые поезда, в составе которых осуществляется перевозка контейнеров, при скорости ветра более 25 м/сек.

Принятое положение несет в себе только организационную корректировку перевозочного процесса, но не решает проблемы опрокидывания порожних контейнеров.

В качестве примера можно привести сложные метеорологические условия Керченского пролива, где в настоящее время осуществляются железнодорожные перевозки по Крымскому мосту.

Для Керченского пролива штормовые условия с высокими скоростями ветра — стандартное явление. Расчетная скорость ветра на уровне проезжей части

арочного пролета в исключительных случаях может достигать 40 м/с. За время строительства самым сложным по метеоусловиям оказался октябрь 2016 года, когда количество штормовых часов достигло 447 (более 18 суток, в том числе, когда штормовое предупреждение действовало 13 суток подряд). Максимальные порывы ветра фиксировались в ноябре 2015 года и составили тогда 30 м/с [43]. На рисунке 4.1 можно видеть розу ветров Керчинского пролива. Отмечается преобладание северо-восточного ветра. Необходимо подчеркнуть, что этот ветер является боковым по отношению к движущемуся по мосту поезду.



**Рисунок 3.1 – Роза ветров в Керченском проливе**

В связи с этим возникает необходимость разработки методики оценки характеристик ветровых нагрузок, приводящих к опрокидыванию порожних контейнеров в составе грузовых поездов.

### **3.1 Метод расчета ветровых нагрузок, приводящих к опрокидыванию порожних контейнеров при движении подвижного состава**

В настоящее время в области контейнерных перевозок существуют единые требования к перевозимым контейнерам, их габаритным размерам, массе и



устройствам креплений. Эти требования регламентированы стандартами ГОСТ Р ИСО 1496-5-2012 [34] и ГОСТ Р 53350-2009 [33]. Крепление контейнеров осуществляется по средствам стационарных или поворотно-откидных фитинговых упоров, установленных на специализированной железнодорожной платформе, входящих в отверстия четырех угловых фитингов. Крепление при помощи фитинговых упоров должно обеспечивать фиксацию контейнера от продольных и поперечных сил, однако статистика транспортных происшествий и случаи падения контейнеров со специализированных железнодорожных платформ свидетельствуют об обратном.

Условия опрокидывания контейнера от воздействия ветровой нагрузки возможно определить из уравнения моментов сил, приложенных к контейнеру, относительно к оси его вращения при нахождении грузового поезда на кривом участке пути железной дороги (рисунок 3.1). Правила технической эксплуатации устанавливают максимальную величину возвышения наружного рельса кривом участке пути железной дороги в размере 150 мм [119].

Основная распределенная ветровая нагрузка  $\vec{w}$  (Па) заменяется сосредоточенной силой давления ветра, приложенной к геометрическому центру подветренной поверхности контейнера и действующей нормально к ней. На контейнер действует сила тяжести контейнера  $\vec{F}_T$ , 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  $F_{ЦБ}$ , действующая в центре масс контейнера в направлении параллельном поверхности земли.

Силы, действующие на контейнер, вычисляются по формулам (1.1-1.3).

В случае нахождения или движения поезда в кривом участке пути на контейнер действует центробежная сила, которая вычисляется по формуле:

$$\vec{F}_{ЦБ} = 0,077 \cdot \frac{mV_{II}^2}{R} \cdot \vec{i}, \text{ Н} \quad (3.1)$$

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

Тогда уравнение моментов сил, приложенных к контейнеру, относительно к оси его вращения, буде иметь следующий вид:

$$\sum_i M_i \geq 0 \quad (3.2)$$

где  $M_i = F_i l_i$  – произведение модуля силы  $\vec{F}_i$  на плечо силы  $l_i$  – кратчайшее расстояние от линии действия силы до оси вращения контейнера. Момент силы считается положительным, если он вращает контейнер по часовой стрелке, в противном случае момент силы считается отрицательным.

На рисунке 3.2 представлена схема срединного сечения контейнера, показывающая основные силы, действующие на контейнер, при прохождении кривого участка пути.

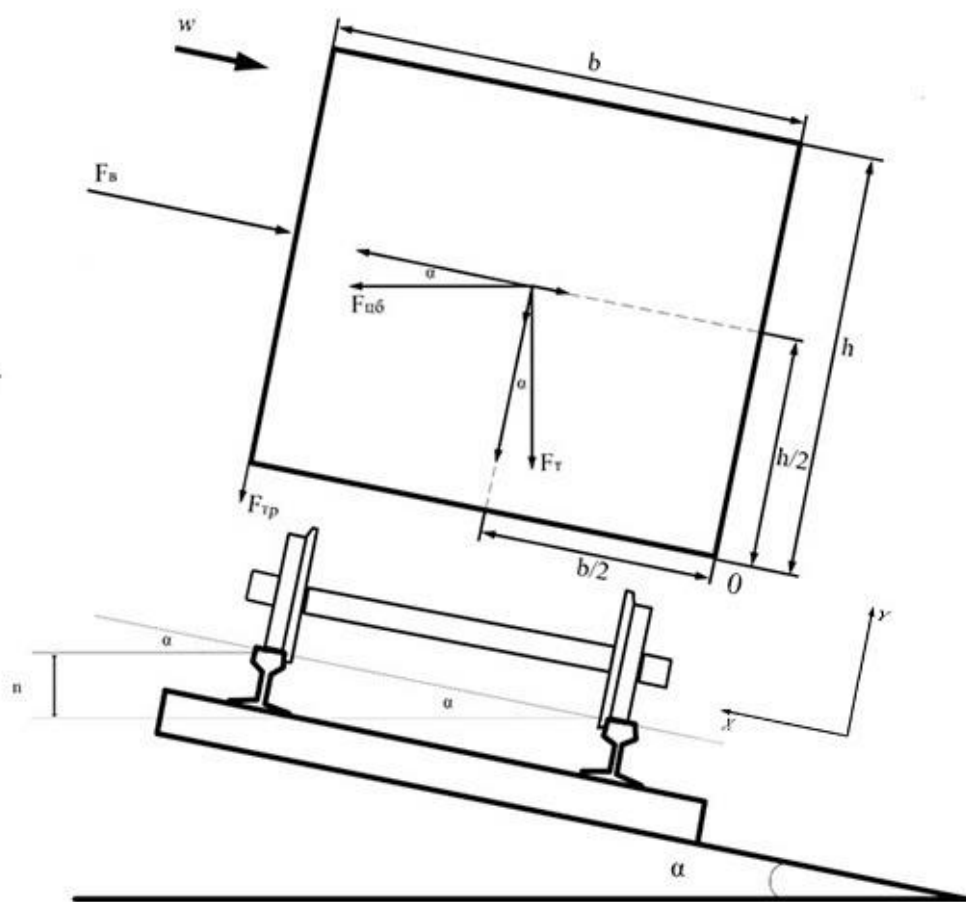


Рисунок 3.2 – Схема действия сил в срединном сечении контейнера.

Следует отметить, что железнодорожный путь кривой при радиусе  $R < 350$  м имеет возвышение наружного рельса над внутренним, которое варьируется в зависимости от радиуса кривой, а также предусматривается устройство уширения колеи укладка контррельсов

При выполнении расчетов следует иметь в виду, что правила технической эксплуатации устанавливают максимальную величину возвышения наружного рельса в размере 150 мм [119].

В срединном сечении на контейнер относительно оси вращения действуют следующие моменты сил:

$$M_1 = F_B \cdot \frac{h}{2}; \quad (3.3)$$

$$M_2 = -F_T \cos \alpha \cdot \frac{b}{2} + F_T \sin \alpha \cdot \frac{h}{2}; \quad (3.4)$$

$$M_3 = -F_{ЦБ} \cos \alpha \cdot \frac{h}{2} + F_{ЦБ} \sin \alpha \cdot \frac{b}{2}; \quad (3.5)$$

$$M_4 = -F_{mp} \cdot b = -k_{mp} F_B \cdot b. \quad (3.6)$$

Из уравнения (3.2) с учетом уравнений (1.1-1.3, 3.1–3.16) получаем уравнение для основной ветровой нагрузки, приводящей к опрокидыванию контейнера:

$$w \geq \frac{m \left[ g(b \cdot \cos \alpha - h \cdot \sin \alpha) + 0,077 \frac{V_{II}^2}{R} (h \cdot \cos \alpha + b \cdot \sin \alpha) \right]}{(h - 2k_{mp} b) \cdot L \cdot h}. \quad (3.7)$$

В соответствии с [22] нормативное значение основной ветровой нагрузки  $w$  определяется, как сумма средней  $w_m$  и пульсационной  $w_p$  составляющих:

$$w = w_m + w_p. \quad (3.8)$$

В свою очередь нормативное значение средней составляющей основной ветровой нагрузки  $w_m$  в зависимости от эквивалентной высоты контейнера  $z_e$  над поверхностью земли определяется по формуле [111]:

$$w_m = w_0 k(z_e) c, \quad (3.9)$$

где  $w_0 = 0,43V^2$  – нормативное значение ветрового давления;

$k(z_e)$  – коэффициент, учитывающий изменение ветрового давления для эквивалентной высоты  $z_e$ ;

$c$  – аэродинамический коэффициент;

$V$  – скорость ветра, м/с, на уровне 10 м над поверхностью земли.

Тогда нормативное значение пульсационной составляющей основной ветровой нагрузки  $w_p$  на эквивалентной высоте контейнера  $z_e$  определяется по следующей формуле [111]:

$$w_p = w_m \cdot \zeta(z_e) \cdot v, \quad (3.10)$$

где  $\zeta(z_e)$  – коэффициент пульсаций давления ветра;

$v$  – коэффициент пространственной корреляции пульсаций давления ветра.

С учетом уравнений (3.8–3.10) уравнение (3.7) представим в следующем виде относительно  $V$ , (м/с) – скорости ветра на уровне 10 м над поверхностью земли:

$$V \geq \sqrt{\frac{m \left[ g (b \cdot \cos \alpha - h \cdot \sin \alpha) + 0,077 \frac{V_H^2}{R} (h \cdot \cos \alpha + b \cdot \sin \alpha) \right]}{0,43 \cdot k(z_e) \cdot c \cdot h \cdot l \cdot [1 + \zeta(z_e)v] (h - 2k_{mp}b)}}. \quad (3.11)$$

На основании выражения 3.11 были произведены расчеты скорости ветра, приводящей к опрокидываю наиболее часто используемых порожних контейнеров на сети железных дорог Российской Федерации.

На рисунке 3.3 представлена схема срединного сечения контейнера, показывающая основные силы, действующие на контейнер, при прохождении кривого участка пути, в случае воздействия ветровых нагрузок, направленных из центра кривой.

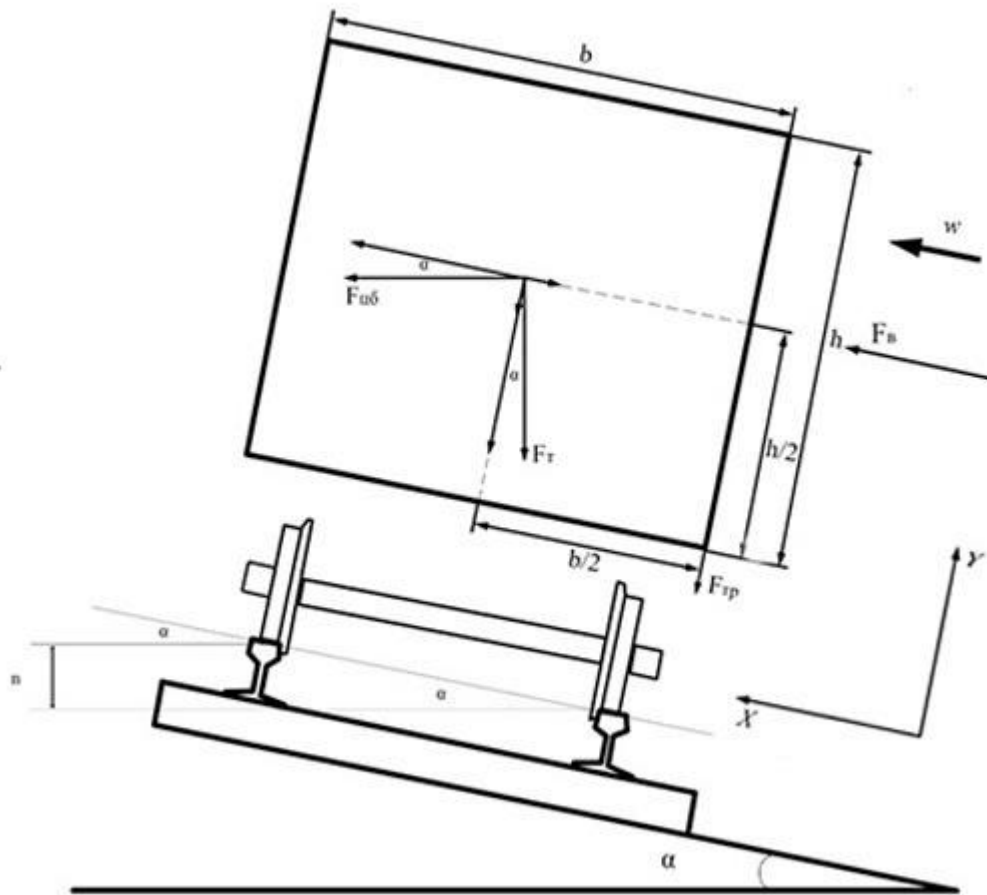


Рисунок 3.3 – Схема срединного сечения контейнера.

Условия опрокидывания контейнера найдем из уравнения моментов сил, приложенных к контейнеру выражение 3.2.

В срединном сечении на контейнер относительно оси вращения действуют следующие моменты сил:

$$M_1 = -F_B \cdot \frac{h}{2}; \quad (3.12)$$

$$M_2 = F_T \cos \alpha \cdot \frac{b}{2} + F_T \sin \alpha \cdot \frac{h}{2}; \quad (3.13)$$

$$M_3 = -F_{\text{цб}} \cos \alpha \cdot \frac{h}{2} + F_{\text{цб}} \sin \alpha \cdot \frac{b}{2}; \quad (3.14)$$

$$M_4 = F_{mp} \cdot b = k_{mp} F_B \cdot b. \quad (3.15)$$

Из уравнения (3.2) с учетом уравнений (1.1-1.3, 3.1, 3.12-3.15) получим уравнение для основной ветровой нагрузки, приводящей к опрокидыванию контейнера, в случае воздействия ветровых нагрузок, направленных из центра кривой:

$$w \geq \frac{m \left[ g(h \cdot \sin \alpha + b \cdot \cos \alpha) + 0,077 \frac{V_{II}^2}{R} (b \cdot \sin \alpha - h \cdot \cos \alpha) \right]}{(h - 2k_{mp} b) \cdot l \cdot h}. \quad (3.16)$$

С учетом уравнений (3.8–3.10) уравнение (3.16) представим в следующем виде относительно  $V, (м/с)$ –скорости ветра на уровне 10 м над поверхностью земли:

$$V \geq \sqrt{\frac{m \left[ g(h \cdot \sin \alpha + b \cdot \cos \alpha) + 0,077 \frac{V_{II}^2}{R} (b \cdot \sin \alpha - h \cdot \cos \alpha) \right]}{0,43 \cdot k(z_e) \cdot c \cdot l \cdot h \cdot [1 + \zeta(z_e) \nu] (h - 2k_{mp} b)}}. \quad (3.17)$$

В случае нахождения поезда в прямом участке пути, центробежная сила не учитывается и уравнение для основной ветровой нагрузки, приводящей к опрокидыванию контейнера имеет вид:

$$w \geq \frac{m \cdot g \cdot b}{h \cdot L \cdot (h - 2k_{mp} b)}. \quad (3.18)$$

Скорость ветра, приводящая к опрокидыванию контейнера в прямом участке пути, определяется по формуле:

$$V \geq \sqrt{\frac{m \cdot g \cdot b}{0,43 \cdot k(z_e) \cdot c \cdot h \cdot l \cdot [1 + \zeta(z_e) \nu] (h - 2k_{mp} b)}}. \quad (3.19)$$

На основании выражения (3.7), (3.11), и (3.16-3.19) были проведены расчеты скорости ветра, приводящей к опрокидыванию наиболее часто используемых порожних контейнеров на сети железных дорог Российской Федерации (подраздел 3.3).

### 3.2 Определение условий опрокидывания от воздействия ветровой нагрузки жестко закрепленных контейнеров (порожних и с грузом) на раме платформы при нахождении грузового поезда на кривом участке пути железной дороги

При определении условий опрокидывания от воздействия ветровой нагрузки жестко закрепленных контейнеров (порожних и с грузом) на раме платформы при нахождении грузового поезда на кривом участке пути железной дороги можно пренебречь деформацией рессорного подвешивания рамы платформы в связи с малым весом груза (наличия порожних контейнеров).

С учетом сделанного допущения, условия опрокидывания системы элементов платформы «контейнеры – рама платформы» можно найти из уравнения моментов сил, приложенных к контейнерам и раме платформы (относительно оси вращения - ось скользуна), при нахождении грузового поезда на кривом участке пути железной дороги:

$$\sum_i M_i \geq 0, \quad (3.20)$$

где  $M_i = F_i l_i$  – произведение модуля силы  $\vec{F}_i$  на плечо силы;

$l_i$  – кратчайшее расстояние от линии действия силы до оси вращения.

Момент силы считается положительным, если он вращает контейнер по часовой стрелке, в противном случае момент силы считается отрицательным.

Основную распределённую ветровую нагрузку  $\vec{w}$  (Па), действующую на подветренную поверхность контейнеров и рамы платформы, можно заменить сосредоточенной силой давления ветра, приложенной к геометрическому центру подветренной поверхности контейнеров и рамы платформы, действующей нормально к ней.

Сила давления ветра, приложенная к геометрическому центру подветренной поверхности контейнеров и рамы платформы, действующая нормально к ней, вычисляется по формуле:

$$\vec{F}_B = \vec{w} \cdot (\sum S_{\kappa,i} + S_p), \quad (3.21)$$

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» будет действовать в центре масс срединного сечения контейнеров и рамы платформы:

$$\vec{F}_T = M \cdot \vec{g}, \quad (3.22)$$

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 будет действовать в центре масс срединного сечения системы элементов платформы «контейнеры – рама платформы» в направлении параллельном поверхности земли:

$$\vec{F}_{ЦБ} = 0,077 \cdot \frac{M V_{\Pi}^2}{R} \cdot \vec{i}, \quad (3.23)$$

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

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

$$h_{ум} = \frac{\sum m_{\kappa,i} \cdot h_{\kappa,i} + m_p \cdot h_p}{\sum m_{\kappa,i} + m_p} - h_c, \quad (3.24)$$

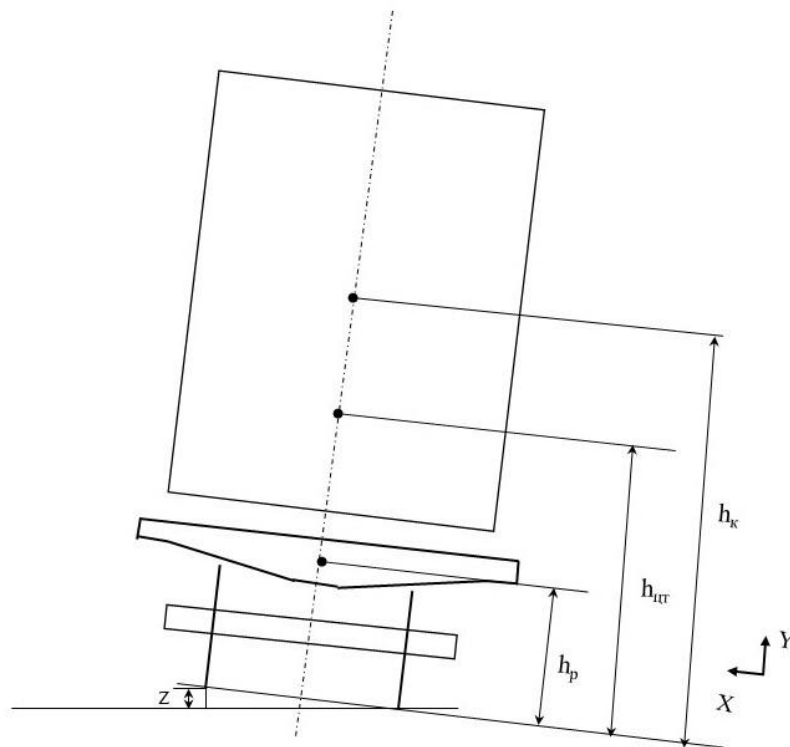
$h_{\kappa,i}$  – ордината центра масс  $i$ -го контейнера относительно уровня головки рельсов;



$h_p$  - ордината центра масс рамы платформы относительно уровня головки рельсов;  
 $h_c$  — высота скользунов тележки относительно уровня головки рельса.

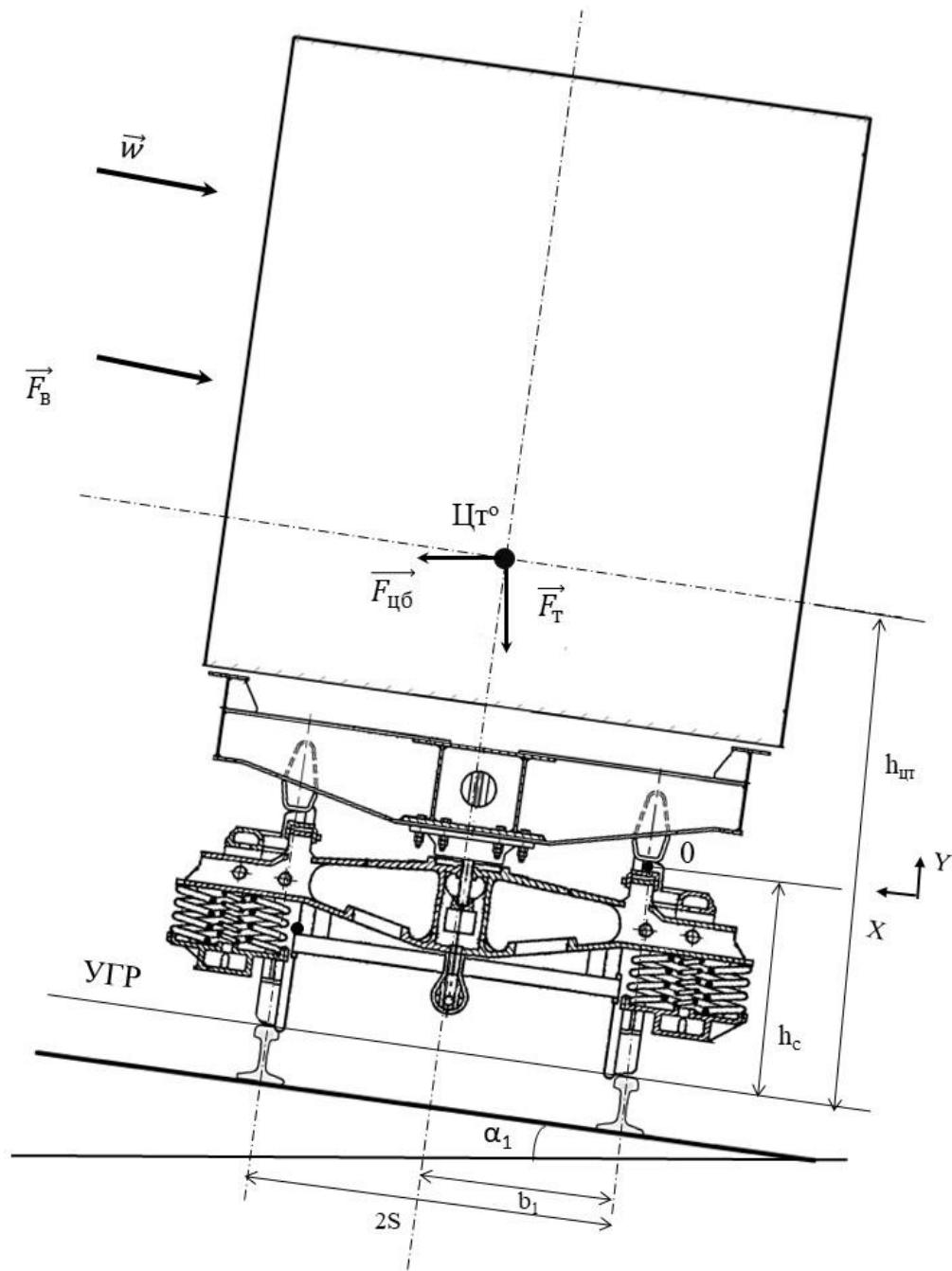
Можно допустить, что ординаты геометрического центра подветренной поверхности контейнеров и геометрического центра подветренной поверхности рамы платформы относительно уровня головки рельса совпадают с аналогичными ординатами центра масс относительно уровня головки рельсов.

На рисунке 3.4 представлена схема определения высоты общего центра тяжести контейнера, жестко прикрепленного к раме платформы.



**Рисунок 3.4 – Схема определения высоты общего центра тяжести порожнего контейнера жестко прикрепленного к раме**

На рисунке 3.5 приведена схема срединного сечения системы элементов платформы «контейнеры - рама платформы» относительно оси вращения (ось скользуна).



**Рисунок 3.5 - Схема действия сил, приложенных к контейнеру жестко прикрепленного к раме**

В срединном сечении (рисунок 3.5) системы элементов платформы «контейнеры - рама платформы» относительно оси вращения (ось скользуна) действуют следующие моменты сил:

$$M_1 = w \cdot \left[ \sum (S_{\kappa,i} h_{\text{цц},\kappa,i}) + S_p \cdot h_{\text{цц},p} \right], \quad (3.25)$$

$$M_2 = -F_T \cos(\alpha + \alpha_1) \cdot b_1 + F_T \sin(\alpha + \alpha_1) \cdot h_{ym}, \quad (3.26)$$

$$M_3 = -F_{цб} \cos(\alpha + \alpha_1) \cdot h_{ym} + F_{цб} \sin(\alpha + \alpha_1) \cdot b_1, \quad (3.27)$$

где  $h_{2y,к,i} = h_{к,i} - h_c$  — ордината геометрического центра подветренной поверхности  $i$ -го контейнера относительно плоскости, соединяющей поверхности скользунов тележки;

$h_{2y,p} = h_p - h_c$  — ордината геометрического центра подветренной поверхности рамы платформы относительно плоскости, соединяющей поверхности скользунов тележки;

$2b_1$  — расстояние между осями скользунов.

$\alpha$  — угол наклона платформы в кривой за счет возвышения рельса;

$\alpha_1$  — угол наклона рамы платформы за счет зазоров в скользунах.

Углы  $\alpha$  и  $\alpha_1$  вычисляются по зависимостям:

$$\sin \alpha = \frac{z}{2S}, \quad (3.28)$$

$z$  — возвышение рельса в кривой с учетом фактических перекосов;

$2S$  — расстояние между кругами катания колесной пары.

$$\operatorname{tg} \alpha_1 = \frac{\varepsilon}{2b_1}, \quad (3.29)$$

где  $\varepsilon$  — суммарные зазоры в скользунах между надрессорной балкой и рамой платформы.

Из уравнения (3.20) получено:

$$w \geq \frac{F_T \cos(\alpha + \alpha_1) \cdot b_1 - F_T \sin(\alpha + \alpha_1) \cdot h_{ym} + F_{цб} \cos(\alpha + \alpha_1) \cdot h_{ym} - F_{цб} \sin(\alpha + \alpha_1) \cdot b_1}{\sum (S_{к,i} h_{2y,к,i}) + S_p \cdot h_{2y,к,i}}, \quad (3.30)$$

$$w \geq \frac{[F_T \cos(\alpha + \alpha_1) - F_{цб} \sin(\alpha + \alpha_1)] \cdot b_1 + [F_{цб} \cos(\alpha + \alpha_1) - F_T \sin(\alpha + \alpha_1)] \cdot h_{ym}}{\sum (S_{к,i} h_{2y,к,i}) + S_p \cdot h_{2y,к,i}}. \quad (3.31)$$

### 3.3 Результаты расчета ветровых нагрузок, приводящих к опрокидыванию порожних контейнеров при движении подвижного состава

Расчеты скорости ветра, приводящей к опрокидыванию порожних контейнеров различных типов, проведем, как для прямых участков пути, так и для кривых участков пути железных дорог с учетом максимального превышения наружного рельса в 150 мм.

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» [111], как наиболее опасный.

Полученные результаты подтверждаются данными математического моделирования устойчивости крепления порожних контейнеров компанией ООО «Хекса» по заказу ПАО «Трансконтейнер» [6,77].

В таблице 3.1 приведены результаты расчета опрокидывающей ветровой нагрузки и скорости ветра при нахождении поезда в прямом участке пути.

**Таблица 3.1 – Результаты расчета опрокидывающей ветровой нагрузки и скорости ветра при нахождении поезда в прямом участке пути**

№п/п	Тип контейнера	Масса порожнего контейнера	Длина контейнера	Ширина контейнера	Высота контейнера	Ветровая нагрузка, w		Скорость ветра, V	
		кг				м	м	м	Па
1	1EEE	3800	13,716	2,438	2,896	950,79	96,95	32,49	116,97
2	1EE	3700			2,591	1184,79	120,82	36,27	130,57
3	1AAA	3600	12,192		2,896	1013,34	103,33	33,54	120,76
4	1AA	3500			2,591	1260,84	128,57	37,42	134,70
5	1A	3200			2,438	1321,22	134,73	38,30	137,89
6	1BBB	2600	9,125		2,896	977,85	99,71	32,95	118,62
7	1BB	2500			2,591	1203,30	122,70	36,55	131,59
8	1B	2500			2,438	1379,13	140,63	39,13	140,88
9	1CC	1800	6,058		2,591	1305,00	133,07	38,07	137,04
10	1C	1800			2,438	1494,47	152,39	40,74	146,65

Допускаемые скорости движения поезда по кривым и сопряжениям кривых в плане устанавливаются в соответствии нормами допускаемых скоростей движения подвижного состава по железнодорожным путям колеи 1520 (1524) мм с изменениями от 12 августа 2003 года [76]. Допускаемые скорости зависят от радиуса кривой, возвышения наружного рельса, типа тягового подвижного состава, типа рельсов, их приведенного износа, числа шпал на 1 км, и рода балласта.

Ввиду незначительности изменения опрокидывающей скорости ветра на малых скоростях движения подвижного состава, можно пренебречь центробежной силой, действующей на поезд в кривых большого диаметра и в кривых радиусом менее 500 м на скоростях движения до 30 км/час.

С учетом вышеуказанных допущений получены значения (таблица 3.2) скорости ветра, приводящей к опрокидыванию порожних контейнеров различных типов, двигающихся в составе грузовых поездов с учетом возвышения наружного рельса при движении по кривому участку пути.

**Таблица 3.2 Результаты расчета опрокидывающей ветровой нагрузки и скорости ветра при движении поезда в кривом участке пути (направление ветра в центр кривой)**

№ п/п	Тип контейнера	Масса порожнего контейнера	Длина контейнера	Ширина контейнера	Высота контейнера	Радиус кривой	Ветровая нагрузка, w		Скорость ветра, V						
		кг					м	м	м	Па	кгс/м <sup>2</sup>	Па	кгс/м <sup>2</sup>		
1	1EEE	3800	13,716	2,438	250	250	845,33	86,20	30,64	110,29					
2	1EE	3700									2,896	1066,61	108,76	34,41	123,89
3	1AAA	3600	12,192								2,591	900,94	91,87	31,63	113,86
4	1AA	3500									2,896	1135,08	115,75	35,50	127,81
5	1A	3200	9,125								2,438	1196,84	122,04	36,45	131,24
6	1BBB	2600									2,896	869,38	88,65	31,07	111,85
7	1BB	2500	6,058								2,591	1083,28	110,46	34,68	124,86
8	1B	2500									2,438	1249,30	127,39	37,25	134,08
9	1CC	1800									2,591	1174,83	119,80	36,12	130,02
10	1C	1800									2,438	1354,89	138,16	38,79	139,63

В случае воздействия ветровой нагрузки на порожний контейнер направленной из центра кривой, центробежная сила будет сонаправлена с силой

ветра и будет усугублять возможность опрокидывания при высоких скоростях движения подвижного состава. Результаты расчета приведены в таблице 3.3.

Наличие большого числа районов России с заданными характеристиками ветровых нагрузок, могущих привести к опрокидыванию порожних контейнеров в составе грузовых поездов, дает возможность сделать общий вывод. Только одни организационные мероприятия [102] не решают проблемы опрокидывания порожних контейнеров, необходима разработка технических решений, позволяющих обеспечить устойчивость порожнего контейнера при воздействии ветровых нагрузок, одним из которых может быть изменение конструкции фитингового упора.

**Таблица 3.3 – Результаты расчета опрокидывающей ветровой нагрузки и скорости ветра при движении поезда в кривом участке пути (направление ветра из центра кривой)**

№п/п	Тип контейнера	Масса порожнего контейнера	Длина контейнера	Ширина контейнера	Высота контейнера	Радиус кривой	Ветровая нагрузка, w		Скорость ветра, V		
		кг					м	м	м	Р, м	Па
1	1EEE	3800	13,716	2,438	2,896	250	994,91	101,45	33,24	119,65	
2	1EE	3700					1233,93	125,83	37,02	133,26	
3	1AAA	3600	12,192				2,896	1060,36	108,13	34,31	123,53
4	1AA	3500					2,591	1313,14	133,90	38,18	137,47
5	1A	3200	2,438				1372,76	139,98	39,04	140,55	
6	1BBB	2600	9,125				2,896	1023,22	104,34	33,71	121,35
7	1BB	2500					2,591	1253,21	127,79	37,30	134,29
8	1B	2500	6,058				2,438	1432,93	146,12	39,89	143,60
9	1CC	1800					2,591	1359,13	138,59	38,85	139,85
10	1C	1800	2,438				1622,10	165,41	42,44	152,78	

Также были определены условия опрокидывания от воздействия ветровой нагрузки жестко закрепленных контейнеров (порожних) на раме платформы при нахождении грузового поезда на кривом участке пути железной дороги.

В таблице 3.4. приведены результаты расчетов при  $n=1$  и  $n=2$  для различных типов контейнеров, размещённых на специализированной железнодорожной платформе для перевозки крупнотоннажных контейнеров модели 13-9007 на при остановке в кривой радиусом 250 м.

Таблица 3.4 – Результаты расчета

№п/п	Тип контейнера	Масса порожнего контейнера	Длина контейнера	Ширина контейнера	Высота контейнера	Радиус кривой	Ветровая нагрузка, w		Скорость ветра, V	
		кг					м	м	м	Р, м
1	1EEE	3800	13,716	2,438	2,896	250	1561,48	159,23	41,64	149,90
2	1EE	3700					1877,48	191,45	45,66	164,37
3	1AAA	3600					1736,84	177,11	43,92	158,09
4	1AA	3500	12,192				2086,50	212,76	48,13	173,28
5	1A	3200					2278,09	232,30	50,29	181,06
6	1BBB	2600	9,125				2204,14	224,76	49,47	178,10
7	1BB	2500					2639,46	269,15	54,14	194,89
8	1B	2500					2914,37	297,18	56,89	204,79
9	2*1CC	1800	6,058				2108,03	214,96	48,38	174,17
10	2*1C	1800					2331,68	237,77	50,88	183,18

На графиках (рисунок 3.6) приведено сравнение условий опрокидывания для контейнеров различных типов от воздействия ветровой нагрузки жестко закрепленных контейнеров на раме платформы при нахождении грузового поезда на кривом участке пути железной дороги с не закрепленными контейнерами.

а) Ветровая нагрузка, w (кгс/м<sup>2</sup>)

б) Скорость ветра, v (м/с)

Рисунок 3.6 Сравнение условий опрокидывания от воздействия ветровой нагрузки жестко закрепленных контейнеров на раме платформы при нахождении грузового поезда на кривом участке пути железной дороги с не закрепленными контейнерами.

Однако, следует отметить, что скорости ветра порядка 37-40 м/с регулярно прогнозируются на территории Российской Федерации, поэтому риск опрокидывания контейнера сохраняется для прибрежных территорий Севера и Дальнего Востока, а в Континентальной части страны – в степях.

Конструкции современных удерживающих устройств не обеспечивают устойчивость контейнеров от опрокидывания при воздействии ветровой нагрузки, в связи с этим необходимо внести требования в ГОСТ 26686-96 к конструкциям фитинговых упоров.

### 3.4 Выводы по разделу 3

1. Определены условия опрокидывания (расчетная нагрузка) от ветрового воздействия порожних контейнеров разных типов со специализированных железнодорожных платформ при различных эксплуатационных режимах, которые позволили выявить самый неблагоприятный расчетный режим – движение поезда с малой скоростью в кривой радиусом 250 м и максимальным возвышением наружного рельса 150 мм или полная остановка поезда в кривой в условиях бокового ветра;

2. Приведены результаты расчетов, показывающих необходимость внесения изменений в следующие государственные стандарты:

- ГОСТ 26686-96 «Вагоны-платформы магистральных железных дорог колеи 1520 мм. Общие технические условия»
- ГОСТ 33211-2014 «Вагоны грузовые. Требования к прочности и динамическим качествам»;

3. Ввиду существующей возможности опрокидывания контейнера в жесткой связке с рамой через скользуны необходима разработка методов



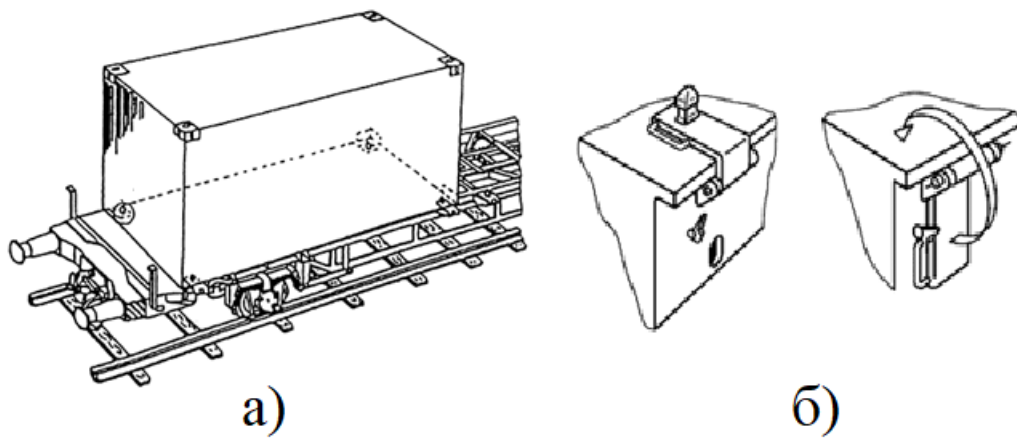
испытаний на устойчивость контейнера от опрокидывания от действия ветровых нагрузок.

## 4 ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ПО ПОВЫШЕНИЮ УСТОЙЧИВОСТИ ОТ ОПРОКИДЫВАНИЯ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ВЕТРОВОЙ НАГРУЗКИ ПОРОЖНИХ КОНТЕЙНЕРОВ СО СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ПЛАТФОРМ

### 4.1 Анализ устройств и способов креплений контейнеров и грузов к железнодорожным платформам

Основные требования к осуществлению крепления контейнеров к специализированным железнодорожным платформам приведены в ГОСТ Р ИСО 3874-2008 Контейнеры грузовые серии 1. Перегрузка и крепление [35]. В этом же государственном стандарте приведены основные примеры типовых устройств для крепления контейнеров, требования к их прочности, материалу, из которого они изготавливаются, конструктивному исполнению, а также методам испытаний.

На рисунке на 4.1 показан способ крепления контейнера к специализированной железнодорожной платформе.



*а) Общий вид железнодорожной платформы с контейнером;*

*б) Детали откидного стопорного устройства*

**Рисунок 4.1 – Крепление контейнера**

На рисунке 4.2 можно видеть наиболее часто применяемый фитинговый упор на сети дорог РФ, подобное устройство удерживает контейнер в продольной плоскости.



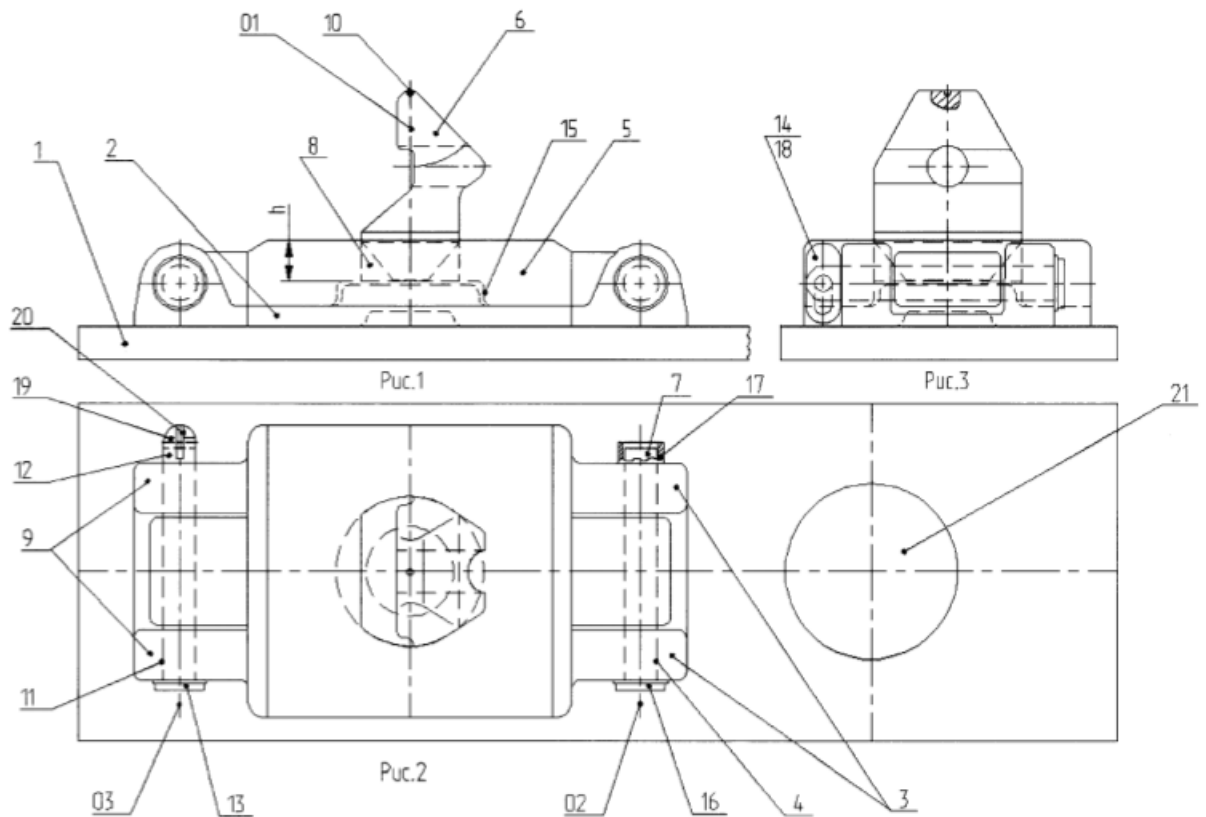
**Рисунок 4.2 Фитинговый упор, применяемый на сети дорог Российской Федерации**

Основным недостатком устройства (рисунок 4.2) является ограниченный срок его службы, а также отсутствие возможности фиксации контейнера в вертикальной плоскости.

В качестве решения проблемы опрокидывания порожних контейнеров, рядом конструкторских учреждений были разработаны и запатентованы новые конструкции фитинговых упоров для крепления крупнотоннажных контейнеров.

На территории Российской Федерации активно вводятся в эксплуатацию ряд фитинговых упоров, аналогичных патенту [81].

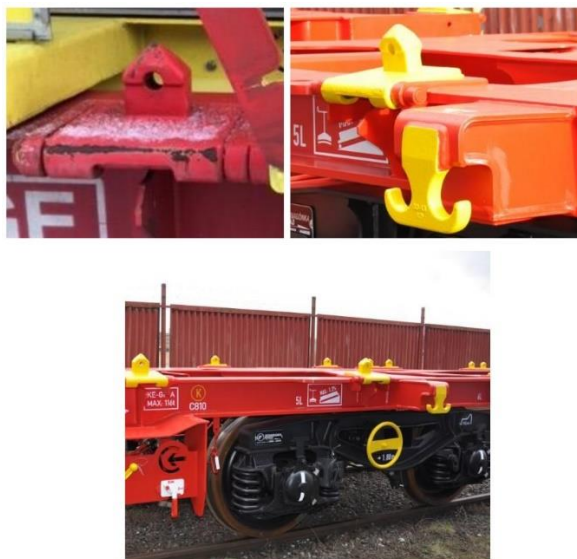
Отличительной особенностью фитингового упора [81] является схема конструкции, предотвращающая возможность нежелательного вертикального перемещения порожнего контейнера, разворота и опрокидывания при сильных поперечных ветровых нагрузках. В самом фитинговом упоре имеется отверстие для дополнительного крепежа при помощи запорно-пломбировочных устройств.



*1- нижняя плита; 2- упорная плита; 3- пара проушин; 4- сквозные отверстия; 5- плита-основание; 6-фитинговый упор; 7-поворотная ось; 8,10,15,19-отверстия, 9-поушины; 12,20 -фиксирующая ось; 13,16-головки; 17-втулка*

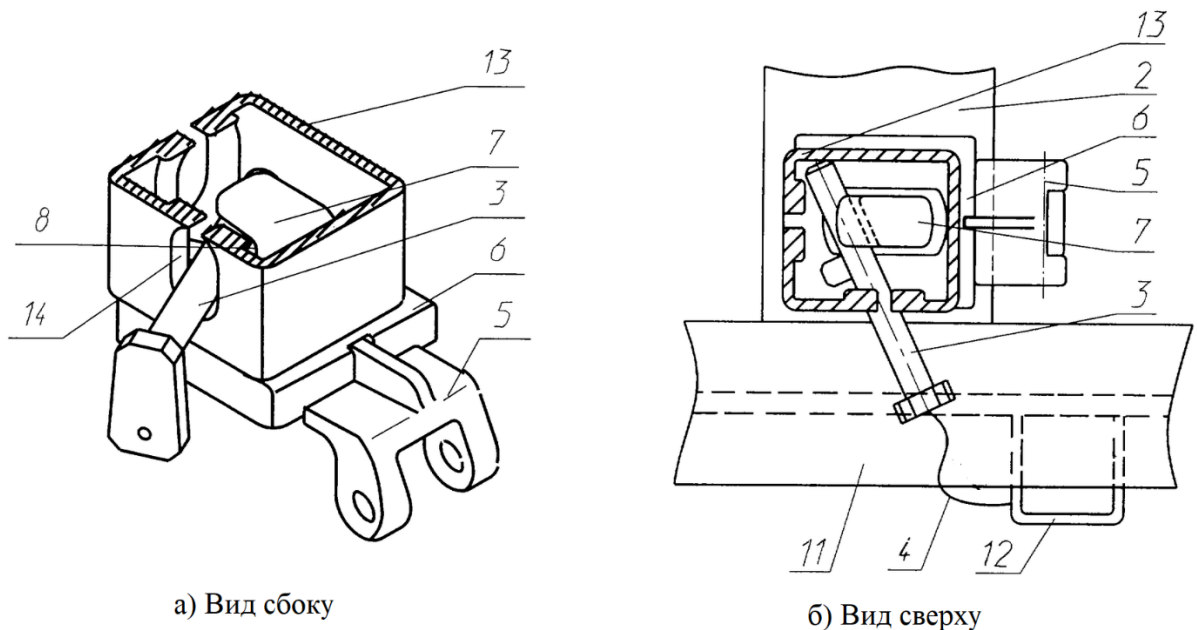
**Рисунок 4.3 – Фитинговые упоры, применяемые на сети дорог Российской Федерации**

Похожие устройства применяются австрийской компанией InnoFreight (рисунок 4.4).



**Рисунок 4.4 - Устройство крепления контейнеров компании InnoFreight**

В патенте [85] описано устройство с фитинговым упором, закрепляемое на раме платформы с возможностью поворота и фиксируемое от перемещения в вертикальной плоскости затвором (рисунок 4.5). Затвор, выполненный из прокатного профиля, крепится гибкой связкой к платформе. Затвор вставляют во внутреннюю часть фитинга контейнера под таким углом, чтобы закреплённая на затворе упорная планка прошла через швеллерообразный паз и далее поворачивают затвор до установления запорной планки в горизонтальное положение. Таким образом, упорная планка не даёт затвору выйти обратно, упираясь в упор. Противовес на ручке затвора ограничивает возможность колебаний, предотвращая таким образом выход упорной планки обратно через отверстие продольной стенки фитинга контейнера. Для снятия контейнера, все действия повторяют в обратном порядке и устанавливают затвор в карман, который крепится к продольной балке платформы и хранится там, если в его использовании нет необходимости.

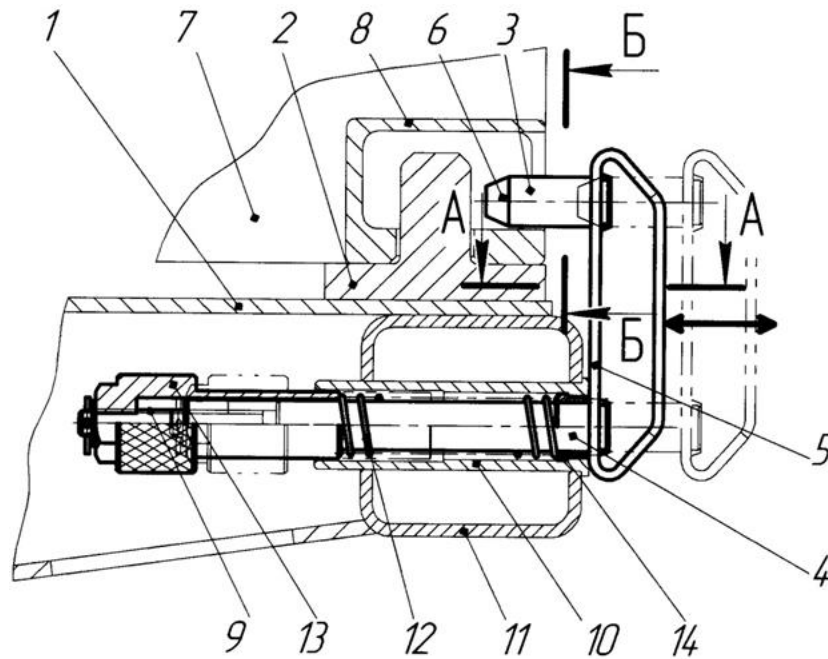


1-поворотный упор; 2- поперечная балка рамы платформы; 3- затвор; 4- гибкий элемент;  
 5-петля; 6-опорная поверхность; 7-упор; 8- швеллерообразный паз; 9- упорная планка;  
 10-противовес; 12 карман; 13-фитинг; 14 -отверстие.

**Рисунок 4.5 - Устройство крепления контейнеров [85]**

Недостатком конструкции данного фитингового упора является наличие сквозного паза, который ослабевает поворотный упор и всю конструкцию устройства, требует точного позиционирования при установке контейнера, при износе или повреждении крепежного отверстия фитинга возможно произвольное выпадание затвора.

Устройство [87] имеет цилиндрический стопор, выполненный из средней части и двух цилиндрических частей с рукояткой между ними (рисунок 4.6). Изобретение обеспечивает универсальность устройства для крепления контейнеров различной ширины, сохранение целостности конструкции упора фитинга, а также исключение несанкционированного отвода устройства в нерабочее положение путем его запирания.



1-рама; 2-упор; 3,4- цилиндрические части; 5 рукоятка; 6- заходный конус; 7-контейнер;  
8 - боковое отверстие фитинга; 9 - резьбовой участок; 10 – патрубков; 12 – пружина;  
13- винтовой регулятор; 14- антифрикционная втулка

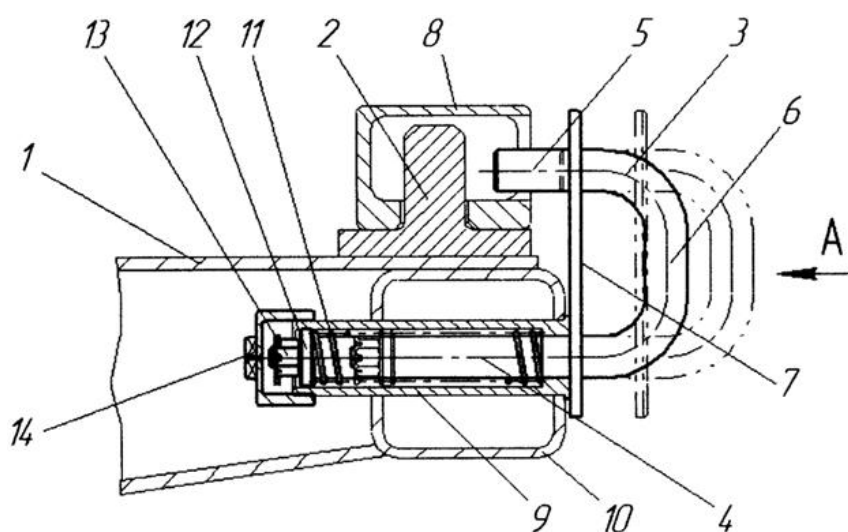
**Рисунок 4.6 Устройство для крепления контейнеров на раме платформы, с упором и стопором [87]**

Для крепления контейнера к раме платформы воздействуют на рукоятку стопора, оттягивая ее в сторону от рамы платформы, тем самым сжимая пружину 12, насаженную на длинную цилиндрическую часть стопора. Затем стопор

поворачивают на 90° и совмещают с отверстием в боковой стенке фитинга. При этом происходит надежное удержание фитинга 8, а, следовательно, и контейнера.

Для снятия контейнера отжимают рукоятку стопора от боковой балки и поворачивают стопор в нерабочее горизонтальное положение.

В патенте [86] предложен способ крепления контейнера к раме, обеспечивающий фиксацию контейнеров от опрокидывания в поперечной плоскости с помощью стопора из цельного круглого прутка, согнутого в виде скобы (Рисунок 4.7).

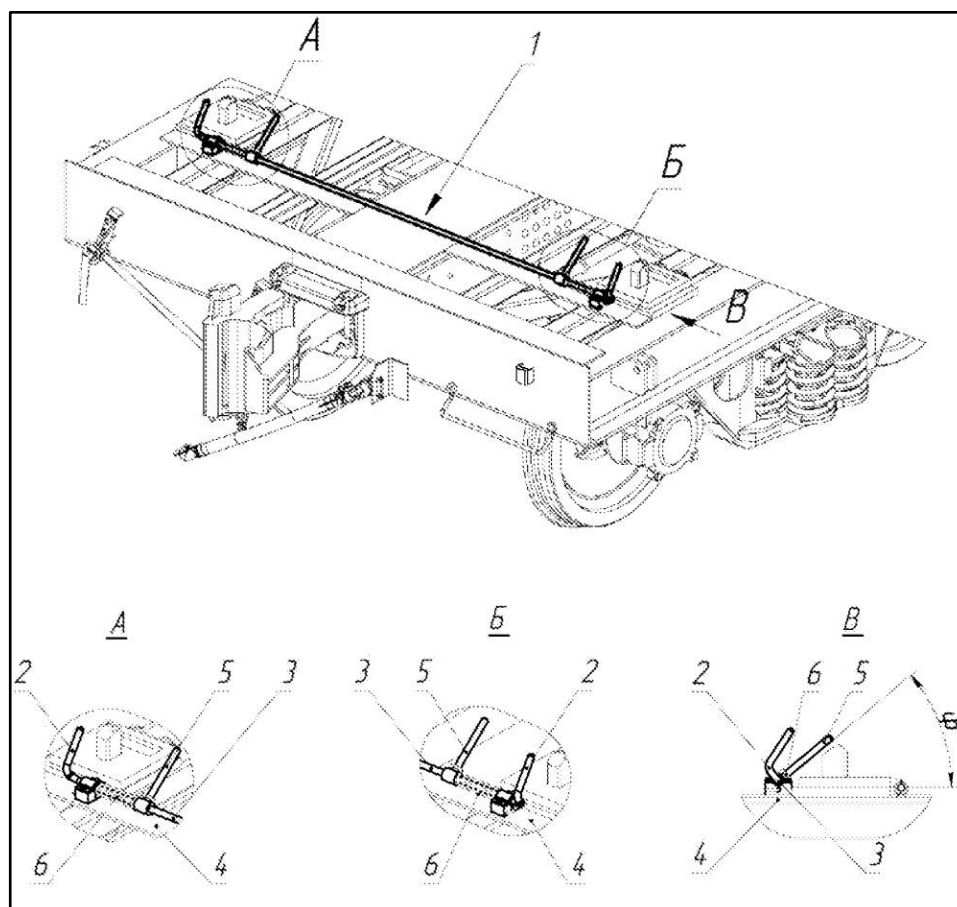


1- рама платформы; 2- упор; 3- стопор; 4,5- концевая часть 6-средняя часть стопора;  
7- планка; 8- фитинг; 9-патрубок; 10 – боковая балка; 11-пружина; 12- шайба; 13- гайка;  
14 -резьбовая крышка

**Рисунок 4.7 Устройство крепления контейнеров с упором и стопор из цельного круглого прутка [86]**

В целом функционирование устройства [86] аналогично изобретению описанному в патенте [87]. Для снятия контейнера с платформы в каждом фитинге короткую концевую часть стопора выводят из его полости, отжимая стопор от и поворачивают стопор в нерабочее горизонтальное положение. Отличительной особенностью устройства [86] является то, что стопор выполнен из цельного круглого прутка, согнутого в виде скобы. Такой вариант изготовления устройства упрочняет конструкцию и делает его более выигрышным, чем изобретение [87].

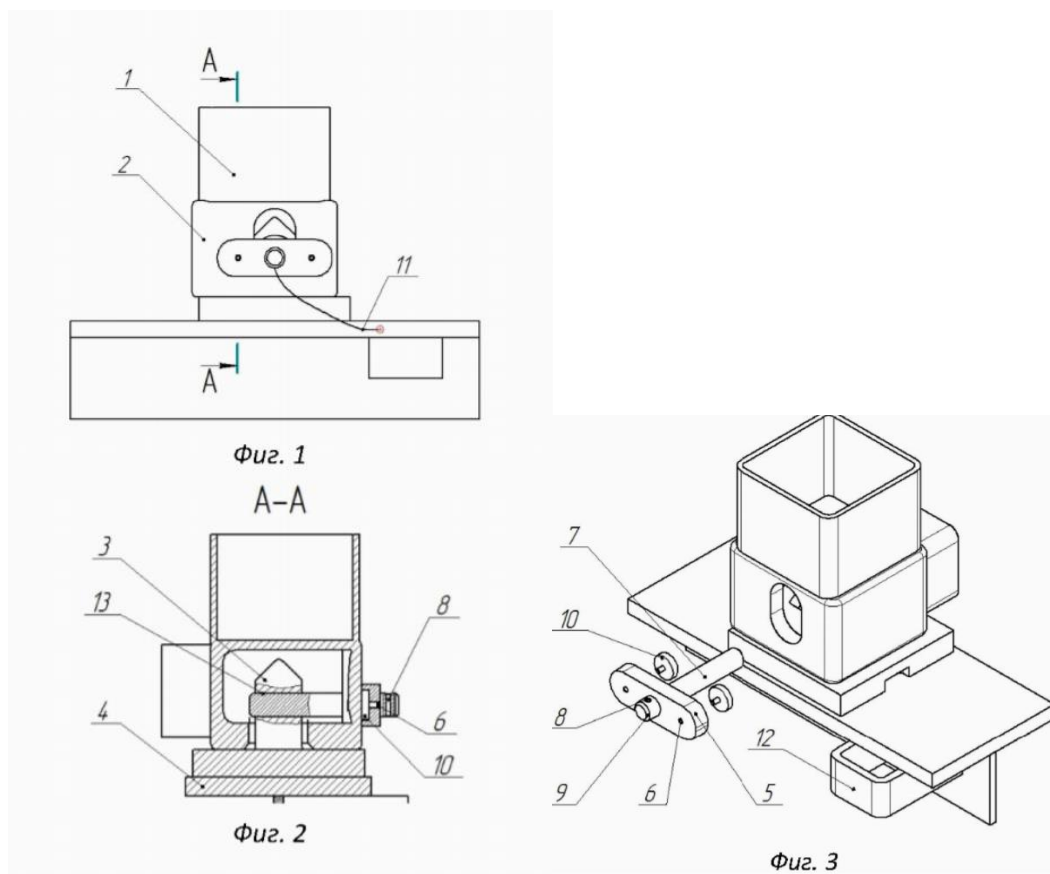
Также разрабатываются устройства для фиксации контейнеров от опрокидывания в поперечной плоскости. На рисунке 4.8 можно видеть конструкцию, выполненную в виде поворотного затвора [82].



*1,3,6-вал; 2- поворотный затвор; 4- поперечная опорная поверхность платформы; 5- рычаг*  
**Рисунок 4.8 - Устройство для фиксации контейнеров от опрокидывания в поперечной плоскости [82]**

К фитинговым упорам запирающего типа можно отнести устройство, описанное в патенте [83] в устройстве стопор содержит основание с отверстиями и жестко закрепленный на нем фиксатор с фасками и отверстием (рисунок 4.9) .





Фиг. 1- устройство; фиг. 2 – разрез А-А; фиг. 3 – аксонометрия с разнесенными элементами  
 1- контейнер; 2 - фитинг контейнера; 3 - фитинговый упор; 4 - рама платформы;  
 5 - основание стопора; 6 - отверстие основания; 7 - фиксатор стопора; 8 - отверстие фиксатора; 9 - фаска фиксатора; 10 - магнит; 11 - гибкий элемент; 12 - держатель;  
 13 - отверстие фитингового упора

**Рисунок 4.9 Устройство для крепления контейнера на раме платформы [83]**

Следует отметить, что в настоящее время проектируются новые конструкции фитинговых упоров и направляющих устройств для специализированных железнодорожных платформ. Эти изобретения проходят стадию патентования.

Таким образом, в настоящее время существует 3 основных типа креплений большегрузных контейнеров: фитинговые упоры без непосредственной фиксации; фитинговые упоры запирающего типа; а также страховочные устройства и крепления универсального типа, требующие адаптации к специализированной железнодорожной платформе.

Если недостатками фитинговых упоров без непосредственной фиксации является возможность опрокидывания контейнера под воздействием поперечных нагрузок, то к недостаткам фитинговых упоров запирающего типа относится

трудозатратность, как при погрузке контейнера, так и при снятии со специализированной железнодорожной платформы, что приведет к существенному увеличению сроков погрузки. В этом отношении наиболее выигрышным является устройство описанное в патенте [82], так как позволяет избежать использования ручного труда. К недостаткам фитинговых упоров запирающего типа можно отнести сложность в изготовлении конструкции и большую металлоемкость. Учитывая тот факт, что транзитный контейнерный поезд проходит через различные климатические зоны Российской Федерации, существует вероятность обледенения элементов конструкций запирающих фитинговых упоров и заклинивания под воздействием перепадов температур.

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

В ГОСТ Р ИСО 3874-2008 Контейнеры грузовые серии 1. Перегрузка и крепление [35] предъявляются требования к методам испытаний креплений контейнеров, но среди этого перечня нет вида испытаний на устойчивость от опрокидывания, также, как и в ГОСТ 33788-2016. Общие положения по техническому наблюдению за контейнерами и правила изготовления контейнеров [72] также не предусматривают требований к методам испытаний контейнеров на устойчивость.

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.

Этому режиму соответствует остановка поезда в кривой малого радиуса с возвышением наружного рельса 150 мм и движение в кривой со скоростью менее 30 км/ч. в условиях сильного ветра.

Для проведения испытаний будет использован этот расчетный режим, как самый консервативный. В таблице 4.1 представлены значения скорости ветра и равнодействующей силы ветровой нагрузки  $F_v$ , приложенной к геометрическому центру подветренной поверхности контейнера и действующей нормально к поверхности контейнера, для расчетного режима. В процессе эксплуатации специализированной платформы для перевозки контейнеров возможны повреждения или неполное запираение удерживающих устройств и другие нештатные ситуации, поэтому следует учитывать коэффициент запаса – 1,5, ввиду того что на одно удерживающее устройство может приходиться вся ветровая нагрузка.

**Таблица 4.1 – Результаты расчета опрокидывающей ветровой нагрузки и скорости ветра для расчетного режима и различных типов контейнеров.**

№п/п	Тип контейнера	Масса порожнего контейнера	Длина контейнера	Высота контейнера	Радиус кривой	Равнодействующая сила ветровой нагрузки, $F_v$		Скорость ветра, $V$	
						Н	кгс	м/с	км/ч
1	1EEE	3800	13,716	2,896	250	28267,53	2882,486	30,64	110,29
2	1EE	3700		2,591		35667,17	3637,039	34,41	123,89
3	1AAA	3600	12,192	2,896		26779,77	2730,776	31,63	113,86
4	1AA	3500		2,591		33739,21	3440,442	35,50	127,81
5	1A	3200		2,438		35574,98	3627,639	36,45	131,24
6	1BBB	2600	9,125	2,896		19340,94	1972,227	31,07	111,85
7	1BB	2500		2,591		24099,44	2457,459	34,68	124,86
8	1B	2500	2,438	27792,96		2834,093	37,25	134,08	
9	1CC	1800	6,058	2,591		17351,59	1769,37	36,12	130,02
10	1C	1800		2,438		20009,58	2040,35	38,79	139,63

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 4.12) на угол  $\alpha$ .

$$\alpha = \arctg(h_p / 2s). \quad (4.1)$$

где  $h_p$  – возвышение рельса;  $2s$  – расстояние между кругами катания.

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

Электрическая лебедка устанавливается согласно схеме (см. рисунок 4.12). 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.

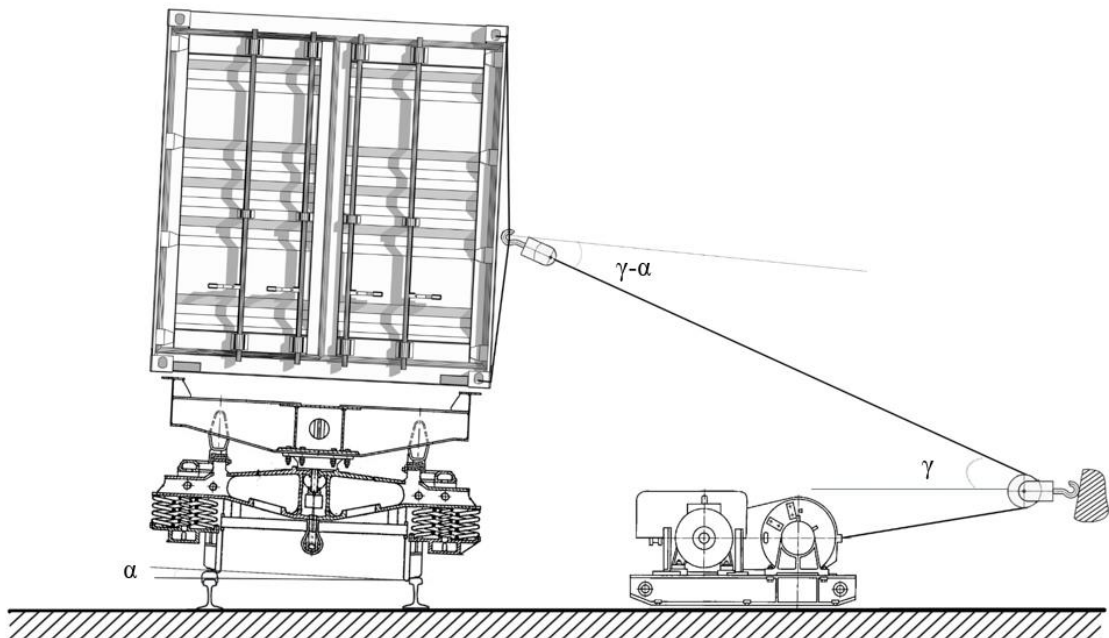


Рисунок 4.12 Схема испытательного стенда

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

В целях обеспечения безопасности испытаний, ввиду возможности опрокидывания рамы и контейнера, испытываемую платформу необходимо

устанавливать в удерживающие габаритные ворота или фиксировать ненатянутым тросом с противоположной стороны.

Равнодействующая сила ветровой нагрузки  $F_B$ , действующая нормально к поверхности контейнера, вычисляется по формуле:

$$F_B = F_T \cdot \cos(\gamma - \alpha), \quad (4.2)$$

где  $\gamma = \arccos(L_{\text{Л}} / L_T)$ ;

$L_{\text{Л}}$  – расстояние по горизонтали от электрической лебедки до поверхности контейнера (платформы);

$L_T$  – длина троса электрической лебедки.

При проведении испытаний равнодействующую силу ветровой нагрузки, создаваемую лебедкой, подают ступенчато, после показаний динамометра в 15000 Н, до максимальной расчетной величины для соответствующего контейнера (см. таблицу 4.1). При этом фиксируется момент отрыва фитинга контейнера от фитингового упора или удерживающего устройства и нагрузка его вызвавшая. Также фиксируется возможный момент отрыва колеса от рельса.

В работе [66] продолжен метод для экспериментальной проверки креплений контейнера или съемного кузова от опрокидывания, при котором рама вагона-платформы приводится в наклонное положение при помощи домкрата, в целях имитации наружного рельса. При таком способе испытаний исключается возможность отрыва ходовых частей от рельса, ввиду фиксации рамы вагона-платформы с обеих сторон гидравлическими домкратами.

Для каждого контейнера производится серия испытаний, по результатам испытаний определяется погрешность измерений.

$$F_{\text{с}} = f(F_m, h_p, s, L_{\text{Л}}, L_m). \quad (4.3)$$

Абсолютная погрешность измерений определяется по формуле:

$$\Delta F_B = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial F_T}\right)^2 \Delta F_T^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial h_p}\right)^2 \Delta h_p^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial s}\right)^2 \Delta s^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial L_{\text{Л}}}\right)^2 L_{\text{Л}}^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial L_T}\right)^2 L_T^2}. \quad (4.4)$$

Частные производные искомой функции  $F_{\text{с}} = f(F_m, h_p, s, L_{\text{Л}}, L_m)$  рассчитываются по формулам:

$$\frac{\partial f}{\partial F_T} = \cos(\gamma - \alpha); \quad (4.4)$$

$$\frac{\partial f}{\partial h_p} = F_T \sin(\gamma - \alpha) \cdot \frac{1}{1 + \left(\frac{h_p}{2s}\right)^2} \cdot \frac{1}{2s}; \quad (4.5)$$

$$\frac{\partial f}{\partial s} = F_T \sin(\gamma - \alpha) \cdot \frac{1}{1 + \left(\frac{h_p}{2s}\right)^2} \cdot \left(-\frac{1}{2s^2}\right); \quad (4.6)$$

$$\frac{\partial f}{\partial L_{Л}} = -F_T \sin(\gamma - \alpha) \cdot \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{L_{Л}}{L_T}\right)^2}} \cdot \frac{1}{L_T}; \quad (4.7)$$

$$\frac{\partial f}{\partial L_{Л}} = -F_T \sin(\gamma - \alpha) \cdot \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{L_{Л}}{L_T}\right)^2}} \cdot \left(-\frac{h_s}{2L_T^2}\right). \quad (4.8)$$

### Вычисление ошибок измерения величин

Необходимо провести  $N$  опытов по измерению величины  $F_T$

Среднее значение  $F_T$  определяется по формуле:

$$\overline{F_T} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N F_{T,i}, \quad (4.9)$$

и среднеквадратичной ошибки  $\Delta F_T$

$$\Delta F_T = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (F_{T,i} - \overline{F_T})^2}{N - 1}}. \quad (4.10)$$

Для измерения величин (длин)  $h_p$ ,  $s$ ,  $L_{Л}$ ,  $L_m$  в качестве среднеквадратической ошибки  $\Delta h_p$ ,  $\Delta s$ ,  $\Delta L_{Л}$ ,  $\Delta L_m$  принимается половина наименьшего деления измерительного устройства (измерительной металлической рулетки), тогда:

$$\overline{F_B} = \overline{F_T} \cos(\gamma - \alpha); \quad (4.11)$$

$$F_B = \overline{F_B} \pm \Delta F_B. \quad (4.12)$$

В приложении Б диссертации представлен документ, разработанный в соответствии с правилами по сертификации П ССФЖТ 46-2001, 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.

### **4.3 Методы ветрозащиты на железнодорожном транспорте**

Ввиду того, что даже в жестком креплении контейнера к раме остается риск опрокидывания рамы и контейнера через скользун, в диссертации рассматриваются традиционные способы ветрозащиты на железнодорожном транспорте. К основным методам ветрозащиты на железнодорожном транспорте можно отнести [26]:

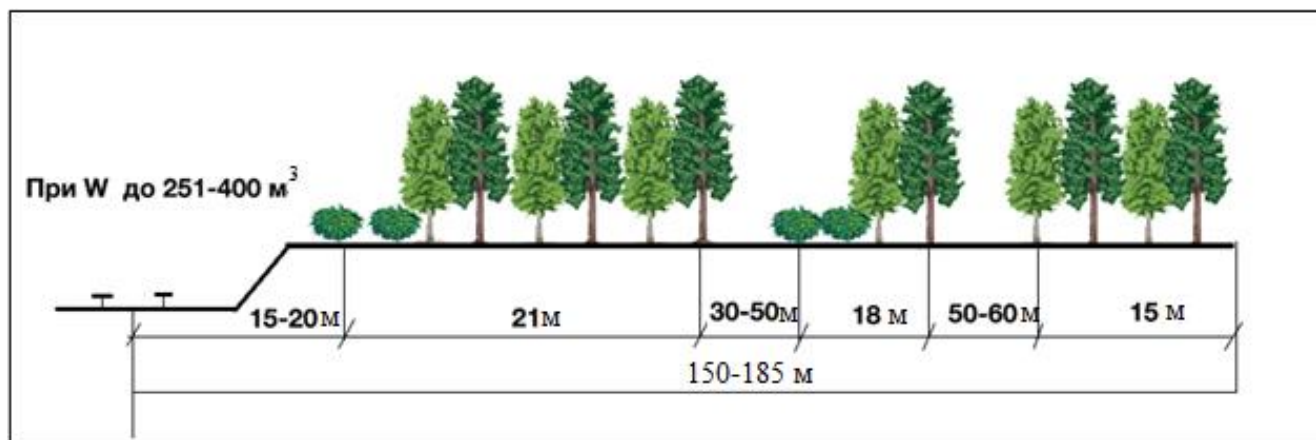
- Устройство железнодорожных лесонасаждений;
- Возведение инженерных сооружений и защитных экранов вдоль железнодорожных путей;
- Изменение и упрочнение конструктивных особенностей мостовых пролетов;
- Повышение устойчивости и изменение конструктивных особенностей подвижного состава.

Железнодорожные защитные лесонасаждения могут выполнять сразу несколько функций [101]:

- препятствуют образованию снежных заносов;
- ослабляют ветровую нагрузку на подвижной состав;
- способствуют удержанию почв от осыпания и препятствуют эрозии почвы;
- снижают уровень шума от железнодорожного транспорта.

В целях ветроослабления создают насаждения, которые представляют из себя трехрядную плотную конструкцию [40].

Относительно железнодорожного полотна первый крайний ряд засаживают кустарником, следующие два ряда высаживают чередованием главной и сопутствующей породы деревьев (рисунок 4.12) [40].



**Рисунок 4.12 - Схема ветроослабляющей, снегозащитной лесной полосы вдоль линий железных дорог**

Одним из способов ветроподавления на железнодорожном транспорте является экранирование. Как правило, экраны применяются для снижения шумового воздействия от железнодорожного транспорта. В случае ветроподавления эти типы экранов экономически не целесообразны, поэтому применяются перфорированные ограждения из профилированных стальных панелей.

Перфорированные ограждения устанавливают вдоль железнодорожных путей для предотвращения песчаных заносов на рельсовых путях. Они препятствуют переносу песка на дорогу и обеспечивают безопасность движения составов. Кроме того, экраны защищают железнодорожное полотно от посторонних людей и диких животных, выполняют функцию ветрозащитного экрана на участках с сильным боковым ветром и улучшают устойчивость движения железнодорожного состава. Ветрозащитные экраны эффективно использовать в тех районах, в которых невозможно выращивать защитные насаждения из-за нехватки воды и бедности почв. Стальная перфорированная стена контролирует и изменяет направление потоков ветра, уменьшает скорость ветра, уменьшает силу и размер вихревых потоков, предотвращает



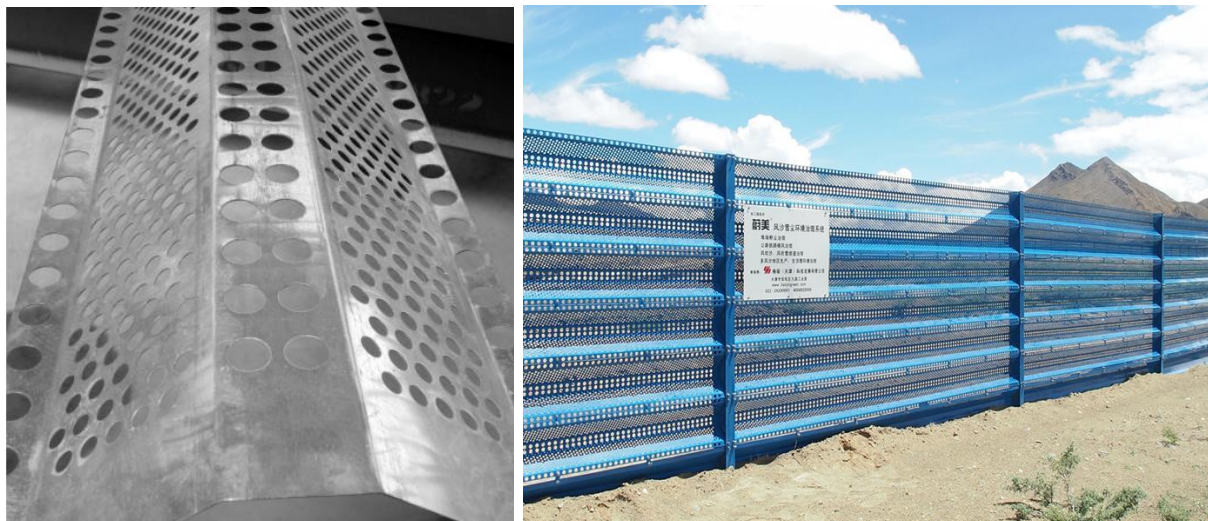
распространение пыли. При использовании конструкции из стальных панелей, перфорация обеспечивает прохождение ветра через стену и снижения его скорости, поэтому ветру не хватает подъемной мощности.

Функции ветрового экрана:

- уменьшение силы ветра;
- контроль воздушных потоков;
- рассеивание пыли;
- защита от резких порывов ветра;
- снижение силы бокового ветра;
- оптимальная циркуляция воздуха;
- защита от диких животных;
- защита от посторонних людей.

Данные системы из стальных панелей отличаются небольшой стоимостью, широкой применимостью и простотой монтажа.

На рисунке 4.13 приведены примеры установки ветрозащитных экранов.



**Рисунок 4.13** Примеры установки ветрозащитных экранов

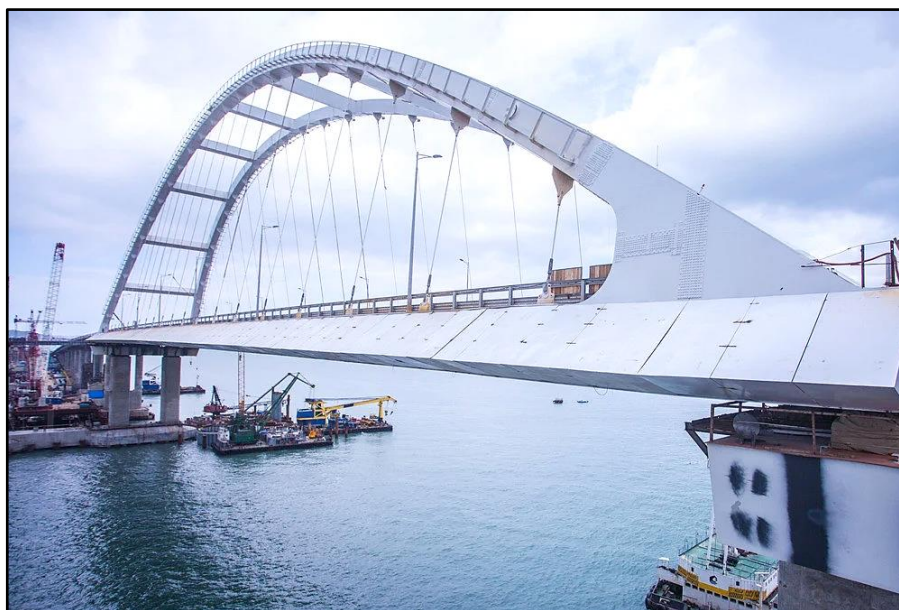
Ветрозащитный экран состоит из металлического силового каркаса и перфорированных профилированных панелей. Панели (перфорированный профнастил) крепятся к металлическому каркасу, установленному на фундамент, с помощью болтового соединения. Каркас изготавливается из двутавровых балок, швеллеров, уголков, труб.

Ветрозащитные перфорированные панели производятся из оцинкованной стали толщиной от 1 до 1,5 мм. Для дополнительной защиты от коррозии панели покрываются полимерной порошковой краской.

В практике мостостроения имел место ряд случаев обрушений мостовых сооружений под воздействием ветровой нагрузки.

Крушение железнодорожного моста Tay Rail Bridge (1979 г.), обрушение моста Тэкома-Нэрроуз в штате Вашингтон (1940 г.), обрушение путепровода в трассы Обская – Бованенко на Ямале (2008 г.) - это неполный перечень аварий, произошедших в результате недоучета ветровой нагрузки, чрезмерных динамических крутильных колебаний, вызванных ветром [91].

Для предотвращения негативных аэродинамических явлений Керченского моста были спроектированы аэродинамические обтекатели «крыло самолета». Эти конструкции снижают ветровое воздействие на арочный пролет [109]. Подобные меры относятся к пассивному способу борьбы с колебаниями.



**Рисунок 4.14- Аэродинамические обтекатели Крымского моста.**

Отличительной особенностью аэродинамических обтекателей является простота монтажа и эксплуатации.

#### 4.4 Способы обработки риска транспортных происшествий

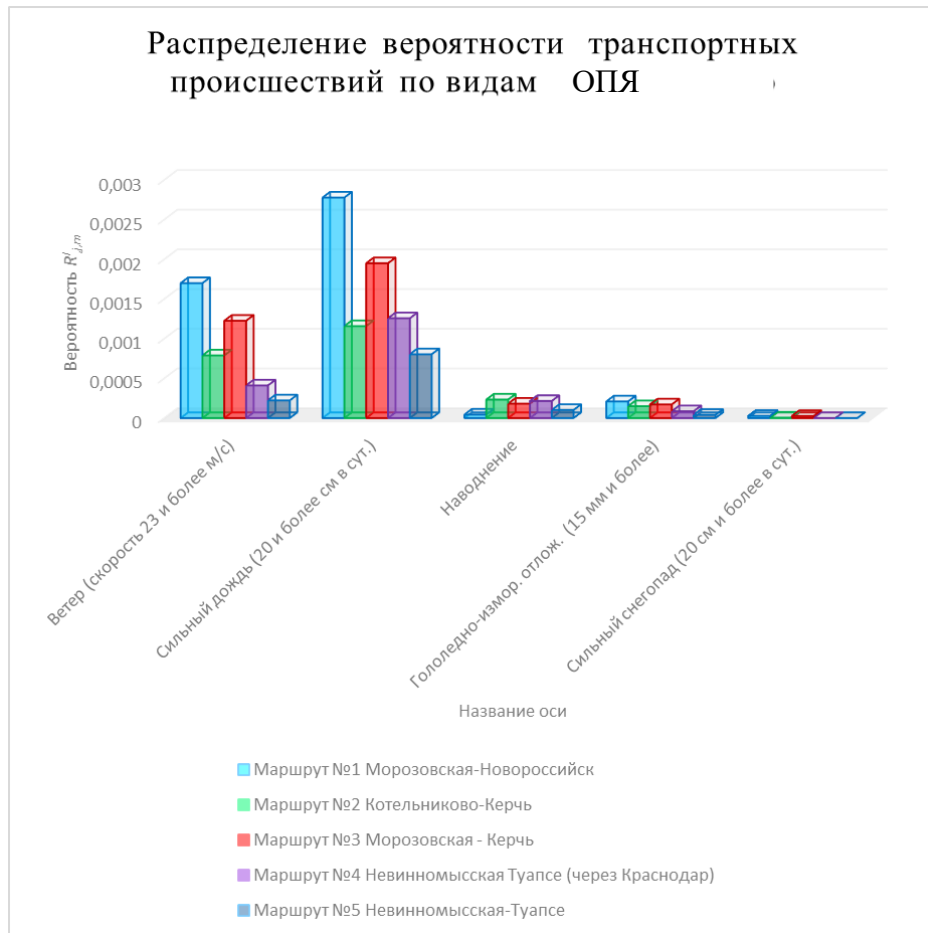
В соответствии с требованиями ГОСТ 33788-2016 [30] мероприятия по обработке риска могут быть направлены:

- на полное исключение риска;
- уменьшение частоты (вероятности) появления опасного события;
- уменьшение последствий опасного события;
- передачу или распределение риска;
- сохранение риска и разработку планов устранения последствий.

Для грамотной обработки риска от транспортных происшествий, вызванных опасными явлениями, возникающими в окружающей среде необходимо понимание распределения вероятности возникновения того или иного ОПЯ. Проанализировав диаграмму 4.15, можно определить, что на все пять выбранных маршрутов к портам Азово-Черноморского бассейна преобладает воздействие таких природных опасных явлений, как ветер со скоростью 25 и более м/с и сильный дождь с количеством осадков 20 и более см в сутки.

Так как в случае природных явлений и стихийных бедствий не представляется возможным снизить частоту их возникновения, ключевым способом обработки риска будет считаться уменьшение последствий опасного явления.

Мероприятия по уменьшению рисков опасных воздействий окружающей среды должны сводиться к принятию технологических мер, таких как изменение и упрочнение конструктивных особенностей подвижного состава, а в случае невозможности их реализации, принятию организационных мер (рисунок 4.6).



**Рисунок– 4.15 Результаты распределения вероятности транспортного происшествия по видам ОЯ природного характера**

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО УМЕНЬШЕНИЮ РИСКОВ

Снижение вероятности аварий	Минимизация последствий аварий	Реализация принципа приоритетности безопасности на всех уровнях управления транспортными потоками	Осознанное повышение культуры безопасности работников транспорта и пассажиров, посредством экологизации сознания и мировоззрения, целевой ориентации системы профессионального образования, корпоративной морали, культуры, отраслевой науки и техники
-----------------------------	--------------------------------	---	--

МЕРОПРИЯТИЯ ПО УМЕНЬШЕНИЮ РИСКОВ

<p style="text-align: center; font-weight: bold;">Технологические мероприятия:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Устройство железнодорожных лесонасаждений;</li> <li>- Возведение инженерных сооружений и защитных экранов вдоль железнодорожных путей;</li> <li>- Изменение и упрочнение конструктивных особенностей мостовых пролетов;</li> <li>- Повышение устойчивости и изменение конструктивных особенностей подвижного состава.</li> </ul>	<p style="text-align: center; font-weight: bold;">Организационные мероприятия:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Совершенствование метеорологического предупреждения и прогнозирования ОАО РЖД;</li> <li>- Обеспечение доступа к климатическим данным руководителям дорог, поездным диспетчерам в режиме реального времени;</li> <li>- Обеспечение немедленного реагирования на смену погодных условий;</li> <li>- Разработка правил пропуска поездов по мостовым пролетам в условиях штормового предупреждения.</li> </ul>
--	--

23

**Рисунок 4.16 – Рекомендации по уменьшению риска**

Все принятые мероприятия должны базироваться на принципе приоритетности безопасности на всех уровнях управления транспортными потоками и согласоваться с концепцией «приемлемого риска».

#### **4.5 Выводы по разделу 4**

1. Рассмотрены основные направления модернизации конструкции фитинговых упоров и креплений контейнеров к железнодорожным платформам;
2. Сделаны общие выводы о недостатках фитинговых упоров запирающего типа.
3. Разработан метод испытаний устройств крепления контейнера к специализированной железнодорожной платформе, обеспечивающих устойчивость контейнеров от опрокидывания при нормативной ветровой нагрузке;
4. Рассмотрены основные методы ветрозащиты на железнодорожном транспорте и способы обработки риска на железнодорожном транспорте.

## 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/м<sup>2</sup>. 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/м<sup>2</sup>;

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  $200 \text{ кгс/м}^2$ . Для обеспечения устойчивости при воздействии максимальной ветровой нагрузке равной  $200 \text{ кгс/м}^2$ , конструкция удерживающего устройства должна обеспечивать вертикальное усилие с учетом коэффициента запаса не менее 3000 кгс.

## Список литературы

1. Аварии и катастрофы. Предупреждение и ликвидация последствий. В 5-ти книгах. Книга №5./Под ред. В. А. Котляревского и А.В. Забегаева. – Москва: Изд-во АСВ. 2001.- 416 с.
2. Акулиничев, В.М. Математические методы в эксплуатации железных дорог. - Москва: Транспорт. 1981. – 223 с.
3. Атлас природных и техногенных опасностей и рисков чрезвычайных ситуаций в Российской Федерации / МЧС России ; РАН ; Роскартография – геогр. основа ; Редкол.: С.К. Шойгу (пред.) и др. ; Вед. ред. карт Н.Б. Трохина. – Москва : ДИК, 2005. – 1 атл. (269 с.) : цв. : карты, текст, табл., диагр., графики, ил.; 41x30 см.
4. Безуглова, Е.В. Оползневая опасность и риск смещений грунтов на склонах: диссертация ... кандидата технических наук: 25.00.08. – Краснодар, 2005. - 209 с. : ил.
5. Березин, А. Упор для инициативы [Электронный ресурс]: <http://www.gudok.ru/newspaper/?ID=1356016>. (Дата обращения: 21.06.2020)
6. Боландова, Ю.К. К вопросу безопасности железнодорожных контейнерных перевозок на ветрозависимом участке «Крымский мост» / Ю.К. Боландова, В.Г. Попов, Ф.И. Сухов // 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. – 599-604.
7. 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.
8. 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.

9. Боландова, Ю.К. Комплексный подход в вопросе безопасности воинских перевозок железнодорожным транспортом / Ю.К. Боландова, В.Г. Попов, Ф.И. Сухов // 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.

10. Боландова, Ю.К. Культура обеспечения безопасности транспорта / Ю.К. Боландова, В.Г. Попов, Ф.И. Сухов // Мир транспорта. – 2019. – № 2 – С. 206-217.

11. Боландова, Ю.К. Оценка аварийного риска при движении поездов в результате воздействия чрезвычайных ситуаций природного характера, возникающих в окружающей среде / Ю.К. Боландова, В.Г. Попов, Ф.И. Сухов // Наука и техника транспорта. – 2018. – №4. – С. 115-120.

12. 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.

13. Боландова, Ю.К. Оценка экологического риска от чрезвычайных ситуаций природного характера при движении грузовых поездов / Ю.К.

Боландова, В.Г. Попов, Ф.И. Сухов // 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.

14. Боландова, Ю.К. Способы управления экологическим риском аварийных ситуаций на железнодорожном транспорте, возникающим в результате опасных воздействий окружающей среды / Ю.К. Боландова, В.Г. Попов, Ф.И. Сухов // 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. – 388-393.

15. Боландова, Ю.К. Управление безопасностью и культура безопасности на транспорте / Ю.К. Боландова, В.Г. Попов, Ф.И. Сухов Е. Г. Асманкин // Известия Петербургского университета путей сообщения. – 2019. – № 4. – С. 611-619.

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

17. Боландова, Ю.К. Условия опрокидывания порожних контейнеров под воздействием ветровых нагрузок / Ю.К. Боландова, В.Г. Попов, Ф.И. Сухов, А. В. Матешева // Мир транспорта. – 2019. – № 6. – С. 50-61.

18. 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.

19. Боландова, Ю.К. Экономическая оценка аварийного риска воздействия природных чрезвычайных ситуаций при движении поездов / Ю.К. Боландова, В.Г. Попов, Ф.И. Сухов // Надежность. – 2019.–№ 19 (2). –С. 49–54.

20. В Карагандинской области сильным ветром с грузового поезда сдуло контейнер [Электронный ресурс]: <https://365info.kz/2015/12/v-karagandinskoj-oblasti-silnym-vetrom-s-gruzovogo-poezda-sdulo-kontejner/> (Дата обращения: 21.06.2020)

21. Вентцель, Е. С., Овчаров, Л. А. Теория случайных процессов и ее инженерные приложения: учеб. пособие для вузов. – М.: Высш. шк., 2000. – 383 с.

22. Ветровая нагрузка на сооружения. Савицкий Г.А. Стройиздат. Москва: 1972. – 145 с.

23. Воробьев, Ю.Л. Безопасность жизнедеятельности (некоторые аспекты государственной политики). МЧС России. - М.: Деловой экспресс. 2005. – 376 с.

24. Гармышев, В.В. Методика оценки и ранжирования объектов и территорий железнодорожного транспорта по показателям чрезвычайных ситуаций, связанных с пожарами (на примере Восточно-Сибирской железной дороги) монография / В. В. Гармышев, В. А. Тарасенко ; МВД России, Федеральное гос. образовательное учреждение высш. проф. образования ""Восточно-Сибирский ин-т М-ва внутр. дел Российской Федерации"". Иркутск, 2008."

25. ГОСТ 10935-97. Вагоны грузовые крытые магистральных железных дорог колеи 1520 мм. Общие технические условия = Box-cars for 1520 mm gauge main line railways. General specifications : межгосударственный стандарт / Разработан Межгосударственный техни-ческий комитет по стандартизации МТК 243 «Вагоны». - Взамен ГОСТ 10935-82 и ГОСТ 26685-85 / Введен 1999-01-01. - Москва : Изд-во стандартов, 1998. - II, 9 с.; 29 см.

26. ГОСТ 17.5.3.02-90 Охрана природы. Земли. Нормы выделения на землях государственного лесного фонда защитных полос лесов вдоль железных и автомобильных дорог = Nature protection. Lands. Rates for shelter belts allotment

along railroads and highways on lands state forest reserves : государственный стандарт Союза ССР ГОСТ 17.5.3.02-90 : взамен ГОСТ 17.5.3.02-79 : введён 01.01.91 / Государственный комитет СССР по охране природы. - Москва : Изд-во стандартов, 1990 г. - 4 с.

27. ГОСТ 22.0.03-97 Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Природные чрезвычайные ситуации. Термины и определения = Safety in emergencies. Natural emergencies. Terms and definitions : межгосударственный стандарт ГОСТ 22.0.03-97/ГОСТ Р 22.0.03-95 : введён впервые : введён 1996-07-01 / Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации. - Москва : ИПК Изд-во стандартов, 2000 г. - IV, 11 с.

28. ГОСТ 26686-96. Вагоны-платформы магистральных железных дорог колеи 1520 мм. Общие технические условия [Текст] = Flat car backtone railroad bog 1520 mm gauge. General technical specifications : межгосударственный стандарт : издание официальное : постановлением Государственного комитета Российской Федерации по стандартизации, метрологии и сертификации от 8 июля 1997 г. № 242 введен в действие непосредственно в качестве государственного стандарта РФ : взамен ГОСТ 26686-85 : дата введения 1998-07-01 / разраб. "Межгосударственный технический ком. по стандартизации МТК 243 "Вагоны". - Москва : Изд-во стандартов, 1997. - III, 11, [1] с. : табл.; 22 см.

29. ГОСТ 33211-2014 Вагоны грузовые. Требования к прочности и динамическим качествам (с Поправкой) Технические условия размещения и крепления грузов (Приложение 3 к СМГС)

30. ГОСТ 33433–2015 Управление рисками на железнодорожном транспорте [Текст] = Functional safety. Risk management on railway transport : межгосударственный стандарт : издание официальное : введен впервые : введен приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 04.12.2015 № 2108-ст : дата введения 2016-09-01 / подгот. ФГУП "Всероссийский науч.-исслед. ин-т стандартизации и сертификации в машиностроении". - Москва : Стандартиформ, 2016. - III, 34 с.; 29 см.

31. ГОСТ Р 20527-82. Фитинги угловые крупнотоннажных контейнеров. Конструкция и размеры = Angle fittings for gross weight freight containers. Design and dimensions. - Изд. (нояб. 2004) с изм. № 1, утв. в мае 1987 (ИУС 8-87) / Взамен ГОСТ 20527-75; Введ. 01.01.83. - Москва : ИПК Издательство стандартов, 2004. - 8 с.

32. ГОСТ Р 52202–2004. Контейнеры грузовые. Термины и определения [Текст] = Freight containers. Vocabulary : национальный стандарт Российской Федерации : издание официальное : утвержден и введен в действие Постановлением Госстандарта России от 19 января 2004 г. № 18-ст : введен впервые : дата введения 2004-07-01 / подготовлен "Проектно-исследовательский и научно-исследовательский институт промышленного транспорта". - Изм. №1, введ. 01.03.2018 г. (ИУС 2-2018). - Москва : Изд-во стандартов, 2004. - III, 19 с. : табл.; 29 см.

33. ГОСТ Р 53350–2009. Контейнеры грузовые серии 1. Классификация, размеры и масса [Текст] = Series 1 freight containers. Classification, dimensions and ratings : национальный стандарт Российской Федерации ГОСТ Р 53350-2009(ИСО 668:1995) : введен впервые : введен 2010-01-01 : издание официальное / Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. - Изм.№1, введ.01.03.2018 (ИУС 2-2018). - Москва : Стандартинформ, 2009. - IV, 14 с. : табл.; 29 см.

34. ГОСТ Р ИСО 1496-5-2012 Контейнеры грузовые серии 1. Технические требования и методы испытаний. Ч. 5. Контейнеры-платформы и контейнеры на базе платформ : Series 1 freight containers. Specification and testing. Part 5. Platform and platform-based containers : национальный стандарт Российской Федерации : введен впервые : введен 2013-07-01 / Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. - Москва : Стандартинформ, 2014. - III, 36 с.

35. ГОСТ Р ИСО 3874-2008 Контейнеры грузовые серии 1. Перегрузка и крепление = Series 1 freight containers. Handing and securing : национальный стандарт Российской Федерации ГОСТ Р ИСО 3874-2008 : взамен ГОСТ Р ИСО

3874-2002 : введен 2009-01-01 / Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. - Москва : Стандартинформ, 2008. - III, 58 с.

36. Даукша А.С. Совершенствование вагонов на основе использования съемных кузовов : диссертация ... кандидата технических наук : 05.22.07 / Даукша Анфиса Сергеевна; [Место защиты: Петерб. гос. ун-т путей сообщ.]. - Санкт-Петербург, 2018. - 142 с. : ил."

37. Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2018 год. – Москва, 2019. –79 с.

38. Долгосрочная программа развития открытого акционерного общества "Российские железные дороги" до 2025 года. Правительство Российской Федерации № 466-р от 19 марта 2019 г

39. Дополнение к телеграмме ОАО "РЖД" N ЦДМУ-6/161 от 05.06.2013 и N ЦДМУ-6/172 от 11.06.2013 о технических нормах высоты центра тяжести крытых вагонов

40. Дроздов, И.И., Мерзленко М.Д., Коженкова А.А., Рысин С.Л. Технология защитного лесоразведения: Методические указания для студентов спец. 260400 и 260500. - М: МГУЛ, 1999,-27с.

41. Железнов, М.М.. Спутниковая навигация транспортных средств с использованием цифровых моделей железной дороги : диссертация ... кандидата технических наук : 25.00.35. - Москва, 2002. - 152 с. : ил.

42. Железнодорожная климатология : [монография] / [Б. Д. Фишбейн и др.] ; под ред. Б. Д. Фишбейна ; М-во трансп. Российской Федерации, Федеральное агентство ж.-д. трансп., Гос. образовательное учреждение высш. проф. образования Самарский гос. ун-т путей сообщ. - Самара : СамГУПС, 2007. - 506 с. : ил., табл.; 25 см.; ISBN 978-5-98941-059-0

43. Завершен монтаж аэродинамических обтекателей автодорожной арки Крымского моста [Электронный ресурс]: <http://rosavtodor.ru/eye/news/1/221491>  
Режим доступа (Дата обращения: 21.06.2020)

44. Задание на проектирование, утвержденное старшим вице-президентом ОАО «РЖД» В.А. Гапановичем 06.03.2014 г

45. Зубков В.Н., Парлюк Е.Г. Инновационное развитие инфраструктуры Северокавказской железной дороги для организации движения поездов с различными скоростями на направлении Москва-Адлер. // Журнал «Транспорт: наука, техника, управление». 2013. №12.-С. 32-37.

46. Зябриков, В.А. Климат и железнодорожный транспорт [Текст]/ В.А. Зябриков, Н.В. Кобышева, В.С. Циркунов. - М.: Метеоагентство Росгидромета, изд. ВНИИГМИ - МЦЦ, 2000,- 188 с.

47. Инновационный дайджест: Комплексная реконструкция участка Котельниково – Тихорецкая – Кореновск – Тимашевская – Крымская с обходом Краснодарского узла Северо-Кавказской железной дороги [Электронный ресурс]: официальный сайт. – [http://www.rzd-expo.ru/regions/North\\_Caucasus\\_railway/major-projects/projekt\\_3/index.php?sphrase\\_id=46550](http://www.rzd-expo.ru/regions/North_Caucasus_railway/major-projects/projekt_3/index.php?sphrase_id=46550) (Дата обращения: 21.06.2020)

48. Катин, В.Д. Повышение экологической безопасности железнодорожных перевозок нефти и нефтепродуктов / В.Д. Катин, А.Н. Луценко, А.И. Коваленко // Технологии техносферной безопасности. -2019. -№ 3 (85). - С. 108-114."

49. Катин, В.Д. Эффективные устройства для повышения безопасности перевозок опасных грузов на железнодорожном транспорте / В.Д.Катин, А.Н. Луценко // Безопасность жизнедеятельности. -2013.- № 5 (149). -С. 10-12."

50. Козлов, П. В. Влияние параметров вагонов-платформ сочлененного типа на устойчивость от выживания и опрокидывания : автореферат дис. ... кандидата технических наук : 05.22.07 / Козлов Павел Викторович; [Место защиты: Петерб. гос. ун-т путей сообщ.]. - Санкт-Петербург, 2012. - 16 с.

51. Коротенко, Л.М. Моделирование боковых колебаний железнодорожной цистерны с учетом подвижности жидкого груза : автореферат дис. ... кандидата технических наук : 05.22.07 / Днепропетр. ин-т инженеров ж.-д. трансп. им. М. И. Калинина. - Днепропетровск, 1989. - 20 с.

52. Красковский, А.Е. Экономические механизмы управления безопасностью движения // Железнодорожный транспорт. М.: 2002. № 5.-С. 29-33.

53. Легасов В.А, Демин В.Ф., Шевелев Я.В. «Дисконтирование и компромисс между поколениями» // Научный журнал «Проблемы анализа риска». 2005.Т.2. № 2. - С. 141-146.
54. Лисенков В. М. Статистическая теория безопасности движения поездов : Учеб. для студентов вузов ж. д. трансп. / В. М. Лисенков; М-во путей сообщ. РФ, РАН. - М. : ВИНТИ РАН, 1999. - 331 с., [1] л. портр. : ил., табл.; 21 см.;
55. Лисенков В.М. К понятийному аппарату теории безопасности технологических процессов / В.М. Лисенков, А.В. Лисенков // Труды международного симпозиума Надежность и качество. - 2007. - Т. 2. - С. 274-275."
56. Лисенков В.М. Методы повышения безопасности функционирования рельсовых цепей / В.М. Лисенков, А.Е. Ваньшин, М.В. Катков // Автоматика, связь, информатика. 2010. № 4. С. 8.
57. Лисенков В.М., Лисенков А.В. Безопасность и эффективность перевозочных процессов / В.М. Лисенков, А.В. Лисенков // Экономика железных дорог. - 2008.- № 4. - С. 33-42.
58. Лисенков, В.М. Теория и принципы построения железнодорожных систем интервального регулирования движения поездов С М-линиями [Текст] : Автореферат дис. на соискание ученой степени доктора технических наук. (05.13.14) / Моск. ин-т инженеров ж.-д. транспорта. - Москва : [б. и.], 1974. - 42 с. Лисенков В.М. Управление безопасностью перевозок и рисками потерь. Анализ безопасности и рисков потерь / В.М. Лисенков // Автоматика, телемеханика и связь. 1996. № 5.- С. 19.
59. Луценко, А.Н. Минимизация риска чрезвычайных ситуаций при перевозке нефти и нефтепродуктов железнодорожным транспортом в Дальневосточном регионе : автореферат дис. ... кандидата технических наук : 05.26.02 / Луценко Андрей Николаевич; [Место защиты: Моск. гос. ун-т путей сообщ. (МИИТ) МПС РФ]. - Москва, 2015. - 23 с.
60. Мамедов, Э. К. Устойчивость оболочек котлов большегрузных железнодорожных цистерн при статическом и динамическом нагружении :



автореферат дис. ... кандидата технических наук : 05.22.07 / Моск. ин-т инженеров ж.-д. трансп. им. Ф. Э. Дзержинского. - Москва, 1989. - 23 с

61. Маркин: причиной катастрофы стал отрыв контейнера грузового поезда [Электронный ресурс]: <https://www.vesti.ru/doc.html?id=1600716&tid=106834> (Дата обращения: 21.06.2020)

62. Мартинюк И.В. Об особенностях функционирования перспективных мониторинговых систем по предупреждению и ликвидации ЧС в регионе действия северо-кавказской железной дороги / Б.Л. Недорчук, В.Н. Кузьменко, И.В. Мартинюк, О.Н. Попов, Н.С. Флегонтов // В сборнике: Региональные риски чрезвычайных ситуаций и управление природной и техногенной безопасностью муниципальных образований Материалы девятой Всероссийской научно-практической конференции по проблемам защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций. Центр стратегических исследований гражданской защиты МЧС России.- 2004.- С. 403-410.

63. Мартинюк И.В. Оптимизация управления рисками возникновения чрезвычайных ситуаций на железнодорожном транспорте / А.Н. Гуда, И.В. Мартинюк // В сборнике: Транспорт-2006 труды Всероссийской научно-практической конференции: в 3 частях. Министерство путей сообщения РФ, Федеральное агентство железнодорожного транспорта, Отделение энергетики, машиностроения, механики и процессов управления РАН, Южный научный центр РАН, Российский национальный комитет по трибологии, Ростовский государственный университет путей сообщения, Российская академия транспорта. -2006.- С. 296-297."

64. Мартинюк, И.В. Критерии риска при перевозках в чрезвычайных ситуациях/ И.В. Мартинюк, А.И. Шевченко // Мир транспорта. -2018. -Т. 16. -№ 2 (75). -С. 212-219.

65. Мартинюк, И.В. О разработке принципов и методов прогнозной оценки рисков возникновения чрезвычайных ситуаций на железнодорожном

транспорте / И.В. Мартынюк // Наука и техника транспорта.- 2006. -№ 4.- С. 52-58."

66. Мартынюк, И.В. Управление безопасностью перевозок в чрезвычайных ситуациях / И.В. Мартынюк, А.И. Шевченко // Наука и техника транспорта. -2018. -№ 3.- С. 93-101.

67. Мартынюк, И.В. Повышение безопасности железнодорожных перевозок опасных грузов с учётом взаимодействия с другими видами транспорта и окружающей средой : диссертация ... кандидата технических наук : 05.22.01. - Ростов-на-Дону, 2007. - 158 с. : ил. + Прил. (82 с.: ил.).

68. Марушко, С.А. Об устойчивости подвижного состава при движении на боковое направление стрелочных переводов : диссертация ... кандидата технических наук : 05.22.06. - Ленинград, 1972. - 170 с. : ил.

69. Машинистов, Ю.А. Снижение рисков при обеспечении безопасности и сохранности перевозимых грузов в смешанных автомобильно-железнодорожных сообщениях : автореферат дис. ... кандидата технических наук : 05.22.01 / Машинистов Юрий Анатольевич; [Место защиты: Моск. гос. автомобил.-дорож. ин-т (техн. ун-т)]. - Москва, 2009. - 20 с.

70. Милакова, А.А. Разработка методики оптимизации кузовов вагонов с учетом ограничений по устойчивости несущих элементов : диссертация ... кандидата технических наук : 05.22.07. - Брянск, 2001. - 160 с.

71. Министерство Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий [Электронный ресурс]: официальный сайт. – <https://www.mchs.gov.ru/deyatelnost/press-centr/operativnaya-informaciya> Режим доступа (Дата обращения: 21.06.2020)

72. НД № 2-090201-012 / Сборник правил по контейнерам / Российский морской регистр судоходства. - СПб. : [б. и.], 2021. - 47 с. - Б. ц. -Текст: непосредственный.

73. Новости дороги: О движении поездов на перегоне Архара–Домикан Свободненского региона Забайкальской железной дороги [Электронный ресурс]:

[http://zabzd.rzd.ru/news/public/ru?STRUCTURE\\_ID=39&layer\\_id=4069&refererLayerId=3307&id=109673](http://zabzd.rzd.ru/news/public/ru?STRUCTURE_ID=39&layer_id=4069&refererLayerId=3307&id=109673) (Дата обращения: 21.06.2020)

74. Новости: В ЯНАО с поезда сдуло ветром 20 тонн [Электронный ресурс]: <http://xn----7sbooi1l10c.xn--p1ai/2014/04/v-yanao-s-poezda-sdulo-vetrom-20-tonn/> (Дата обращения: 21.06.2020)

75. Нормы для расчета и проектирования новых и модернизированных вагонов железных до-рог МПС колеи 1520 мм (несамоходных) : Утв. М-вом тяжелого и трансп. машиностроения СССР и М-вом путей сообщ. СССР в 1983 г. - М. : ВНИИВ : ВНИИЖТ, 1983 (вып дан. 1984). - 260 с. : ил.; 20 см.

76. Нормы допускаемых скоростей движения подвижного состава по железнодорожным путям колеи 1520 (1524) мм федерального железнодорожного транспорта (с Изменением)

77. ООО Хекса [Электронный ресурс]: официальный сайт. – <http://www.hexa.ru/gallery.php?sitePartId=1&languageId=1&categoryId=4&currentPage=4> Режим доступа (Дата обращения: 21.06.2020)

78. Открыто движение поездов в обход Краснодарского узла [Электронный ресурс]: официальный сайт. – <https://gudok.ru/news/?ID=1452487> Режим доступа (Дата обращения: 21.06.2020)

79. Пат. 71 308 Украина, МПК В61D 3/18 В60Р 7/13/ Фитинговый упор для крупнотоннажных контейнеров /КарповМ.А., Тучин С.В. (РФ); заявл. 20.09.2007; опубл. : 10.03.2008 Бюл. № 17; приоритет 10.03.2008, № : 71308 – 2 с.: ил.

80. Пат. 2 349 476 Российская Федерация, МПК В61D 3/20, В60Р 7/13 / Торцевой узел для закрепления преимущественно контейнеров на железнодорожной платформе / Гончаренко И.В.Масликов Ю.В.,Момот С.И.; заявл.15.06.2007; опубл. 20.03.2009, Бюл.№ 8; приоритет 15.06.2007, № 2 349 476 – 9 с.: ил.

81. Пат. 2 687 371 Российская Федерация, МПК В60Р 7/13 В61D 3/20/ Устройство для крепления контейнеров на платформе /Иншаков В.А., Петров

И.О. Харьбин И.А, Киреева Ю.С. (РФ); заявл. 30.07.2018; опубл. : 13.05.2019 Бюл. № 14; приоритет 30.07.2018, № : 2018122829 (РФ) – 12 с.: ил.

82. Пат. 2681474: Российская Федерация, МПК В61D3/18, В60P7/13/ Способ крепления контейнеров на раме платформы и устройство для его осуществления / Бороненко Ю. П., Даукша А. С. (РФ); заявл. 23.12.2016; опубл. 10.02.2017, Бюл. № 22; приоритет 29.12.2016, № 2016152492 (РФ) – 9 с.: ил.

83. Пат. RU 199812 U1 Российская Федерация, МПК В60P 7/13, В61D 45/00/ Устройство для крепления контейнера на раме платформы / Гончаренко И.В. Масликов Ю.В., Момот С.И.; заявл.25.06.2020; 21.09.2020 Бюл. № 27; приоритет 25.06.2020, № 199812 U1 – 6 с.: ил.

84. Пат.1558739 А1/Транспортное средство для перевозки длинномерных и крупногабаритных грузов в наклонном положении/ Андросюк В.Н., Бекенштейн Л.Б., Бондаренко И.И., Васенков В.Н., Козлов И.В., Лаптев Ю.Н., Манько Б.Н., Мошек Л.М., Никонов В.И., Нифонтов В.Б., Пыжова Ж.С., Скрипникова Т.Л., Филиппов В.Н., Мирошникова Е.Я. Авторское свидетельство SU 1558739 А1, 23.04.1990. Заявка № 4343773 от 06.10.1987.

85. Пат.2 223 188 С2 Российская Федерация, МПК В61D 3/18 В60P 7/13/ Способ крепления контейнеров на раме платформы и устройство для его осуществления /Тиссен А.И., Малых Н.А., Крючков А.В., Андронов В.А., Васильева Л.М., Ефимов В.П., Михина И.Н., Демин К.П., Поликарпов А.А., Левин А.Б., Шихалев В.А. (РФ); заявл. 2002.01.03; опубл. : 2004.02.10; № : 2 223 188 С2 (РФ) – 8 с.: ил.

86. Пат.2 647 358 Российская Федерация, МПК В60P 7/132 ; В61D 3/20; В61D 45/007/ Устройство для крепления контейнера к раме платформы / Никонов В.А., Мещерин Ю.В., Михайлов Г.И., Михалин Н.В, Чепурнова О.В., Трепачева Т.В. (РФ); заявл. 2016.12.07; опубл. 2018.03.15, Бюл. № 8; приоритет 2016.12.07, № 2 647 358 (РФ) – 7 с.: ил.

87. Пат.2676201 С1 Российская Федерация, МПК В60P 7/13 В61D 45/00 В61D 3/20 /Устройство для крепления контейнера к раме платформы/ Кимасов М.А., Щеклеин Н.И., Коссов В.С., Михайлов Г.И., Никонов В.А., Мещерин Ю.В.,

Михалин Н.В. ; заявл. 11.10.2017. ;опубл. 26.12.2018 Бюл. № 36 приоритет : 11.10.2017, № : 2676201 С1– 8 с.: ил.

88. Петров, Геннадий Иванович. Оценка безопасности движения вагонов при отклонениях от норм содержания ходовых частей и пути : диссертация ... доктора технических наук : 05.22.07. - Москва, 2000. - 347 с.

89. Петров, С.В. Совершенствование методов оценки и управления аварийным риском в чрезвычайных ситуациях при перевозке нефтепродуктов на железнодорожном транспорте : автореферат дис. ... кандидата технических наук : 05.26.02 / Петров Сергей Викторович; [Место защиты: Моск. гос. ун-т путей сообщ. (МИИТ) МПС РФ]. - Москва, 2009. - 24 с.

90. Петров, Сергей Владимирович. Методы обоснования нормативов межремонтной наработки грузовых вагонов : диссертация ... кандидата технических наук : 05.22.07 / Петров Сергей Владимирович; [Место защиты: Науч.-исслед. ин-т железнодорожного транспорта]. - Москва, 2013. - 149 с. : ил."

91. Платонов А. С. Уроки аварий металлических конструкций мостов //Транспортное строительство. 2009. №6. С. 6-9

92. Подлесников, Я.Д. Методы улучшения динамических качеств вагонов для перевозки опасных грузов : диссертация ... кандидата технических наук : 05.22.07 / Подлесников Ярослав Дмитриевич; [Место защиты: Моск. гос. ун-т путей сообщ. Императора Николая II]. - Москва, 2016. - 179 с. : ил.

93. Попов В.Г. Метод оценки уровня безопасности движения и аварийного риска при перевозке грузов по железным дорогам// Журнал «Транспорт: наука, техника , управление». 2008. № 7.-С. 1-5.

94. Попов В.Г., Петров С.В. Метод оценки аварийного риска при перевозке нефти и нефтепродуктов по железным дорогам. // Журнал «Безопасность жизнедеятельности». 2010. №11.-С. 39-43.

95. Попов В.Г., Сухов Ф.И. Индекс прогноз и индекс отклик // Журнал «Мир транспорта». 2007. Т.5. № 3.-С. 130-133.

96. Попов В.Г., Сухов Ф.И., Петров С.В. Оценка риска от аварийных происшествий. // Журнал «Мир транспорта». 2012. Т.10. № 6.-С. 150-155.

97. Постановление Правительства РФ от 13.09.1996 N 1094 "О классификации чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера" [Электронный ресурс]: официальный сайт. – <https://base.garant.ru/2107712/> (Дата обращения: 21.06.2020)

98. Постановление Правительства РФ от 15 июля 2010 г. № 524 "Об утверждении технического регламента о безопасности железнодорожного подвижного состава" [Электронный ресурс]: официальный сайт. – <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/98873/> (Дата обращения: 21.06.2020)

99. Приказ Министерства транспорта РФ от 18 декабря 2014 г. N 344 "Об утверждении Положения о классификации, порядке расследования и учета транспортных происшествий и иных событий, связанных с нарушением правил безопасности движения и эксплуатации железнодорожного транспорта" [Электронный ресурс]: официальный сайт. – <https://mintrans.gov.ru/documents/7/4246> (Дата обращения: 21.06.2020)

100. Постановление Правительства РФ от 12 октября 2006 г. N 611 "О порядке установления и использования полос отвода и охранных зон железных дорог" (с изменениями и дополнениями) [Электронный ресурс]: официальный сайт. – <https://base.garant.ru/190086/> (Дата обращения: 21.06.2020)

101. Приказ Минтранса РФ от 6 августа 2008 г. N 126 "Об утверждении Норм отвода земельных участков, необходимых для формирования полосы отвода железных дорог, а также норм расчета охранных зон железных дорог" [Электронный ресурс]: официальный сайт. – <https://base.garant.ru/12162226/> (Дата обращения: 21.06.2020)

102. Распоряжение ОАО "РЖД" от 19.10.2016 № 2115р (ред. от 13.10.2017) "Об утверждении порядка организации безопасного пропуска грузовых поездов, в составе которых имеются порожние контейнеры, при прогнозировании опасного явления погоды по маршруту их следования" [Электронный ресурс]: официальный сайт. – <https://docs.cntd.ru/document/456030815> (Дата обращения: 21.06.2020)

103. Распоряжение Правительства РФ от 30 сентября 2018 г. № 2101-р Об утверждении Комплексного плана модернизации и расширения магистральной инфраструктуры на период до 2024 года [Электронный ресурс]: официальный сайт. – <https://mintrans.gov.ru/documents/2/9742> (Дата обращения: 21.06.2020)

104. Расчет вагонов на прочность [Текст] : [Учеб. пособие для вузов ж.-д. транс-порта] / Под ред. д-ра техн. наук, проф. Л. А. Шадура. - 2-е изд., перераб. и доп. - Москва : Машиностроение, 1971. - 432 с. : черт.; 22 см.. (ред.)

105. РЖД в цифрах [Электронный ресурс]: официальный сайт. – [http://press.rzd.ru/news/public/ru?STRUCTURE\\_ID=654&layer\\_id=4069&refererLayerId=3307&id=93032](http://press.rzd.ru/news/public/ru?STRUCTURE_ID=654&layer_id=4069&refererLayerId=3307&id=93032) (Дата обращения: 21.06.2020)

106. РЖД в цифрах [Электронный ресурс]: официальный сайт. – <https://company.rzd.ru/ru/9377/page/103290?id=16952#6> (Дата обращения: 21.06.2020)

107. Ромен, Юрий Семенович. Динамика железнодорожного экипажа в рельсовой колее. Методы расчета и испытаний [Текст] : сборник трудов ученых ОАО "ВНИИЖТ" (ОАО "Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта") / Ю. С. Ромен. - Москва : ВМГ-Принт, 2014. - 208, [2] с. : ил., табл.; 21 см. - (Труды ОАО "ВНИИЖТ").

108. Слюсарь Н.Н.. Управление экологическими рисками транспортировки взрывчатых веществ железнодорожным транспортом : автореферат дис. ... кандидата технических наук : 03.00.16 / Перм. гос. техн. ун-т. - Пермь, -2004. - 15 с.

109. Соловьев С.Ю Ландшафтная аэродинамическая труба: технические особенности / С.Ю. Соловьев // Труды Крыловского государственного научного центра. 2019. № 2 (388). С. 85-94. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=38187431> (Дата обращения: 28.03.2021)

110. Соловьев, Алексей Евгеньевич. Модели и алгоритмы принятия оптимальных решений при минимизации риска аварийных ситуаций : диссертация ... кандидата технических наук : 05.13.01. - Москва, 2007. - 174 с. : ил.

111. СП 20.13330.2016 «СНиП 2.01.07-85\* Нагрузки и воздействия». Утвержден приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации (Минстрой России) от 3 декабря 2016 г. № 891/пр и введен в действие с 4 июня 2017 г.

112. Справочник по климату Черного моря [Текст] / Под ред. д-ра геогр. наук А. И. Соркиной ; Гл. упр. гидрометеорол. службы при Совете Министров СССР. Севастопольск. отд-ние Гос. океаногр. ин-та. - Москва : Гидрометеиздат. Моск. отд-ние, 1974. - 406 с. : черт., карт.; 22 см.

113. Стратегические риски России: оценка и прогноз. МЧС России. Под ред. Ю.Л. Воробьева. - М.: Деловой экспресс. 2005. – 392 с.

114. Суменкова, А.М. Природно-климатический риск в управлении затратами путевого комплекса железных дорог : диссертация ... кандидата экономических наук : 08.00.05. - Хабаровск, 2006. - 153 с. : ил.

115. Сухов, Ф.И. Развитие методов оценки безопасности и анализа риска подвижного состава : диссертация ... кандидата технических наук : 05.22.07 / Сухов Филипп Игоревич; [Место защиты: Моск. гос. ун-т путей сообщ. (МИИТ) МПС РФ]. - Москва, 2008. - 180 с. : ил.

116. Тарасенко, В. А. Методика оценки и ранжирования объектов и территорий железнодорожного транспорта по показателям чрезвычайных ситуаций, связанных с пожарами : на примере Восточно-Сибирской железной дороги : диссертация ... кандидата технических наук : 05.26.02. - Иркутск, 2006. - 192 с. : ил.

117. Тарасенко, В.А. Критерии ранжирования объектов железнодорожного транспорта по состоянию пожарной безопасности/ В.А. Тарасенко // Научный взгляд в будущее.- 2018.- Т. 1. -№ 8. - С. 52-56."

118. Тармаев, А.А. Оценка опасности схода с рельсов вагонов-цистерн с различной высотой центра тяжести груза при движении по пути с реальными неровностями в плане и профиле/ Тармаев А.А., Петров Г.И., Соснов Н.Ю. Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2020. № 1 (65). С. 182-191.



119. Технические требования и нормы содержания железнодорожных путей промышленного транспорта: № АН–132–Р: утв. Министерством транспорта России от 31.03.2003.–М.: Управление промышленного транспорта, 2003 г.

120. Тимков, С.И. Оценка безопасности движения вагонов при синфазности колебаний : автореферат дис. ... кандидата технических наук : 05.22.07 / Тимков Сергей Иванович; [Место защиты: Моск. гос. ун-т путей сообщ. (МИИТ) МПС РФ]. - Москва, 2007. - 24 с.

121. Транспортная стратегия Российской Федерации на период до 2030 года Утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 22 ноября 2008 г. № 1734-р

122. Удилов, В.П. Система обеспечения пожарной безопасности : региональный аспект : [монография] / В. П. Удилов : М-во внутренних дел Рос. Федерации, Вост.-Сиб. ин-т. - Иркутск : ВСИ МВД России, 2002. - 192 с. : ил., табл.; 21 см.; ISBN 5-9538-0008-8 (в обл.)"

123. Федеральная служба государственной статистики [Электронный ресурс]: официальный сайт. – <https://www.gks.ru/folder/11194> (Дата обращения: 21.06.2020)

124. Федеральное государственное бюджетное учреждение "Гидрометеорологический научно-исследовательский центр Российской Федерации" (ФГБУ "ГИДРОМЕТЦЕНТР РОССИИ") [Электронный ресурс]: официальный сайт. – <https://meteoinfo.ru/archive-pogoda/russia> (Дата обращения: 21.06.2020)

125. Федеральное государственное бюджетное учреждение «Северо-Кавказское управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды» [Электронный ресурс]: официальный сайт. – <http://www.yugmeteo.donpac.ru/Observation/> (Дата обращения: 21.06.2020)

126. Федеральный закон РФ от 21.12.1994 № 68-ФЗ "О защите населения и территорий от ЧС природного и техногенного характера" [Электронный ресурс]: официальный сайт.

<http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202006230016> (Дата обращения: 21.06.2020)

127. Филиппов В.Н. К вопросу обеспечения безопасности движения вагонов с увеличенной высотой центра тяжести Филиппов В.Н., Козлов И.В., Смольянинов А.В., Подлесников Я.Д. Транспорт Урала. 2014. № 2 (41). С. 39-43.

128. Филиппов В.Н. О необходимости формирования единой технической политики для обеспечения пожарной безопасности перевозки опасных грузов по железным дорогам России / Д.Г. Евсеев, В.Н. Филиппов, Г.И. Петров, Ю.Н. Шебеко, С.В. Беспалько С.В. // Пожаровзрывобезопасность.- 2018. -Т. 27. -№ 9. - С. 26-34."

129. Филиппов В.Н. Обеспечение безопасности перевозки опасных грузов / В.Н. Филиппов // Железнодорожный транспорт. -2002. -№ 3.- С. 37.

130. Филиппов В.Н. Результаты комплексных исследований пожаровзрывобезопасности цистерн для перевозки сжиженных углеводородных газов / В.Н. Филиппов, В.Г. Попов, С.В. Беспалько, Ю.Н. Шебеко, В.Ю. Навценя // Пожаровзрывобезопасность. -2017. -Т. 26.- № 10. -С. 43-49.

131. Филиппов В.Н. Технические средства обеспечения механической безопасности цистерн для опасных грузов при некоторых вариантах аварийных соударений / В.Н. Филиппов, А.В. Смольянинов, Г.И. Петров, С.В. Беспалько // Инновационный транспорт. -2017.- № 4 (26). -С. 29-33.

132. Филиппов, В.Н. К вопросу обеспечения безопасности движения вагонов с увеличенной высотой центра тяжести / В.Н. Филиппов, И.В. Козлов, А.В. Смольянинов, Я.Д. Подлесников // Транспорт Урала. - 2014.- № 2 (41).- С. 39-43.

133. Харыбин, И.А. Исследование причин схода вагонов в грузовых составах и разработка организационно-технических мероприятий для их устранения : автореферат дис. ... кандидата технических наук : 05.02.22 / Харыбин Игорь Алексеевич; [Место защиты: Междунар. межакадем. союз]. - Москва, 2010. - 43 с.

134. Хусидов, В.В. Компьютерные методы оценки влияния технического состояния вагонов на безопасность движения и динамические показатели / В.В. Хусидов, В.Д. Хусидов, М.В. Козлов. - Безопасность движения поездов [Текст] : Труды четвертой научно-практической конференции, 16-18 апреля 2003 г. / Московский государственный университет путей сообщения (МИИТ). - 2-е изд., доп. - М. : МИИТ, 2003. С. II-38-39

135. Чеботарев В.В., Чеботарева Е.А. Совершенствование системы диспетчерского управления грузопотоками в адрес крупных потребителей Северо-Кавказской железной дороги // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. 2014. № 3 (55). С. 82-88.

136. Черняков Е.А. Обеспечение безопасности движения поездов по условию накатывания колеса на рельс : диссертация ... кандидата технических наук : 05.22.06 / Черняков Евгений Алексеевич; [Место защиты: Моск. гос. ун-т путей сообщ. (МИИТ) МПС РФ]. - Москва, 2008. - 145 с. : ил.

137. Шамаков А.Н. Проблемы ответственности за причинение вреда пассажиру / А.Н. Шамаков, С.Ю. Кораблёва // Мир транспорта.- 2009.- Т. 7. - № 2 (26). - С. 120-125."

138. Шамин С.И., Бухонова Л.К., Санина А.Т. «Сведения об опасных и неблагоприятных гидрометеорологических явлениях, которые нанесли материальный и социальный ущерб на территории России». Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2019621326 [Электронный ресурс]: <http://www.meteorf.ru/opendata/7703092752-hazstat/> (Дата обращения: 21.06.2020)

139. Шацкова, Ю.В. Повышение безопасности эксплуатации морских перегрузочных комплексов (терминалов) на основе оценки риска и мониторинга экстремальных природных явлений : автореферат дис. ... кандидата технических наук : 05.22.19 / Шацкова Юлия Владимировна; [Место защиты: Мор. гос. акад. им. адмирала Ф.Ф. Ушакова]. - Новороссийск, 2012. - 23 с.

140. Bolandova J. Safe Train Route Options / Bolandova J., Popov V., Sukhov P. // *Advances in Intelligent Systems and Computing*. – Springer Nature Switzerland

AG. – 2020. – Vol. 1116. – Pp. – 899-908, [Электронный ресурс]: DOI: 10.1007/978-3-030-37919-3\_89 (Дата обращения: 21.06.2020)

141. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2013) Climate Change 2013: the physical science basis: Working group I contribution to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, edited by T. F. Stocker et al. Cambridge Univ Press, Cambridge [Электронный ресурс]: <https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/> (Дата обращения: 21.06.2020)

142. Kroger, W. and E. Zio, Vulnerable systems, Springer (2011). [Электронный ресурс]: <https://doi.org/10.1007/978-0-85729-655-9> (Дата обращения: 21.06.2020)

143. L.M. Branscomb, Rail Transportation of Toxic Inhalation Hazards Policy Responses to the Safety and Security Externalities, HARVARD Kennedy School (2010). [Электронный ресурс]: [https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract\\_id=2397482](https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=2397482) (Дата обращения: 21.06.2020)

144. Lee, John C. Risk and safety analysis of nuclear systems [Текст] / John C. Lee, Norman J. McCormick. - Hoboken, N.J. : Wiley, cop. 2011. - ххi, 477 с. : ил.; 25 см.; R.E. Thompson, E. R. Zamejs, and D. R. Ahlbeck, Hazardous Materials Car Placement in a Train Consist, Vol. 1: Review and Analysis, Report DOT/FRA/ORD/18.I (Washington, D.C.: Federal Railroad Administration, U.S. DOT, 1992).

145. Warrick R.A., Azizul Hoq Bhuiya A.K., Mirza M.Q. (1996) The Greenhouse Effect and Climate Change. In: Warrick R.A., Ahmad Q.K. (eds) The Implications of Climate and Sea-Level Change for Bangladesh. Springer, Dordrecht [Электронный ресурс]: [https://doi.org/10.1007/978-94-009-0241-1\\_2](https://doi.org/10.1007/978-94-009-0241-1_2) (Дата обращения: 21.06.2020)

146. Gopkalo, O.O. Trends and problems in container transport infrastructure development in Russia / O.O. Gopkalo // Baltic Transport Journal. – 2014 №5, P. 52-55.

147. Han, L.D., S. Chin, H. Hwang, and B.E. Peterson, "A Tool for Railroad Hazmat Routing under Shipment Bans in Major Cities," Proceedings of the 85th TRB Annual Meetings CD, Paper 06-1790, Washington, DC, 2006.

148. Sornette, D., Predictability of catastrophic events: material rupture, earthquakes, turbulence, financial crashes and human birth, Proceedings of the National Academy of Sciences USA 99 (Suppl. 1), 2522-2529, 2002, [Электронный ресурс]:[https://www.pnas.org/content/99/suppl\\_1/2522](https://www.pnas.org/content/99/suppl_1/2522) (Дата обращения: 21.06.2020)

149. Storm Burglind causes havoc in Switzerland, derails train [Электронный ресурс]: [https://www.swissinfo.ch/eng/business/wind-up\\_switzerland-battered-by-hurricane-speed-winds/43795876](https://www.swissinfo.ch/eng/business/wind-up_switzerland-battered-by-hurricane-speed-winds/43795876) (Дата обращения: 21.06.2020)

150. T. Glickman, Erkut, E., and Zschocke, M.S., "The cost and risk impacts of rerouting railroad shipments of hazardous materials." Accident Analysis and Prevention, Vol. 35, Issue 5, September 2007, pp. 101

151. van Kooten G.C. (2013) Economic Assessment of the Damages Caused by Global Warming. In: Climate Change, Climate Science and Economics. Springer, Dordrecht [Электронный ресурс]: [https://doi.org/10.1007/978-94-007-4988-7\\_7](https://doi.org/10.1007/978-94-007-4988-7_7) (Дата обращения: 21.06.2020)

152. Wind pushes train off track sending 26 railcars into the ground below [Электронный ресурс]: <https://www.kob.com/new-mexico-news/wind-causes-train-to-derail-in-eastern-new-mexico/5277830/> (Дата обращения: 21.06.2020)

## ПРИЛОЖЕНИЕ А

### Описание программы «Оценка аварийного риска от ветровых и других опасных воздействий окружающей среды при движении подвижного состава по участку»

На рисунке А.1 приведен общий вид программы «Оценка аварийного риска от ветровых и других опасных воздействий окружающей среды при движении подвижного состава по участку»

Для проведения расчета в поле «Участок» вводится наименование участка, для которого будет рассчитан риск от ветровых и других опасных воздействий окружающей среды. В поле «Длина участка» вводится длина участка в километрах. Вводятся размеры движения на анализируемом участке, как для четного, так и для нечетного направления в соответствующие поля «Пропускная способность», поездов/сут.

В поля «Участковая скорость V1» «Участковая скорость V2» вводятся значения участковой скорости для нечетного и четного направления движения поездов соответственно, в км/ч.

Поля «Дельта T1», «Дельта T2», «Дельта X1», «Дельта X2» - показывают значения временных и пространственных интервалов между поездами для нечетного (индекс 1) и четного (индекс 2) направлений движения поездов. Эти поля не заполняются.

Далее вводятся параметры опасного природного явления, его название, частота проявления (число случаев в год), характерный временной (ч.) и пространственный (км.) масштаб его действия.

Можно выделить такие характерные пространственные масштабы [42]:

- глобальный описывает сверхдлинные волны с горизонтальными размерами движений воздуха 10000-40000 км и временем существования около 2 недель;

- синоптический определяет основные изменения погоды вследствие атмосферных возмущений в виде возникновения, развития, перемещения и

разрушения огромных волн и вихрей. Главные из них- циклоны и антициклоны с горизонтальными размерами 1000-3000 км и временем существования 1-7 суток;

- мезометеорологический отражает изменения метеовеличин, вызванные локальными ветрами (горно-долинные, бризы, смерчи, ледниковые и др.) с горизонтальными размерами местных циркуляций 10-100 км и продолжительностью от нескольких часов до полусуток;

- конвективнооблачный относится к движениям воздуха с горизонтальными размерами от около 1-10 км и временем существования от десятков минут до 1-2 часов;

- микрометеорологический объединяет колебания ветра, давления и температуры с периодами от долей секунды до минут. Колебания вызываются мелкомасштабной турбулентностью, акустическими и гравитационными волнами. Максимум колебаний приходится на периоды около минуты, а размеры турбулентных неоднородностей около 600 м.

Формирование статистических характеристик природных катастроф в их историческом аспекте, с выделением категории и определением пространственных и временных масштабов катастрофических изменений в окружающей среде способствует развитию конструктивных методов прогнозирования природных катастроф, а также управления природным и экономическим риском для железнодорожной отрасли. Сочетание параметров опасного природного воздействия, соотнесённое с характеристиками маршрута следования поездов, а также интенсивностью их движения позволит определить вероятности аварийных последствий для поезда, проходящего по определённом маршруту. Анализ статистики природных и техногенных чрезвычайных ситуаций позволил выявить характерные пространственные и временные масштабы опасных природных явлений (таблица А.1).

Вводится коэффициент  $k$ , который определяется по аналогии с расчетом, изложенном в разделе 2.3. Вводится год анализа риска.

Далее нажимается кнопка «Расчет». В соответствующих полях отображаются промежуточные значения оценок вероятности транспортного происшествия,

значение риска по участку «R(B)» и значение математического ожидания экономического ущерба.

**Таблица А.1 – Характерные пространственные и временные масштабы опасных явлений природного и антропогенного характера [1,3,27,42]**

Наименование	Характеристика явления	Частота, число случаев в год	Характерный пространственный масштаб, км	Характерный временной масштаб, час
1	2	3	4	5
Наводнение	Значительное затопление местности в результате подъема уровня воды в реке, озере или море в период снеготаяния, ливней, ветровых нагонов воды, при заторах, зажорах и т.п	Частота устанавливается в соответствии с климатическими особенностями региона	15	>3
Ураган с силой ветра более 22 м/с	Ветер разрушительной силы и значительной продолжительности, скорость которого превышает 22 м/с.		300	120
Ветер	Порывы ветра достигающие скорости более 25 м/с		10	3
Сильный дождь	Характеризуются внезапностью начала и конца выпадения, резким изменением интенсивности. Выпадает около 50 мм и более осадков (дождя) за 12 ч и менее (в сейсмоопасных горных районах не менее 30 мм за время не более 12 ч)		15	>3
Землетрясение	Подземные толчки и колебания земной поверхности, возникающие в результате внезапных смещений и разрывов в земной коре или верхней мантии и передающиеся на большие расстояния в виде упругих колебаний		50	1
Сильный снегопад	Продолжительное интенсивное выпадение снега из облаков (20 мм и более осадков (снега) за 12 ч и менее), приводящее к значительному ухудшению видимости и затруднению движения транспорта.		3	>8
Оползни, обвалы	Смещение масс горных пород по склону под воздействием собственного веса и дополнительной нагрузки вследствие подмыва склона, переувлажнения, сейсмических толчков и иных процессов.		0,7	3

Полученные значения отображаются на диаграмме (рисунок А.1), которая появляется в окне программы после нажатия кнопки «Расчет».



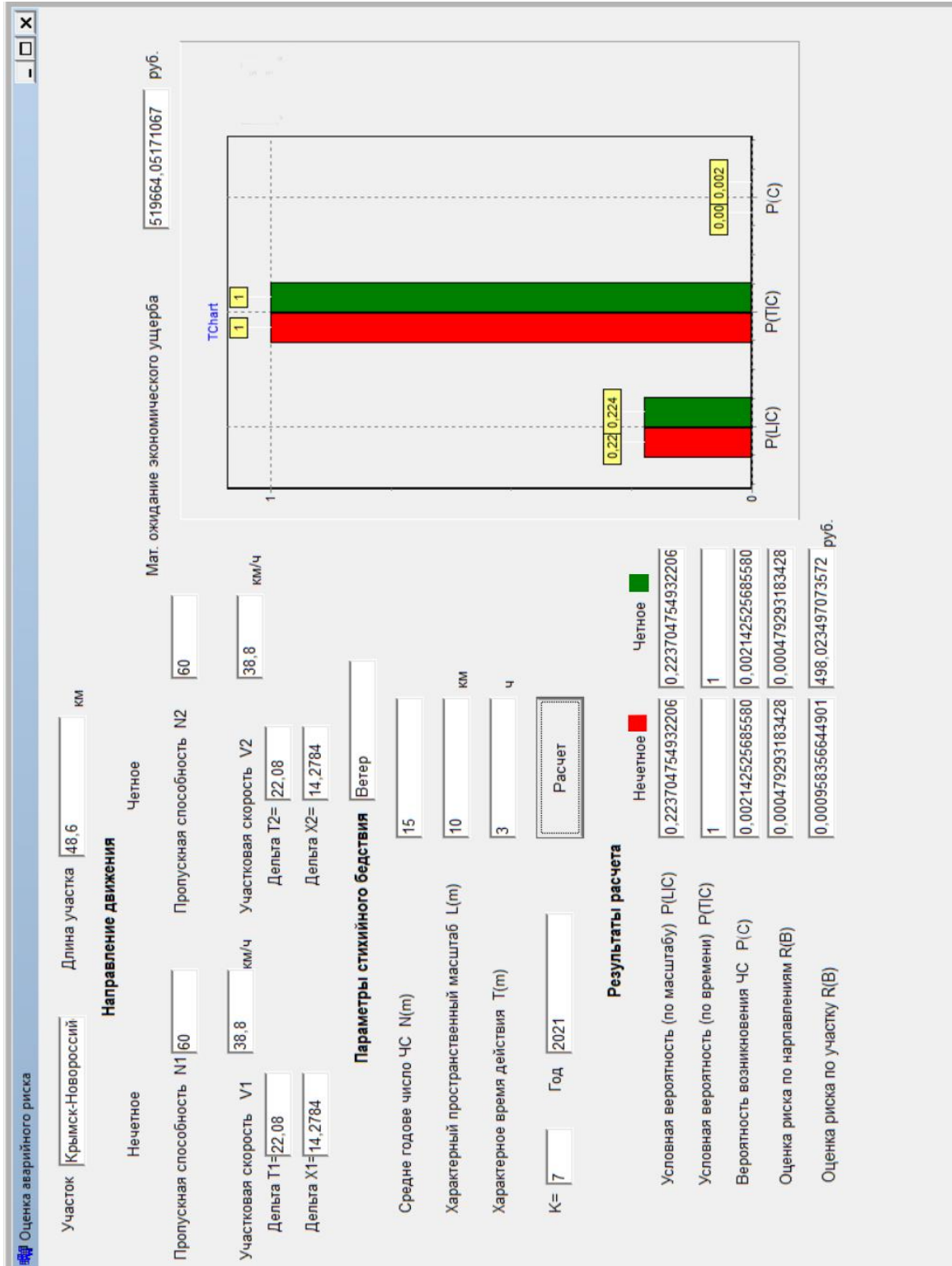


Рисунок А.1 - Общий вид программы «Оценка аварийного риска от ветровых и других опасных воздействий окружающей среды при движении подвижного состава по участку»

## **ПРИЛОЖЕНИЕ Б**

### **Методика сертификационных испытаний**

#### **На надежность и устойчивость конструкций фитинговых упоров вновь проектируемых специализированных железнодорожных платформ при воздействии боковой ветровой нагрузки**

##### **Б.1 Область применения**

Основные положения настоящей методики предназначены для оценки соответствия вагонов-платформ новых, модернизируемых, серийно выпускаемых и предназначенных для эксплуатации на сети железных дорог колеи 1520 мм, требованиям «Норм для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных)» (далее - «Норм...») и ГОСТ 33211-2014 при перевозке контейнеров с массой брутто до 36 т, в том числе контейнеров-цистерн.

Указания, изложенные в настоящей типовой методике, применяются при предварительных, приемочных и типовых испытаниях. Положения настоящей типовой методики могут быть использованы при квалификационных, периодических, сертификационных и исследовательских испытаниях.

На основании положений данной типовой методики испытательные организации разрабатывают свои рабочие программы и методики, при этом учитывается особенность конструкции и требования, предъявляемые к объекту испытаний.

##### **Б.2 Объект испытаний**

1. Испытаниям подвергается вагон-платформа, предназначенная для перевозки крупнотоннажных контейнеров. Вагон-платформа может быть вновь построенная, модернизированная или находящаяся в эксплуатации. Сведения о крупнотоннажных контейнерах и контейнерах-цистернах, подлежащих перевозке на вагоне, приведены в таблице Б.1.

**Таблица Б.1 Сведения о крупнотоннажных контейнерах и контейнерах-цистернах, подлежащих перевозке на вагоне**

Наименование	Тип контейнера согласно ГОСТ Р 53350-2009	Масса брутто, т, не более	Количество, шт.
Крупнотоннажный контейнер, контейнер-цистерна	1AAA, 1AA, 1A, 1AX, 1BBB, 1BB, 1B, 1BX, 1CC, 1C, 1CX, 1EEE, 1EE	36,0	1 или 2

2. Образец, представленный на предварительные или приемочные испытания, должен соответствовать требованиям конструкторской документации, в случае проведения типовых испытаний - эксплуатационной документации.

3. Отбор образца на испытания производится случайным образом из числа вновь построенных, модернизированных или эксплуатируемых вагонов.

### **Б.3 Нормативные ссылки**

Настоящий документ определяет порядок проведения испытаний, организацию подготовки и производства работ при проведении испытаний.

В настоящем документе используются следующие стандарты и правила:

ГОСТ 2.106-96 Единая система конструкторской документации. Текстовые документы

ГОСТ 3.1507-84 9 Единая система технологической документации. Правила оформления документов на испытания

ГОСТ 8.417-2002 Государственная система обеспечения единства измерений. Единицы величин

ГОСТ 15.309-98 Система разработки и постановки продукции на производство. Испытания и приемка выпускаемой продукции. Основные положения

ГОСТ 16504-81 Система государственных испытаний продукции. Испытания и контроль качества продукции. Основные термины и определения

ГОСТ Р 1.5-2004 Стандартизация в Российской Федерации. Стандарты национальные Российской Федерации. Правила построения, изложения, оформления и обозначения

ГОСТ Р 1.12-2004 Стандартизация в Российской Федерации. Термины и

определения

ГОСТ Р 8.000-2000 Государственная система обеспечения единства измерений. Основные положения

ГОСТ Р 8.563-2009 Государственная система обеспечения единства измерений. Методики (методы) измерений

ГОСТ Р 8.568-97 Государственная система обеспечения единства измерений. Аттестация испытательного оборудования. Основные положения

ГОСТ Р 8.596-2002 Государственная система обеспечения единства измерений. Метрологическое обеспечение измерительных систем. Основные положения

ГОСТ Р 51672-2000 Метрологическое обеспечение испытаний продукции для целей подтверждения соответствия. Основные положения

ГОСТ Р ИСО 5725-1-2002 Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений. Часть 1. Основные положения и определения

ГОСТ Р ИСО 5725-2-2002 Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений. Часть 2. Основной метод определения повторяемости и воспроизводимости стандартного метода измерений

ГОСТ Р ИСО 5725-3-2002 Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений. Часть 3. Промежуточные показатели прецизионности стандартного метода измерений

ГОСТ Р ИСО 5725-4-2002 Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений. Часть 4. Основные методы определения правильности стандартного метода измерений

ГОСТ Р ИСО 5725-5-2002 Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений. Часть 5. Альтернативные методы определения прецизионности стандартного метода измерений

ГОСТ Р ИСО 5725-6-2002 Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений. Часть 6. Использование значений точности на практике

ГОСТ Р ИСО 9000-2008 Системы менеджмента качества. Основные

положения и словарь

ГОСТ Р ИСО/МЭК 17000-2009 Оценка соответствия. Словарь и общие принципы

РМГ 29-99 ГСИ. Метрология. Основные термины и определения П СДС

ОПЖТ 05-2010 Система добровольной сертификации Объединения производителей железнодорожной техники. Порядок организации и проведения сертификационных испытаний

СТО ОПЖТ 6-2009 Сличительные испытания. Порядок проведения

СТО ОПЖТ-11-2009 Правила проведения сертификации подвижного состава на эксплуатационную пригодность

#### **Б.4 Термины и определения**

В настоящем документе применяются основные термины и определения понятий в области метрологического обеспечения, испытаний и оценки соответствия в соответствии с Федеральным законом от 26.06.2008 «Об обеспечении единства измерений» № 102-ФЗ, ГОСТ Р 8.000, ГОСТ 16504, ГОСТ Р 1.12, ГОСТ Р ИСО/МЭК 17000, П СДС ОПЖТ 05

#### **Б.5 Условия проведения испытаний**

1. Испытания проводит испытательная организация, аккредитованная Федеральной службой по аккредитации и располагающая необходимыми средствами измерений и испытательным оборудованием для проведения, заданного объема работ.

2. До проведения испытаний необходимо проверить:

- комплектность вагона в соответствии с конструкторской документацией;
- отсутствие видимых повреждений вагона;
- наличие расчета прочности вагона при загрузке контейнерами массой брутто до 36 т (но не более грузоподъемности вагона) по схемам в соответствии с «Техническими условиями размещения и крепления грузов» (Приложение 3 к СМГС), «Техническими условиями размещения и крепления грузов в вагонах и контейнерах» № ЦМ-943 от 27.05.2003 г., руководством по эксплуатации на вагон

(при наличии), и требованиям, указанным в ГОСТ 33211-2014;

- наличие расчета прочности фитинговых упоров на соответствие требованиям «Норм.» и ГОСТ 33211-2014.

3. По результатам проверки должен быть оформлен акт о готовности вагона к проведению испытаний, который подписывают представитель завода-изготовителя (в случае эксплуатируемого вагона - собственник) и руководитель испытаний.

4. Испытания проводят на территории завода-изготовителя и (или) испытательной организации и (или) испытательных полигонах, содержащих аттестованное установленным порядком испытательное оборудование.

5. Испытания должны быть приостановлены или прекращены при возникновении дефектов в узлах и деталях, препятствующих проведению работ и угрожающих безопасности персонала, участвующего в испытаниях.

6. Прекращение испытаний оформляют актом, в котором указывают причину прекращения испытаний, который должен быть подписан руководителем испытаний и представителем завода-изготовителя (в случае эксплуатируемого вагона - собственник).

7. Приостановленные испытания возобновляют после устранения причин приостановки с оформлением соответствующего акта. В зависимости от результатов анализа неисправностей, обнаруженных при испытаниях, испытательная организация может продолжить испытания, повторить их полностью или с определенного этапа.

### **Б.6 Отчетность по испытаниям**

По результатам испытаний оформляют протоколы, которые подписывает руководитель испытаний и утверждает руководитель испытательной организации.

### **Б.7 Распределение ответственности**

1. Ответственность за соответствие конструкции испытываемого вагона представленной на него конструкторской документации возлагается на завод-изготовитель (заказчика).

2. Ответственность за безопасность проведения испытаний возлагается на

руководителя испытаний, который назначается приказом по организации, проводящей испытания.

3. Ответственность за достоверность результатов испытаний возлагается на испытательную организацию, проводящую испытания.

#### 4. Состав приемочной комиссии

Для проведения испытаний назначается комиссия.

Председатель комиссии - главный инженер-\_\_\_\_\_

(фамилия, имя, отчество – при наличии)

или лицо, его замещающее.

Члены комиссии:

- \_\_\_\_\_

(фамилия, имя, отчество – при наличии)

- \_\_\_\_\_

(фамилия, имя, отчество – при наличии)

- \_\_\_\_\_

(фамилия, имя, отчество – при наличии)

#### 5. Права и обязанности председателя и членов комиссии.

Председатель комиссии:

- осуществляет общее руководство подготовкой к испытаниям;
- осуществляет организацию проведения испытаний в соответствии с ПМИ;
- участвует в оценке результатов испытаний, контролирует правильность;
- оформления результатов испытаний.

Члены комиссии:

- участвуют в подготовке к проведению испытаний;
- участвуют в испытаниях;
- участвуют в оценке результатов испытаний;
- оформляют отчетные материалы в зависимости от вида испытаний.

## **Б.8 Общие требования к условиям, проведению испытаний**

### 1. Место проведения испытаний

Испытания проводят на территории завода-изготовителя и (или) испытательной организации и (или) испытательных полигонах, содержащих аттестованное установленным порядком испытательное оборудование

### 2. Средства проведения испытаний

При испытаниях на надежность и устойчивость конструкций фитинговых упоров при воздействии боковой ветровой нагрузки средства проведения испытаний включают:

- средства измерений, применяемые для испытаний;
- испытательное оборудование;
- дополнительное оборудование, применяемые при испытаниях.

### 3. Требования к средствам измерений (СИ) и испытательному оборудованию:

- СИ, применяемые при испытаниях, должны быть внесены в Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений, иметь действующие свидетельства о поверке (подтверждение о действующей поверке, предусмотренное методикой поверки для конкретного СИ), паспорт (формуляр) СИ;

-испытания должны проводиться на укомплектованном средствами защиты и приборами, имеющими эксплуатационную документацию, аттестованном в установленном порядке.

-Метрологическое обеспечение испытаний осуществляется в соответствии с ГОСТ Р 51672-2000.

-Средства измерений, используемые при испытаниях, должны иметь свидетельства о поверке (знак о поверке) в соответствии с «Порядком проведения поверки средств измерений, требованиями к знаку поверки и содержанию свидетельства о поверке, утв. приказом Минпромторга № 1815 от 02.07.2015 г.». Испытательное оборудование должно быть аттестовано в соответствии с ГОСТ Р 8.568-97. В таблице Б.2 приведен перечень измерительного оборудования для проведения испытаний.



**Таблица Б.2 – Перечень измерительного оборудования для проведения испытаний**

№ п/п	Наименование	Диапазон измерений	Погрешность	Определяемые/генерируемые параметры
1	2	3	4	5
1	Рулетка металлическая с ценой деления 1 мм по	0 - 50 м	±0,05 мм	Линейные размеры
2	Штангенциркуль	0-150 мм	±0,05 мм	Линейные размеры
3	Динамометр по ГОСТ Р 55223-2012	10 - 100 кН	±0,10 %	Статические растягивающие усилия
4	Угломер по ГОСТ 5378-88	0 - 360 °	±0.3 °	Углы

#### 4. Условия проведения испытаний

Испытания проводят на территории завода-изготовителя и (или) испытательной организации и (или) испытательных полигонах, содержащих аттестованное установленным порядком испытательное оборудование.

В случае проведения испытаний на территории завода изготовителя в помещении должны быть обеспечены следующие климатические условия:

- температура окружающего воздуха от +15 до +25 °С;
- относительная влажность воздуха от 50 до 80 % при +25 °С;
- отопление и вентиляция должны соответствовать требованиям СНиП 41-01 и санитарных норм СанПиН 2.2.4.548-96;
- освещение должно соответствовать требованиям СП 52.13330.2011.

Оборудование, применяемое при испытаниях, по генерируемым электромагнитным помехам должно соответствовать требованиям ГОСТ 30804.6.4.

#### 5. Подготовка оборудования к проведению испытаний

При подготовке к испытаниям оборудования должны быть выполнены следующие операции:

- установка испытательного оборудования помещении(полигоне), предназначенном для испытаний;
- монтаж компонентов.
- заземление электрической лебедки.

## 6. Требования к персоналу, осуществляющему испытания

Персонал, проводящий испытания, должен пройти вводный инструктаж по охране труда с отметкой в журнале регистрации вводного инструктажа.

### **Б.9 Требования безопасности**

При выполнении работ должны быть выполнены требования безопасности, указанные в следующих документах:

-правилах по охране труда при погрузочно-разгрузочных работах и размещении грузов, утвержденных Приказом Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 17.09.2014 №642н;

-правилах по охране труда при эксплуатации электроустановок, утвержденных Приказом Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 24.07.2013 №328н;

-инструкции По охране труда завода-изготовителя и (или) испытательной организации и (или) испытательного полигона.

Проведение погрузочно-разгрузочных работ с применением подъемных сооружений и строповка грузов должна осуществляться в соответствии с требованиями Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Правила опасных производственных объектов, на которых используются подъемные сооружения» (утверждены приказом Ростехнадзора от 12.11.2013 №533).

Допуск персонала к проведению испытаний, в том числе назначение ответственного за безопасное проведение испытаний должен проводиться в установленном порядке.

Ответственный за безопасное проведение работников, задействованных при проведении испытаний и назначенный соответствующим приказом.

Ответственный должен контролировать выполнение требований безопасности в течение всего периода проведения испытаний.

Персонал, участвующий в проведении испытаний, должен использовать средства индивидуальной защиты.

При возникновении ситуаций, угрожающих пожарной и экологической безопасности, безопасности обслуживающего персонала и других лиц или безопасности движения испытания должны быть приостановлены или прекращены.

Приостановление или прекращение испытаний оформляется актом, который должен быть подписан членами комиссии и руководителем испытаний.

Приостановленные испытания возобновляют после устранения причин, их вызвавших. Прекращенные испытания возобновляют после реализации всех мероприятий, предусмотренных совместным решением участников испытаний, и оформления акта о готовности к продолжению испытаний.

Требования безопасности при подготовке к испытаниям:

1. Для обеспечения безопасного проведения испытаний должны выполняться требования:

- по предотвращению или уменьшению до допустимого уровня воздействия на человека Электрического тока в соответствии с ГОСТ 12.2.007.0, ГОСТ12.1.019, ГОСТ 25861;

- по электробезопасности, обеспечиваемой защитным заземлением и занулением, в соответствии с ГОСТ 12.1.030;

- к защите человека от поражения электрическим током в соответствии с классом I по ГОСТ 12.2.007.0;

- к сигнальным цветам, знакам безопасности и сигнальной разметке в соответствии с ГОСТ Р 12.4.026, ГОСТ 12.4.040.

2. Перед проведением испытаний должно быть проверено наличие и исправное состояние:

- средств индивидуальной защиты;

- защитного заземления электрической лебедки и испытательного оборудования.

3. Места размещения испытательного оборудования должны быть огорожены. Расстояние для прохода персонала и испытательным оборудованием должно быть не менее 0,5 м. В проходах к местам проведения испытаний должны

быть вывешены плакаты «Идут испытания», «Проход запрещен». Лицам, не входящим в состав Комиссии и не принимающим участие в испытаниях находиться в местах проведения испытаний запрещается.

4. Перед началом испытаний должно быть проверено исходное состояние переключателей и др. оборудования (должны иметь маркировку, обозначающую выполняемые ими функции), состояние которых может повлиять на процесс испытаний и безопасность выполнения работ.

5. Лица моложе 18 лет к проведению испытаний не допускаются.

Требования безопасности при проведении испытаний:

Испытания должны проводиться в последовательности и при соблюдении требований безопасности настоящей методики. В целях обеспечения безопасности испытаний, ввиду возможности опрокидывания рамы и контейнера, испытываемую платформу необходимо устанавливать в удерживающие габаритные ворота или фиксировать ненатянутом тросом с другой стороны.

При проведении испытаний на полигоне следует соблюдать требования личной безопасности:

- переходить пути под прямым углом, предварительно убедившись, что на них нет приближающегося подвижного состава;
- не переходить пути у стрелок и крестовин;
- не перебегать пути перед приближающимся подвижным составом, а при обходе вагонов не проходить возле них вплотную;
- запрещается пролезать под вагонами, переходить по автосцепке, а также между близко стоящими вагонами, стоять в открытых дверях вагона при маневрах;
- на электрифицированных участках железнодорожного пути не подниматься выше уровня крыши вагона, так как высокое напряжение опасно для жизни. О необходимости подняться выше этого уровня каждый участник испытаний должен заявить руководителю испытаний и получить разрешение.

Требования безопасности при проведении работ по завершению испытаний:

Работы, связанные с демонтажем испытательного оборудования, должны выполняться только после снятия питающего напряжения.

### **Б.10 Методы испытаний**

При испытаниях в соответствии с ГОСТ 16504-81 применяются следующие виды контроля:

а) измерительный (И) – контроль, осуществляемый с применением средств измерений и контроля;

б) регистрационный (Р) – контроль, осуществляемый регистрацией значений контролируемых параметров продукции или процессов;

в) визуальный (В) – вид органолептического контроля, осуществляемый органами зрения.

### **Б.11 Порядок проведения испытаний**

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 Б.11) на угол  $\alpha$ .

$$a = \arctg(h_p/2s) \quad (\text{Б. 1})$$

где  $h_p$  – возвышение рельса;  $2s$  – расстояние между кругами катания.

В таблице Б.3 представлены значения скорости ветра и равнодействующей силы ветровой нагрузки, приложенной к геометрическому центру подветренной поверхности контейнера и действующей нормально к поверхности контейнера.

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

Электрическая лебедка устанавливается согласно схеме (см. рисунок Б.1). 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.

**Таблица Б.3 - Значения равнодействующей силы ветровой нагрузки, приложенной к геометрическому центру подветренной поверхности контейнера**

№п/п	Тип контейнера	Равнодействующая сила ветровой нагрузки	
		$F_v, (Н)$	$F_v, (кгс)$
1	1EEE	28267,53	2882,486
2	1EE	35667,17	3637,039
3	1AAA	26779,77	2730,776
4	1AA	33739,21	3440,442
5	1A	35574,98	3627,639
6	1BBB	19340,94	1972,227
7	1BB	24099,44	2457,459
8	1B	27792,96	2834,093
9	1CC	17351,59	1769,37
10	1C	34786,9	3547,276

В процессе эксплуатации специализированной платформы для перевозки контейнеров возможны повреждения или неполное запираение удерживающих устройств и другие нештатные ситуации, поэтому следует учитывать коэффициент запаса – 1,5, ввиду того что на одно удерживающее устройство может приходиться вся ветровая нагрузка.

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

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

$$F_B = F_T \cdot \cos(\gamma - \alpha) \quad (\text{Б.2})$$

где  $\gamma = \arccos(L_D / L_T)$ ;

$L_D$  – расстояние по горизонтали от электрической лебедки до поверхности контейнера (платформы);

$L_T$  – длина троса электрической лебедки.

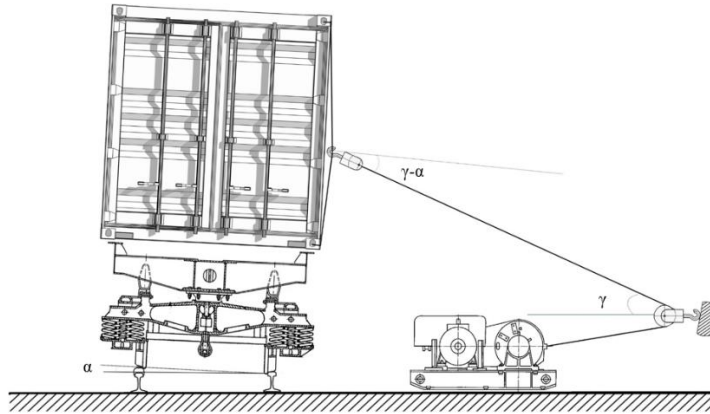


Рисунок Б.1- Схема испытательного стенда

### Б.12 Определяемые показатели (характеристики) и точность их измерения

При проведении испытаний фиксируется момент отрыва боковых фитингов от поверхности платформы, момент отрыва колеса от рельса при заданных параметрах натяжения электрической лебедки. Результаты измерений, при которых начинается процесс опрокидывания контейнера заносятся в таблицу Б.3

Таблица Б.3 - Результаты измерений

№п/п	Тип контейнера	Равнодействующая сила ветровой нагрузки	
		$F_T, (Н)$	$F_T, (кгс)$
1	1EEE		
2	1EE		
3	1AAA		
4	1AA		
5	1A		
6	1BBB		
7	1BB		
8	1B		
9	1CC		
10	1C		

### Б.13 Обработка результатов испытаний

Для каждого контейнера производится серия испытаний, по результатам испытаний определяется погрешность измерений.

$$F_{\epsilon} = f(F_m, h_p, s, L_{\text{Л}}, L_m). \quad (\text{Б.3})$$

Абсолютную погрешность измерений определяем по формуле:

$$\Delta F_B = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial F_T}\right)^2 \Delta F_T^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial h_p}\right)^2 \Delta h_p^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial s}\right)^2 \Delta s^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial L_{\text{Л}}}\right)^2 L_{\text{Л}}^2 \left(\frac{\partial f}{\partial L_T}\right)^2 L_T^2}. \quad (\text{Б.4})$$

Частные производные искомой функции  $F_{\epsilon} = f(F_m, h_p, s, L_{\text{Л}}, L_m)$  рассчитываются по формулам:

$$\frac{\partial f}{\partial F_T} = \cos(\gamma - \alpha); \quad (\text{Б.5})$$

$$\frac{\partial f}{\partial h_p} = F_T \sin(\gamma - \alpha) \cdot \frac{1}{1 + \left(\frac{h_p}{2s}\right)^2} \cdot \frac{1}{2s}; \quad (\text{Б.6})$$

$$\frac{\partial f}{\partial s} = F_T \sin(\gamma - \alpha) \cdot \frac{1}{1 + \left(\frac{h_p}{2s}\right)^2} \cdot \left(-\frac{1}{2s^2}\right); \quad (\text{Б.7})$$

$$\frac{\partial f}{\partial L_{\text{Л}}} = -F_T \sin(\gamma - \alpha) \cdot \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{L_{\text{Л}}}{L_T}\right)^2}} \cdot \frac{1}{L_T}; \quad (\text{Б.8})$$

$$\frac{\partial f}{\partial L_T} = -F_T \sin(\gamma - \alpha) \cdot \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{L_{\text{Л}}}{L_T}\right)^2}} \cdot \left(-\frac{h_s}{2L_T^2}\right). \quad (\text{Б.9})$$

Вычисление ошибок измерения величин

Необходимо провести  $N$  опытов по измерению величины  $F_T$

Среднее значение  $F_T$  определяется по формуле:

$$\bar{F}_T = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N F_{T,i} \quad (\text{Б.10})$$

и среднеквадратичной ошибки  $\Delta F_T$



$$\Delta F_T = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (F_{Ti} - F_T)^2}{N-1}} \quad (\text{Б.11})$$

Для измерения величин (длин)  $h_p$ ,  $s$ ,  $L_{\text{Л}}$ ,  $L_m$  в качестве среднеквадратической ошибки  $\Delta h_p$ ,  $\Delta s$ ,  $\Delta L_{\text{Л}}$ ,  $\Delta L_m$  принимаем половину наименьшего деления измерительного устройства (измерительной металлической рулетки), тогда:

$$\overline{F_B} = \overline{F_T} \cos(\gamma - \alpha) \quad (\text{Б.12})$$

$$F_B = \overline{F_B} \pm \Delta F_B \quad (\text{Б.13})$$

#### **Б.14 Анализ и оценка результатов испытаний**

На основании данных, полученных при испытаниях, производят оценку прочности конструкции фитинговых упоров.

Условием прочности конструкции фитинговых упоров является отсутствие видимых повреждений элементов конструкции (трещин сварных швов или основного металла, нарушение геометрии), а также отсутствие деформаций или повреждения фитинговых упоров и их крепления на вагоне.