

МАШИНОСТРОЕНИЕ

MACHINE BUILDING



УДК 656.2/.4

Статья-перспектива

<https://doi.org/10.23947/2541-9129-2025-9-4-319-330>

Снижение риска опрокидывания контейнеров под воздействием ветровой нагрузки путем совершенствования параметров упоров железнодорожных платформ



EDN: OYBJCC

А.А. Демьянов

Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация

alexys61@yandex.ru

Аннотация

Введение. Проблема падения контейнеров с железнодорожных платформ обостряется с развитием логистики, изменением климата и привлекает внимание исследователей. Рассматриваются ситуации на разных логистических объектах и для разных емкостей. Известно, как риск опрокидывания зависит от силы ветра, кривизны пути и высоты рельса. Есть методики определения потерь от рассматриваемых инцидентов. Результаты изысканий полезны для менеджмента логистики, однако внедрение таких решений требует времени, значительных затрат, поэтому редко реализуется на практике. Подход, описанный в данной статье, преодолевает эти ограничения, благодаря технической простоте. Цель работы — доказать эффективность изменения трех параметров платформ: бокового зазора у ее края, а также высоты и толщины стационарных упоров.

Материалы и методы. Анализировалась литература по проблеме, в том числе госстандарты, технические условия, строительные нормы и правила. В виде схем визуализировались необходимые для расчетов сопряжение фитинга и упора, параметры контейнера. В уравнениях учитывались также сила ветра, его боковая нагрузка на контейнер и региональные характеристики. Использовали данные о 40-футовом контейнере длиной $\approx 12,2$ м, высотой $\approx 2,6$ м, массой 3,9 тонн, с расстоянием между фитингами $\approx 2,3$ м. Региональные особенности ветров определили по карте «Районирование территории Российской Федерации по давлению ветра».

Результаты исследования. Доказано, что технически несложное изменение упоров платформы существенно снизит риски опрокидывания контейнера при значительной ветровой нагрузке. Нужно максимально уменьшить боковой зазор у края платформы, увеличить высоту стационарного упора до 106 мм, толщину — до 56 мм. Без модернизации 40-футовый контейнер опрокинется при ветровой нагрузке 120 Па. В предложенной автором конфигурации устойчивость контейнера на платформе существенно увеличится. В сухую погоду емкость сохранит устойчивость при боковом воздействии ветра силой ≈ 834 Па, при осадках — ≈ 500 Па. Таким образом, можно говорить об усилении в 7 раз и 4,2 раза соответственно.

Обсуждение. В изначальной конфигурации 40-футовый контейнер опрокинется при скорости ветра 11,9 м/с, или в I ветровой зоне — как в Москве или Минске. Предложенная автором модернизация позволит контейнеру устоять при скорости ветра 37 м/с (VII зона). В дождь и снег контейнер опрокинется при скорости ветра 29,5 м/с. Это IV зона (Казахстан и побережье Каспийского моря). В настоящее время здесь фиксируется активный автомобильный и железнодорожный трафик. В перспективе ожидается рост грузопотока в связи с реализацией проекта «Шелковый путь».

Заключение. Внедрение предложенной новации значительно сократит вероятность чрезвычайных ситуаций из-за падения контейнеров с железнодорожных платформ и, соответственно, повысит безопасность перевозок. Решение отличается технологической простотой и универсальностью. Конструкция контейнера остается прежней. Отдельные элементы платформы меняются минимально.

Ключевые слова: устойчивость контейнера на железнодорожной платформе, боковая ветровая нагрузка на контейнер, районирование по давлению ветра, стационарный упор для контейнера

Благодарности. Автор выражает благодарность редакции и рецензентам за внимательное отношение к статье и замечания, которые позволили повысить ее качество.


Для цитирования. Демьянов А.А. Снижение риска опрокидывания контейнеров под воздействием ветровой нагрузки путем совершенствования параметров упоров железнодорожных платформ. *Безопасность техногенных и природных систем*. 2025;9(4):319–330. <https://doi.org/10.23947/2541-9129-2025-9-4-319-330>

Perspective Article

Reducing the Risk of Container Overturning under Wind Loads by Improving the Parameters of Railway Platform Stops

Aleksey A. Demyanov  

Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russian Federation

 alexys61@yandex.ru

Abstract

Introduction. The problem of containers overturning off railway platforms has become more acute with the development of logistics and climate change, and is attracting the attention of researchers. This paper examines the situations at various logistics facilities and different capacities. It is known how the risk of overturning depends on the strength of the wind, the curvature of the track, and the height of the rail. There are methods to calculate losses from these incidents. The results of the survey are useful for logistics management, but implementing such solutions takes time and significant resources, so they are rarely implemented in practice. The approach described in this article addresses these limitations by its technical simplicity. Its aim is to demonstrate the effectiveness of adjusting three platform parameters: the lateral gap at the edge, as well as the height and thickness of the stationary stops.

Materials and Methods. The literature on the subject was analyzed, including state standards, technical specifications, and building codes and regulations. The connection between the fitting and the stop, as well as the container's parameters necessary for calculations, were visualized in diagrams. The equations took into account the strength of the wind, its lateral load on the container, and regional characteristics. We used data on a 40-foot container with dimensions of approximately 12.2 meters in length, 2.6 meters in height, and 3.9 tons in weight, with spacing between fittings of approximately 2.3 meters. Regional wind patterns were determined using the “Zoning of the Territory of the Russian Federation by Wind Pressure” map.

Results. It has been proven that a technically simple change in platform stops would significantly reduce the risks of container overturning under significant wind load. It was necessary to minimize the lateral play at the edge of the platform, increase the height of the stationary stop to 106 mm, and its thickness to 56 mm. Without these upgrades, a 40-foot container would overturn at a wind speed of 120 Pa. With the proposed configuration, the stability of the container on the platform was significantly improved. In dry conditions, the container remained stable under wind forces of ≈ 834 Pa, with precipitation — ≈ 500 Pa. This represented a gain of 7 times and 4.2 times, respectively, in stability.

Discussion. In the initial configuration, a 40-foot container overturns at a wind speed of 11.9 m/s, or in wind zone I, as in Moscow or Minsk. The modernization proposed by the author will allow the container to withstand wind speeds of 37 m/s (zone VII). In rain and snow, the container will overturn at a wind speed of 29.5 m/s. This is zone IV (Kazakhstan and the coast of the Caspian Sea). Currently, there is active automobile and railway traffic here. Cargo traffic is expected to increase in the future due to the implementation of the Silk Road project.

Conclusion. The implementation of the proposed innovation will significantly reduce the likelihood of emergencies due to containers falling from railway platforms and, consequently, increase transportation safety. The solution is characterized by technological simplicity and versatility. The container design remains the same. Individual elements of the platform change minimally.

Keywords: container stability on a railway platform, lateral wind load on a container, wind pressure zoning, stationary container support

Acknowledgements. The author would like to thank the Editorial board and the reviewers for their attentive attitude to the article and for the comments that improved its quality.

For Citation. Demyanov AA. Reducing the Risk of Container Overturning under Wind Loads by Improving the Parameters of Railway Platform Stops. *Safety of Technogenic and Natural Systems*. 2025;9(4):319–330. <https://doi.org/10.23947/2541-9129-2025-9-4-319-330>

Введение. Требуется теоретической и прикладной проработки обостряющаяся проблема современной логистики — падение контейнеров с железнодорожных платформ. И пустые, и груженные емкости не выдерживают сильной ветровой нагрузки. Как следствие растет вероятность инцидентов и катастроф на железной дороге. Приведем некоторые резонансные примеры. 22 апреля 2014 года в Ямало-Ненецком автономном округе ветер опрокинул 11 контейнеров с грузом общей массой 20 тонн¹.

29 декабря 2015 года на участке Вишневка — Анар (Карагандинское направление) контейнер упал поперек пути. Пришлось остановить движение 12 поездов².

13 августа 2016 года на участке Домикан — Архаринск Забайкальской железной дороги порывы ветра снесли с платформы семь пустых контейнеров. Остановилось движение на двух направлениях³.

Эксперты называют две причины увеличения частоты таких инцидентов. Первая — рост объемов железнодорожных контейнерных перевозок. Вторая — изменения климата, которые обусловили усиление ветровых нагрузок.

По территории России проходит стратегически важный транспортный коридор Восток — Запад. Основу трафика составляют железнодорожные перевозки, в том числе контейнерные. Их объемы растут с 2019 года даже в условиях международных санкций⁴. В 2022 году ОАО «Российские железные дороги» («РЖД») перевезли в Китай рекордные 123 млн тонн грузов⁵. Это почти на треть больше, чем в 2021-м. В 2023 году показатель вырос еще на 85 %⁶.

Высокая динамика роста объемов перевозок сохраняется. «РЖД» все активнее работает на трансмонгольском направлении и в транзитном коридоре через Казахстан.⁷

Нестабильность глобальной логистики, особенно морского трафика через Суэцкий канал, повышает востребованность сухопутных перевозок из Азии в Европу по территории России. Чтобы стать полноценной альтернативой, российской системе железнодорожного транспорта следует решить ряд проблем. Одна из них — риски порчи, утраты груза и задержек доставки, обусловленные падением контейнеров с платформ.

Метеорологи фиксируют изменение ветровой нагрузки в разных регионах планеты. На некоторых территориях России все чаще наблюдаются ранее нехарактерные ураганы и смерчи.⁸ Такая погода неблагоприятно сказывается на транспортной инфраструктуре, в том числе железнодорожной. Очевидно, что опрокидывание контейнеров с платформ снижает безопасность перевозок.

Согласно современным исследованиям, под воздействием порывистого ветра на дорогах России ежегодно происходит около ста случаев опрокидывания контейнеров. Для серьезного инцидента достаточно скорости ветра 17 м/с [1].

В 2024 году руководство «РЖД» распорядилось при планировании перевозок учитывать справочно-аналитическую информацию о возможной силе и порывистости ветра на маршруте⁹.

При оценке ущерба от падения контейнеров следует учитывать не только порчу или утрату контейнера и груза. Важно принять во внимание последствия падения металлической емкости на пути. Это почти наверняка приведет к потерям от остановки движения. Однако не исключены и более тяжелые последствия — например, в условиях плохой видимости (ночь, туман и т. д.). Особенно опасно, если контейнер упадет с платформы на мосту.

Обзор литературы по вопросу показал, что исследователи рассматривали риски опрокидывания контейнеров в несопоставимых климатических условиях, на структурно и функционально отличающихся объектах глобальной транспортной системы. Изучались, например, движение железнодорожных и автомобильных платформ с контейнерами, а также риски недвигающихся контейнеров в ожидании погрузочно-разгрузочных работ.

Так, в [2] рассматриваются методы оценки устойчивости от опрокидывания контейнеров при перевозке на специализированных железнодорожных платформах. В работе [3] описаны условия, при которых возможно опрокидывание пустых контейнеров различных типов. Показано, как вероятность инцидента зависит от силы ветра, кривизны пути и высоты наружного рельса. Созданы методики для определения экономических, финансовых и репутационных издержек, связанных с такими инцидентами.

¹ В ЯНАО из-за сильного ветра с поезда слетели 11 контейнеров с грузом. life.ru. URL: <https://life.ru/p/131740> (дата обращения: 08.11.2025).

² В Акмолинской области сильным ветром с грузового поезда сошло контейнер. URL: <https://www.zakon.kz/proisshestviia/4766046-v-karagandinskoi-oblasti-silnym-vetrom.html> (дата обращения: 08.11.2025).

³ О движении поездов на перегоне Архара — Домикан Свободненского региона Забайкальской железной дороги. РЖД. URL: <https://zabzd.rzd.ru/ru/2332/page/2452802?id=90092> (дата обращения: 08.11.2025).

⁴ Урьянка контейнерных перевозок России есть трехкратный потенциал для роста. URL: <https://clck.ru/3QX92T> (дата обращения: 08.11.2025).

⁵ «РЖД» в 2022 году увеличили грузоперевозки с Китаем на 28 %, до 123 млн т. URL: <https://www.interfax.ru/business/886341> (дата обращения: 08.11.2025).

⁶ «РЖД» в январе-феврале нарастили грузоперевозки с Китаем почти в 1,9 раза. URL: <https://www.interfax.ru/business/892180> (дата обращения: 08.11.2025).

⁷ Там же.

⁸ Губаева Л. Как изменится климат России в XXI веке и почему надо привыкать к погодным аномалиям. Реальное время. URL: <https://m.realnoevremya.ru/articles/184780-kak-globalnoe-izmenenie-klimata-otrazitsya-na-rossii-v-xxi-veke> (дата обращения: 08.11.2025).

⁹ Об утверждении Порядка организации безопасного пропуска грузовых поездов, в составе которых имеются порожние контейнеры, при прогнозировании опасного явления погоды по маршруту их следования. Распоряжение № 2115 от 19 октября 2016 года. URL: <https://docs.cntd.ru/document/456030815> (дата обращения: 08.11.2025).

В [4] изучается влияние бокового ветра на различные типы железнодорожных транспортных средств для городских и пригородных перевозок. Следует сказать, что эта проблема актуальна не только для железнодорожного, но и для автомобильного трафика [5]. Есть публикации, в которых авторы определяют минимальные скорость и угол ветровой атаки относительно вектора движения состава в климатических условиях южной Австралии [6] и Колумбии [7], и это подчеркивает масштаб и глобальную актуальность проблемы.

Известны работы по прогнозированию экономического ущерба от сбоев в работе океанических контейнерных портов из-за ветра [8], в том числе из-за экстремальных ветровых явлений [9]. В [10] представлены методы моделирования ущерба контейнерным перевозкам от ветровых воздействий и предлагается разработка долгосрочных метеопрогнозов. Итоги этого исследования можно экстраполировать на работу других смежных субъектов портовой логистики, например, на компании, занятые в сфере грузовых железнодорожных перевозок.

В исследовании о повышении безопасности водного транспорта в условиях сильного ветра [11] предлагается комплексный инструмент повышения осведомленности о рисках для лиц, принимающих решения, которые должны предотвратить катастрофу в штормовую погоду. Такой подход можно интегрировать с принципами безопасной работы любой транспортной системы, в том числе железнодорожной.

Описанные выше научные изыскания дают решения, необходимые для управленческой практики в сфере логистики. Все они могут быть полезны при решении проблемы падения контейнеров с железнодорожных платформ. Однако рассмотренные подходы — комплексные или изначально заявляются как часть масштабной системы безопасности. Это значит, что для их реализации необходимы значительные финансовые и временные ресурсы. Требуется доработка с учетом не только общероссийской специфики, но и особенностей отдельных территорий, по которым идут грузовые поезда с контейнерами. Со временем такие адаптированные решения, безусловно, появятся. Однако некоторые меры можно принять уже сейчас. Они должны быть сравнительно малозатратными и легко реализуемыми. Цель представленной работы — доказать эффективность изменения трех параметров платформы: бокового зазора у ее края, а также рабочей высоты и толщины стационарного упора.

Материалы и методы. Анализ способов крепления контейнеров показывает, что параметры фитингов едины и зафиксированы в ГОСТ Р 51891–2008, а конструкции упоров разнообразны и регламентируются различными техническими условиями.

Ниже перечислены наиболее распространенные конструкции упоров:

- стационарный, привариваемый к раме платформы (рис. 1);
- откидной одинарный сварной (рис. 2);
- откидной одинарный литой (рис. 3);
- откидной двойной сварной (рис. 4);
- откидной одинарный с дополнительным креплением (рис. 5).

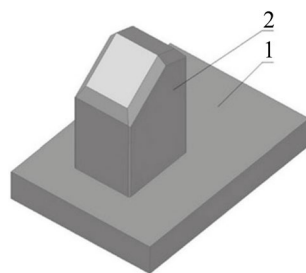


Рис. 1. Упор неоткидной, стационарный, привариваемый к раме платформы 31887-НСБ [12]:

1 — основание; 2 — упор

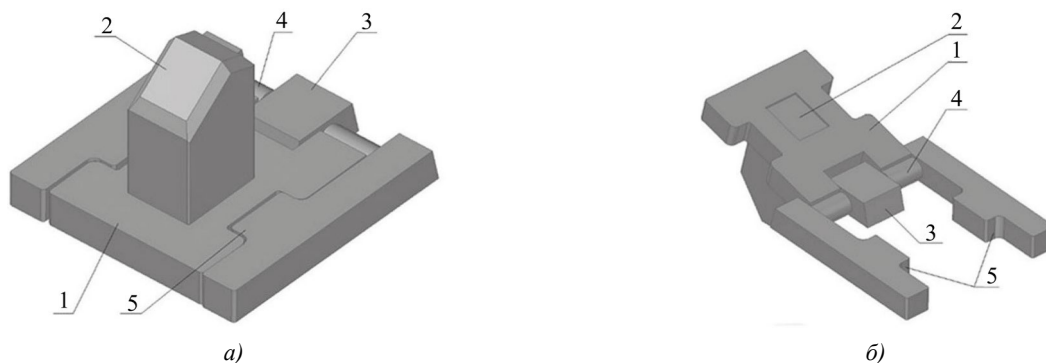


Рис. 2. Упор откидной одинарный сварной 31901-НСБ [12]:

а — исходное положение; б — откинутое положение;

1 — основание упора; 2 — упор; 3 — петля (шарнир); 4 — палец; 5 — плита упора

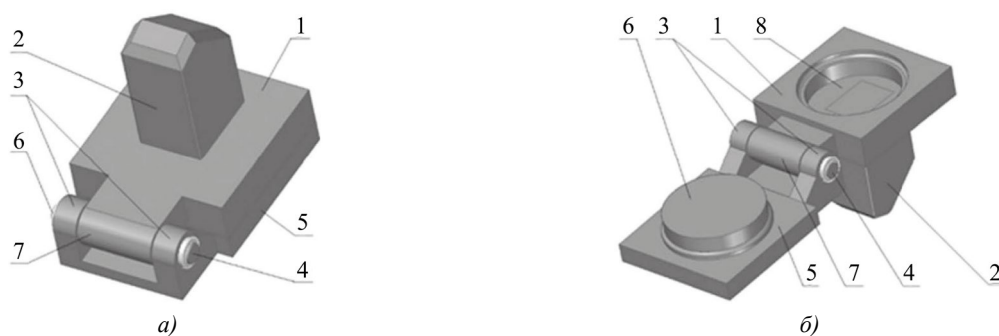


Рис. 3. Упор откидной одинарный литой 31896-НСБ [12]:

a — исходное положение; *б* — откинутое положение; 1 — основание упора; 2 — упор; 3 — петля основания; 4 — палец; 5 — плита упора; 6 — центрирующий выступ; 7 — петля упора; 8 — выемка под центрирующий выступ



Рис. 4. Упор откидной двойной сварной 31883-НСБ [12]:

a — исходное положение; *б* — откинутое положение; 1 — основание упора; 2 — упор; 3 — палец; 4 — плита упора; 5 — петля основания; 6 — отверстия под упоры

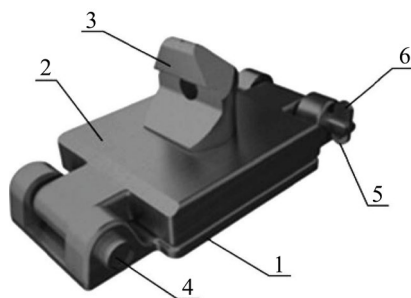


Рис. 5. Упор откидной одинарный с дополнительным креплением [12]:

1 — плита упора; 2 — основание упора; 3 — упор; 4 — палец; 5 — стержневой замок; 6 — блокиратор случайной разблокировки

Из-за бокового зазора $\Delta = 11,5\text{--}13,5$ мм фитинг легко соскальзывает с упора и не препятствует опрокидыванию контейнера (рис. 6). Контейнер теряет устойчивость от воздействия поперечных ветровых нагрузок, если используются упоры без дополнительных креплений. Это известно из логистической практики.

Анализ конструкции серийных фитинговых упоров показывает, что их высота — 85–100 мм, толщина — 50–52 мм, ширина — 78 мм. Высота отверстия в фитинге под упор — 108 мм, ширина — 63,5 мм.

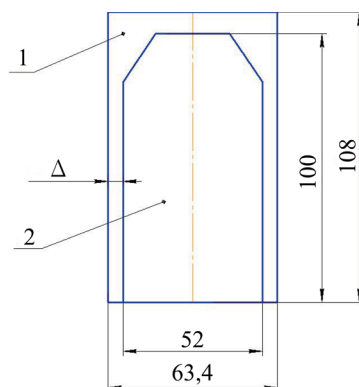


Рис. 6. Сопряжение фитинга и упора в поперечном сечении:

1 — габарит отверстия фитинга; 2 — габарит упора

Оценим устойчивость контейнера на упорах исходной конструкции. Условия:

- транспортировка пустой емкости по прямой;
- ветровая нагрузка поперечна к направлению движения.

Проведем расчет для самого распространенного упора — стационарного неоткидного 31887-НСБ (рис. 7).



Рис. 7. Стационарный упор для контейнера

При отсутствии дополнительных креплений устойчивость можно найти из равенства опрокидывающего контейнер момента M_O и удерживающего M_y (рис. 8).

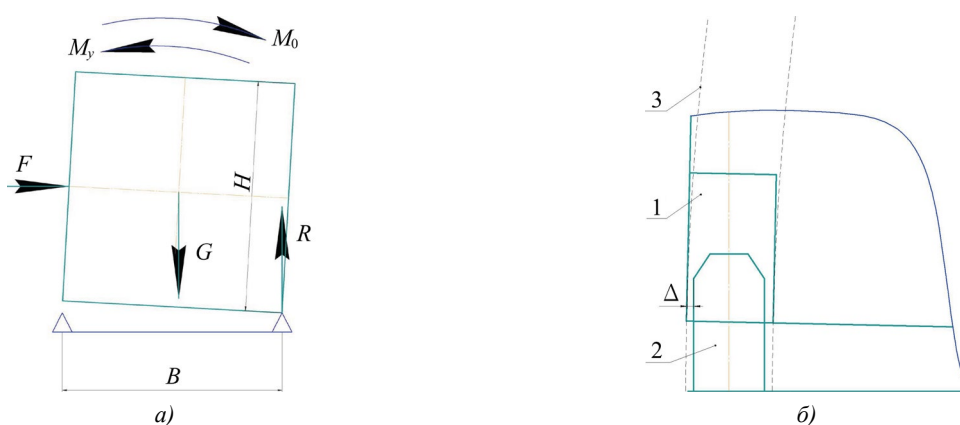


Рис. 8. Поперечное сечение контейнера:

а — расчетная схема; б — зазор между фитингом и упором при опрокидывании;
1 — отверстие фитинга; 2 — упор; 3 — траектория движения при опрокидывании

Если центр тяжести посередине между опорами, то удерживающий момент:

$$M_y = G \times B / 2,$$

где G — масса пустого контейнера, кг; B — ширина контейнера, м.

Если опрокидывающая сила посередине высоты контейнера, то опрокидывающий момент:

$$M_O = F \times H / 2,$$

где F — боковая сила воздействия ветра на стенку контейнера, кг; H — высота контейнера, м.

Силу ветра можно определить из соотношения:

$$F = P \times S,$$

где P — ветровая нагрузка, кг/м²; $S = L \cdot H$ — площадь боковой стенки контейнера; L — длина контейнера, м.

Давление ветра по Строительным нормам и правилам 2.01.07-85¹⁰ и 20.13330.2016¹¹, определяется так:

$$P = W_0 \times k \times c,$$

где W_0 — нормативное давление ветра для определенного региона; k — нормативный коэффициент корректировки давления ветра с учетом высоты и характера рельефа местности; c — коэффициент аэродинамики объекта.

Преобразуем исходные формулы:

$$W_0 \cdot k \cdot c \cdot L \cdot H \cdot \frac{H}{2} \geq G \cdot \frac{B}{2}.$$

¹⁰ СНиП 2.01.07–85*. *Нагрузки и воздействия*. Министерство строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации. URL: <https://www.minstroyrf.gov.ru/docs/13673/> (дата обращения: 08.11.2025).

¹¹ СП 20.13330.2016. *Свод правил. Нагрузки и воздействия*. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85*. URL: <https://mchs.gov.ru/uploads/document/2022-03-15/079727a84b6dfc87f4f6c2db1a5693ed.pdf> (дата обращения: 08.11.2025).

Упростим:

$$W_0 \cdot k \cdot c \cdot L \cdot H^2 \geq G \cdot B.$$

Преобразуем полученное выражение:

$$W_0 = \frac{G \cdot B}{k \cdot c \cdot L \cdot H^2}.$$

Выполним расчет на примере 40-футового контейнера длиной $L \approx 12,2$ м, высотой $H \approx 2,6$ м и массой $G = 3900$ кг. По ГОСТ Р 51891–2008 расстояние между фитингами $B \approx 2,3$ м (рис. 8). Расчеты проводятся для открытого пространства (СНиП 2.01.07–85 и СП 20.13330.2016).

Верхний габарит контейнера — 5,2 м, поэтому принимаем коэффициент корректировки давления ветра $k = 0,75$.

Соотношение длины и высоты объекта более 4, поэтому аэродинамический коэффициент $c = 1,2$ (по СП 20.13330.2016).

Расчетное пороговое значение скорости давление ветра, способной опрокинуть пустой 40-футовый контейнер:

$$W_0 = \frac{3\,900 \cdot 2,3}{0,75 \cdot 1,2 \cdot 12,2 \cdot 2,6^2} = 120 \text{ кг/м}^2 = 120 \text{ Па}.$$

Согласно СП 20.13330.2016, это соответствует скорости ветра примерно 11,9 м/с.

Полученные значения позволяют утверждать, что безопасность не гарантируется уже в I ветровой зоне (табл. 1), к которой относятся, например, Москва, Минск и т. д.

Таблица 1

Нормативные давления ветров в зависимости от ветрового района по СП 20.13330.2016

Ветровые районы России	Ia	I	II	III	IV	V	VI	VII
W_0 , кПа (кг с/м ²)	0,17 (17)	0,23 (23)	0,30 (30)	0,38 (38)	0,48 (48)	0,60 (60)	0,73 (73)	0,85 (85)

По усредненным данным¹² скорость ветра на севере России — 28–35 м/с, на Дальнем Востоке — 31–38 м/с, на Северном Кавказе — 28–31 м/с. При этом порывы ветра в этих же регионах могут превышать 40 м/с.

Уровень устойчивости и безопасности перевозки контейнера возрастает прямо пропорционально его загрузженности. Соответственно, риски для пустой емкости максимальные.

Значительная часть грузового трафика идет через зоны сильного ветрового давления III и IV (рис. 9). Следовательно, для основной части перевозок есть риск опрокидывания контейнеров. Отметим также, что многие контейнеры идут из Европы в Китай пустыми [2].

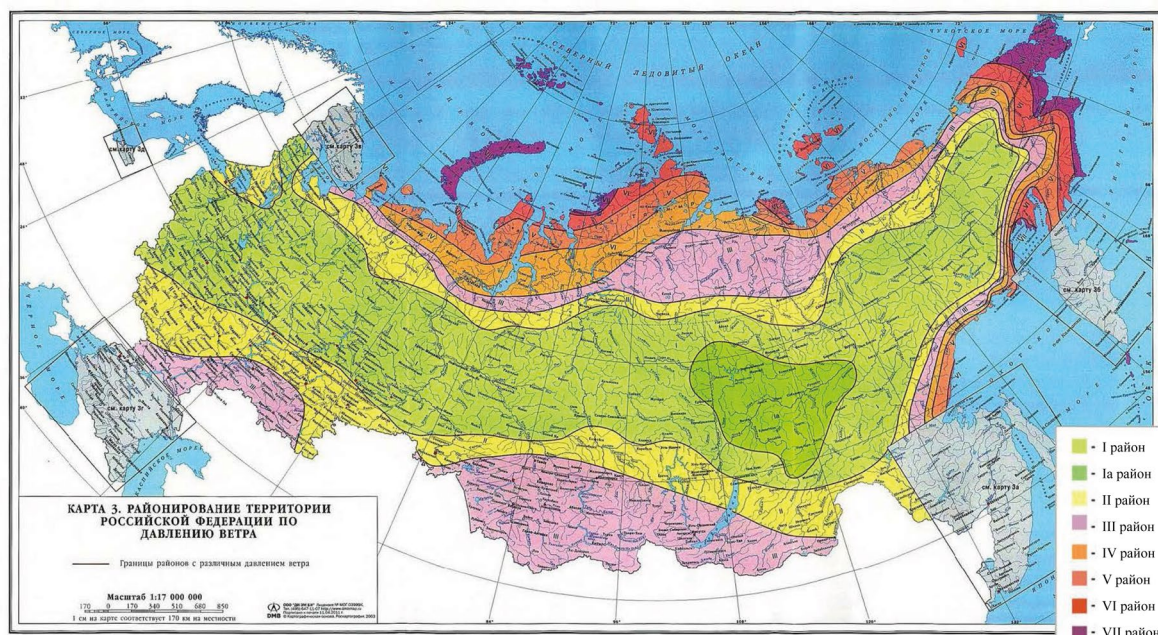


Рис. 9. Ветровые нагрузки в разных регионах России

¹² Шойгу С.К., Трохина Н.Б (ред.). *Атлас природных и техногенных опасностей и рисков чрезвычайных ситуаций в Российской Федерации*. Москва: ДИК; 2005. С. 269.

Для решения проблемы опрокидывания контейнеров ветром есть предложение оборудовать платформы дополнительными замковыми механизмами [13] или дополнительными удерживающими элементами [14].

В первом случае речь идет о размещении под каждым контейнером дополнительных узлов. Это должен быть вал, поперечный к оси движения вагона. На каждом его конце — по рычагу. Один давит на контейнер, а другой под силой этого давления проворачивается и дополнительно удерживает контейнер от опрокидывания (рис. 10).

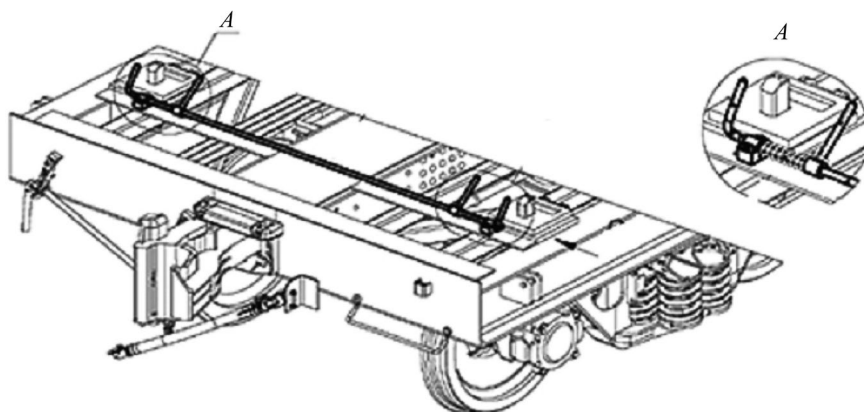


Рис. 10. Торсионный вал с рычагами [12]: А — удерживающие поворотные рычаги

Второе техническое решение — это запирающее устройство под каждым контейнером в виде дополнительных штырей. Их нужно выставить с минимальным зазором, чтобы обеспечить строго вертикальное перемещение контейнера при установке и снятии с платформы (рис. 11).



Рис. 11. Запирающее устройство [13]: а — схематическое изображение; б — место на платформе

Отметим, что переоборудование типовых вагонов новыми узлами потребует значительных материальных затрат. Кроме того, не исключены перекосы из-за порыва ветра или неверных действий крановщика. В этих случаях при установке на платформу в поперечной плоскости возможен несинхронный поворот рычагов вала и, соответственно, их деформация или поломка. Это слабые стороны первого варианта.

Основной недостаток второго решения — конструктивная нецелесообразность. Следует признать избыточным усложнение конструкции несколькими параллельно работающими элементами (упор и внешний штырь), выполняющими одну и ту же функцию. К тому же, как и в первом случае, внедрение предполагает существенные затраты по финансам, материалам и времени.

Результаты исследования. В данной работе предлагается повысить ветровую устойчивость контейнеров на железнодорожных платформах без ресурсоемких изменений конструкции вагона и контейнера. Заявленную проблему может решить изменение трех параметров (рис. 12):

- увеличение рабочей высоты стационарного упора, приваренного к раме вагона, с названных выше 85–100 мм до 106 мм;
- увеличение толщины упора с 50–52 мм до 56 мм;
- уменьшение бокового зазора у края платформы с 11,5–13,5 мм до технически возможного минимума;
- ширина остается серийной — 78 м.

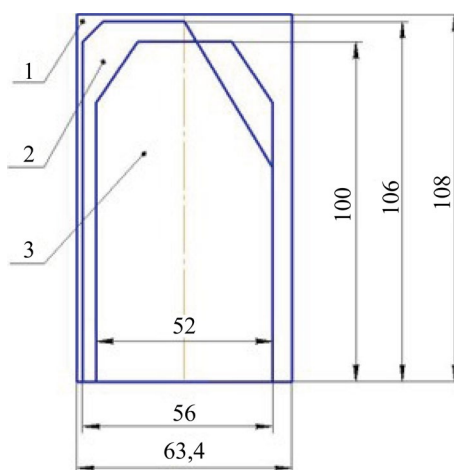


Рис. 12. Габариты измененного упора:

1 — габарит отверстия фитинга; 2 — габарит измененного упора; 3 — габарит исходного упора

Такой подход сократит люфт контейнера на упорах в поперечной плоскости со стороны края платформы.

Как только контейнер начнет опрокидываться, упор заклинит в фитинге из-за уменьшенного внешнего зазора (рис. 13).

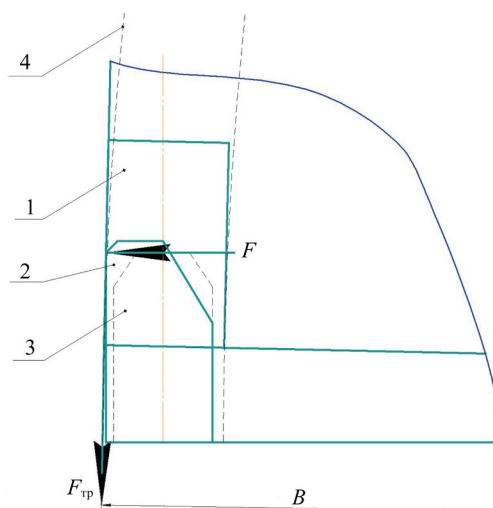


Рис. 13. Контакт поверхностей фитинга и измененного упора при опрокидывании контейнера:

1 — отверстие фитинга; 2 — измененный упор; 3 — исходный упор;

4 — траектория движения при опрокидывании

Отметим, что не следует превышать предложенный максимум по высоте 106 мм. В противном случае контейнер будет держаться не на основании платформы, а на сравнительно небольших упорах, что негативно скажется на устойчивости. Рекомендованная толщина 56 мм в плане пропорции хорошо сочетается с высотой 106 мм.

Удержание контейнера обеспечит сила трения $F_{\text{тр}}$, предельное значение которой будет зависеть исключительно от жесткости упора. Как только он поддастся нагрузке и прогнется, нормальная реакция опоры уменьшится, фитинг соскользнет с упора и контейнер опрокинется.

Эффективность решения определили по расчету упора в фитинге на изгиб и максимальной силы нормальной реакции F между взаимодействующими поверхностями при заклинивании упора в фитинге.

Упоры часто делают из стали 10ХСНД с допускаемыми напряжениями на изгиб $[\sigma_{\text{и}}] = 220$ МПа:

$$[\sigma_{\text{и}}] \geq \sigma_{\text{и}} = \frac{F \cdot l}{W}.$$

Здесь l — высота приложения силы к упору от контакта с фитингом. Она равна 100 мм, однако с учетом фасок и других элементов рабочая высота — 106 мм, т. е. максимальная рекомендуемая в рамках данной научной работы.

Значит,

$$F = \frac{[\sigma_{\text{и}}] \cdot W}{l},$$

где $W = \frac{b \cdot h^2}{6}$ — момент сопротивления упора.

Если ширина упора $h = 78$ мм, а толщина $b = 56$ мм, то:

$$F = \frac{220 \cdot 78 \cdot 56^2}{100 \cdot 6} = 89689,6 \text{ Н.}$$

Таким образом, до начала заметной деформации упор формально выдержит 89,7 кН.

Рассчитаем дополнительно возникающую удерживающую силу трения при сухой и дождливой погоде.

Согласно ТУ №ЦМ-943 от 23.10.2017¹³, в расчетах следует принимать равным 0,3 коэффициент трения по кося между стальными поверхностями, очищенными от грязи и снега.

В этом случае сила трения упора о фитинг:

$$F_{\text{тр}} = N \cdot \mu,$$

где $\mu = 0,3$ — коэффициент трения стали по стали; $N = F$ — нормальная сила прижатия поверхностей.

Подставим известные значения:

$$F_{\text{тр}} = N \cdot \mu, F_{\text{тр}} = 89689,6 \cdot 0,3 = 26906,88 \text{ Н.}$$

Определим эффективность предлагаемого решения с учетом ветровой нагрузки, способной преодолеть удерживающий момент и опрокинуть контейнер:

$$M_y = F_{\text{тр}} \cdot B, \quad (1)$$

где $F_{\text{тр}}$ — сила трения на поверхности фитинга и упора; B — плечо приложения, т. е. ширина контейнера по осям фитингов.

Запишем соотношение моментов:

$$M_o = W_o \cdot k \cdot c \cdot L \cdot H \cdot \frac{H}{2} \quad \text{и} \quad M_y = F_{\text{тр}} \cdot B. \quad (2)$$

Значит:

$$W_o \cdot k \cdot c \cdot L \cdot H^2 = F_{\text{тр}} \cdot B. \quad (3)$$

Значение ветровой нагрузки:

$$W_o = \frac{F_{\text{тр}} \cdot B}{k \cdot c \cdot L \cdot H^2}, \quad (4)$$

$$W_o = \frac{2690,7 \cdot 2,3}{0,75 \cdot 1,2 \cdot 12,2 \cdot 2,6^2} = 83,38 \text{ кг/м}^2 \approx 834 \text{ Па.}$$

В условиях ветра с дождем коэффициент трения упора о фитинг — 0,15–0,2. Примем для расчета среднее значение 0,18.

$$F_{\text{тр}} = 89689,6 \cdot 0,18 = 16144,13 \text{ Н.}$$

Оценим для этой ситуации эффективность предлагаемого решения по ветровой нагрузке, способной преодолеть удерживающий момент и опрокинуть контейнер. Используем выражения (1)–(4). Получим:

$$W_o = \frac{1614,4 \cdot 2,3}{0,75 \cdot 1,2 \cdot 12,2 \cdot 2,6^2} = 50,03 \text{ кг/м}^2 \approx 500 \text{ Па.}$$

Обсуждение. Итак, упор высотой 106 мм, шириной 78 мм и толщиной 56 мм формально выдержит воздействие около 90 кН (точная цифра — 89,7 кН), а затем заметно деформируется. Таким образом, 89,7 кН — максимальная нормальная сила, которая может возникнуть между поверхностями трения.

Расчеты показали, что в изначальной конфигурации 40-футовый контейнер опрокинется при ветровой нагрузке 120 Па. Это соответствует скорости ветра 11,9 м/с, или I ветровой зоне. Такой ветер характерен, например, для Москвы и Минска. Причем пустой контейнер может опрокинуться под действием ветровых нагрузок даже на неподвижной платформе.

Предложенное автором решение позволит контейнеру устоять на движущейся платформе при ветровой нагрузке около 834 Па. Это соответствует скорости ветра около 37 м/с, характерной для VII ветровой зоны. Очевидно, что для условий ветра с дождем показатель будет ниже, и это подтвердили расчеты. Контейнер опрокинется при нагрузке примерно 500 Па. Это соответствует скорости ветра около 29,5 м/с, что характерно для IV ветровой зоны, к которой относятся, например, Казахстан и побережье Каспийского моря. В настоящее время здесь фиксируется активный автомобильный и железнодорожный трафик. В перспективе ожидается рост грузопотока в связи реализацией глобального мультимодального транспортного проекта «Шелковый путь».

¹³ Технические условия размещения и крепления грузов в вагонах и контейнерах. № ЦМ-943 от 27.05.2003 Министерство путей сообщения РФ. URL: <https://company.rzd.ru/9353/page/105104?id=1341> (дата обращения: 08.11.2025).

Предлагаемый подход к решению проблемы ветровой устойчивости контейнеров в данной работе рассчитан применительно к неподвижным стационарным упорам, исключающим наличие люфтов. Расчет выполнен на примере 40-футового контейнера, однако принцип можно использовать и для других форм-факторов.

Заключение. Предлагаемое решение в реальных условиях перевозок (в том числе в ветренную и дождливую погоду) позволит увеличить устойчивость контейнеров на платформе от опрокидывания из-за ветра. При расчетах принимали во внимание главным образом данные о I–IV ветровых зонах, т. к. именно по этим территориям активно перемещаются грузы. Однако в сухую погоду модернизация платформы будет полезна даже в зоне с самыми сильными ветрами — VII.

Внедрение предложенной новации значительно сократит вероятность чрезвычайных ситуаций, связанных с падением контейнеров с железнодорожных платформ, и, соответственно, повысит безопасность перевозок.

Решение отличается технологической простотой и универсальностью. Конструкция контейнера остается прежней. Отдельные элементы платформы меняются минимально.

Список литературы / References

1. Попов В.Г., Матешева А.В., Сухов Ф.И., Боландова Ю.К. Условия опрокидывания порожних контейнеров под воздействием ветровых нагрузок. *Мир транспорта*. 2019;17(6):50–61. <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2019-17-50-61>
Popov VG, Matesheva AV, Sukhov PI, Bolandova YuK. Conditions Leading to Overturning of Empty Containers under the Influence of Wind Load. *World of Transport and Transportation*. 2019;17(6):50–61. (In Russ.) <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2019-17-50-61>
2. Боландова Ю.К. Методы оценки устойчивости от опрокидывания контейнеров при перевозке на специализированных железнодорожных платформах. Дис. канд. тех. наук. Москва; 2021. 153 с.
Bolandova YuK. Methods for Assessing Stability from Container Overturning during Transportation on Specialized Railway Platforms. Cand. Sci. (Eng.) diss. Moscow; 2021. 153 p. (In Russ.)
3. Попов В.Г., Сухов Ф.И., Боландова Ю.К. Культура обеспечения безопасности транспорта. *Мир транспорта*. 2019;17(2):206–217. <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2019-17-2-206-217>
Popov VG, Sukhov PI, Bolandova YuK. Transport Safety Culture. *World of Transport and Transportation*. 2019;17(2):206–217. (In Russ.) <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2019-17-2-206-217>
4. Giappino S, Rocchi D, Schito P, Tomasini G. Cross Wind and Rollover Risk on Lightweight Railway Vehicles. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*. 2016;153:106–112. <https://doi.org/10.1016/j.jweia.2016.03.013>
5. Baker C, Cheli F, Orellano A, Paradot N, Proppe C, Rocchi D. Cross-Wind Effects on Road and Rail Vehicles. *Vehicle System Dynamics*. 2009;47(8):983–1022. <https://doi.org/10.1080/00423110903078794>
6. Simes T. A Blow to Train Operations, Can Strong Winds Cause Derailment? In: *International Railway Safety Conference. Melbourne, 2017*. URL: <https://international-railway-safety-council.com/wp-content/uploads/2017/09/simes-a-blow-to-train-operations-can-strong-winds-cause-derailment.pdf> (accessed: 09.11.2025).
7. Piñeres Castillo AP, Mojica Herazo JC. A Review of Wind Impact on Container Port Operations: Current Technologies, Strategies and Future Perspectives. *Procedia Computer Science*. 2024;251:783–788. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2024.11.185>
8. Yi Zhang, Cai Wei, Zhonghui Shen, Xiwen Bai, Xinzheng Lu, Guedes Soares C. Economic Impact of Typhoon-Induced Wind Disasters on Port Performance: A Case Study of Chinese Ports. *International Journal of Disaster Risk Reduction*. 2020;50:101719. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2020.101719>
9. Yi Zhang, Jasmine Siu Lee Lam. Estimating the Economic Losses of Port Disruption Due to Extreme Wind Event. *Ocean & Coastal Management*. 2015;116:300–310 <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2015.08.009>
10. Xinhua Cao, Jasmine Siu Lee Lam. Simulation-Based Catastrophe-Induced Port Loss Estimation. *Reliability Engineering & System Safety*. 2018;175:1–12 <https://doi.org/10.1016/j.ress.2018.02.008>
11. Ricci A, Vasaturo R, Blocken B. An Integrated Tool to Improve the Safety of Seaports and Waterways under Strong Wind Conditions. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*. 2023;234:105327. <https://doi.org/10.1016/j.jweia.2023.105327>
12. Дятлова О.А. Определение общих признаков и классификация фитинговых упоров вагонов-платформ. *Техник транспорта*. 2021;2(3):339–346. <https://doi.org/10.46684/2687-1033.2021.3.339-346>
Dyatlova OA. Determination of Common Features and Classification of Fitting Stops for Flat Cars. *Transport Technician: Education and Practice*. 2021;2(3):339–346. (In Russ.) <https://doi.org/10.46684/2687-1033.2021.3.339-346>
13. Бороненко Ю.П., Даукша А.С. Выбор конструктивных решений устройств крепления контейнеров и съемных кузовов на железнодорожных платформах. *Транспорт Российской Федерации. Журнал о науке, практике, экономике*. 2017;3(70):29–32.
Boronenko YuP, Dauksha AS. Selecting Design Solutions for Container and Swap Body Flatcar Fixing Devices. *Transport of the Russian Federation*. 2017;3(70):29–32. (In Russ.)

14. Бороненко Ю.П., Поляков Б.О., Полякова Е.Я. Воздействие сил бокового ветра на контейнеры с двухэтажным расположением. *Транспорт Российской Федерации. Журнал о науке, практике, экономике*. 2023;(1–2):41–45. URL: <https://rostransport.elpub.ru/jour/article/view/39/39?ysclid=miigx9qlyr761273545> (дата обращения: 09.11.2025).

Boronenko YuP, Polyakov BO, Polyakova EYa. Impact of Lateral Wind Forces on Double Stack Container Transportation. *Transport of the Russian Federation*. 2023;(1–2):41–45. (In Russ.) URL: <https://rostransport.elpub.ru/jour/article/view/39/39?ysclid=miigx9qlyr761273545> (accessed: 09.11.2025).

Об авторе:

Алексей Александрович Демьянов, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Эксплуатация транспортных систем и логистики» Донского государственного технического университета (344003, Российская Федерация, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), [SPIN-код](#), [ORCID](#), [ScopusID](#), alexys61@yandex.ru

Конфликт интересов: автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.

About the Author:

Aleksey A. Demyanov, Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Transport Systems and Logistics, Don State Technical University (1, Gagarin Sq., Rostov-on-Don, 344003, Russian Federation), [SPIN-code](#), [ORCID](#), [ScopusID](#), alexys61@yandex.ru

Conflict of Interest Statement: the author declares no conflict of interest.

The author has read and approved the final version of manuscript.

Поступила в редакцию / Received 17.09.2025

Поступила после рецензирования / Reviewed 14.10.2025

Принята к публикации / Accepted 22.10.2025