



# Условия опрокидывания порожних контейнеров под воздействием ветровых нагрузок



**Владимир ПОПОВ**



**Анна МАТЕШЕВА**



**Филипп СУХОВ**



**Юлия БОЛАНДОВА**

*Попов Владимир Георгиевич – Российский университет транспорта, Москва, Россия.  
Матешева Анна Владимировна – Институт физики атмосферы им. А. М. Обухова Российской академии наук, Москва, Россия.  
Сухов Филипп Игоревич – Российский университет транспорта, Москва, Россия.  
Боландова Юлия Константиновна – Российский университет транспорта, Москва, Россия\*.*

Статья раскрывает проблемы нарушения безопасности движения, возникающие в результате опрокидывания порожних контейнеров на ветрозависимых участках железных дорог.

В данной работе в качестве примера приведён ряд транспортных происшествий в различных регионах мира, вызванных срывом контейнеров различных типов со специализированных вагонов-платформ под воздействием шквалистого ветра различной скорости. Рост числа подобных транспортных происшествий делает актуальной необходимость разработки порядка организации безопасного пропуска грузовых поездов, в составе которых перевозятся порожние контейнеры, при прогнозировании опасного явления погоды по маршруту их следования.

Целью настоящего исследования является разработка инженерного метода определения условий опрокидывания от ветровой нагрузки порожних контейнеров со специализированных железнодорожных платформ. На основе методов теоретической механики, с использованием уравнения моментов сил, приложенных к контейнеру, относительно к оси его вращения, авторами найдены условия опрокидывания контейнера от воздействия ветровой нагрузки.

Было получено выражение, позволяющее определить минимальную скорость ветра, которая приводит к опрокидыванию порожнего контейнера. В статье приведены расчёты скорости ветра, приводящей к опрокидыванию порожних контейнеров различных типов для прямых и для кривых участков пути железных дорог с учётом максимального превышения наружного рельса. Полученные результаты подтверждаются данными математического моделирования устойчивости крепления порожних контейнеров, проведённого компанией ООО «Хекса» по заказу ПАО «Трансконтейнер».

На основании картографической информации были выявлены основные ветрозависимые районы Российской Федерации, где могут произойти транспортные происшествия с опрокидыванием порожних контейнеров.

Результаты исследования могут способствовать разработке универсальных для различных регионов мира технических решений, позволяющих обеспечить устойчивость порожнего контейнера при воздействии ветровых нагрузок.

**Ключевые слова:** железнодорожный транспорт, контейнерные перевозки, подвижной состав, ветровые нагрузки, нарушения безопасности движения, транспортные происшествия.

\*Информация об авторах:

**Попов Владимир Георгиевич** – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой химии и инженерной экологии Российского университета транспорта, Москва, Россия, [vrorov\\_miiit@mail.ru](mailto:vrorov_miiit@mail.ru).

**Матешева Анна Владимировна** – доктор технических наук, старший научный сотрудник Института физики атмосферы им. А. М. Обухова Российской академии наук, Москва, Россия, [matesheva@ifaran.ru](mailto:matesheva@ifaran.ru).

**Сухов Филипп Игоревич** – кандидат технических наук, доцент кафедры химии и инженерной экологии Российского университета транспорта, Москва, Россия, [kafedra\\_ee\\_miiit@mail.ru](mailto:kafedra_ee_miiit@mail.ru).

**Боландова Юлия Константиновна** – аспирант кафедры химии и инженерной экологии Российского университета транспорта, Москва, Россия, [jbolandova@gmail.com](mailto:jbolandova@gmail.com).

Статья поступила в редакцию 17.10.2018, актуализирована 16.09.2019, принята к публикации 21.10.2019.

For the English text of the article please see p. 56

**Ж**елезнодорожный транспорт находится в постоянном взаимодействии с окружающей средой, круглосуточно функционируя под открытым небом, поэтому его чёткая и бесперебойная работа во многом зависит от климатических условий.

Многие явления погодных условий в отдельности или в совокупности с другими приводят не только к аварийным ситуациям при движении поездов, но и могут временно парализовать работу станций, узлов и даже целых направлений [1].

К этим явлениям относятся метеорологические погодные явления, проявляющиеся в виде сильного ветра, шквала или урагана, которые могут привести к нарушениям безопасности движения поездов [1; 2].

Ряд происшествий на железных дорогах мира показывает реальную опасность данных рисков.

Так, на ветрозависимых участках железных дорог Российской Федерации и стран СНГ имел место ряд случаев нарушений безопасности движения, возникших в результате опрокидывания порожних контейнеров.

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 [3].

29 декабря 2015 г. в 5 часов 30 минут при сильном порывистом ветре более 25 м/с на перегоне Вишневка—Анар Карагандинского отделения АО «Национальная компания «Қазақстан темір жолы» с грузового контейнерного поезда был опрокинут один порожний контейнер [4]. В результате чрезвычайной ситуации задержаны 12 пассажирских поездов.

13 августа 2016 г., на 8046 километре перегона Домикан—Архара Забайкальской железной дороги произошло падение семи порожних контейнеров с грузового поезда [5]. Контейнеры упали на чётный путь и перекрыли движение встречному грузовому поезду. Движение поездов было заблокировано в обоих направлениях. Авария случилась из-за

резкого ухудшения погодных условий: порожние контейнеры в хвостовой части состава сдуло штормовым ветром.

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 [6].

13 марта 2019 г. в американском штате Нью-Мексико, возле населённого пункта Логан сошли с рельсов 26 вагонов товарного поезда. Необычность ситуации заключалась в том, что вагоны упали с моста под воздействием сильного ветра [7].

В ряде исследований [8–10] проводились эксперименты, позволяющие вычислить локальные аэродинамические нагрузки на подвижной состав, вызванные боковым и встречным ветровым воздействием. Стоит отметить, что эти исследования были направлены на изучение устойчивости тягового высокоскоростного подвижного состава, в то время как интермодальным контейнерным перевозкам не уделялось должного внимания.

Распоряжением ОАО «РЖД» [2] 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. Они несут в себе только организационную корректировку перевозочного процесса.

Цель настоящего исследования обусловлена необходимостью разработки инженерной методики оценки характеристик ветровых нагрузок, приводящих к опрокидыванию порожних контейнеров в составе грузовых поездов. Используются методы теоретической механики, в том числе применены уравнения моментов сил.



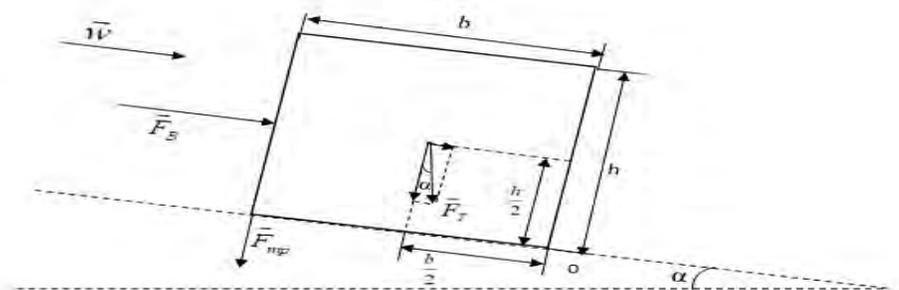


Рис. 1. Схема действия сил в срединном сечении контейнера.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

В настоящее время в области интермодальных перевозок существуют единые требования к перевозимым контейнерам, их габаритам, массе и устройствам креплений. Эти требования регламентированы стандартами ИСО [11, с. 6] и ГОСТ [12, с. 5; 9, с. 4]. В случае транспортировки железнодорожным транспортом контейнер закрепляется на железнодорожной платформе четырьмя нижними угловыми фитингами посредством универсальных конусов. Такое крепление должно препятствовать скольжению и опрокидыванию под действием продольных и поперечных сил, однако при воздействии дополнительных ветровых нагрузок это крепление себя не оправдывает.

Найдём условия опрокидывания контейнера от воздействия ветровой нагрузки из уравнения моментов сил, приложенных к контейнеру, относительно к оси его вращения при нахождении грузового поезда на кривом участке пути железной дороги (см. рис. 1). Правила технической эксплуатации в России устанавливают максимальную величину возвышения наружного рельса на кривом участке пути железной дороги в размере 150 мм [14, табл. 2, 3].

Основную распределённую ветровую нагрузку  $\vec{w}$  (Па) заменим сосредоточенной силой давления ветра, приложенной к геометрическому центру подветренной поверхности контейнера и действующей

нормально к ней. Учтём силу тяжести контейнера  $\vec{F}_T$ , а также силу трения поверхности контейнера о фитинги  $F_{mp}$ , действующую вдоль поверхности трения и возникающую от силы давления ветра на контейнер и нормальной составляющей силы тяжести контейнера к поверхности трения.

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

$$\sum_i M_i \geq 0, \quad (1)$$

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

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

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

Силы, действующие на контейнер, с учётом сделанных предположений можно записать в следующем виде:

- сила давления ветра, приложенная к геометрическому центру подветренной поверхности контейнера и действующая нормально к ней:

$$\vec{F}_B = \vec{w} \cdot S, H, \quad (2)$$

где  $S = L \cdot h$  – площадь подветренной поверхности контейнера,  $m^2$  (здесь  $L$ ,  $h$  – длина и высота контейнера соответственно);

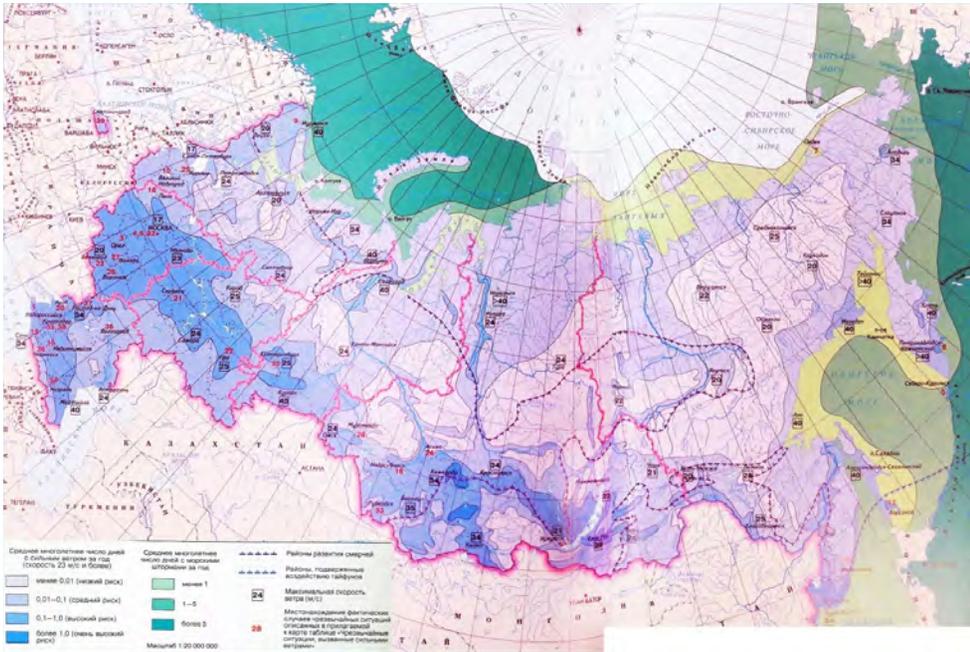


Рис. 2. Риск сильных ветров.

• сила тяжести контейнера будет действовать в центре масс:

$$\vec{F}_T = m \cdot \vec{g}, H, \quad (3)$$

где  $m$  – масса порожнего контейнера;

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

$$F_{мп} = k_{мп} \cdot (F_B + F_T \sin \alpha), H, \quad (4)$$

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

На рис. 1 была представлена схема срединного сечения контейнера, показывающая основные силы, действующие на контейнер, при прохождении кривоуго участка пути.

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

$$M_1 = F_B \cdot \frac{h}{2}; \quad (5)$$

$$M_2 = -F_T \cos \alpha \cdot \frac{b}{2} + F_T \sin \alpha \cdot \frac{h}{2}; \quad (6)$$

$$M_3 = -F_{мп} \cdot b = -k_{мп} (F_B + F_T \sin \alpha) \cdot b. \quad (7)$$

Из уравнения (1) с учётом уравнений (2–7) получим уравнение для основной ветровой нагрузки, приводящей к опрокидыванию контейнера:

$$w \geq \frac{m \cdot g \cdot [b \cos \alpha - (h - k_{мп} b) \sin \alpha]}{h \cdot L \cdot (h - 2k_{мп} b)} \text{ Па.} \quad (9)$$

В соответствии с [15] нормативное значение основной ветровой нагрузки  $w$  определяется как сумма средней  $w_m$  и пульсационной  $w_p$  составляющих:

$$W = w_m + w_p. \quad (10)$$

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 [15, с. 18]:

$$w_m = w_0 k(z_e) c, \quad (11)$$

где  $w_0 = 0,43 V^2$  – 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 [15, с. 20]:

$$w_p = w_m \cdot \zeta(z_e) \cdot v, \quad (12)$$

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



## Результаты расчёта

Тип контейнера	Кривой участок пути железной дороги			Прямой участок пути железной дороги		
	Ветровая нагрузка, $w$ , (Па)	Скорость ветра $V$ , (м/с)	Классификация ветров, [2]	Ветровая нагрузка, $w$ , (Па)	Скорость ветра $V$ , (м/с)	Классификация ветров, [2]
трёхтонный контейнер, УК-3	617,48	24,96	Сильный ветер, шквал	724,78	27,04	Сильный ветер, шквал
40-футовый высокий контейнер (High Cube) 40° HC	1057,39	32,67	Ураган	1165	34,29	Ураган
40-футовый стандартный контейнер (Dry Van) 40° DV	1319,2	36,49	Ураган	1435,5	38,06	Ураган
20-футовый стандартный контейнер (Dry Cube) 20° DC	1466,85	38,48	Ураган	1596,16	40,13	Ураган
пятитонный контейнер, УК-5	2444,6	49,67	Ураган	2620,39	51,42	Ураган

$N$  – коэффициент пространственной корреляции пульсаций давления ветра.

С учётом уравнений (10–12) уравнение (9) представим в следующем виде относительно  $V$  (м/с) – скорости ветра на уровне 10 м над поверхностью земли:

$$V \geq \sqrt{\frac{m \cdot g \cdot [bcos\alpha - (h - 2k_{mp}b)\sin\alpha]}{0,43 \cdot k(z_e) \cdot c \cdot h \cdot l \cdot [1 + \zeta(z_e)v] \cdot (h - 2k_{mp}b)}}. \quad (13)$$

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

В качестве географического района транспортного происшествия выбран район А – «открытые побережья морей, озёр и водохранилищ, в сельской местности, в том числе с постройками высотой менее 10 м, пустыни, степи, лесостепи, тундра» [15, прил. Е] – как наиболее опасный.

На рис. 2 представлена карта риска сильных ветров на территории Российской Федерации [16, с. 152].

Результаты расчёта скорости ветра, приводящей к опрокидыванию порожних контейнеров различных типов, представлены в табл. 1.

Полученные результаты подтверждаются данными математического моделирования устойчивости крепления порожних контейнеров, проведённого компанией ООО «Хекса» по заказу ПАО «Трансконтейнер» [17].

Анализ скорости ветра и риска его возникновения показывает, что наибольшая повторяемость сильных ветров наблюдается в прибрежных районах Севера и Дальнего Востока, а в континентальной части страны – в степях. На Севере страны скорость ветра варьируется в пределах 28–35 м/с, на Дальнем Востоке – 31–38 м/с, в степях Северного Кавказа – 28–31 м/с. Скорость ветра в порывах в этих районах – более 40 м/с [16, с. 151].

Именно эти районы наиболее опасны для опрокидывания порожних контейнеров в составе грузовых поездов, особенно на кривых участках пути железных дорог. А трёхтонный порожний контейнер широко используемого в России типа УК-3 является наиболее уязвимым для воздействия ветровых нагрузок по сравнению с другими типами.



Важность выводов исследования возрастает с учётом того, что суммарная пропускная способность российских контейнерных терминалов к 2020 году увеличится и составит 11–12 миллионов ДФЭ [18, с. 53], а также тенденции к увеличению контейнеропотока по транс-континентальному грузовому коридору ЕС–КНР при том, что значительная доля контейнеров, направляемых по этому маршруту, находится в порожнем состоянии, и статистика этого не учитывается [19].

## ВЫВОД

Наличие большого числа районов России с заданными характеристиками ветровых нагрузок, способных привести к опрокидыванию порожних контейнеров в составе грузовых поездов, даёт возможность сделать общий вывод. Исключительно организационные мероприятия 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.

Поскольку интермодальные контейнерные перевозки используются практически во всех странах мира, предложенные в исследовании методы расчёта ветровых нагрузок, приложенных к порожним контейнерам различных типов, могут быть адаптированы под особенности железнодорожной колеи стран Европы, Северной Америки, Ближнего Востока, Северной Африки, Австралии, Китая, Кореи и других стран.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Зябриков В. А., Кобышева Н. В., Циркунов В. С. Климат и железнодорожный транспорт. – М.: Метеоагентство Росгидромета, 2000. – 193 с.
2. Распоряжение ОАО «РЖД» от 19.10.2016 г. № 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».
3. Новости: В ЯНАО с поезда дуло ветром 20 тонн. [Электронный ресурс]: <http://xn--7sbooi10c.xn--p1ai/2014/04/v-ya-nao-s-poezda-sdulo-vetrom-20-tonn/>. Доступ 17.10.2018.
4. В Карагандинской области сильным ветром с грузового поезда дуло контейнер. [Электронный ресурс]: <https://365info.kz/2015/12/v-karagandinskoy->

oblasti-silnym-vetrom-s-gruzovogo-poezda-sdulo-kontejner/. Доступ 17.10.2018.

5. 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). Доступ 17.10.2018.

6. 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). Доступ 17.10.2018.

7. 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/>. Доступ 17.10.2018.

8. Baker, C., Reynolds, S. Wind-induced accidents of road vehicles. *Accident Analysis & Prevention*, December 1992, Vol. 24, Iss. 6, pp. 559–575. DOI: 10.1016/0001-4575(92)90009-8.

9. Baker, C., Jones, J., Lopez-Calleja, F., Munday, J. Measurements of the cross wind forces on trains. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, June 2004, Vol. 92, Iss. 7–8, pp. 547–563. DOI: 10.1016/j.jweia.2004.03.002.

10. Sanquer, S., Barré, C., Dufresne, M., Cléon, L. Effect of cross winds on high-speed trains: development of a new experimental methodology. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, June 2004, Vol. 92, Iss. 7–8, pp. 535–545. DOI: 10.1016/j.jweia.2004.03.004.

11. ИСО 668. Грузовые контейнеры. Наружные размеры и максимальная масса брутто.

12. ГОСТ Р 53350-2009. Контейнеры грузовые серии 1. Классификация, размеры и масса. – М.: Стандартинформ, 2009. – 20 с.

13. ГОСТ Р 52202-2004. Контейнеры грузовые. Термины и определения. – М.: Госстандарт России, 2004. – 23 с.

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

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

16. Атлас природных и техногенных опасностей и рисков чрезвычайных ситуаций в Российской Федерации / МЧС России; РАН; Роскартография – геогр. основа; Ред. кол.: С. К. Шойгу (пред.) и др.; Вед. ред. карт Н. Б. Трохина. – М.: ДИК, 2005. – 1 атл. (269 с.).

17. Березин А. Упор для инициативы. [Электронный ресурс]: <http://www.gudok.ru/newspaper/?ID=1356016>. Доступ 17.10.2018.

18. Gopkalo, O. O. Trends and problems in container transport infrastructure development in Russia. *Baltic Transport Journal*, 2014, Vol. 5, pp. 52–55.

19. Рейнхард Х. Значительная доля контейнеров, направляемых по маршруту ЕС–КНР, находится в порожнем состоянии, и статистика этого не учитывается. [Электронный ресурс]: [http://www.rzd-partner.ru/zhd-transport/opinions/znachitelnaya-dolya-kontejnerov-napravlyаемых-po-marshrutu-es-knr-nakhoditsya-v-porozhнем-sostoyani/?sphrase\\_id=41196](http://www.rzd-partner.ru/zhd-transport/opinions/znachitelnaya-dolya-kontejnerov-napravlyаемых-po-marshrutu-es-knr-nakhoditsya-v-porozhнем-sostoyani/?sphrase_id=41196). Доступ 17.10.2018.

