

Совершенствование методики расчета крепления колесной техники на открытом железнодорожном подвижном составе

В. А. Болотин, К. Е. Ковалев, А. В. Новичихин, Н. Г. Янковская, А. Д. Иванова

Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, Российская Федерация, 190031, Санкт-Петербург, Московский пр., 9

Для цитирования: Болотин В. А., Ковалев К. Е., Новичихин А. В., Янковская Н. Г., Иванова А. Д. Совершенствование методики расчета крепления колесной техники на открытом железнодорожном подвижном составе // Бюллетень результатов научных исследований. — 2023. — Вып. 1. — С. 183–196. DOI: 10.20295/2223-9987-2023-1-183-196

Аннотация

Цель: Рассмотрены вопросы обеспечения безопасности и сохранности перевозки колесной техники на открытом подвижном железнодорожном составе. Установлено, что существующая методика расчета не в полной мере учитывает взаимодействие элементов крепления с колесной техникой, размещенной в вагоне, а также отсутствие или невключение тормозов (неисправное состояние тормозной системы). Предложена новая расчетная схема для определения нагруженности элементов крепления колесной техники, не противоречащая существующим нормативным документам. **Методы:** Применены методы анализа и синтеза, методы теоретической механики. **Результаты:** Усовершенствована методика расчета крепления колесной техники на открытом подвижном составе, учитывающая незаторможенное состояние колес. **Практическая значимость:** Предлагаемая методика расчета крепления незаторможенной колесной техники на открытом подвижном составе учитывает параметры коэффициента трения колеса, расположение и расчетные усилия в растяжках. Методика прошла апробацию при перевозках колесной техники со станций Октябрьской железной дороги филиала ОАО «РЖД».

Ключевые слова: Железнодорожный транспорт, открытый подвижной состав, колесная техника, крепление, расчетная схема, методика расчета.

Введение

К колесной технике относятся автомобили, прицепы, дорожные, строительные, грузоподъемные и погрузочно-разгрузочные машины, катки. Колесная техника в большинстве случаев перевозится на универсальных платформах и располагается, как правило, вдоль продольной оси вагона. Размещение колесной техники на платформах с точки зрения безопасности перевозки и сохранности груза наиболее уязвимо, поскольку перевозки выполняются при опущенных боковых бортах платформы или борта отсутствуют вовсе. При таких перевозках крепление грузов должно быть надежным, что закладывается в процессе его проектирования. Особенностью перевозки колесной техники является также ее закрепление от перекатывания.

Порядок размещения и крепления техники на колесном ходу на открытом подвижном составе (ОПС) Российских железных дорог устанавливается положениями «Технических условий размещения и крепления грузов в вагонах и контейнерах ТУ» [1].



Рис. 1. Размещение и крепление колесной техники на платформе

При перевозках по железным дорогам колеи 1520 мм стран — участниц Соглашения о международном железнодорожном грузовом сообщении (СМГС) требования к размещению и креплению грузов регламентируют «Технические условия размещения и крепления грузов (приложение 3 к СМГС)» [2].

Для перевозки конкретного вида колесной техники необходимо разработать технологическую документацию по размещению и креплению ее на платформе (НТУ), включающую схему размещения и крепления и расчетное обоснование схемы.

Для крепления колесной техники на платформах согласно [1] используются проволочные растяжки, продольные и поперечные упорные деревянные брусья, деревянные подставки (рис. 1).

Наиболее ответственными процессами, от которых зависит безопасность перевозки и сохранность груза, являются процесс разработки и согласования НТУ, монтаж элементов крепления, приемка к перевозке погруженного вагона с закрепленной техникой работниками станции, а также качество крепежных материалов [3].

Состояние вопроса

В пути следования возможно снижение давления в колесах, нарушение заторможенности колес. Это приводит к оседанию колес, ослаблению растяжек, начинает проявляться не предусмотренный в расчетах крепления процесс перекатывания колес, и закладываемые в расчеты коэффициенты трения скольжения колес по полу вагона уже не проявляются.

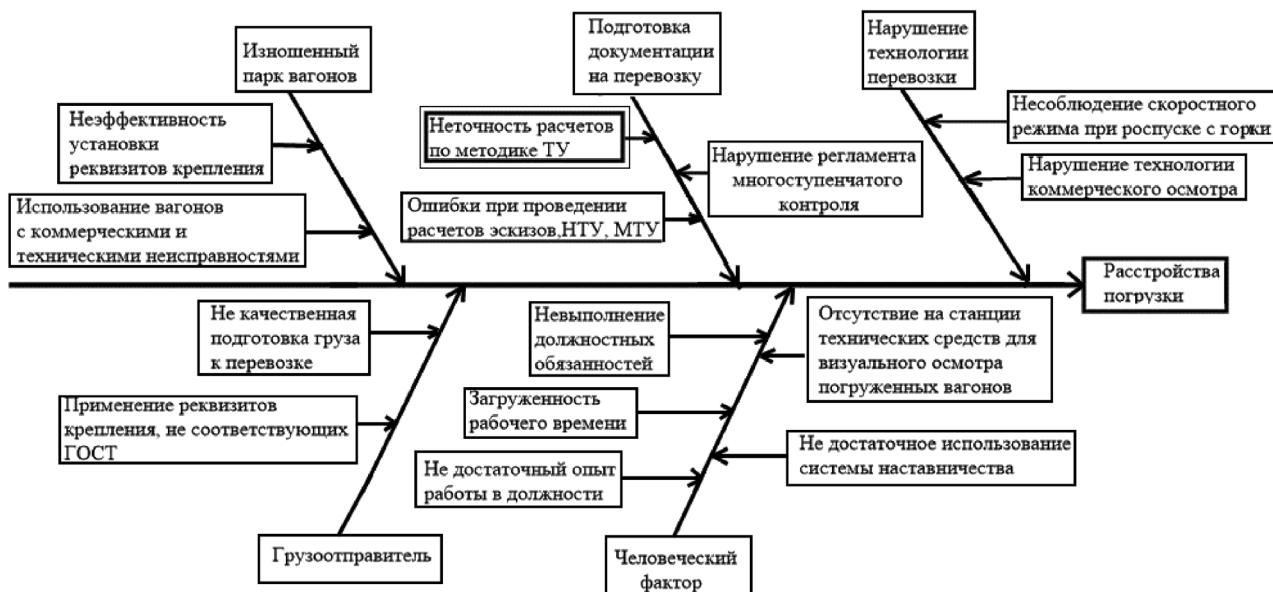


Рис. 2. Факторы, влияющие на отцепки вагонов по причине расстройств погрузки грузов

Как показал анализ отчетных данных по регистрации выявленных коммерческих неисправностей на сети железных дорог [4, 5], свыше 50 % коммерческих неисправностей приходится на расстройство погрузки, вызванное смещением и нарушением устойчивости груза в вагоне. При этом более 25 % случаев связано с нарушениями технических условий погрузки и крепления груза в вагоне. Исследования, выполненные на Восточно-Сибирской железной дороге в 2019–2021 гг. [6], показали, что более 30 % расстройств погрузки связано с нарушениями требований размещения и крепления грузов в вагонах, в том числе вызванных некорректными расчетами.

Коммерческие неисправности, связанные с расстройством погрузки, зависят от многих факторов, которые можно разделить на пять групп (рис. 2):

- подготовка документации на перевозку. Ошибки, допущенные при разработке документации или принятые неверно параметры (например, коэффициент трения), могут привести в дальнейшем к расстройству крепления. По данным [5], до 10 % расстройств погрузки происходят вследствие нарушения регламента многоступенчатого контроля при рассмотрении и утверждении погрузочной документации;

- состояние подвижного состава. Так, при использовании для перевозки колесной техники платформы с изношенным полом снижается несущая способность гвоздевого крепления, предусмотренная расчетом;

- факторы, возникающие по вине грузоотправителей. Некачественная подготовка груза к перевозке (в частности, затормаживание колес техники), использование реквизитов крепления, не соответствующих погрузочной документации (меньший диаметр проволоки, меньшая высота бруска), использование материалов

для крепления, не соответствующих ГОСТ (дерево более низкого, чем требуется, сорта);

– нарушения технологии перевозки. Контроль при приемке погруженной техники к перевозке и контроль состояния погрузки в пути следования при коммерческом осмотре. Существенным фактором является нарушение скорости соударения вагонов на сортировочных горках;

– человеческий фактор. Так, загруженность персонала, недостаточный уровень подготовки и другие факторы также могут стать причиной нарушений погрузки колесной техники. Человеческий фактор имеет место на всех этапах доставки груза.

Анализ факторов показывает, что уже на этапе разработки технологической документации (НТУ) могут быть созданы предпосылки к возникновению расстройств крепления груза в вагоне. В связи с этим на этапе подготовки перевозки важно избежать применения несовершенных или непроверенных методик расчета. В современных условиях перечисленные факторы нарушений должны контролироваться и управляться на основе цифровых технологий [7, 8].

Анализ существующей методики расчета размещения и крепления грузов в вагонах [1, 2] показывает, что отсутствуют указания по учету особенностей поведения колесной техники при перевозке. При расчетах заторможенной колесной техники ее принимают как груз с плоской опорой. При этом существенное влияние оказывает принимаемая величина коэффициента трения заторможенных колес по полу вагона. В работе [1], на основании которой производятся расчеты, не учитывают поведение колесной техники с приспущенными колесами, когда техника имеет большую подвижность и трение колес по полу вагона уже не удерживает ее от продольных смещений. При возможном нарушении в пути следования заторможенности колес возникает вероятность качения шин по полу вагона и деформация шин, поэтому они

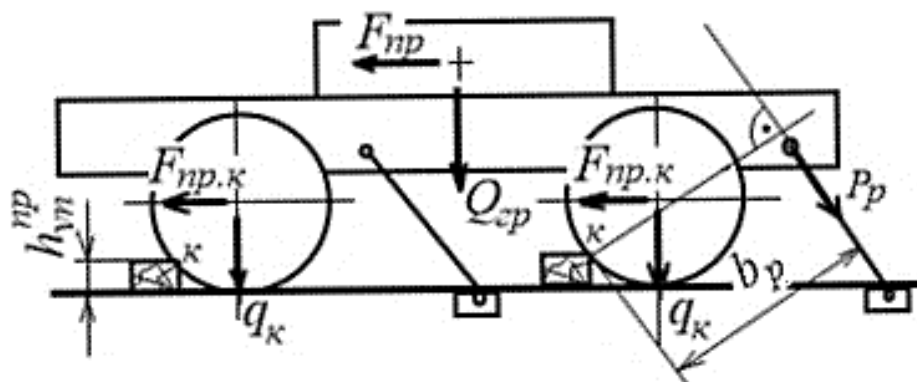


Рис. 3. Обобщенная расчетная схема крепления колесной техники на платформе от продольных смещений

требуют особенного тщательного закрепления от перекатывания через упорные бруски вдоль вагона.

Таким образом, техника на колесном ходу обладает рядом свойств, которые необходимо обязательно учитывать при их перевозке [9, 10], а также при разработке способов погрузки и крепления на открытый подвижной состав. Это определяет необходимость проведения дополнительных исследований с целью выбора и расчета рационального и надежного крепления колесной техники на открытом подвижном составе.

В работах [11–13] предложены усовершенствованные методики расчета элементов крепления колесной техники на платформе, базирующиеся на математических моделях взаимодействия груза и вагона. Однако эти методики являются сложными для практического применения и отсутствуют материалы, подтверждающие их достоверность на базе практического опыта перевозок.

Предложения по корректировке методики расчета

Предлагается усовершенствованная методика расчета элементов крепления колесной техники на платформе, базирующаяся на основных положениях [1], учитывающая возможность перекатывания колес относительно упорных брусьев. Высота упорных брусьев колес согласно [1] принимается в зависимости от диаметра колеса. Как показывает анализ, их высота не обеспечивает устойчивость колес от перекатывания, поэтому в методике расчета параметров растяжек это обстоятельство необходимо учитывать. Следовательно, растяжки препятствуют не смещению, а перекатыванию колес относительно упоров. Обобщенная расчетная схема крепления колесной техники на платформе от продольного смещения приведена на рис. 3.

Согласно приведенной расчетной схеме продольная инерционная сила $F_{пр}$, действующая на груз, прикладывается к осям колес в виде силы, приведенной к оси колеса $F_{пр.к}$, и вызывает их перекатывание относительно точки упора K . От перекатывания колеса удерживаются силой тяжести груза $Q_{гр}$, передаваемой на оси колес в виде сил q_k , и моментом сил, создающимся расчетным усилием в растяжке P_p на плече b_p .

Предлагаемый подход к построению расчетной схемы не противоречит действующей методике расчета цилиндрических грузов от перекатывания, приведенной в [1]. Следовательно, результаты расчета по такой методике могут применяться на практике без дополнительного теоретического и экспериментального обоснования.

Традиционно закрепление деревянных упорных брусьев к полу платформы осуществляется гвоздями. Согласно существующей методике [1] расчетная схема для гвоздевого крепления упорных брусьев перекатываемого колеса приведена на рис. 4.

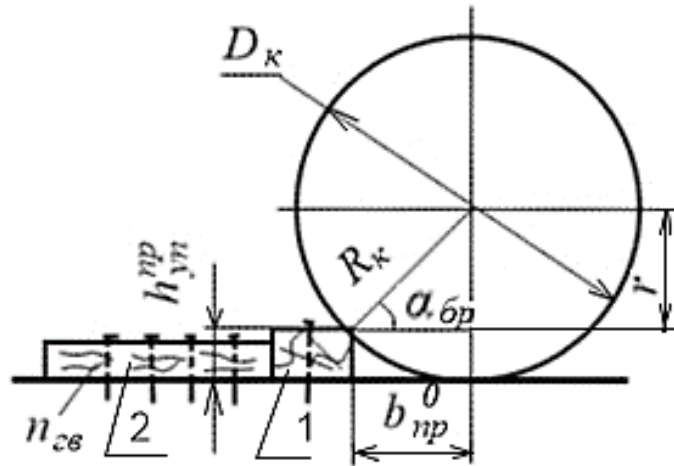


Рис. 4. Расчетная схема для определения количества гвоздей, закрепляющих упорные брусья под колесом к полу платформы:

1 — брус упорный поперечный; 2 — брус упорный продольный

Расчетное количество гвоздей, которыми закрепляются упорные брусья, определяется по формуле:

$$n_{гв} = \frac{F_{пр} (1 - \mu_{бр} \cdot \operatorname{tg} \alpha_{бр})}{n_{бр} \cdot R_{гв}};$$

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{r}{b_{пр}^{0}}; \quad r = R_k - h_{уп}^{np}; \quad R_k = 0,5 \cdot D_k; \quad b_{пр}^0 = \sqrt{R_k^2 - (R_k - h_{уп}^{np})^2},$$

где $F_{пр}$ — продольная инерционная сила, действующая на груз, кг;

D_k, R_k — соответственно диаметр и радиус колеса, м;

$h_{уп}^{np}$ — высота упорного бруса, в который упирается колесо, м;

r — расстояние от горизонтальной оси колеса до точки касания с упорным брусом, м;

$b_{пр}^0$ — расстояние от проекции центра колеса на пол вагона до точки касания колеса с упорным брусом м;

$\alpha_{бр}$ — угол наклона нормальной силы давления на упорный брус к горизонтальной плоскости пола вагона;

$\mu_{бр}$ — коэффициент трения между упорным брусом и опорной поверхностью (полом вагона);

$n_{бр}$ — общее количество упорных брусьев, закрепляющих колеса груза от перекачивания;

$R_{гв}$ — нормируемая нагрузка на один гвоздь, которым прибиваются брусья, кг.

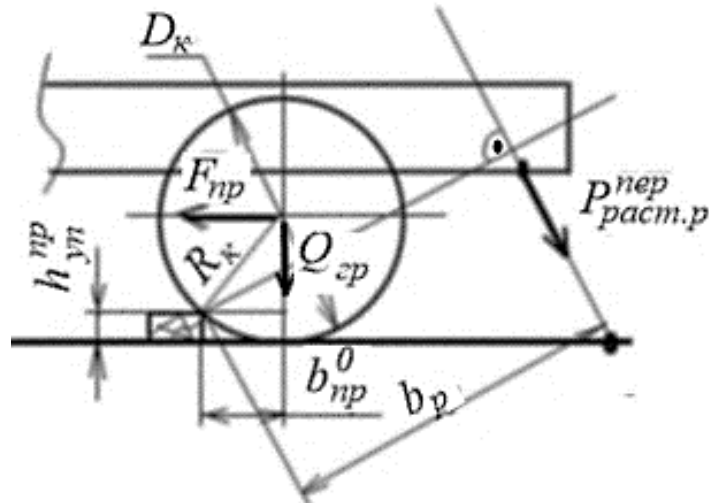


Рис. 5. Расчетная схема для определения усилия в растяжках от перекатывания колес груза в продольном направлении

Как правило, расчетное количество гвоздей равномерно распределяется по продольным упорным брускам (рис. 3). В поперечные упорные брусья, в которые упираются колеса, технологически забивку гвоздей осуществить сложно. Поэтому гвозди, забиваемые в упорный брус под колесом, являются дополнительными и в расчет крепления не входят.

Согласно п. 10.5.8 [1] в тех случаях, когда крепление цилиндрического груза от перекатывания осуществляется только упорными брусками, допускается наряду с брусками применение обвязок или растяжек. Анализируя схемы крепления колесной техники, во всех схемах, помимо упорных брусков, техника закрепляется растяжками. Отсюда следует вывод, что гвоздевое крепление удерживает колесную технику только от смещения, а от перекатывания через упорные брусья под колесами будут удерживать растяжки. Расчетная схема для определения усилия в растяжках от перекатывания груза в продольном направлении приведена на рис. 5.

Усилие в растяжке определяется из рассмотрения суммы моментов сил, стремящихся перекатить колесо относительно точки его контакта с упорным брусом, и моментов усилия в растяжке относительно этой же точки:

$$P_{раст.п}^{пер} = \frac{1,25 \cdot F_{np} \left(\frac{D_k}{2} - h_{уп}^{np} \right) - Q_{гр} \cdot b_{np}^0}{n_p \cdot b_p \cdot \cos \gamma_p},$$

где $Q_{гр}$ — сила тяжести груза, кг;

b_p — расстояние от точки контакта колеса с упорным брусом до линии проекции растяжки на вертикальную плоскость, проходящую через продольную ось вагона;

γ_p — угол между растяжкой и проекцией на вертикальную продольную плоскость, град.

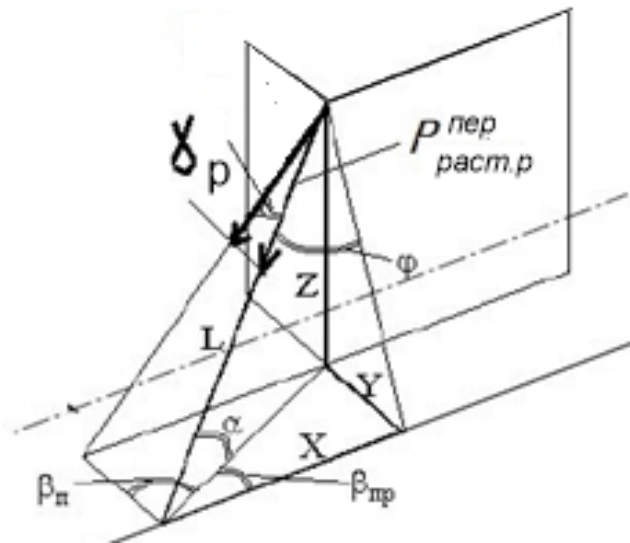


Рис. 6. Схема к расчету угла расположения растяжки γ_p

Схема к определению угла γ_p приведена на рис. 6.

Определение усилия в обвязке (растяжке) от перекатывания цилиндрического груза рассчитывается по формуле:

$$R_{\text{пр}}^{\text{об}} = \frac{1,25 \cdot F_{\text{пр}} \left(\frac{D_{\text{к}}}{2} - h_{\text{уп}}^{\text{пр}} \right) - Q_{\text{гр}} \cdot b_{\text{пр}}}{n_p \cdot b_p}$$

В качестве примера представлен расчет параметров крепления на платформе сварочного агрегата АС-81 (рис. 7) с использованием положений предлагаемой уточненной методики расчета.



Рис. 7. Размещение сварочного агрегата АС-81 на ж. д. платформе

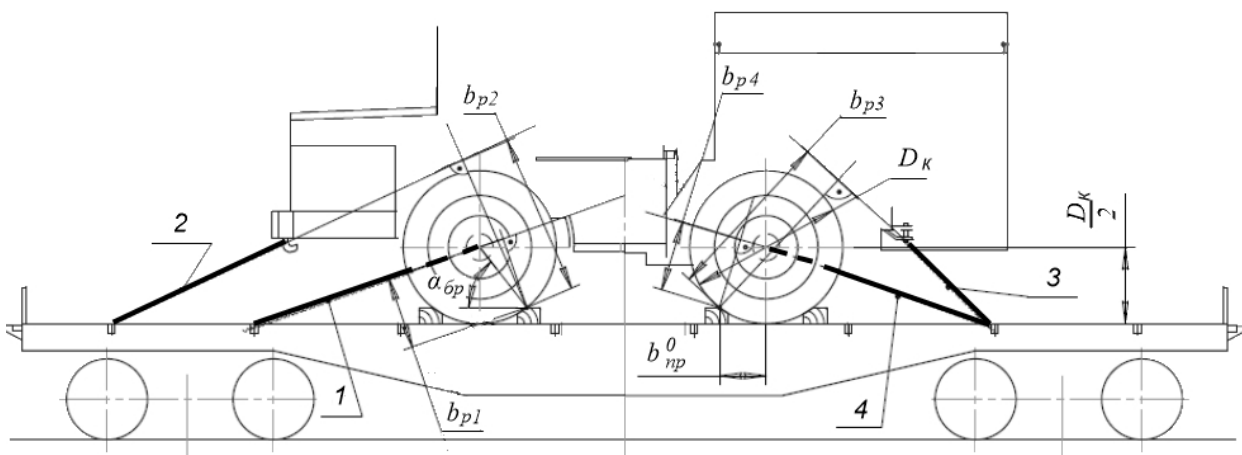


Рис. 8. Расчетная схема для определения расчетных плеч b_p расположения растяжек

Геометрические параметры расположения растяжек

Параметры растяжки	Размерность	Позиция растяжки			
		1	2	3	4
$n_{p.i}$	шт.	2	2	2	2
$b_{p.i}$	м	800	1750	1700	800
$\gamma_{p.i}$	град.	21	25	46	21
$P_{раст.р}^{пер}$	кг	2186		2645	

Сварочный агрегат АС-81 смонтирован на шасси трактора «Кировец». Длина агрегата — 8200 мм, масса — 23 тонны, диаметр колеса — 1,7 м. На платформе агрегат размещен симметрично продольной и поперечным осям вагона. Колеса подкреплены продольными упорными брусками сечением 0,15 × 0,15 м, по два на каждое колесо, общее число брусков равно 8. Дополнительно от продольных и поперечных смещений агрегат закреплен по концам четырьмя растяжками из проволоки диаметром 6 мм.

Величина продольной инерционной силы, действующей на груз, определена по формулам методики главы 1 ТУ и равна $F_{пр} = 25\,910$ кг.

Упорные бруска должны быть закреплены от смещения при накатывании на них колес по приведенной выше формуле. В расчетах приняты:

– коэффициент трения деревянного упорного бруса по деревянному полу платформы — 0,45;

– угол наклона нормальной силы давления на упорный брус к горизонтальной плоскости пола вагона $\alpha_{бр} = 52$ град.;

– расстояние от проекции центра колеса на пол вагона до точки касания колеса с упорным брусом $b_{пр}^0 = 0,5$ м;

– нормативная нагрузка на гвоздь диаметром 6 мм принимается равной 108 кг. Расчетное количество гвоздей для закрепления одного упорного бруса составляет $n_{ГВ} = 12,7$ шт. Крепление каждого упорного бруса принимается 14 гвоздями 6×200 мм.

Расчетная схема для определения усилий в растяжках приведена на рис. 8.

Величина расчетного усилия в растяжке от перекатывания определяется с учетом угла между растяжкой и ее проекцией на вертикальную продольную плоскость с учетом количества i типов растяжек по формуле:

$$P_{\text{раст.р}}^{\text{пер}} = \frac{1,25 F_{\text{пр}} \left(\frac{D_{\text{к}}}{2} - h_{\text{уп}}^{\text{пр}} \right) - Q_{\text{гр}} \cdot b_{\text{пр}}^0}{\sum_1^n n_{\text{р.и}} \cdot b_{\text{р.и}} \cdot \cos \gamma_{\text{р.и}}}$$

Геометрические параметры расположения растяжек и расчетные усилия в растяжках приведены в таблице.

Как указано выше, растяжки выполнены из проволоки диаметром 6 мм. Учитывая допустимую нагрузку на одну нить проволоки 310 кг, приходим к выводу, что растяжки поз. 1 и 2 необходимо изготавливать в 8 нитей. Несущая способность такой растяжки — 2480 кгс. Расчетная нагрузка в растяжках поз. 3 и 4 превосходит допустимую 2480 кг, что указывает на необходимость установки дополнительной пары растяжек для обеспечения закрепления груза от продольных смещений в сторону капота.

Заключение

Предложена усовершенствованная методика расчета элементов крепления колесной техники, которая учитывает особенности взаимодействия колес с упорными брусками (приспущенные колеса, недостаточно или полностью незаторможенные), когда принимаемые по существующей методике коэффициенты трения колес по полу вагона не реализуются. Расчетные усилия в растяжках определяются из условия отсутствия перекатывания колес через упорные бруска.

Предложенная методика прошла апробацию на Октябрьской железной дороге (филиал ОАО «РЖД») при подготовке и согласовании технологической документации на перевозку различных видов колесной техники: мотовоз МПТ-6 (ТУП05.17-719 00.000), стреловой автокран КС4571 (ТУП07.16-710 00.000), колесный трактор К-700Т (ТУП07.15-696.00.000).

Основные положения методики расчета элементов крепления колесной техники в вагоне рекомендованы для включения в планируемую к разработке в ЦФТО ОАО «РЖД» цифровую платформу «Автоматизированная система разработки НТУ размещения и крепления груза в вагоне» и ее составную часть «Интеллектуальный помощник» [13].

Библиографический список

1. Технические условия размещения и крепления грузов в вагонах и контейнерах. — М.: Юртранс, 2003. — 544 с.
2. Приложение 3 к СМГС «Технические условия размещения и крепления грузов». — URL: <http://osjd.org/doco/public/ru>.
3. Нутович В. Е. Цифровое обеспечение и соблюдение технических условий размещения и крепления грузов / В. Е. Нутович // Мир транспорта. — 2018. — № 4. — С. 52–59.
4. Гришкова Д. Ю. Анализ причин возникновения коммерческих неисправностей на сети железных дорог Российской Федерации / Д. Ю. Гришкова // Проблемы и перспективы экономики и управления: материалы VI Междунар. науч. конф. (г. Санкт-Петербург, декабрь 2017 г.). — Санкт-Петербург: Свое издательство, 2017. — С. 215–219. — URL: <https://moluch.ru/conf/econ/archive/263/13499/> (дата обращения: 07.01.2023).
5. Тимухина Е. Н. Основные причины и технологические последствия коммерческих неисправностей вагонов с грузами на колесном ходу / Е. Н. Тимухина, А. А. Гордиенко // Транспорт Урала. — 2015. — № 2. — С. 32–37.
6. Власова Н. В. Декомпозиция основных бизнес-процессов и зоны формирования рисков железнодорожной транспортной системы в сфере грузовых перевозок / Н. В. Власова, В. А. Оленцевич // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. — 2022. — № 4(63). — С. 44–52. — DOI: 10.52170/18159265_2022_63_44.
7. Болотин В. А. Совершенствование обеспечения сохранности и безопасности перевозки грузов на открытом подвижном составе на основе информационных технологий / В. А. Болотин, Н. Г. Янковская // Научные труды SWorld. — 2018. — Т. 1. — Вып. 53. — С. 68–77. — URL: <https://www.sworld.com.ua>.
8. Воробьев И. М. Конструктор формирования услуг доставки грузов железнодорожным транспортом на сети ОАО «РЖД» / И. М. Воробьев, А. В. Новичихин, К. Е. Ковалев // Автоматика на транспорте. — 2022. — Т. 8. — № 4. — С. 367–376. — DOI: 10.20295/2412-9186-2022-8-04-367-376.
9. Гордиенко А. А. Математическое моделирование взаимодействия шин колесной техники при ее перевозке и пола вагона / А. А. Гордиенко // Транспорт-2013: труды Международной научно-практической конференции. — Ростов-на-Дону: РГУПС, 2013. — С. 283–285.
10. Гордиенко А. А. Разработка методики оценки амплитуд вертикальных колебаний колесной техники, перевозимой на открытом подвижном составе / А. А. Гордиенко // Транспорт: Наука, техника, управление. — 2013. — № 5. — С. 64–68.
11. Туранов Х. Т. Пример расчета по новой методике гибких элементов крепления колесной техники при воздействии продольных сил / Х. Т. Туранов, Е. Д. Псеровская, А. А. Гордиенко // Транспорт: наука, техника, управление: научный информационный сборник. — 2014. — № 4. — С. 50–57.
12. Ситников С. А. Определение устойчивости колесной техники, перевозимой на платформе при наличии гибких элементов крепления / С. А. Ситников // Бюллетень науки и практики. — 2021. — Т. 7. — № 8. — С. 253–263.

13. Болотин В. А. Стратегия цифровизации подготовки проектных грузов к перевозке железнодорожным транспортом / В. А. Болотин, Н. Г. Янковская; ред. кол.: В. В. Щербаков (отв. ред.) и др. // Логистика: форсайт-исследования, профессия, практика: материалы III Национальной научно-образовательной конференции: в 2 ч. Ч. 1. — СПб.: СПбГЭУ, 2022. — С. 147–153.

Дата поступления: 07.02.2023

Решение о публикации: 27.02.2023

Контактная информация:

БОЛОТИН Валерий Алексеевич — канд. техн. наук; spb-vab@yandex.ru

КОВАЛЕВ Константин Евгеньевич — канд. техн. наук; kovalev@pgups.ru

НОВИЧИХИН Алексей Викторович — д-р техн. наук, доц.; novitchihin@bk.ru

ЯНКОВСКАЯ Наталья Григорьевна — канд. техн. наук; spbng@rambler.ru

ИВАНОВА Анна Дмитриевна — ассистент кафедры; anutalutenko@gmail.com

Methodology Improvement to Calculate Wheeled Vehicles Bracing on Open Railway Rolling Stock

V. A. Bolotin, K. E. Kovalev, A. V. Novichikhin, N. G. Yankovskaya, A. D. Ivanova

Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, 9, Moskovsky pr., Saint Petersburg, 190031, Russian Federation

For citation: Bolotin V. A., Kovalev K. E., Novichikhin A. V., Yankovskaya N. G., Ivanova A. D. Methodology Improvement to Calculate Wheeled Vehicles Bracing on Open Railway Rolling Stock. *Bulletin of scientific research results*, 2023, iss. 1, pp. 183–196. (In Russian) DOI: 10.20295/2223-9987-2023-1-183-196

Summary

Purpose: The issues to provide safety and security of wheeled vehicles transportation on open rolling stock of railways are considered. It's been established that calculation method does not take into account fully the interaction of bracing elements with wheeled vehicles, placed in a car, as well as the absence or non-actuation of brakes (brake system faulty state). New calculated scheme is proposed for determining the loading of the elements of wheeled vehicles bracing that does not contradict existing regulatory documents.

Methods: Analysis and synthesis methods, theoretical mechanics methods were applied. **Results:** Improved methodology for calculating the bracing of wheeled vehicles on open rolling stock is proposed that takes into account wheels unbraked state. **Practical significance:** The proposed methodology for calculating the bracing of unbraked wheeled vehicles on open rolling stock takes into account the parameters of friction coefficient of a wheel, the placement and estimated effort in tie-rods. The methodology was tested during wheeled vehicles transportations from Oktyabrskaya railway stations of "Russian Railways" JSC branch.

Keywords: Railway transport, open rolling stock, wheeled vehicles, fastening, design scheme, calculation method.

References

1. *Tekhnicheskie usloviya razmeshcheniya i krepleniya gruzov v vagonakh i konteynerakh* [Technical conditions for the placement and securing of goods in wagons and containers]. Moscow: Yurtrans Publ., 2003, 544 p. (In Russian)
2. *Prilozhenie 3 k SMGS "Tekhnicheskie usloviya razmeshcheniya i krepleniya gruzov"* [Annex 3 to SMGS "Technical conditions for the placement and securing of goods"]. Available at: <http://osjd.org/doco/public/en>. (In Russian)
3. Nutovich V. E. Tsifrovoe obespechenie i soblyudenie tekhnicheskikh usloviy razmeshcheniya i krepleniya gruzov [Digital provision and compliance with the technical conditions for the placement and securing of goods]. *Mir transporta* [World of Transport]. 2018, Iss. 4, pp. 52–59. (In Russian)
4. Grishkova D. Yu. *Analiz prichin vozniknoveniya kommercheskikh neispravnostey na seti zheleznykh dorog Rossiyskoy Federatsii. Problemy i perspektivy ekonomiki i upravleniya: materialy VI Mezhdunar. nauch. konf. (g. Sankt-Peterburg, dekabr' 2017 g.)* [Analysis of the causes of commercial failures on the railway network of the Russian Federation. Problems and prospects of economics and management: materials of the VI Intern. scientific conf. (St. Petersburg, December 2017)]. St. Petersburg: Svoe izdatel'stvo Publ., 2017, pp. 215–219. Available at: <https://moluch.ru/conf/econ/archive/263/13499/> (accessed: July 01, 2022). (In Russian)
5. Timukhina E. N., Gordienko, A. A. Osnovnye prichiny i tekhnologicheskie posledstviya kommercheskikh neispravnostey vagonov s gruzami na kolesnom khodu [The main causes and technological consequences of commercial malfunctions of wagons with goods on wheels]. *Transport Urala* [Transport of the Urals]. 2015, Iss. 2, pp. 32–37. (In Russian)
6. Vlasova N. V., Olentsevich V. A. Dekompozitsiya osnovnykh biznes-protsessov i zony formirovaniya riskov zheleznodorozhnoy transportnoy sistemy v sfere gruzovykh perevozok [Decomposition of the main business processes and risk formation zones of the railway transport system in the field of freight transportation]. *Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo universiteta putey soobshcheniya* [Bulletin of the Siberian State University of Railways]. 2022, Iss. 4(63). pp. 44–52. DOI: 10.52170/18159265_2022_63_44. (In Russian)
7. Bolotin V. A., Yankovskaya N. G. Sovershenstvovanie obespecheniya sokhrannosti i bezopasnosti perevozki gruzov na otkrytom podvizhnom sostave na osnove informatsionnykh tekhnologiy [Improving the safety and security of cargo transportation on open rolling stock based on information technology]. *Nauchnye trudy SWorld* [Scientific works of SWorld]. 2018, vol. 1, Iss. 53, pp. 68–77. Available at: <https://www.sworld.com.ua>. (In Russian)
8. Vorobyov I. M., Novichikhin A. V., Kovalev K. E. Konstruktor formirovaniya uslug dostavki gruzov zheleznodorozhnym transportom na seti OAO "RZhD" [Constructor for the formation of services for the delivery of goods by rail on the network of Russian Railways]. *Avtomatika na transporte* [Transport automation]. 2022, vol. 8, Iss. 4, pp. 367–376. DOI: 10.20295/2412-9186-2022-8-04-367-376. (In Russian)
9. Gordienko A. A. *Matematicheskoe modelirovanie vzaimodeystviya shin kolesnoy tekhniki pri ee perezozke i pola vagona. Transport-2013: trudy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Mathematical modeling of the interaction of tires of wheeled vehicles during its

transportation and the floor of the car. Transport-2013: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference]. Rostov-on-Don: RSTU Publ., 2013, pp. 283–285. (In Russian)

10. Gordienko A. A. Razrabotka metodiki otsenki amplitud vertikal'nykh kolebaniy kolesnoy tekhniki, perevozimoy na otkrytom podvizhnom sostave [Development of a methodology for assessing the amplitudes of vertical oscillations of wheeled vehicles transported on an open rolling stock]. *Transport: Nauka, tekhnika, upravlenie* [Transport: Science, technology, management]. 2013, Iss. 5, pp. 64–68. (In Russian)

11. Turanov Kh. T., Pserovskaya E. D., Gordienko A. A. Primer rascheta po novoy metodike gibkikh elementov krepleniya kolesnoy tekhniki pri vozdeystvii prodol'nykh sil [An example of calculation by a new method of flexible fastening elements of wheeled vehicles under the influence of longitudinal forces]. *Transport: nauka, tekhnika, upravlenie: nauchnyy informatsionnyy sbornik* [Transport: science, technology, management. Scientific information collection]. 2014, Iss. 4, pp. 50–57. (In Russian)

12. Sitnikov S. A. Opreделение ustoychivosti kolesnoy tekhniki, perevozimoy na platforme pri nalichii gibkikh elementov krepleniya [Determination of the stability of wheeled vehicles transported on a platform in the presence of flexible fastening elements]. *Byulleten' nauki i praktiki* [Bulletin of Science and Practice]. 2021, vol. 7, Iss. 8, pp. 253–263. (In Russian)

13. Bolotin V. A., Yankovskaya N. G. *Strategiya tsifrovizatsii podgotovki proektnykh gruzov k perevozke zheleznodorozhnym transportom; red. kol.: V. V. Shcherbakov (otv. red.) i dr. Logistika: foresayt-issledovaniya, professiya, praktika: materialy III Natsional'noy nauchno-obrazovatel'noy konferentsii: v 2 ch. Ch. 1* [Digitalization strategy for the preparation of project cargo for transportation by rail; ed. coll.: V. V. Shcherbakov (responsible editor) and others. Logistics: foresight research, profession, practice: materials of the III National Scientific and Educational Conference: in 2 hours, Part 1]. St. Petersburg: Publishing House of St. Petersburg State University of Economics Publ., 2022, pp. 147–153. (In Russian)

Received: February 07, 2023

Accepted: February 27, 2023

Author's information:

Valery A. BOLOTIN — PhD in Engineering; spb-vab@yandex.ru

Konstantin E. KOVALEV — PhD in Engineering; kovalev@pgups.ru

Alexey V. NOVICHIKHIN — Dr. Sci. in Engineering, Associate Professor; novitchihin@bk.ru

Natalya G. YANKOVSKAYA — PhD in Engineering; spbng@rambler.ru

Anna D. IVANOVA — Assistant; anutalutenko@gmail.com