

УДК 629.4.045

Проектирование и расчет элементов крепления съемных многооборотных средств для перевозки грузов в универсальных вагонах-платформах

Л. В. Цыганская^{1,2}, Н. А. Таничева^{1,2}, Д. Г. Бейн²

¹Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, Российская Федерация, 190031, Санкт-Петербург, Московский пр., 9

²Акционерное общество «Научно-внедренческий центр «Вагоны», Российская Федерация, 190031, Санкт-Петербург, Московский пр., 22М

Для цитирования: Цыганская Л. В., Таничева Н. А., Бейн Д. Г. Проектирование и расчет элементов крепления съемных многооборотных средств для перевозки грузов в универсальных вагонах-платформах // Бюллетень результатов научных исследований. — 2025. — Вып. 1. — С. 18–30. DOI: 10.20295/2223-9987-2025-1-18-30

Аннотация

Цель: Рассмотреть особенности проектирования и расчета узлов крепления съемного оборудования для перевозки грузов на универсальных вагонах-платформах. **Методы:** Обзор существующих средств крепления и размещения грузов; анализ нормативной документации; составление рекомендаций на основе проведенных исследований. **Результаты:** Установлены основные направления проектирования узлов крепления съемного оборудования, предложены направления для уточнения методов расчета, рекомендовано рассмотреть возможность разработки универсального узла крепления. **Практическая значимость:** Проведенные исследования позволяют уточнить методы расчета съемного многооборотного оборудования.

Ключевые слова: Съемное оборудование, многооборотное оборудование, крепление груза, вагон-платформа, разъемные соединения, расчет болтового соединения.

Введение

Расширение номенклатуры перевозимых грузов является одним из важных направлений отрасли железнодорожных перевозок, позволяющих повысить пропускную способность железных дорог. Два основных пути реализации данного направления — модернизация подвижного состава или применение съемных многооборотных средств для перевозки грузов (МС). Первый путь является дорогостоящим и достаточно длительным процессом, сопровождающимся предпроектными исследованиями, расчетами, испытаниями новой модели вагона.

Второй путь с применением МС, устанавливаемым на вагон, требует значительно меньший объем разрабатываемой документации и проводимых испытаний. Учитывая данные преимущества, использование такого оборудования в ряде случаев имеет очевидные преимущества перед модернизацией подвижного состава.

Анализ тенденций в данной отрасли за прошедшее десятилетие показал основные направления применения МС: перевозка колесных пар [1], металлопроката и труб [2], лесо- и пиломатериалов [3, 4]. Также известны варианты перевозки контейнеров [5] и автомобилей [6] с применением МС.

Одним из наиболее востребованных типов подвижного состава, эксплуатируемых с использованием МС в настоящее время, является универсальный вагон-платформа.

Требования к эксплуатации МС, в том числе на универсальных вагонах-платформах, установлены «Техническими условиями размещения и крепления грузов в вагонах и контейнерах» [7] (при эксплуатации по территории Российской Федерации) и «Техническими условиями размещения и крепления грузов (приложение 3 к Соглашению о международном железнодорожном грузовом сообщении (СМГС))» [8] (в международном сообщении). В соответствии с указанными документами, при проектировании МС необходимо разработать технические решения, обеспечивающие возможность производства погрузочно-разгрузочных работ МС, надежное закрепление груза, а также его сохранность в процессе перевозки и при выполнении погрузочно-разгрузочных операций.

Отдельного внимания требует проработка узлов крепления МС к предусмотренным для этого элементам конструкции вагона. Крепление должно быть надежным, но при этом вмешательство в конструкцию самого вагона (сверление отверстий, приварка дополнительных элементов или демонтаж существующих и т. п.) не допускается.

Также в соответствии с требованиями [7, 8] проводится ряд расчетов, в частности расчет нагрузок, действующих на МС и на ответные элементы конструкции вагона. Если предусматриваются несимметричные схемы погрузки груза, то дополнительно проверяется соблюдение допускаемых величин продольного и поперечного смещения масс МС с грузом на раме вагона и отсутствие превышения максимальной допускаемой осевой нагрузки ходовых частей вагона.

МС проверяются на действующие в процессе эксплуатации нагрузки, но при этом нагрузки принимаются в соответствии с [7, 8], а методы нагружения МС на вагоне — в соответствии с [9, 10].

Помимо указанных выше требований, при проектировании МС и его элементов необходимо соблюдать и патентно-правовые отношения.

Далее более подробно рассмотрим опыт разработки МС для перевозки грузов на универсальных вагонах-платформах с учетом перечисленных требований.

1. Требования к расчету съемных многооборотных средств размещения и крепления грузов

В отличие от принятой и отработанной практики проведения прочностных расчетов в области вагоностроения, МС зачастую требуют индивидуального

подхода для каждого нового МС под необходимые типы грузов и схемы их погрузки с учетом ограничений и требований, установленных [7] и [8].

В расчетной части можно выделить три основных направления проверки МС:

- определение прочности МС от действия продольных, поперечных и вертикальных инерционных сил;
- определение нагрузок на элементы конструкции вагона от МС с грузом и сравнение с минимально допускаемыми;
- проверка соблюдения требований о максимально допускаемом продольном и поперечном смещении груза, а также соблюдения максимально допускаемой расчетной осевой нагрузки на каждую из тележек вагона (при условии наличия несимметричных схем погрузки, с учетом требований [11]).

Силы, действующие на МС с грузом, определяются по формулам, установленным в [7, 8]. При расчете нагрузок на элементы конструкции вагона-платформы от воздействия МС с грузом также определяются силы трения, возникающие между прилегающими поверхностями МС и рамы вагона в продольном $F_{\text{тр}}^{\text{пр}}$ и поперечном $F_{\text{тр}}^{\text{п}}$ направлениях. Далее продольное $\Delta F_{\text{пр}}$ и поперечное $\Delta F_{\text{п}}$ усилия, которые воспринимают средства крепления (детали вагона), определяются по формулам (1) и (2):

$$\Delta F_{\text{пр}} = F_{\text{пр}} - F_{\text{тр}}^{\text{пр}}. \quad (1)$$

$$\Delta F_{\text{п}} = n(F_{\text{п}} + W_{\text{п}}) - F_{\text{тр}}^{\text{п}}. \quad (2)$$

где n — коэффициент, значение которого принимается равным 1,0 при разработке местных технических условий и 1,25 при разработке непредусмотренных технических условий.

В случае универсального вагона-платформы МС традиционно крепится к стоечным скобам боковых балок. Например, максимальное количество стоечных скоб на боковой балке универсальных вагонов-платформ моделей 13-401, 13-4012 составляет 16 штук, на каждую из которых или на часть из них может приходиться соответствующая часть нагрузки от МС с грузом в зависимости от выбранного способа крепления.

Разработка узлов крепления МС к универсальным вагонам-платформам, где в качестве ответных частей используют стоечные скобы, представляет собой задачу, имеющую определенную техническую сложность, так как несущая способность элементов крепления груза, установленных на вагоне, ограничена [7] и [8]. В случае, если боковых стоечных скоб не хватает для обеспечения необходимой грузоподъемности МС, возможно задействовать четыре стоечные скобы концевых балок рамы. В таком случае в продольном направлении нагрузку $\Delta F_{\text{пр}}$ максимально смогут воспринимать 18 стоечных скоб, а в поперечном направлении $\Delta F_{\text{п}}$ — 12 стоечных скоб.

2. Обзор существующих средств крепления

При проектировании конструкции МС трудоемкой задачей становится разработка непосредственно узла его крепления к раме вагона. Ввиду того, что количество и разнообразие конструкций МС растет, увеличивается и количество регистрируемых патентов на полезные модели для оборудования в целом и для отдельных его узлов.

Проведенный патентный поиск глубиной 20 лет на территории Российской Федерации показал порядка 15 патентов по данной теме. Например, в таблице приведены сведения о запатентованных проектах МС и способах их крепления разработки АО «НВЦ «Вагоны». На рис. 1 приведены общие виды данных конструкций МС.

Разработки МС, запатентованные АО «НВЦ «Вагоны»

Наименование параметра	МС для перевозки колесных пар [12]	МС для перевозки труб [13]	МС для перевозки лесоматериалов [14]	МС для перевозки контейнеров [15]
Масса тары МС, т	6,625	1,380	4,000	1,980
Грузоподъемность МС, т	50,58	69,0	60,0	64,0
Ширина максимальная, мм	3215	2876	3232	3130
Высота МС от уровня пола максимальная, мм	1907	1062	3304	158
Длина МС общая, мм	13 800	13 729	13 680	12 226

Обзор существующих средств крепления выявил следующие основные конструктивные решения:

- крепление путем установки плит сверху и снизу относительно стоечной скобы и затяжки болтовыми соединениями [12, 13, 16] (вариант 1);
- крепление за счет прижатия болтовыми соединениями к боковым поверхностям стоечной скобы [15, 17–21] (вариант 2);
- крепление через увязывающие хомуты с прижатием к нижней части стоечной скобы [22] (вариант 3).

Отдельно следует выделить крепление оборудования к торцевым стоечным скобам [14]. Оно необходимо, когда имеющихся боковых скоб недостаточно для обеспечения перевозки необходимой массы груза.

Примеры вышеуказанных конструктивных решений приведены на рис. 2.

Конструктивное исполнение крепления путем установки плит сверху и снизу относительно стоечной скобы и затяжки болтовыми соединениями появилось



Рис. 1. Съемные многооборотные средства размещения и крепления грузов на универсальных вагонах-платформах разработки АО «НВЦ «Вагоны»:
а — для перевозки колесных пар, АО «ВРК-2»; *б* — для перевозки труб, ООО «Транслокация»; *в* — для перевозки лесоматериалов, ООО «ВРК»;
г — для перевозки контейнеров, АО «ПГК»

одним из первых, однако оно обладает одним существенным недостатком: ввиду того, что расстояние между стоечными скобами универсальных вагонов-платформ может отличаться относительно номинальных размеров (например, после замены стоечных скоб в процессе капитального ремонта), не всегда существует возможность точно позиционировать конкретное МС под различные вагоны-платформы даже одной модели.

Задействовать все стоечные скобы вагонов-платформ, независимо от возможного отклонения местоположения скоб, позволяет крепление МС с помощью фиксации к боковым стенкам каждой стоечной скобы болтами, расстояние между которыми регулируется. Это позволяет компенсировать отклонения расстояний между скобами вагона.

Вариант крепления через увязывающие хомуты с прижатием к нижней части стоечной скобы является наиболее простым и имеет наименьшую массу из всех рассматриваемых, однако при этом подходит не для всех типов грузов.

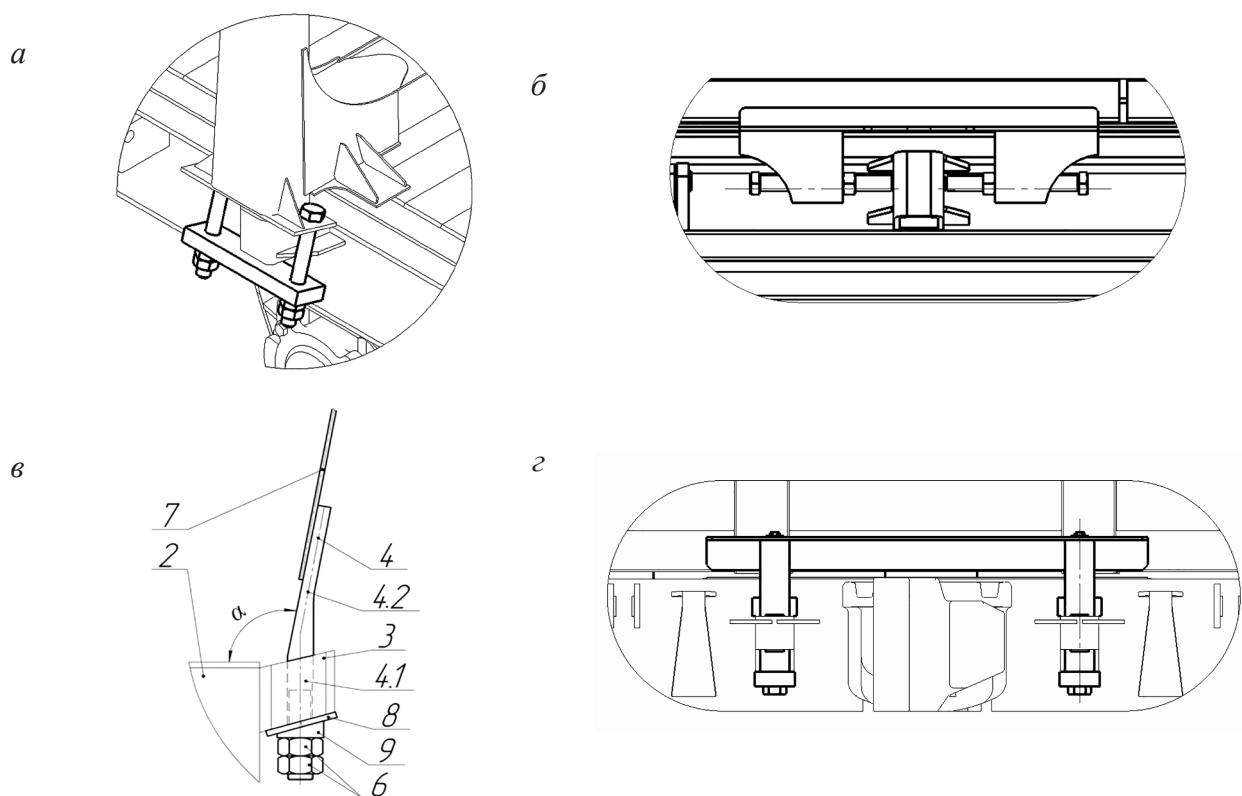


Рис. 2. Способы крепления съемных многооборотных средств размещения и крепления грузов на вагоне:

- а* — путем установки плит сверху и снизу относительно стоечной скобы и затяжка болтовыми креплениями; *б* — за счет прижатия болтовыми соединениями к боковым поверхностям стоечной скобы; *в* — через увязывающие хомуты с прижатием к нижней части стоечной скобы; *г* — торцевой упор

Вариант крепления *1* появился первым, широко распространен и используется в многочисленных местных технических условиях размещения и крепления грузов (МТУ).

С точки зрения надежности закрепления предпочтителен вариант крепления *2* (при помощи боковой фиксации к стоечным скобам). В настоящее время такой способ крепления все чаще применяется в конструкциях МС. Однако все возрастающее число патентов ставят перед разработчиками и изготовителями МС вопрос о необходимости предложения новых технических решений или доработки уже известных конструкций дополнительными элементами, что не всегда обеспечивает простоту и рациональность разработанного крепления.

Учитывая распространенность МС и повышенные риски, связанные с его безопасной эксплуатацией, рекомендуется рассмотреть возможность разработки и внедрения (например, нормативным документом, согласованным владельцем инфраструктуры и грузоотправителями) универсального узла крепления МС к стоечным скобам рамы универсального вагона-платформы.

3. Методика расчета прочности съемных многооборотных средств размещения и крепления грузов с учетом неравномерного нагружения разъемных соединений

Как следует из проведенного обзора, одним из основных способов крепления МС к стоечным скобам рамы вагона-платформы являются болтовые соединения. Общеизвестно, что подавляющее большинство случаев разрушения болтовых соединений происходит по причине их недостаточной затяжки. Ослабление болтовых соединений может привести к разрушению узлов крепления МС и стать причиной возникновения аварийных ситуаций.

Дополнительным фактором, который может привести к нештатным ситуациям, — неравномерность нагруженности болтовых соединений, что может повлиять на прочность МС.

Учитывая, что [7] и [8] не устанавливают требований к болтовым соединениям МС, при проектировании проводится оценка необходимой величины затяжки $P_{\text{зат}}$ и влияния ослабления болтовых соединений на прочность узлов крепления МС по формуле (3):

$$nP_{\text{зат}}f \geq K_3Q_i, \quad (3)$$

где K_3 — коэффициент запаса;

n — число пар поверхностей трения в соединении;

f — средний коэффициент трения между соединяемыми деталями;

Q_i — расчетное усилие на болт.

Стандартизация требований безопасности к МС на текущий момент отсутствует. Поэтому для предварительных расчетов коэффициент запаса по усилию затяжки принимается в соответствии с [9] равным 2,5.

При установке болтов без зазора максимальное усилие в наиболее нагруженном болте может быть получено на основании системы уравнений (4) для беззазорных болтовых соединений [23]:

$$Q_{\text{max}} = \frac{\sqrt{x_i^2 + y_i^2 + \varphi_i^2 r_{\text{max}}^2 + 2(x_i^2 + y_i^2)\varphi_i r_i \cos \beta_\delta}}{\lambda_i}, \quad (4)$$

где x_i, y_i — расстояния от центра масс МС по продольной и поперечной оси до центра болтового соединения;

φ_i, r_i — угол поворота и расстояние от оси стыка стягиваемых деталей до болта;

β_δ — угол между суммарным вектором перемещения от сдвигаемых сил и вектором перемещения от крутящего момента;

λ_i — податливость системы болта и крепежных деталей МС.

Выполненный расчет прочности МС разъемных соединений показал, что напряжения в узлах крепления могут вырастать на 20–30% за счет учета неравномерной нагруженности.

Заключение

Преимуществами применения МС является возможность расширения номенклатуры перевозимых грузов на вагонах без проведения трудоемкой, длительной и дорогостоящей процедуры модернизации с присвоением нового номера модели.

В то же время в статье на примере опыта разработки МС для универсальных вагонов-платформ показаны основные проблемы, связанные с проектированием такого оборудования. В большей степени они связаны с недостаточной проработанностью нормативной базы.

Во-первых, требуется рассмотреть возможность разработки универсального узла крепления, обеспечивающего надежную и удобную фиксацию МС на универсальных вагонах-платформах с учетом допускаемых нагрузок на стоечные скобы, и дальнейшее утверждение конструкции при участии заинтересованных и компетентных в данном вопросе лиц (представителей грузоперевозчиков, владельца инфраструктуры и пр.).

Во-вторых, для обеспечения безопасной эксплуатации МС при их расчете необходимо оценивать неравномерность нагруженности разъемных соединений узлов крепления МС к подвижному составу. Для этого необходимо в обязательном порядке установить коэффициент запаса для болтовых соединений МС по усилию затяжки в нормативной документации.

Список источников

1. Бейн Д. Г. Съёмное многооборотное устройство для перевозки колесных пар на универсальных вагонах-платформах / Д. Г. Бейн, Л. В. Цыганская, Е. А. Исполова и др. // Подвижной состав XXI века: идеи, требования, проекты: материалы XIV Международной научной технической конференции. — СПб.: ФГБОУ ВПО ПГУПС, 2019. — С. 79–81.

2. Бейн Д. Г. Разработка и испытания съёмных многооборотных средств крепления для перевозки труб большого диаметра на универсальных вагонах-платформах / Д. Г. Бейн, Л. В. Цыганская, А. И. Бондаренко и др. // Подвижной состав XXI века: идеи, требования, проекты: материалы XII Международной научной технической конференции. — СПб.: ФГБОУ ВПО ПГУПС, 2017. — С. 107–109.

3. Таничева Н. А. Съемное оборудование для перевозки лесоматериалов: новые технические решения и применение высокопрочных сталей / Н. А. Таничева, И. В. Федоров, И. О. Филиппова // Известия Петербургского университета путей сообщения. — 2020. — Т. 17. — № 1. — С. 117–128. — DOI: 10.20295/1815-588X-2020-1-117-128.
4. Морозова И. О. Опыт эксплуатации оборудования для перевозки лесоматериалов из высокопрочных сталей / И. О. Морозова, Д. Г. Бейн, Н. А. Таничева // Подвижной состав XXI века: идеи, требования, проекты: материалы XV Международной научной технической конференции. — СПб.: ФГБОУ ВПО ПГУПС, 2021. — С. 87–88.
5. Таничева Н. А. Съемные многооборотные средства размещения и крепления грузов в универсальных вагонах-платформах / Н. А. Таничева, Н. А. Атаманчук, Д. Г. Бейн и др. // Подвижной состав XXI века: идеи, требования, проекты: материалы XVIII Международной научной технической конференции. — СПб.: ФГБОУ ВПО ПГУПС, 2024.
6. Бондаренко А. И. Устройство для крепления автомобильного полуприцепа на вагоне-платформе для контрейлерных перевозок / А. И. Бондаренко, Д. Г. Бейн, Л. В. Цыганская // Подвижной состав XXI века: идеи, требования, проекты: материалы XIII Международной научной технической конференции. — СПб.: ФГБОУ ВПО ПГУПС, 2018. — С. 175–176.
7. Технические условия размещения и крепления грузов в вагонах и контейнерах. — Утв. МПС России № ЦМ-943 от 27 мая 2003 г. — М.: Юридическая фирма «Юртранс», 2003.
8. Технические условия размещения и крепления грузов. Приложение 3 к Соглашению о международном железнодорожном грузовом сообщении (СМГС). — Утв. Комитетом Организации сотрудничества железных дорог (ОСЖД) 1 июля 2022 г.
9. Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных). — Утв. МПС России от 22 января 1996 г. — М.: ГосНИИВ-ВНИИЖТ, 1996.
10. ГОСТ 33211—2014. Вагоны грузовые. Требования к прочности и динамическим качествам (с Поправкой, с Изменением № 1). — Утв. приказом Росстандарта №565-ст от 05.06.2015. — М.: Стандартинформ, 2020.
11. ГОСТ 22235—2010. Вагоны грузовые магистральных железных дорог колеи 1520 мм. Общие требования по обеспечению сохранности при производстве погрузочно-разгрузочных и маневровых работ (с Изменением № 1, с Поправкой). — Утв. приказом Росстандарта №420-ст от 12.11.2010.
12. Патент на полезную модель № 180476 Российская Федерация, МПК В61D 3/00, В60P 7/08, В61D 45/00. Съемное многооборотное оборудование для перевозки железнодорожных колесных пар на универсальных вагонах-платформах / Ю. П. Бороненко, Д. Г. Бейн. Заявл.: 04.04.2017; опубл. 14.06.2018. — Бюл. № 17.
13. Патент на полезную модель № 180477. Российская Федерация, МПК В61D 3/08, В60P 7/12. Вагон-платформа для перевозки длинномерных цилиндрических грузов большого диаметра / Д. Г. Бейн, Л. В. Цыганская, И. О. Филиппова. Заявл.: 21.04.2017; опубл.: 14.06.2018. — Бюл. № 17.
14. Патент на полезную модель № 199040 Российская Федерация, МПК В61D 17/06. Съемный торцевой упор съемного многооборотного оборудования вагона-платформы / Д. Г. Бейн, Е. А. Исполова, Л. В. Цыганская и др. Заявл.: 23.08.2019; опубл.: 11.08.2020. — Бюл. № 23.

15. Патент на полезную модель № 193022 Российская Федерация, МПК В60Р 7/00, В61D 3/00. Съёмное многооборотное устройство для перевозки крупнотоннажных контейнеров на универсальных вагонах-платформах / С. Е. Гончаров, А. Н. Гришаев, А. А. Шурмаков и др. Заявл.: 06.05.2019; опубл.: 10.10.2019. — Бюл. № 28.

16. Патент на полезную модель № 180480 Российская Федерация, МПК В60Р 7/00, В61D 45/00. Съёмное многооборотное оборудование для перевозки грузов на универсальных вагонах-платформах / Д. Г. Бейн, Л. В. Цыганская, И. О. Филиппова. Заявл.: 05.05.2017; опубл.: 14.06.2018. — Бюл. № 17.

17. Патент на полезную модель № 180319 Российская Федерация, МПК В60Р 7/12, В61D 45/00. Съёмное многооборотное оборудование для перевозки рулонной стали на универсальных вагонах-платформах / Д. Г. Бейн, Л. В. Цыганская, И. О. Филиппова. Заявл.: 21.04.2017; опубл.: 08.06.2018. — Бюл. № 16.

18. Патент на полезную модель № 193023. Российская Федерация, МПК В60Р 7/00, В61D 3/00. Съёмное многооборотное устройство для перевозки колесных пар на универсальных вагонах-платформах / С. Е. Гончаров, А. Н. Гришаев, А. А. Шурмаков и др. Заявл.: 24.04.2019; опубл.: 10.10.2019. — Бюл. № 28.

19. Патент на полезную модель № 197032 Российская Федерация, МПК В60Р 7/00, В61D 45/00. Съёмное многооборотное устройство для перевозки крупнотоннажных контейнеров на универсальных вагонах-платформах / А. Н. Кемеж, А. Н. Гришаев, А. А. Шурмаков и др. Заявл.: 24.12.2019; опубл.: 26.03.2020. — Бюл. № 9.

20. Патент на полезную модель № 197034. Российская Федерация, МПК В60Р 7/00, В61D 45/00. Съёмное многооборотное устройство для перевозки крупнотоннажных контейнеров на универсальных вагонах-платформах / А. Н. Кемеж, А. Н. Гришаев, А. А. Шурмаков и др. Заявл.: 24.12.2019; опубл.: 26.03.2020. — Бюл. № 9.

21. Патент на полезную модель № 197688. Российская Федерация, МПК В60Р 7/00, В61D 45/00. Съёмное многооборотное устройство для перевозки грузов на универсальных вагонах-платформах / В. В. Иванов. Заявл.: 18.12.2019; опубл.: 21.05.2020. — Бюл. № 15.

22. Патент на полезную модель № 206485. Российская Федерация, МПК В60Р 7/08. Устройство для крепления груза на транспортном средстве / Т. В. Шаламова, М. В. Исаева, А. И. Петунина и др. Заявл.: 07.06.2021; опубл.: 14.09.2021. — Бюл. № 26.

23. Антонов И. С. Расчет резьбовых соединений при действии циклической и ударной сдвигающей нагрузки / И. С. Антонов // Известия МГТУ «МАМИ». — 2012. — № 1(13). — С. 9–16.

Дата поступления: 24.09.2024

Решение о публикации: 08.11.2024

Контактная информация:

ЦЫГАНСКАЯ Людмила Валериевна — канд. техн. наук, доц., заместитель генерального директора — главный конструктор; lyudmila.cyganskaya@nvc-vagon.ru

ТАНИЧЕВА Наталия Андреевна — канд. техн. наук, доц., начальник отдела ходовых частей и динамики подвижного состава; nataliya.tanicheva@nvc-vagon.ru

БЕЙН Дмитрий Григорьевич — канд. техн. наук, заместитель главного конструктора; dmitry.bein@nvc-vagon.ru

Designing and Calculating Fastening Elements of Removable Multi-Trip Devices for Transporting Cargo in Universal Flat Wagons

L. V. Tsyganskaya^{1,2}, N. A. Tanicheva^{1,2}, D. G. Bein²

¹Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, 9, Moskovsky pr., Saint Petersburg, 190031, Russian Federation

²Joint Stock Company "Scientific and Innovation Center "Cars", 22M, Moskovsky pr., Saint Petersburg, 190031, Russian Federation

For citation: Tsyganskaya L. V., Tanicheva N. A., Bein D. G. Designing and Calculating Fastening Elements of Removable Multi-Trip Devices for Transporting Cargo in Universal Flat Wagons. *Bulletin of scientific research results*, 2025, iss. 1, pp. 18–30. (In Russian) DOI: 10.20295/2223-9987-2025-1-18-30

Summary

Purpose: To investigate the design calculation features of the removable equipment fasteners for transporting cargo on universal flat cars. **Methods:** Review of existing devices of placing and securing goods; analysis of regulatory documentation; and preparation of recommendations based on the research conducted. **Results:** The main directions of designing fastening elements have been established; the directions for accurate calculation methods have been proposed; the recommendations for considering a universal fastener development have been put forward. **Practical significance:** The research conducted makes it possible to develop more accurate calculation methods for removable multi-trip devices.

Keywords: Removable equipment, multi-trip devices, cargo fastening, flatcar, detachable joints, calculation of bolted connection.

References

1. Bein D. G., Tsyganskaya L. V., Ispolova E. A. et al. *S'emnoe mnogooborotnoe ustrojstvo dlya perevozki kolesnyh par na universal'nyh vagonah-platformah* [Removable multi-turn equipment for transporting wheelsets on multi-purpose flat cars]. St. Petersburg: PGUPS Publ., 2019, pp. 79–81. (In Russian)
2. Bein D. G., Tsyganskaya L. V., Bondarenko A. I. et al. *Razrabotka i ispytaniya s'emnyh mnogooborotnyh sredstv krepneniya dlya perevozki trub bol'shogo diametra na universal'nyh vagonah-platformah* [Development and testing of removable multi-turn fastening equipment for the transportation of large diameter pipes on multi-purpose flat cars]. St. Petersburg: PGUPS Publ., 2017, pp. 107–109. (In Russian)
3. Tanicheva N. A., Fedorov I. V., Filippova I. O. *S'emnoe oborudovanie dlya perevozki lesomaterialov: novye tekhnicheskie resheniya i primeneniye vysokoprochnykh stalej* [Removable equipment for the transportation of timber: new technical solutions and the use of high-strength steels]. *Izvestiya Peterburgskogo universiteta putej soobshcheniya* [Proceedings of Petersburg Transport University], 2020, vol. 17, Iss. 1, pp. 117–128. DOI: 10.20295/1815-588X-2020-1-117-128. (In Russian)
4. Morozova I. O., Bein D. G., Tanicheva N. A. *Opyt ekspluatacii oborudovaniya dlya perevozki lesomaterialov iz vysokoprochnykh stalej* [Experience in the operation of equipment for the transportation of high-strength steel timber]. St. Petersburg: PGUPS Publ., 2021, pp. 87–88. (In Russian)

5. Tanicheva N. A., Atamanchuk N. A., Bejn D. G. et al. *S'emnoe mnogooborotnye sredstva razmeshcheniya i krepleniya Грузов в универсальных вагонах-платформах* [Removable multi-turn means of cargo placement and fastening on multi-purpose flat cars]. St. Petersburg: PGUPS Publ., 2024. (In Russian)

6. Bondarenko A. I., Bejn D. G., Tsyganskaya L. V. *Ustrojstvo dlya krepleniya avtomobil'nogo polupricepa na vagone-platfome dlya kontrejlernyh perevozok* [A device for attaching an automobile semi-trailer on multi-purpose flat cars for piggyback transportation]. St. Petersburg: PGUPS Publ., 2018, pp. 175–176. (In Russian)

7. *Tekhnicheskie usloviya razmeshcheniya i krepleniya Грузов в вагонах и контейнерах. Утв. MPS России № ТсМ-943 от 27 мая 2003 г.* [Technical conditions for the placement and securing of cargo in cars and containers. Approved. MPS of Russia № CM-943 of May 27, 2003]. Moscow: Yuridicheskaya firma “Yurtrans” Publ., 2003. (In Russian)

8. *Tekhnicheskie usloviya razmeshcheniya i krepleniya Грузов. Prilozhenie 3 k Soglasheniyu o mezhdunarodnom zhelezodorozhnom Грузовом сообщении (SMGS). Утв. Комитетом Организации сотрудничества железных дорог (OSZhD) 1 июля 2022 г.* [Technical conditions for the placement and fastening of goods. Annex 3 to the Agreement on International Rail Freight Transport. Approved by the Committee of the Organization for Cooperation between Railways (OSJD) on July 1, 2022]. (In Russian)

9. *Normy dlya rascheta i proektirovaniya вагонов железных дорог MPS колеи 1520 мм (несамыходных). Утв. MPS России от 22 января 1996 г.* [Standards for the calculation and design of wagons for 1520 mm gauge MPS railways (non-self-propelled). Approved. MPS of Russia of January 22, 1996]. Moscow: GosNIIV-VNIIZhT Publ., 1996. (In Russian)

10. *GOST 33211—2014. Vagony Грузовые. Trebovaniya k prochnosti i dinamicheskim kachestvam (s Popravkoy, s Izmeneniyem № 1). Утв. приказом Росстандарта №565-ст от 05.06.2015* [GOST 33211—2014. Freight cars. Requirements for strength and dynamic qualities (with Amendment, with Change № 1). Approved. by order of Rosstandart № 565-st dated 05.06.2015]. M.: Standartinform Publ., 2020. (In Russian)

11. *GOST 22235—2010. Vagony Грузовые магистральных железных дорог колеи 1520 мм. Obshchie trebovaniya po obespecheniyu sohrannosti pri proizvodstve pogruzочно-razgruzочных i маневровых работ (s Izmeneniyem № 1, s Popravkoy). Утв. приказом Росстандарта № 420-ст от 12.11.2010* [Freight cars for 1520 mm gauge main line railways. General requirements for safety in loading-unloading and shunting operations. Approved by order of Rosstandart № 420-st dated 12.11.2010]. (In Russian)

12. Boronenko Yu. P., Bejn D. G. *S'emnoe mnogooborotnoe oborudovanie dlya perevozki zhelezodorozhnykh kolesnykh пар на универсальных вагонах-платформах* [Removable multi-turn equipment for the transportation of railway wheelsets on multi-purpose flat cars]. Patent RF, no. 180476, 2018. (In Russian)

13. Bejn D. G., Tsyganskaya L. V., Filippova I. O. *Vagon-platfoma dlya perevozki dlinnomernykh tsilindricheskikh Грузов большого диаметра* [Flatcar for transportation of long cylindrical cargo of large diameter]. Patent RF, no. 180477, 2018. (In Russian)

14. Bein D. G., Ispolova E. A., Tsyganskaya L. V. et al. *S''emnyy tortsevoy upor s''emnogo mnogooborotnogo oborudovaniya vagona-platformy* [Removable end stop of removable multi-turn equipment of a flat car]. Patent RF, no. 199040, 2020. (In Russian)
15. Goncharov S. E., Grishaev A. N., Shurmakov A. A. et al. *S''emnoe mnogooborotnoe ustroystvo dlya perevozki krupnotonnazhnykh konteynerov na universal'nykh vagonakh-platformakh* [Removable multi-turn device for transporting large-capacity containers on universal flatcars]. Patent RF, no. 193022, 2019. (In Russian)
16. Bejn D. G., Tsyganskaya L. V., Filippova I. O. *S''emnoe mnogooborotnoe oborudovanie dlya perevozki грузов на универсальных вагонах-платформах* [Removable multi-turn equipment for transporting goods on universal flatcars]. Patent RF, no. 180480, 2018. (In Russian)
17. Bejn D. G., Tsyganskaya L. V., Filippova I. O. *S''emnoe mnogooborotnoe oborudovanie dlya perevozki rulonnoy stali на универсальных вагонах-платформах* [Removable multi-turn equipment for the transportation of rolled steel on multi-purpose flat cars]. Patent RF, no. 180319, 2018. (In Russian)
18. Goncharov S. E., Grishaev A. N., Shurmakov A. A. et al. *S''emnoe mnogooborotnoe ustroystvo dlya perevozki kolesnykh par на универсальных вагонах-платформах* [Removable multi-turn device for transporting wheelsets on multi-purpose flat cars]. Patent RF, no. 193023, 2019. (In Russian)
19. Kemez A. N., Grishaev A. N., Shurmakov A. A. et al. *S''emnoe mnogooborotnoe ustroystvo dlya perevozki krupnotonnazhnykh konteynerov на универсальных вагонах-платформах* [Removable multi-turn device for transporting large-capacity containers on universal platform cars]. Patent RF, no. 197032, 2020. (In Russian)
20. Kemez A. N., Grishaev A. N., Shurmakov A. A. et al. *S''emnoe mnogooborotnoe ustroystvo dlya perevozki krupnotonnazhnykh konteynerov на универсальных вагонах-платформах* [Removable multi-turn device for transporting large-capacity containers on universal flatcars]. Patent RF, no. 197034, 2020. (In Russian)
21. Ivanov V. V. *S''emnoe mnogooborotnoe ustroystvo dlya perevozki грузов на универсальных вагонах-платформах* [Removable multi-turn device for transporting goods on universal flatcars]. Patent RF, no. 197688, 2020. (In Russian)
22. Shalamova T. V., Isaeva M. V., Petunina A. I. et al. *Ustroystvo dlya krepneniya gruzа на транспортном средстве* [Device for securing cargo on a vehicle]. Patent RF, no. 206485. (In Russian)
23. Antonov I. S. Raschyot rez'bovykh soedinenij pri dejstvii ciklicheskoj i udarnoj sdvigayushchej nagruzki [Calculation of threaded connections under the action of cyclic and shock shear loads]. *Izvestiya MGTU "MAMI"* [Bulletin of Moscow State Technical University "MAMI"]. 2012, Iss. 1(13), pp. 9–16. (In Russian)

Received: September 24, 2024

Accepted: November 08, 2024

Author's information:

Ludmila V. TSYGANSKAYA — PhD in Engineering, Associate Professor, Deputy General Director — Chief Designer; lyudmila.cyganskaya@nvc-vagon.ru

Natalya A. TANICHEVA — PhD in Engineering, Associate Professor, Head of the Department of Running Gear and Dynamics of Rolling Stock; nataliya.tanicheva@nvc-vagon.ru

Dmitriy G. BEIN — PhD in Engineering, Deputy Chief Designer; dmitry.bein@nvc-vagon.ru