

Научная статья

Статья в открытом доступе

УДК 629.463.1

doi: 10.30987/2782-5957-2024-6-50-60

ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ КРЫТОГО ГРУЗОВОГО ВАГОНА С УВЕЛИЧЕННЫМ ОБЪЕМОМ ГРУЗОВОГО ПОМЕЩЕНИЯ

Дмитрий Яковлевич Антипин¹, Светлана Николаевна Ашуркова^{2✉}, Денис Андреевич Бондаренко³, Марина Владимировна Мануева⁴

^{1,2,3,4} Брянский государственный технический университет, Брянск, Россия

¹ antipindy@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0002-8246-6271>

² swetiknk@yandex.ru; <https://orcid.org/0009-0006-0686-5728>

³ dilekter@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-4638-0438>

⁴ mari_s@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0008-5785-8338>

Аннотация

Выполнен анализ рынка крытых грузовых вагонов, а также существующих конструкций подобных вагонов отечественного и зарубежного производства. Определены перспективные тенденции создания инновационных конструкций грузовых вагонов для перевозки штучных и тарных грузов. Предложена оригинальная конструкция кузова крытого грузового вагона с увеличенным объемом кузова за счет использования межтележечного пространства. Для снижения трудоемкости проведения погрузочно-разгрузочных работ в конструкции вагона предусмотрены сдвигающиеся секции боковых стен и крыши. Для подтверждения соответствия, предложенной конструкции требованиям нормативно-технической документации выполнены вписывание вагона в габарит проверка обеспечения автоматического сцепления на участке сопряжения прямой и кривой, прохождения в сцепе *s*-образной кривой и сопряжения прямой и кривой, и одиночного вагона по круговой кривой малого радиу-

са, а также прохождения без саморасцепа горба сортировочной горки, аппаратного съезда паромы. Проведена оценка безопасности в отношении вкатывания колеса на рельс и опрокидывания вагона в кривых. Динамические характеристики вагона определены методами математического моделирования. Оценка прочности несущей конструкции кузова, механизмов подъема секций пола, сдвижных секций крыши и боковых стен выполнена с использованием метода конечных элементов, реализованного в среде специализированного программного комплекса. Полученные в результате расчетов и компьютерного моделирования результаты подтвердили работоспособность и безопасность предложенной конструкции крытого грузового вагона с увеличенным объемом грузового помещения.

Ключевые слова: вагон, погрузочные работы, пол, стены, крыша, прочность, несущие конструкции.

Ссылка для цитирования:

Антипин Д.Я. Обоснование конструкции крытого грузового вагона с увеличенным объемом грузового помещения / Д. Я. Антипин, С. Н. Ашуркова, Д. А. Бондаренко, М. В. Мануева // Транспортное машиностроение. – 2024. - № 6. – С. 50-60. doi: 10.30987/2782-5957-2024-6-50-60.

Original article

Open Access Article

DESIGN FOUNDATION OF A COVERED FREIGHT CAR WITH AN INCREASED LOADING SPACE

Dmitry Yakovlevich Antipin¹, Svetlana Nikolaevna Ashurkova^{2✉}, Denis Andreevich Bondarenko³, Marina Vladimirovna Manueva⁴

^{1,2,3,4} Bryansk State Technical University, Bryansk, Russia

¹ antipindy@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0002-8246-6271>

² swetiknk@yandex.ru; <https://orcid.org/0009-0006-0686-5728>

³ dilekter@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-4638-0438>

⁴ mari_s@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0008-5785-8338>

Abstract

The market of covered freight cars, as well as existing designs of this car type of domestic and for-

eign production is analyzed. Promising trends of making innovative designs of freight cars for the transpor-

tation of piece and container goods are found out. The original design of a covered freight car with an increased body space due to the use of the space between trucks is proposed. To reduce the complexity of loading and unloading operations, sliding sections of the side walls and roof are provided in the car design. To confirm the compliance of the proposed design with the requirements of regulatory and technical documents, the car was entered into the dimension, checking for automatic coupling at the junction of a straight line and a curve, passage in the coupling of an s-shaped curve and coupling of a straight line and a curve, and a single car along a circular curve of a small radius, as well as passing without self-decoupling of the hump of the sorting slide, the ramp exit of the train ferry. A

Reference for citing:

Antipin DYa, Ashurkova SN, Bondarenko DA, Manuela MV. Design foundation of a covered freight car with an increased loading space. Transport Engineering. 2024;6:50-60. doi: 10.30987/2782-5957-2024-6-50-60.

Введение

Анализ состояния отечественного рынка грузового подвижного состава показывает, что крытые грузовые вагоны относятся к числу наиболее востребованных типов вагонов. В своем докладе 22 февраля 2024 г. на Транспортном форуме «Подвижной состав: производство, эксплуатация и ремонт» исполнительный директор Союза «Объединение вагоностроителей» Семенов Е.Ю. указал, что в 2023 году всеми отечественными производителями произведено 4,7 тыс. крытых грузовых вагонов, что в 4,4 раза больше по сравнению с предыдущим годом. По информации Федеральной службы государственной статистики за первые два месяца 2024 года произведено еще 900 крытых грузовых вагонов. При этом оценка баланса списания крытых грузовых вагонов и их производства за 2016–2023 годы указывают, что было списано 24,6 тыс., а произведено 23,2 тыс. вагонов. Прогнозы на ближайшие 5 лет, также указывают на сохранение высокого спроса на вагоны данного типа. В настоящее время к перспективным на отечественном рынке можно отнести крытые вагоны [1]: модели 11-2151 сочлененного типа с раскрывающейся крышей и объемом секции 115 м³, модели 11-280 объемом 138 м³ производства АО «Алтайвагон»; модели 11-6874 с объемом кузова 175 м³, производства ПАО «НПК Объединенная вагоностроительная компания» [2]; модели 11-1268 с объемом кузова 174 м³, производства РМ Рейл; модели 11-5225-01 с

safety assessment is carried out with regard to rolling the wheel onto the rail and overturning the car in curves. The car dynamic characteristics are found out by mathematical modeling methods. The assessment of the strength of the body load-bearing structure, lifting mechanisms of the floor sections, sliding sections of the roof and side walls is performed using the finite element method implemented in the environment of a specialized software package. The results obtained as a result of calculations and computer modeling confirmed the operability and safety of the proposed design of a covered freight car with an increased loading space.

Keywords: car, loading operations, floor, walls, roof, strength, load-bearing structures.

объемом кузова 177 м³, производства АО «НПК «Уралвагонзавод»; модели 11-6759 с объемом кузова 161 м³, производства ООО «Новотехрейл».

Практически все перечисленные вагоны имеют несущий кузов в виде подкрепленной оболочки с вырезами, за исключением вагона модели 11-2151 с несущей крышей.

Анализ конструкций крытых грузовых вагонов, производимых за рубежом, показал, что наряду с вагонами классической компоновки с несущим кузовом в значительном количестве производятся вагоны с несущей рамой и раздвижными стенами, крышами или стенами и крышами, выполненными в виде сдвижных секций. К таким вагонам можно отнести: четырехосный крытый грузовой вагон с подъемными боковыми стенами модели *Hiqqrrs-vw*⁰¹¹ производства фирмы *K Industrier AB*, Швеция; четырехосные крытые грузовые вагоны с подъемными боковыми стенами и крышей модели *Habinss* и со сдвижными боковыми стенами и крышей модели *Sfiss* производства фирмы *Talgo OY*, Финляндия; двухосный крытый грузовой вагон со сдвижными боковыми стенами и крышей модели *Hbbillns* производства фирмы *Greenbrier Europe*, Швеция; четырехосный крытый грузовой вагон с складывающимися боковыми стенами и крышей модели *Rilnss* производства фирмы *Tatravagonka a.s. Poprad*, Словакия и аналогичный ему крытый

грузовой вагон модели *Rils-z* производства фирмы *Duro dakovic SV*, Хорватия [3].

Анализируя конструктивные и эксплуатационные характеристики указанных вагонов, можно отметить, что у вагонов традиционной конструкции с цельнометаллическим несущим кузовом в качестве одного из недостатков является высокий центр тяжести и сложность проведения погрузочно-разгрузочных работ через двери на боковых стенах. В новых конструкциях вагонов стремятся к увеличению ширины погрузочных дверей, но это не позволяет кардинально решить проблему трудоемкости погрузочных работ и приводит к необходимости усиления рамы как основного несущего элемента.

Недостатками конструкций крытых грузовых вагонов с трансформируемым кузовом при погрузочно-разгрузочных работах является сложность их конструкции, меньшая надежность, увеличенная тара вагона и во многих конструкциях энергозависимость приводов механизмов трансформации. При этом вагоны позволяют осуществлять погрузку с низкой платформы несколькими погрузчиками или с помощью различных подъемных кранов.

Наиболее простыми с точки зрения конструкции являются кузова со сдвижными или складывающимися (нежесткими) секциями боковых стен крыши. В большинстве конструкций трансформация осуществляется вручную. Использование мягкой обшивки в виде тента на сдвижных секциях в отечественных условиях не оправдано, как с точки зрения антивандальной защищенности, так и сточки зрения исключения несанкционированного доступа. В связи с этим в качестве перспективной конструктивной схемы для крытого грузового вагона в работе принят кузов с несущей рамой и жесткими сдвижными секциями боковых стен и крыши (аналогично вагону модели *Sfiss*). Также аналогично указанной модели вагона в

конструкции целесообразно использовать межтележечное пространство. Для осуществления погрузки в межтележечное пространство секции пола поднимаются до его основного уровня в консольных частях. После установки груза секции пола опускаются, что позволяет обеспечить надвижку секций боковых стен и крыши. Подобное решение с одной стороны позволяет значительно увеличить погрузочный объем вагона без увеличения габаритных размеров, с другой стороны обеспечивает понижение центра тяжести кузова и тем самым повышает безопасность в отношении вкатывания колесной пары на рельс и опрокидывания в криволинейных участках пути.

Из проведенного анализа существующего опыта проектирования современных конструкций грузовых вагонов, а также требований, предъявляемых транспортными операторами к подобным вагонам, были сформулированы критерии, которым должна соответствовать перспективная конструкция вагона:

1. Адаптированность к эксплуатации на всей сети железных дорог Российской Федерации, КНР и стран Азии с точки зрения габаритных размеров и осевой нагрузки;

2. Максимальный объем грузовых помещений, максимальные допустимые габаритные размеры перевозимых грузов;

3. Минимальная трудоемкость погрузочно-разгрузочных работ с высокой степенью универсальности применяемых подъемно-транспортных средств;

4. Обеспечение перевозки сборных грузов;

5. Минимальные себестоимость перевозки груза и стоимости жизненного цикла вагона;

6. Ориентация на перевозку, в первую очередь, штучных и пакетированных грузов на транспортных паллетах (европалеты, промышленные паллеты).

Определение параметров крытого грузового вагона с увеличенным объемом грузового помещения

С учетом принятых критериев были определены габаритные размеры вагона. Вписывание вагона производилось в габарит

рит 02-ВМ по ГОСТ 9238-2013. Длина вагона принималась максимальной с учетом условия обеспечения автоматического

сцепления на участке сопряжения прямой и кривой, прохождения в сцепе s-образной кривой и сопряжения прямой и кривой, и одиночного вагона по круговой кривой малого радиуса, а также прохождения без саморасцепа горба сортировочной горки, аппарельного съезда паромы. Величина ба-

зы вагона определялась исходя из обеспечения максимальной ширины вагона при вписывании вагона в габарит. На следующем этапе габаритные размеры вагона корректировались с учетом предложенных схем размещения груза на евро- и промышленных паллетах (рис. 1).

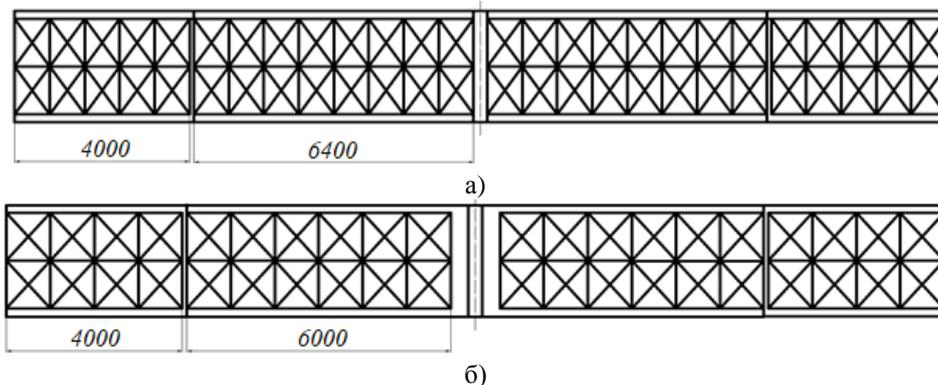


Рис. 1 Схема размещения груза в кузове вагона:

а – на европаллетах; б – на промышленных паллетах

Fig. 1 Scheme of cargo placement in the car body: a) on Euro pallets; b) on industrial pallets

Далее для полученных габаритных размеров с учетом опыта создания несущих конструкций отечественных и зарубежных вагонов со схожей конструкцией была предложена структура несущей конструкции, согласно которой кузов вагона можно разделить на несколько крупных узлов: несущая рама с металлическим настилом пола; боковые стены и крыша; торцевые стены;

Рама вагона имеет хребтовую балку в консольных частях вагона, шкворневые и поперечные балки и продольные балки. Хребтовая балка постоянного сечения (состоящая из двух двутавров № 30 ГОСТ Р 57837-2017). Шкворневые балки выполнены из листов толщиной 8 мм, образующих коробчатое сечение. Буферные балки выполнены из двутавров № 12 ГОСТ Р 57837-2017. Продольные балки рамы выполнены из двутавра №60 ГОСТ Р 57837-2017. Поперечные балки из двутавра № 30 ГОСТ Р 57837-2017. Рама вагона в консольных частях имеет пол из стального листа толщиной 5 мм. В средней части рамы вагона по всей ее длине размещены установочные балки, на которые опускается пол и остается на них в поездном положении. Эти балки выполнены из швеллера № 8 ГОСТ 8240-97. На лобовой балке установлены буферные устройства. Вагон

оборудуется автосцепкой СА-3М. Она обеспечивает сцепление с вагонами оборудованными винтовыми стяжками и эластомерным поглощающим аппаратом АПЭ-120-И.500 класса ТЗ, предоставляющий возможность перевозки грузов, требующих защиты от чрезмерных продольных ускорений.

Боковая стена и крыша образуют единую секцию обшивки вагона, которая состоит из четырех частей (двух средних и двух консольных). Средние являются малыми, а консольные большими секциями, что позволяет смещать малые секций под большие, при производстве погрузочно-разгрузочных работ. Каждую секцию образует наружный гофрированный лист (с прямоугольными гофраами) толщиной 6 мм, который с внутренней стороны подкреплен вертикальными стойками, профилями, подкрепляющими нижний пояс, верхней обвязкой и дугами крыши. Стойки и дуги крыши выполнены из зетового гнутого профиля 50×50×50×6 мм, профили, подкрепляющие нижний пояс и верхняя обвязка выполнены из швеллера № 14 ГОСТ 8240-97. На нижних подкрепляющих профилях крепится механизм передвижения, по специальному рельсу секции обшивки вдоль вагона. В средней части вагон имеет подъемный пол. Он состоит из

двух секций размерами 6400×2400 мм. При осуществлении погрузо-разгрузочных работ он поднимается на высоту 765 мм до уровня пол в консольных частях вагона (рис. 2, а). Нижнее положения пола является поездным (рис. 2, б). Подъемный пол представляет каркас (состоящий из 2 продольных, 3 попереч-

ных и 2 концевых и средней балок) перекрытый листом обшивки толщиной 5 мм. Продольные и концевые балки выполнены из швеллера №12 ГОСТ 8240-97, поперечные балки из двутавра 10Б1 ГОСТ 8240-97, средняя балка из двутавра № 12Б2 ГОСТ Р 57837-2017.

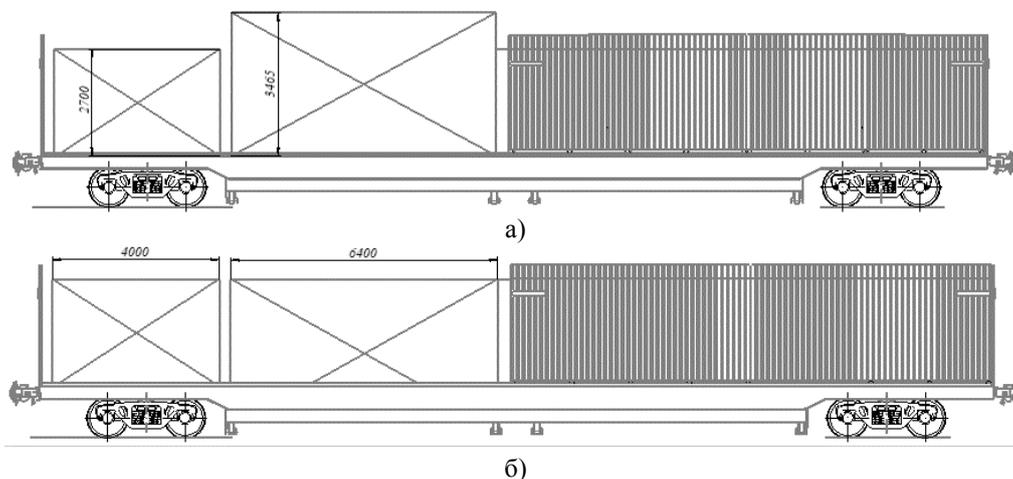


Рис. 2 Схема вагона: а – в погрузочно-разгрузочном положении; б – в транспортном положении
Fig. 2 Car scheme: a – in the loading and unloading position; b – in the transport position

Подъем пола в средней части рамы осуществляется с помощью механизма, состоящего из двух подъемных стоек поз. 1 (рис. 3), шарнирно закрепленных на кронштейнах поз. 5 нижней балки поз. 2. Стойки соединены между собой двумя резьбовыми тягами поз. 3, вращаемыми электродвигателем поз. 4. При подаче электроэнергии электродвигатель начинает вращать тяги, которые через поворотные

гайки, установленные на цапфах внутри стоек поз.1, стягивают стойки. По концам поворотных стоек установлены опорные ролики поз. 6. Опорные ролики перемещаясь по направляющим рамы поднимают ее на 765 мм. При подаче электроэнергии с обратной полярностью тяги вращаются в обратную сторону, стойки расходятся, и подъемная рама опускается в транспортное положение (рис. 3, б).

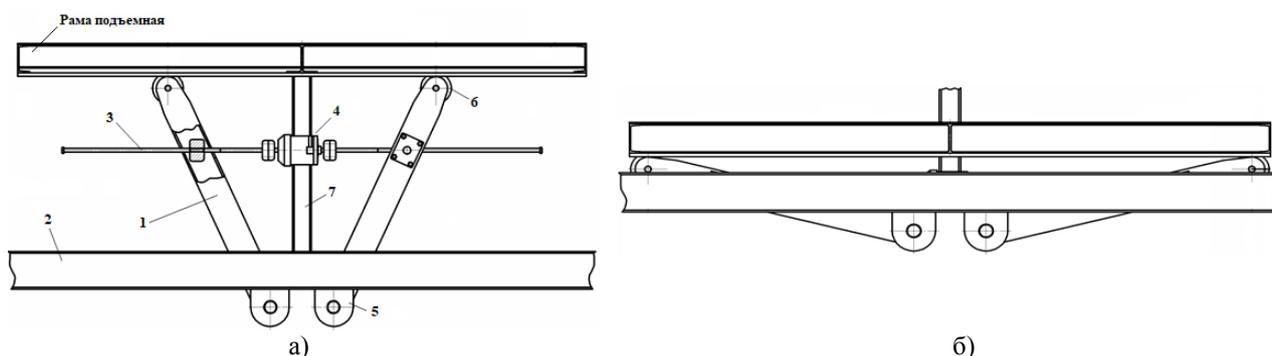


Рис. 3 Механизм подъема пола: а – пол в поездном положении; б – пол в транспортном положении;
1 – стойка подъемная; 2 – балка нижняя; 3 – тяга резьбовая; 4 – электродвигатель;
5 – кронштейн крепления стойки; 6 – опорный ролик; 7 – направляющая электродвигателя
Fig. 3 Floor lifting mechanism: a – floor in the train position;
b – floor in the transport position; 1 – lifting rack; 2 – lower beam;
3 – threaded rod; 4 – electric motor; 5 – rack mounting bracket; 6 – support roller; 7 – electric motor guide

На раме предусмотрены концевые выключатели, осуществляющие остановку

электродвигателя при достижении подъемной рамой требуемого положения. Для

исключения вращения двигателя вокруг своей оси при передачи крутящего момента на резьбовые тяги предусмотрена направляющая поз. 7 выполненная из швеллера № 8 ГОСТ 8240-97. При перемещении подъемной рамы двигатель передвигается по направляющей с использованием роликов, установленных на станине двигателя. В конструкции механизма подъема предусмотрены кинематические датчики перекоса подъемной рамы, временно отключающие один из двигателей при возникновении перекоса.

Торцевая стена выполнена из гладкого листа толщиной 4 мм. Угловые стойки, дуга стены и верхняя обвязка выполнены из швеллера № 12 ГОСТ 8240-97, средняя стойка из швеллера ГОСТ 8240-97. На торцевой стене установлено запирающее устройство, которое фиксирует секции обшивки в закрытом положении и не дает

возможности несанкционированного доступа внутрь вагона. Вагон планируется эксплуатировать на тележках модели 18-1277.

Конструкция вагона позволяет упростить процедуру и уменьшить затраты производства погрузо-разгрузочных работ, а также уменьшить коэффициент порожнего пробега вагона. Погрузка вагона осуществляется различными автопогрузчиками, а также возможно осуществлять погрузку кранами различной конструкции. Кроме грузов, перевозимых на паллетах, вагон позволяет перевозить крупногабаритные (объемные) грузы, в том числе значительной высоты, размещаемые в средних секциях вагона. В спроектированном вагоне возможна перевозка сборных грузов, различных грузоотправителей. Технические характеристики вагона приведены в табл. 1.

Таблица 1

Технические характеристики проектируемого вагона

Table 1

Technical characteristics of the projected wagon

№ п/п	Характеристика	Величина
1.	Ширина колеи, мм	1520
2.	Тары, т	27
3.	Грузоподъемность, т	67
4.	Длина по осям сцепления автосцепок, мм	23970
5.	Ширина, мм: кузова погрузочная	2895 2400
6.	База, мм: вагона тележки	17700 1850
7.	Погрузочный объем, м ³	158
8.	Погрузочная высота/длина, мм/мм: консольной части средней части	2700/4000 3465/6400
9.	Габарит по ГОСТ 9238-2013	02-ВМ
10.	Модель тележки	18-1277
11.	Скорость конструкционная, км/ч	120

Обоснование работоспособности конструкции крытого грузового вагона

Для предложенной конструкции кузова крытого вагона выполнены расчеты на его соответствие требованиям нормативной документации на проектирование и расчет грузовых вагонов. В частности, проведено вписывание вагона в габарит 02-ВМ ГОСТ 9238-2013, выполнена проверка обеспечения автоматического сцеп-

ления на участке сопряжения прямой и кривой, прохождения в сцепе s-образной кривой и сопряжения прямой и кривой, и одиночного вагона по круговой кривой малого радиуса, а также прохождения без саморасцепа горба сортировочной горки, аппаратного съезда паромы. Выполнена оценка безопасности в отношении вкаты-

вания колеса на рельс и опрокидывания вагона в кривых. Динамические характеристики вагона, регламентируемые ГОСТ 33211-2014 оценивались методами математического моделирования на основе разработанной в среде программного комплекса «Универсальный механизм» компьютерной модели вагона, в виде системы связанных твердых тел [4-6].

Оценка прочности несущей конструкции в условия воздействия нормативных нагрузок произведен методом конечных элементов с использованием специализированного программного комплекса [7-8].

Конечно-элементная модель рамы вагона представляет собой пространственную пластинчатую расчетную систему (рис. 4), образованную трех и четырех узловыми изотропными пластинчатыми элементами, учитывающими все внутренние силовые факторы (мембранные, сдвиговые, поперечные и изгибные) и позволяющими моделировать пластины значительной толщины. Общее количество пластинчатых элементов со средним размером 30×30 мм – составило $23,8 \times 10^4$. Элементы объединены в 27×10^4 узлах, число степеней свободы конечно-элементной модели составляет 1,4 млн.

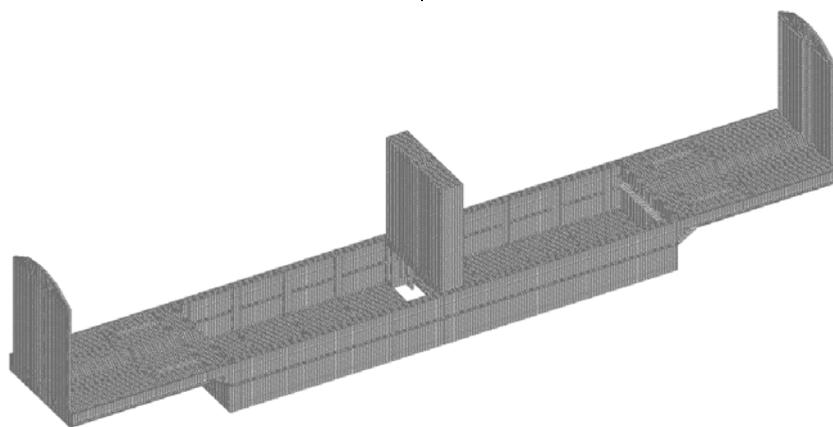


Рис. 4. Пластинчатая конечно-элементная модель вагона
Fig. 4. Plate finite element model of the wagon

Закрепление модели в пространстве осуществляется введением связей в вертикальном и поперечном направлениях в области опорной поверхности пятника, в продольном направлении – в узлах, находящемся на поперечной плоскости симметрии рамы.

Нагружение конструкции осуществляется в соответствии с расчетными режимами по требованиям ГОСТ 33211-2014. При расчетах вертикальная нагрузка от собственного веса рамы вагона с подъемной рамой и навесным оборудованием равномерно распределяется по всем узлам конечно-элементной модели. Вертикальная нагрузка от веса сдвижных секций боковых стен и крыши прикладываются в местах их опирания на раму вагона для транспортного положения (грузовые помещения закрыты). Вертикальные усилия от веса груза равномерно распределяется по узлам, находящимся на полу грузовых помещений. Продольные

сжимающие усилия прикладывались к узлам, находящимся в зоне задних упоров автосцепки, продольные растягивающие в зоне передних упоров. Продольные сжимающие усилия, соответствующие расчету рамы от нагрузок, возникающих при движении вагона в сцепке с винтовой стяжкой, прикладываются к узлам в зоне установке буферных устройств на лобовой балке вагона. Верификация конечно-элементной модели рамы вагона осуществляется сопоставлением нормальных напряжений в среднем сечении рамы вагона, полученных с использованием разработанной конечно-элементной модели и с помощью элементарного расчета вагона как балки на двух опорах. Рассмотрен вариант нагружения рамы вагона вертикальными усилиями, соответствующими полной загрузке вагона. Сопоставление полученных результатов показало, что нормальные напряжения, полученные аналитически отличаются от

данных конечно-элементного анализа не более 21 %. При этом результаты конечно-элементного анализа идут в запас прочности, что свидетельствует об адекватности результатов, получаемых с использованием разработанной конечно-элементной модели. Анализ напряженно-деформированного состояния несущей конструкции рамы вагона при действии нормативных нагрузок показал, что максимальные эквивалентные напряжения и прогибы рамы в среднем сечении для режимов нагружения составили:

- при действии нагрузок I-го расчетного режима растяжение – 134 МПа и 12 мм соответственно;

Оценка прочности секции обшивки вагона

Оценка прочности секций обшивки производится по большей секции поскольку она имеет больший вес и большую площадь боковой поверхности. Для оценки прочности конструкции секции разрабатывается конечно-элементная модель секции обшивки вагона. Модель представляет собой пространственную пластинчатую расчетную систему (рис. 5), образованную четырех узловыми изотропными пластинчатыми элементами (подкрепляющий набор секции и ортотропными (листы обшивки) учитывающими все внутренние силовые факторы (мембранные, сдвиговые, поперечные и изгибные). Общее количество пластинчатых элементов со средним размером 30×30 мм составило 59 тыс., они

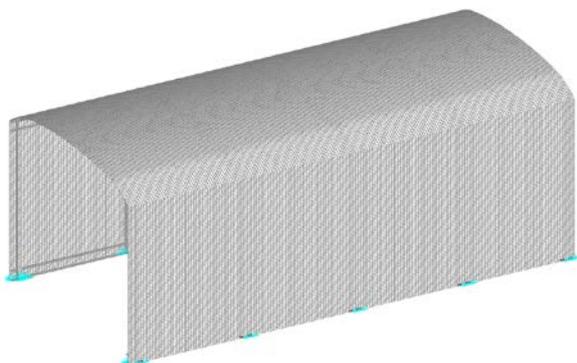


Рис. 5. Пластинчатая конечно-элементная модель
Fig. 5. Plate finite element model of the wagon skin section

- при действии нагрузок I-го расчетного режима сжатие – 179 МПа и 20 мм соответственно;

- при действии нагрузок III-го расчетного режима растяжение – 152 МПа и 14 мм соответственно;

- при действии нагрузок III-го расчетного режима растяжение – 164 и 19 мм и соответственно.

Максимальные напряжения для всех рассматриваемых расчетных режимов не превышают допустимых нормативной документацией величин, что свидетельствует об обеспечении прочности несущей конструкцией рамы вагона.

объединены в 59,4 тыс. узлах, число степеней свободы конечно-элементной модели составляет 356 тыс.

Закрепление модели в пространстве осуществляется введением связей по шести степеням свободы в местах установки роликовых опор секции обшивки.

Нагружение конструкции осуществляется вертикальными усилиями от собственного веса конструкции равномерно распределенными по всем узлам модели. Дополнительно учитывается ветровая нагрузка, величина которой определена в соответствии с рекомендациями нормативной документации [9]. Усилия равномерно распределяются по боковой поверхности стены секции поз. 2 рис. 6.

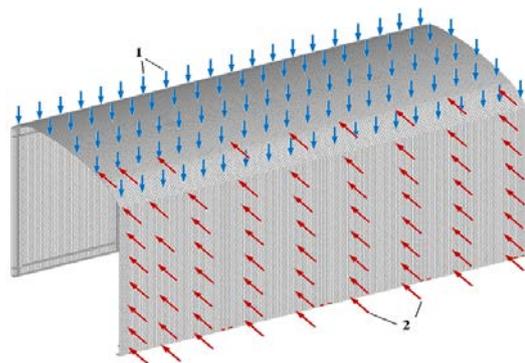


Рис. 6. Схема нагружения рамы секции обшивки вагона:
1 – нагружение вертикальной распределенной нагрузкой от веса секции; 2 – нагружение боковыми силами
Fig. 6. Loading scheme of the frame of the sheathing section of the wagon: 1 - loading with a vertical distributed load from the weight of the section; 2 – loading with lateral forces

В состав боковых сил также включаются распределенная по узлам всей модели центробежная нагрузка, величина которой составляет 10 % от веса секции.

Анализ полученной в результате расчета картины распределения напряжений по несущим элементам секции показал,

что наибольшие напряжения возникают в области приварки вертикальных стоек секции к нижней продольной обвязке. При этом величина максимальных напряжений, возникающих в секции, составляет 92 МПа и не превышает уровня, допускаемого нормативной документацией.

Оценка прочности несущих элементов механизма подъема рамы вагона

Оценка прочности несущих элементов механизма подъема производится на основании разработанных конечно-

элементных моделей механизма в погрузочном положении (рис. 7, а) и в транспортном положении (рис. 7, б).

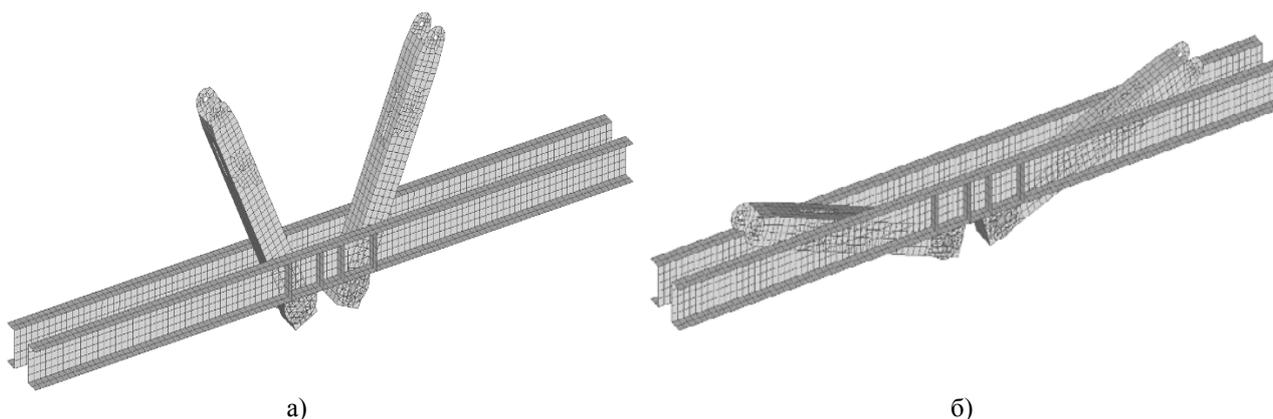


Рис. 7. Пластинчатая конечно-элементная модель механизма подъема: а – в погрузочном положении; б – в транспортном положении

Fig. 7. Plate finite element model of the lifting mechanism: a – in the loading position; b – in the transport position

В конечно-элементных моделях все несущие элементы механизма представлены пластинчатыми изотропными конечными элементами со средним размером 30×30 мм.

Закрепление конструкций осуществляется по концам поперечных опорных балок. Моделирование взаимодействия подъемных стоек с резьбовой тягой моделируется введением в области отверстий цапф гаек связей в горизонтальном направлении.

Нагружение несущей конструкций механизма осуществляется сосредоточенными силами, введенными в область осей опорных роликов. Величина усилий, приходящихся на одну подъемную стойку, составит 4,8 т.

Анализ полученных в результате расчетов картин распределения напряже-

ний наиболее нагруженными областями механизма в погрузочном положении являются области приварки поперечных опорных балок к продольным балкам рамы вагона и в зоне опорных кронштейнов подъемных балок. Наибольший уровень эквивалентных напряжений для погрузочного положения механизма составит 123,4 МПа.

В транспортном положении наиболее нагруженными областями являются зоны отверстий цапф гаек резьбовой тяги и зоны опорных кронштейнов подъемных балок. Уровень максимальных напряжений для данного положения механизма составил 195,1 МПа.

По результатам расчета наибольшие напряжения для двух крайних положений механизма не превышают допускаемых для материала несущих элементов.

Заключение

На основании проведенного анализ отечественного рынка крытых грузовых

вагонов можно сделать вывод, что предложенная в работе конструкция

крытого грузового вагона с увеличенным объемом кузова, за счет использования межтележечного пространства, соответствует перспективным мировым тенденциям создания инновационных конструкций грузовых вагонов для перевозки штучных и тарных грузов. Конструкция кузова обеспечивает значительное снижение трудоемкости проведения погрузочно-разгрузочных работ за счет сдвигающихся секций боковых стен и крыши и подъемных секций пола. Работоспособность и

безопасность конструкции вагона подтверждена проведенными в соответствии с требованиями нормативно-технической документации расчетами и результатами математического моделирования. Перспективой дальнейших работ, является оценка усталостной долговечности сварных несущих конструкций кузова и исследования возможности автоматизации процессов сдвижки секций боковой стены и крыши вагона.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Агафонов М. С. Новые грузовые вагоны в парке России / М. С. Агафонов // Вагоны и вагонное хозяйство. – 2023. № 1(73). С. 16-18.
2. Концепт будущего грузовых вагонов ОВК // Вагоны и вагонное хозяйство. 2023. № 4(76). С. 7.
3. Waldmann, Marta & Sobaś, Marek & Antkowiak, Tomasz. (2022). Development trends in rail freight transport. Rail Vehicles/Pojazdy Szynowe. 10.53502/RAIL-156724.
4. R. Kovalev, N. Lysikov, G. Mikheev, D. Pogorelov, V. Simonov, V. Yazykov, S. Zakharov, I. Zharov, I. Goryacheva, S. Soshenkov, E. Torskaya, Freight car models and their computer-aided dynamic analysis, Multibody System Dynamics, 22(4) (2009) 399-423.
5. S.S. Haraka, S.C. Sharma, S.P. Harsha, Structural dynamic analysis of freight railway wagon

- using finite element method, Procedia Materials Science, 6 (2014) 1891-1898.
6. P. Carlbom, Combining MBS with FEM for Rail Vehicle Dynamics Analysis, Multibody System Dynamics, 6 (2001) 291-300.
7. M. Placzek, A. Wróbel, A. Baier, Computer-aided strength analysis of the modernized freight wagon, Materials Science and Engineering 95 (2015) 1-6.
8. S.C. Yoon, J.G. Kim, C.S. Jeon, K.Y. Choe, Evaluation of Structural Strength in Body Structure of Freight Car, Key Engineering Materials, 417-418 (2010) 181-184.
9. Нормы расчёта и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных). М: ГосВНИИВ ВНИИЖТ, 1996. 319 с.

REFERENCES

1. Agafonov MS. New freight cars in the park of Russia. Wagoni I Wagonnoe Khozyastvo. 2023;1(73):16-18.
2. The concept of the future of United Wagon Company freight cars. Wagoni I Wagonnoe Khozyastvo. 2023; 4(76):7.
3. Waldmann, Marta, Sobaś, Marek, Antkowiak, Tomasz. Development trends in rail freight transport. Rail Vehicles/Pojazdy Szynowe. 2022;10.53502/RAIL-156724.
4. Kovalev R, Lysikov N, Mikheev G, Pogorelov D, Simonov V, Yazykov V, Zakharov S, Zharov I, Goryacheva I, Soshenkov S, Torskaya E. Freight car models and their computer-aided dynamic analysis. Multibody System Dynamics. 2009;22(4):399-423.
5. Haraka SS, Sharma SC, Harsha SP, Structural dynamic analysis of freight railway wagon using

- finite element method. Procedia Materials Science. 2014;6:1891-1898.
6. Carlbom P. Combining MBS with FEM for Rail Vehicle Dynamics Analysis. Multibody System Dynamics. 2001;6:291-300.
7. Placzek M, Wróbel A, Baier A. Computer-aided strength analysis of the modernized freight wagon. Materials Science and Engineering. 2015;95:1-6.
8. Yoon SC, Kim JG, Jeon CS, Choe KY. Evaluation of structural strength in body structure of freight car. Key Engineering Materials. 2010; 417-418:181-184.
9. Standards for the calculation and design of railcars of МПС gauge of 1520 mm (non-self-propelled). Moscow: GosVNIIV VNIIZHT; 1996.

Информация об авторах:

Антипин Дмитрий Яковлевич – кандидат технических наук, доцент кафедры «Подвижной состав железных дорог», директор Учебно-научного института транспорта Брянского государственного технического университета.

Ащуркова Светлана Николаевна – кандидат технических наук, доцент кафедры «Подвижной состав железных дорог» Брянского государственного технического университета.

Antipin Dmitry Yakovlevich – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Railway Rolling Stock, Director of the Educational and Scientific Institute of Transport at Bryansk State Technical University.

Ashurkova Svetlana Nikolaevna – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Railway Rolling Stock at Bryansk State Technical University.

Бондаренко Денис Андреевич – кандидат технических наук, доцент кафедры «Подвижной состав железных дорог» Брянского государственного технического университета.

Мануева Марина Владимировна – кандидат технических наук, доцент кафедры «Подвижной состав железных дорог» Брянского государственного технического университета.

Bondarenko Denis Andreevich – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Railway Rolling Stock at Bryansk State Technical University.

Manueva Marina Vladimirovna – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Railway Rolling Stock at Bryansk State Technical University.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare no conflicts of interests.

Статья опубликована в режиме Open Access.

Article published in Open Access mode.

Статья поступила в редакцию 08.04.2024; одобрена после рецензирования 26.04.2024; принята к публикации 26.05.2024. Рецензент – Волохов Г.М., доктор технических наук, заведующий отделением динамики и прочности подвижного состава и инфраструктуры Акционерного общества «Научно-исследовательский и конструкторско-технологический институт подвижного состава, член редколлегии журнала «Транспортное машиностроение».

The article was submitted to the editorial office on 08.04.2024; approved after review on 26.04.2024; accepted for publication on 26.05.2024. The reviewer is Volokhov G.M., Doctor of Technical Sciences, Head of the Department of Rolling Stock and Infrastructure Dynamics and Strength of "Research and Development and Technological Institute of Rolling Stock", member of the Editorial Council of the journal *Transport Engineering*.