

Научная статья

Статья в открытом доступе

УДК 629.463.32

doi: 10.30987/2782-5957-2025-7-72-80

ОБЗОР КОНСТРУКТИВНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ ВАГОНОВ-ЦИСТЕРН

Игорь Валентинович Плотников¹, Геннадий Иванович Петров², Павел Андреевич Карачевский³✉

^{1,2,3} Российский университет транспорта (МИИТ), Москва, Россия

¹ plot710@gmail.com

² petrovgi@gmail.com

³ pavel.karachevsky@inbox.ru; <https://orcid.org/0009-0003-1944-6256>

Аннотация

Цель исследования заключается в определении перспективного направления развития в цистерностроении. Для достижения поставленной задачи необходимо выполнить анализ уже существующих технических решений, а также рассмотреть тенденции и ограничения в развитии отечественного парка цистерн и особенно важно рассмотреть конструктивные исполнения используемых за рубежом.

В ходе работы представлен результат сбора и последующего анализа данных по конструктивным особенностям и техническим решениям, применяемых за границей. При работе с полученными данными, определен наиболее рациональный вариант конструкции, требующий более детальной проработки конкретных узлов при помощи методов компьютерного моделирования.

Ключевые слова: котел, цистерна, безрамная, торцевые щиты, дуги, шпангоут.

Ссылка для цитирования:

Плотников И.В. Обзор конструктивных особенностей вагонов-цистерн / И.В. Плотников, Г.И. Петров, П.А. Карачевский // Транспортное машиностроение. – 2025. - № 7. – С. 72-80. doi: 10.30987/2782-5957-2025-7-72-80.

Original article

Open Access Article

OVERVIEW OF THE DESIGN FEATURES OF TANK CARS

Igor Valentinovich Plotnikov¹, Gennady Ivanovich Petrov², Pavel Andreevich Karachevsky³✉

^{1,2,3} Russian University of Transport (MIIT), Moscow, Russia

¹ plot710@gmail.com

² petrovgi@gmail.com

³ pavel.karachevsky@inbox.ru; <https://orcid.org/0009-0003-1944-6256>

Abstract

The study objective is to determine the promising direction of developing tank engineering. To achieve this goal, it is necessary to analyze existing engineering solutions, as well as consider trends and limitations in the development of domestic tank fleet, and it is especially important to consider designs used abroad.

During the study, the result of the collecting and subsequent analysis of data on design features and en-

gineering solutions used abroad is presented. When working with the obtained data, the most rational design option was determined, requiring a more detailed study of specific nodes using computer modeling methods.

Keywords: boiler, tank, frameless, end shields, arches, bulkhead.

Reference for citing:

Plotnikov IV, Petrov GI, Karachevsky PA. Overview of the design features of tank cars. Transport Engineering. 2025;7:72-80. doi: 10.30987/2782-5957-2025-7-72-80.

Введение

Конструкция вагонов по мере развития железнодорожного транспорта зависела от технологических методов изготовления, длины цеха, возможностей и уровня научного развития, а также методов проектирования.

Все это на протяжении длительного исторического периода совершенствовалось и модернизировалось, так или иначе были как удачные технические решения, так и не удачные. Эти решения подвергались серьезным испытаниям и длительным циклам эксплуатации, собрав весь опыт вагоностроения можно выделить несколько тенденций в развитии. Направления развития были сконцентрированы вокруг

Методы

Методики, на которых базируется данная работа, представляют собой теоретические и эмпирические составляющие. Использование в качестве объектов для анализа, существующие решения, представленные в виде: патентов; отечественной и зарубежной литературы; норматив-

Обзор конструктивных решений

Первые вагоны для железной дороги направления из Санкт-Петербурга в Царское Село представляли собой совокупность двухосных платформ, на которых устанавливались кареты или скамейки для пассажиров. По существу, конструкция представляла собой вагон, на который устанавливалось всё что угодно. Такой подход определил, что при создании вагонов для перевозки жидких грузов в качестве базового варианта необходимо использовать платформу с размещением на неё резервуара. Размеры данного резервуара ограничивались технологическими возможностями получения металла для изготовления и способа соединения этого металла между собой. Практически до 50-х годов прошлого века широко применялись котлы цистерн, изготавливаемые методом клёпки отдельных листов между собой. Вместе с тем следует отметить, что по мере развития ж. д. транспорта на первых этапах впервые в технологии железнодо-

основных параметров: геометрических размеров (длиннобазные, стандартные); количество осей (от двух до восьми); тип перевозимого груза (опасные, пищевые, мелкодисперсные). Учёт каждого из параметров накладывал свои технические требования и технологию изготовления.

Важность разработки конструкции цистерны, которая обеспечит предотвращение повреждения оболочки ценой защитных средств, обуславливается серьезными последствиями крушений при перевозке опасных грузов, приводящих к заражению окружающей среды на долгие годы.

ных документов, позволяет при помощи сравнения оценить и выявить наилучшие параметры и технические решения. Результаты необходимо синтезировать с учётом лучших параметров для дальнейшего проектирования и моделирования.

рожного транспорта была применена электросварка по методу Бендароса [6]

Размеры сосуда, перевозящего жидкие опасные грузы базировались на ограниченных величинах осевых и погонных нагрузках. Практически до 60-х годов широко применялись двухосные цистерны с осевой нагрузкой, не превышающей 15-16 тонн. Широкое развитие локомотивного семейства тепловозов и электровозов в нашей стране позволило перейти на массовое изготовление четырёхосных вагонов с осевой нагрузкой 20-22 тонны.

В свою очередь вагоностроительные предприятия, которые занимались изготовлением цистерн в угоду крупносерийной специализации определённых узлов, по существу, оставили неизбежным производство конструкций, представляющих собой версию, существующую ранее – котла, установленного на раму. В этой связи в 60-х годах начались работы по увеличению осевых и погонных нагрузок с одновременным переходом на увеличение

габариты подвижного состава (ПС). В это же время происходили изменения в структуре грузооборота, увеличилась доля светлых нефтепродуктов и для мероприятий по увеличению веса поезда были начаты работы по созданию шести и восьмиосных цистерн.

Увеличение габаритов позволило увеличить диаметр и длину котла, что было успешно реализовано в моделях восьмиосных цистерн моделей 871 и 880 (рис. 1, 4).

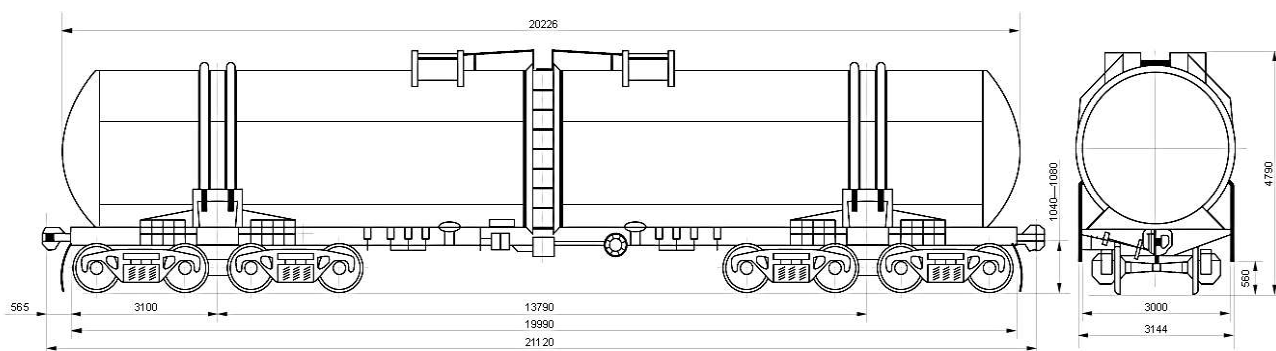


Рис. 1. Восьмиосная цистерна для нефтепродуктов модели 15-871
Fig. 1. Eight-axle tanker for petroleum products model 15-871

Суммируя более чем десятилетний опыт проектирования и эксплуатации первых восьмиосных цистерн позволило создать серийный образец, имеющий кольцевые элементы жесткости – шпангоуты, применяемые и на более ранних моделях (871, 880), но отличие данной модели было в использовании шпангоутов переменного сечения по окружности котла, что было сделано впервые в мировой практике. Такие решения позволили при габарите «1-Т» иметь диаметр котла 3,2 м. с грузоподъемностью до 125 т. при массе 51 т. (рис. 3).

Важным вопросом в развитии конструкций восьмиосных вагонов, была ходовая часть. Разработка отдельной 4-х осной тележки, накладывал на себя большой объем работ, так было принято решение о создании специальной соединительной балки, позволяющей опираться на две стандартные двухосные тележки (рис. 2).

Первые варианты соединительных балок были массивные, что увеличивало тару вагона. Развитие конструкций соединительных балок было нацелено на компактное расположение тормозного оборудования и уменьшение веса соединительной балки. Дальнейшие разработки были направлены на совершенствование кузова,

такой тип конструкции исключал соединительную балку, т. о. кузов через опорное устройство передавал нагрузку на тележку [2].

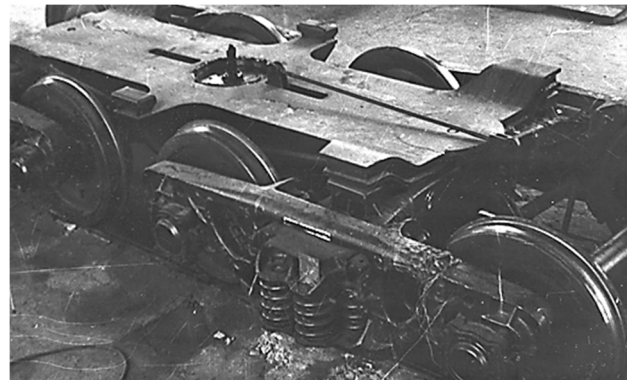


Рис. 2. Четырехосная тележка со штампо-сварной соединительной балкой
Fig. 2. Four-axle trolley with die-welded connecting beam

Эксплуатация таких цистерн предполагала решение проблемы, связанной с изменением сливо-наливных эстакад для обеспечения сплошного перекрытия фронта слива и налива, однако противником этого направления развития являлись организации, производившие такие работы и вагоностроительная промышленность, у которой было налажено производство классических рам для цистерн.

Это было связано с размерами цеха равными 12 м., поэтому в качестве базового варианта была принята четырёхосная

цистерна с длиной по осям сцепления равным 12,02 метра и базой 7,8 метра.

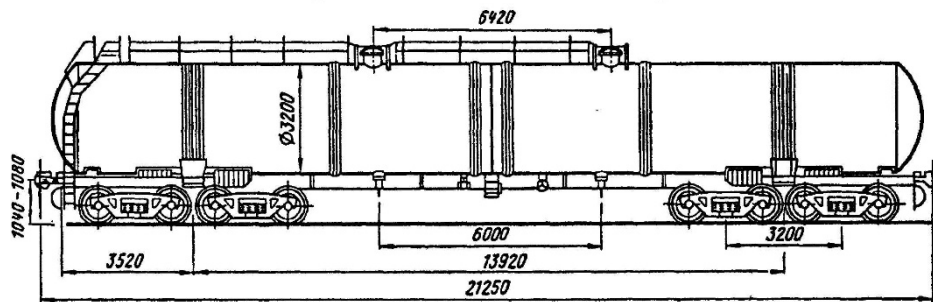


Рис. 3. Восьмиосная цистерна для нефтепродуктов модели 15-1500
Fig. 3. Eight-axle tanker for petroleum products model 15-1500

На раму такой платформы можно было ставить почти любой котёл. Такой подход, по нашему мнению, был определённым тормозом в вагоностроении, и не смотря на весьма высокую эффективность восьмиосных вагонов к двухтысячным годам их производство было свёрнуто. Увеличение диаметра котла цистерн приводит

ло, как правило, к увеличению положения центра тяжести, что ухудшало динамические свойства вагона при определённых скоростях, так, например, восьмиосная цистерна, создававшаяся для Байкало-Амурской магистрали в габарите «Т» имела ограничения по максимальной скорости (рис. 4).

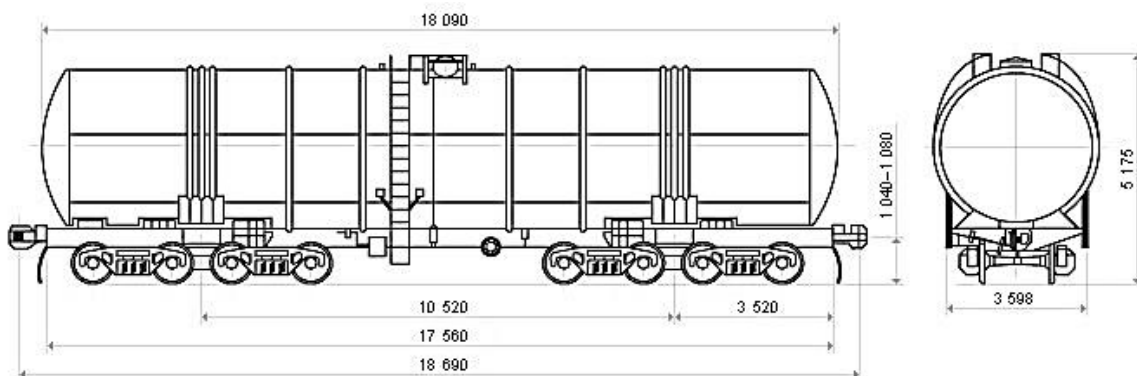


Рис. 4. Восьмиосная цистерна для нефтепродуктов модели 15-880
Fig. 4. Eight-axle tanker for petroleum products model 15-880

Сохранение двух элементов (котла и рамы), которые можно менять между собой на первый взгляд задумано верно, но в действительности оказалось по-другому. В 70-х годах было установлено, что в эксплуатации возникали случаи возникновения аварийных ситуаций, связанных с пробоем котла на сортировочных горках из-за превышения скоростей соударения. Возникает необходимость в создании специализированных защитных устройств, защищающих торцевые зоны цистерн и верхнюю зону сливо-наливной арматуры. Появление вариантов различных средств за-

щиты, приводят к увеличению массы тары и снижению эффективности.

Проводившиеся в 70-х и 80-х годах тщательные исследования прочностных свойств цистерн различного типа, позволило определить, что элементы котлов (сосудов) в различных зонах имеют различное напряжённо деформированное состояние. Эти результаты позволили спроектировать и начать серийное производство котлов для перевозки сжиженных газов с дифференцированными толщиной оболочки (рис. 5) [1].

Исходя из этого можно найти зоны менее нагруженные и перераспределить металл для использования его при создании средств защиты. В 70-х годах проводились исследования по созданию нескольких модификаций четырёхосных безрамных цистерн.

стерн. Были изготовлены и испытаны опытные образцы для различных видов грузов, но к серийному производству их не приняли в связи с отличием по длине от серийно выпускаемых цистерн.



Рис. 5. Опытная восьмиосная безрамная цистерна для сжиженного газа (аммиака)
Fig. 5. Experimental eight-axle frameless tanker for liquefied gas (ammonia)

Главный критерий, препятствующий широкому внедрению, служил факт того, что при возникновении аварийных ситуаций, связанных с ударами и сходами, достаточно просто заменить либо раму, либо котёл, что, по нашему мнению, является ошибочным тезисом. Проводившиеся в МИИТе комплекс работ по исследованию процессов аварийных режимов возникающих при перевозке жидких грузов в различных типах цистерн позволило определить условные аварийные режимы и нормировать условные расчётные силовые параметры при возникновении аварийных режимах [3]. Известны технические решения, применяемые на территории нашей страны, так, например, для защиты цистерн от пробоев уже упоминавшийся торцевые щиты, ограничители саморасцепа и дуги безопасности для защиты сливоналивной арматуры. Работы в этом направлении велись в 80-х годах в МИИТе [4, 5].

Установка торцевых защитных экранов производилась непосредственно на раму вагона, что по-нашему мнению не очень рационально, продольные нагрузки передавались через лапы, обеспечивающие крепление котла на раме. Котёл в центре берёт на себя всю нагрузку, а за счёт опирания кола на деревянные брусья, он начинает кивать. Между торцевой защитой

и котлом находится зазор для поглощения энергии, проблема заключается в лапах, наиболее уязвимым местом оказалось крепление котла к раме. При этом было выяснено, что продольные нагрузки передаются через ограниченную длину сварных швов, получается так, что защищается торцевая часть котла, но при этом из-за больших напряжений котёл раскалывается пополам (рис. 6).

Если рассматривать развитие цистерн за пределами страны, то можно акцентировать внимание на парк железнодорожных цистерн США, так как они ближайшие по объёму перевозок. Так на протяжении второй половине XX века, американские железные дороги обладали большими производственными мощностями, что позволяло выпускать большой объём грузовых вагонов, но при всех возможностях такой объём выпускать не удавалось. В США грузовой парк развивался через повышение осевых нагрузок. В то время, когда на железных дорогах СССР осевая нагрузка составляла 21 т/ось, в США осевые нагрузки достигала порядка 28 т/ось, так уже в 70-х годах грузоподъемность цистерн для перевозки пропана составляла 50 т., стоит отметить что данные цистерны были безрамные с длиной по осям сцепления 11,07 м (рис 7.)

Важно отметить, что на тот момент парк безрамных 4-осных цистерн составлял порядка 27 % от общего числа возможных конструктивных исполнений. Из обязательных средств защиты использо-

вался лишь предохранительный клапан, а сливноналивная арматура представляет собой лишь обслуживающую площадку с лестницей [8].

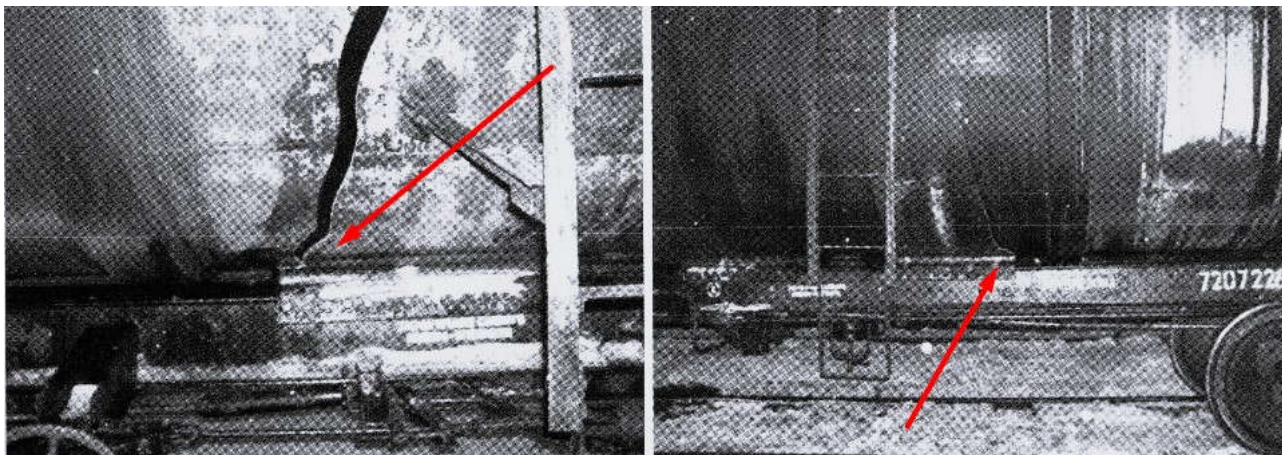


Рис. 6. Излом и трещина котла цистерны в местах крепления к раме
Fig. 6. Fracture and crack of the tank boiler at the attachment points to the frame

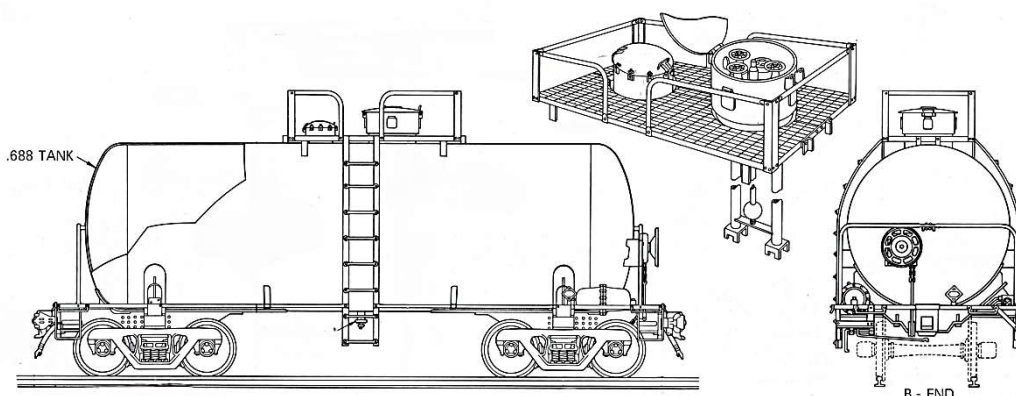


Рис. 7. Безрамная цистерна типа Dot-114A34W (США)
Fig. 7. Frameless tank type Dot-114A34W (USA)

Также встречались исполнения рамных цистерн с использованием массивных торцевых стенок, необходимых для защи-

ты котла от пробоя. Такой вид защиты имеет недостаток, связанный с сильным увеличением тары вагона (рис. 8) [9].



Рис. 8. Американская цистерна, снабжённая торцевыми стенами.
Fig. 8. American tank equipped with end walls

По мере развития зарубежного вагоностроения, инженеры конструкторы совместно с научными работниками, представили ограничители от саморасцепа, которые используются и по сей день. Они представляют из себя планку, расположенную либо с низу, либо с обеих сторон автосцепки, при превышающих допустимых значениях возвышения, планка упирается в другую автосцепку, поднимая её за собой, что не даёт им разъединиться.

Вопросами защитного оборудования для цистерн, задавались и европейские страны, так в Польше производились цистерны с применением защитных устройств: торцевых щитов; дуг безопасности; устройств от саморасцепа. Стоит отметить, что крепление цистерны поль-

ской разработки, хоть и имела средства защиты, но все так же крепилась в центральной части рамы, последствия такого крепления уже были рассмотрены выше.

Помимо США и разработками по безрамным цистернам велись в Китае, они также пытались реализовать безрамную конструкцию. Она представляла собой крепление котла к двум полурамам, само крепление имело несколько особенностей, в отличии от использования лежней и коробчатой опоры, применяемой на отечественных цистернах, тут используется толстенная листовая опора, помимо таких опор котёл крепят в зоне днища. Стоит отметить так же отсутствие какой-либо защиты днища цистерны от пробоя или защиты сливоналивной арматуры (рис. 9.)



Рис. 9. Безрамная цистерна производства Китая
Fig. 9. Frameless tank made in China

Решая вопрос создания безрамных цистерн Китай предлагает свой вариант конструкции, но как можно увидеть котёл состоит из порядка шести колец, сваренных вместе, что является серьёзной ошибкой. Каждый сварной шов представляет собой концентратор напряжений и требует к своему исполнению соблюдение технологии и последующего контроля, а также высокую квалификацию сварщика. Миними-

зация таких узлов обеспечит высокую надёжность конструкции.

При том, что в конструкции отсутствует рама, продольные нагрузки будет воспринимать котёл, для его усиления необходимо применить шпангоуты, показавшие высокую эффективность при проектировании отечественных восьмиосных цистерн.

Заключение

Вопросы безопасности на железнодорожном транспорте всегда являлись актуальными, так как нет возможности гарантировать безоговорочную сохранность

при перевозке грузов, всегда существуют риски возникновения аварийной ситуации, поэтому нет возможности отказаться от конструкции цистерны без средств защи-

ты. Предполагаемая безрамная цистерна должна быть выполнена с применением шпангоутов, а также оснащаться устройствами от саморасцепа, торцевыми щитами для защиты днища котла от пробоя, дугами безопасности для защиты сливно-наливных арматур. Важным вопросом при

дальнейшем исследовании будет применение дополнительных усилений конструкции для предотвращения пробоя котла самими средствами защиты, для этого необходимо создать модели и определить её оптимальные параметры.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Авторское свидетельство № 486932 СССР, МПК B61F 5/14, B61D 3/00. Опорное устройство кузова восьмиосного вагона : № 1950889 : заявл. 28.07.1973 : опубл. 05.10.1975 / А. Ф. Довженко, И. Н. Сухов, В. М. Манов [и др.]. – EDN FUGEJE.
2. Авторское свидетельство № 1076342 А1 СССР, МПК B61F 5/02. Опорное устройство кузова восьмиосного вагона на тележку : № 3577751 : заявл. 12.04.1983 : опубл. 28.02.1984 / В. М. Бубнов, М. Ф. Вериге, В. Н. Котуранов [и др.] ; заявитель Московский ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени институт инженеров железнодорожного транспорта, производственное объединение «ЖДАНОВТЯЖМАШ». – EDN QFRPCTC.
3. Нормы для расчёта и проектирования новых и модернизируемых вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных) / И. И. Разгонов, В. И. Калашников, В. Г. Иноземцев, С. В. Вершинский / ВНИИВ – ВНИИЖТ 1983 г. 259 с.
4. Патент № 2038240 C1 Российская Федерация, МПК B61D 5/00. железнодорожная цистерна : № 93041371/13 : заявл. 17.08.1993 : опубл. 27.06.1995 / В. Н. Филиппов, Ю. А. Шмыров, Р.

- Ф. Канивец [и др.] ; заявитель Московский государственный университет путей сообщения. – EDN NLYWYC.GATX tank car manual 4th ed.
5. Патент № 2038241 C1 Российская Федерация, МПК B61D 5/00. железнодорожная цистерна : № 93041378/13 : заявл. 17.08.1993 : опубл. 27.06.1995 / В. Н. Филиппов, Ю. А. Шмыров, Р. Ф. Канивец [и др.] ; заявитель Московский государственный университет путей сообщения. – EDN UBNQJK.
6. Технология вагоностроения и ремонта вагонов. Под ред. В. И. Безценного. Учебник для вузов ж.-д. транспорта. М., «Транспорт», 1976. 432 с. Авт.: В. И. Безценный, В. С. Герасимов, Б. М. Кернич, И. Ф. Скиба, Л. В. Терешкин
7. Филиппов В. Н. Расчёт на прочность котлов цистерн для перевозки сжиженных газов / В. Н. Филиппов, В. П. Мальцев, А. В. Смольянинов. // Газовая промышленность. – 1990. – № 5. – С. 50-56.
8. GATX tank car manual – 4-th edition. – General American Transportation corporation, 1979. - 179 p.
9. C. L. Combes. Car and locomotive cyclopedia of American practice / Association of American Railroads. Mechanical Division. 1970. -1074 p.

REFERENCES

1. Dovzhenko AF, Sukhov IN, Manov VM. Inventor's Certificate No. 486932 of the USSR, МПК B61F 5/14, B61D 3/00. Support device of the eight-axle car body. 1975 May 10.
2. Bubnov VM, Verigo MF, Koturanov VN. Inventor's Certificate No. 1076342 МПК B61F 5/02. Support device for the eight-axle car body. 1984 Febr 28.
3. Razgonov II, Kalashnikov VI, Inozemtsev VG, Vershinsky SV. Standards for the calculation and design of new and modernizable railcars of 1520 mm gauge (non-self-propelled). VNIIV – VNIIZHT; 1983.
4. Filippov VN, Shmyrov YuA, Kanivets RF. RF Patent No. 2038240 C1, МПК B61D 5/00. Railway tank. 1995 June 27.

5. Filippov VN, Shmyrov YuA, Kanivets RF. RF Patent No. 2038241 C1, МПК B61D 5/00. Railway tank. 1995 June 27.
6. Beztseenny VI, Gerasimov VS, Kernich BM, Skiba IF, Tereshkin LV. Technology of car building and repair: textbook for universities of railway transport. Moscow: Transport; 1976.
7. Filippov VN, Maltsev VP, Smolyaninov AV. Strength design of tank boilers for transportation of liquefied gases. Gas Industry. 1990;5:50-56.
8. GATX tank car manual, 4-th ed. General American Transportation corporation; 1979.
9. Combes CL. Car and locomotive cyclopedia of American practice. Association of American Railroads. Mechanical Division; 1970.

Информация об авторах:

Плотников Игорь Валентинович – кандидат технических наук, доцент, доцент каф. «Вагоны и ва-

гонное хозяйство» РУТ(МИИТ), Author-ID-РИН 1266240, тел 8-915-457-42-62.

Петров Геннадий Иванович – доктор технических наук, профессор, заведующий каф. «Вагоны и вагонное хозяйство» РУТ(МИИТ), Author-ID-РИНЦ 703184, тел. 8-985-767-46-27.

Plotnikov Igor Valentinovich – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Cars and Car Facilities at Russian University of Transport (MIIT), Author-ID-RIN 1266240, phone: 8-915-457-42-62.

Petrov Gennady Ivanovich – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Cars

Карачевский Павел Андреевич – ассистент, аспирант каф. «Вагоны и вагонное хозяйство» РУТ(МИИТ), Author-ID-РИНЦ 1250212, тел 8-950-922-38-44.

and Car Facilities at Russian University of Transport (MIIT), Author-ID-RSCI 703184, phone: 8-985-767-46-27.

Karachevsky Pavel Andreevich – Assistant, Postgraduate Student of the Department of Cars and Car Facilities at Russian University of Transport (MIIT), Author-ID-RSCI 1250212, phone: 8-950-922-38-44.

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 07.04.2025; одобрена после рецензирования 30.05.2025; принята к публикации 26.06.2025. Рецензент – Болдырев А.П. доктор технических наук, доцент Брянского государственного технического университета.

The article was submitted to the editorial office on 07.04.2025; approved after review on 30.05.2025; accepted for publication on 26.06.2025. The reviewer is Boldyrev A.P., Doctor of Technical Sciences, Associate Professor at Bryansk State Technical University.