



ТРАНСПОРТНОЕ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

Оригинальная статья

УДК 629.4.027.115

EDN: <https://elibrary.ru/icvwkk>



Корпус буксы грузового вагона из алюминиевого сплава: опыт разработки, производства и эксплуатационных испытаний (1958–1993 гг.) и современные перспективы

А. В. Лапа¹, И. С. Гершман²✉, С. В. Новиков^{3,4}

¹ Объединенная компания РУСАЛ Торговый дом,
Москва, Российская Федерация

² Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта (ВНИИЖТ),
Москва, Российская Федерация

³ Международная академия транспорта,
Москва, Российская Федерация

⁴ РИЦ «ТЕХНОСФЕРА»,
Москва, Российская Федерация

АННОТАЦИЯ

Введение. В настоящее время актуально использование свойств алюминиевых сплавов для решения проблем грузоподъемности вагонов. Узлы грузового вагона из алюминиевых сплавов примерно в три раза легче стальных, что позволяет при сохранении заданной нагрузки на ось перевозить больше грузов тем же количеством вагонов. Начало применения алюминия в качестве конструкционного материала для изготовления корпусов буксовых узлов положено Уральским вагоностроительным заводом еще в 1950-х гг.

Материалы и методы. Выполнен обзор исследований по изготовлению корпусов букс колесных пар грузовых вагонов из алюминиевых сплавов в нашей стране и за рубежом. Изучены технологии производства алюминиевого корпуса буксы, а также результаты стендовых и эксплуатационных испытаний.

Результаты. Анализ технологий производства корпусов букс из алюминиевых сплавов и результатов эксплуатационных испытаний опытной партии букс позволил получить перечень положительных и отрицательных сторон данной конструкции, а также сделать вывод о целесообразности ее применения.

Обсуждение и заключение. Предлагается возобновить работы по применению алюминиевых сплавов для изготовления корпусов букс грузовых вагонов с учетом современных условий эксплуатации. В целях подтверждения технико-экономической эффективности следует провести комплекс стендовых и эксплуатационных испытаний с применением современных диагностических комплексов.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: грузовые вагоны, корпус буксы, алюминиевые сплавы, распределение нагрузки на тела качения, механические свойства, стендовые испытания, эксплуатационные испытания

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Лапа А. В., Гершман И. С., Новиков С. В. Корпус буксы грузового вагона из алюминиевого сплава: опыт разработки, производства и эксплуатационных испытаний (1958–1993 гг.) и современные перспективы // Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (Вестник ВНИИЖТ). 2024. Т. 83, № 1. С. 82–90.

✉ gershman.iosif@vniizht.ru (И. С. Гершман)

© Лапа А. В., Гершман И. С., Новиков С. В., 2024

Original article

UDK 629.4.027.115

EDN: <https://elibrary.ru/icvwkk>



Aluminium alloy wagon axle box: experience of development, production and operational tests (1958–1993) and modern prospects

Alexander V. Lapa¹, Iosif S. Gershman²✉, Sergey V. Novikov^{3,4}

¹ United Company RUSAL Trading House,
Moscow, Russian Federation

² Railway Research Institute,
Moscow, Russian Federation

³ International Transport Academy,
Moscow, Russian Federation

⁴ TECHNOSPHERA Advertising and Publishing,
Moscow, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. Solutions to car weight-bearing capacity problems currently tend to benefit from the properties of aluminium alloys. Aluminium alloy wagon units are about three times lighter than steel ones, which helps to carry more freight with the same number of cars while maintaining the specified axle load. The Ural Wagon Factory was the first to use aluminium as a structural material for the manufacture of axle box mount in the 1950s.

Materials and methods. This paper reviews the research on the production of wagon wheel pair axle boxes from aluminium alloys in Russia and abroad. It examines the manufacturing techniques of the aluminium axle box and the results of bench and operational tests.

Results. The analysis of production technologies of aluminium alloy axle boxes and the results of operational tests of the pilot batch of axle boxes revealed the advantages and disadvantages of this design and led to the conclusions about its feasibility.

Discussion and conclusion. The authors propose to resume the use of aluminium alloys in wagon axle boxes considering modern operating conditions. Confirmation of its technical and economic efficiency requires a set of bench and operational tests with the use of modern diagnostic tools.

KEYWORDS: wagons, axle box, aluminium alloys, distribution of load on rolling bodies, mechanical properties, bench tests, operational tests

FOR CITATION: Lapa A. V., Gershman I. S., Novikov S. V. Aluminium alloy wagon axle box: experience of development, production and operational tests (1958–1993) and modern prospects. *Russian Railway Science Journal*. 2024;83(1):82-90. (In Russ.).

Введение. В Долгосрочной программе развития ОАО «РЖД» до 2025 года¹ предусмотрены мероприятия по увеличению пропускной способности имеющейся железнодорожной инфраструктуры и строительству новых железнодорожных путей. Однако перевозочная мощность железных дорог обуславливается не только пропускной способностью инфраструктуры, но и техническими параметрами вагонного парка и весом грузовых поездов нетто [1].

На протяжении всей истории железнодорожных перевозок с развитием тяги и возможностей инфраструктуры происходит увеличение массы и составности грузовых поездов. Если ответственность за увеличение массы поезда в большей степени лежит на железнодорожной инфраструктуре и тяговых возможностях локомотивов, то сохранение длины поезда в разумных пределах определяется степенью развития вагонного парка. Для сохранения длины поезда, при которой существующая инфраструктура железнодорожных станций позволит осуществлять прием, отправку и обработку тяжеловесных поездов, требуется увеличивать грузоподъемность вагонов. Грузоподъемность вагонов характеризуется и ограничивается в первую очередь максимально допустимой нагрузкой на ось — массой тары вагона и перевозимого груза, приходящейся на каждую колесную пару вагона. Существующая инфраструктура российских железных дорог позволяет эксплуатировать вагоны с нагрузкой на ось 228–245 кН (23,5–25 тс) [1].

В настоящее время наиболее распространенной грузовой тележкой на железнодорожном пространстве 1520 является трехэлементная тележка модели 18-100 (ЦНИИ-ХЗ), разработанная в 30-е гг. XX в. инженером А. Г. Ханиным. В разные годы нагрузка на ось и максимально допустимая скорость тележки менялись и достигали 25 тс и 120 км/ч соответственно, но в настоящее время тележка характеризуется нагрузкой на ось в 23 тс и максимальной скоростью в 120 км/ч.

В погоне за грузоподъемностью, надежностью и максимальной конструкционной скоростью конструкторы и производители вагонов разрабатывают новые типы тележек и буксовых узлов колесных пар [2]. При проектировании буксовых узлов все больше внимания уделяется кассетным подшипникам. Отличием кассетных подшипников от обычных роликовых подшипников является компактность, возможность восприятия повышенных ударных нагрузок, а также увеличение эксплуатационной надежности и гарантийного срока [3–6]. При этом в качестве элемента,

передающего нагрузку на подшипник колесной пары, используется стальной адаптер (полубукса).

В целях выполнения задач, поставленных Правительством России по увеличению пропускной и провозной способности железных дорог, стоит принять во внимание альтернативные подходы к увеличению нагрузки на ось колесной пары вагона с учетом одновременного увеличения номинального ресурса подшипников, снижения воздействия на путь и повышения износостойкости колесных пар. Для решения проблем грузоподъемности вагонов могут применяться алюминиевые сплавы: алюминий в три раза легче стали, поэтому можно перевозить больший объем грузов при неизменном количестве вагонов и неизменной нагрузке на ось. Как правило, из алюминия изготавливается кузов вагона. Логичным продолжением данной тенденции является замена стальных деталей тележки на алюминиевые. В СССР был накоплен опыт применения алюминиевых сплавов для изготовления корпусов букс для грузовых вагонов².

Настоящая статья посвящена обзору исследований по изготовлению корпусов букс из алюминиевых сплавов грузовых вагонов и оценке перспектив возобновления работ по данному направлению в современных условиях эксплуатации.

История разработки. Применение алюминиевых сплавов для изготовления корпусов букс грузовых вагонов было начато еще в 1958 г. Инициаторами работ по созданию алюминиевых корпусов букс грузовых вагонов стали специалисты отдела главного конструктора Уралвагонзавода [7]. Первые образцы корпусов букс из алюминиевых сплавов были изготовлены в 1960 г. Первоначально была выбрана технология литья в землю, материалом был выбран алюминиевый сплав АЛ-9 [8, 9]. Опытная партия корпусов букс составила 11 шт., конструкция экспериментальных корпусов полностью повторяла конструкцию стального корпуса буксы, что обеспечивало их взаимозаменяемость. При проведении эксплуатационных испытаний у части экспериментальных корпусов букс произошли изломы направляющих челюстей либо были выявлены трещины в месте сопряжения направляющей челюсти с корпусом со стороны лабиринта. Анализ показал, что причиной изломов являлось наличие литейных дефектов. При этом часть корпусов успешно наработали 763 тыс. км, и их состояние оставалось удовлетворительным. По результатам научно-исследовательских работ, выполненных ВНИИЖТ, первый опыт эксплуатации корпусов

¹ Долгосрочная программа развития ОАО «РЖД» до 2025 года [Электронный ресурс]: утв. распоряжением Правительства Российской Федерации от 19 марта 2019 г. № 466-р. URL <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293730/4293730950.pdf> (дата обращения: 02.07.2023).

² Алюминиевые сплавы. Металловедение алюминия и его сплавов: справ. рук-во. М.: Металлургия, 1971. 352 с.; Алюминиевые сплавы. Промышленные деформируемые, спеченные и литейные алюминиевые сплавы: справ. рук-во. М.: Металлургия, 1972. 552 с.

буксовых узлов из алюминиевого сплава был признан положительным.

Зарубежный опыт. За рубежом накоплен опыт использования алюминиевых сплавов для корпусов букс, однако, так как все преимущества сводятся к облегчению массы, основное применение они находят в вагонах метрополитенов, пригородных и скоростных пассажирских поездах — изготавливаются кузова вагона и его детали, корпуса редукторов, корпуса букс [10]. Компания A&M Manufacturing Co Ltd (Китай) производит буксы из алюминиевого сплава 7050 для высокоскоростных поездов³. Опыт применения алюминиевых сплавов для корпусов букс грузовых вагонов очень незначителен. Причина этого, по-видимому, связана с несущественным снижением массы грузового вагона [11]. Другие преимущества применения алюминиевых корпусов букс для грузовых вагонов не рассматривались.

Результаты эксплуатационных испытаний. В 60-е гг. прошлого столетия Уралвагонзавод совместно с ВНИИЖТ, Днепропетровским институтом инженеров железнодорожного транспорта (ДИИТ) и Каменск-Уральским металлургическим заводом (КУМЗ) разработали, изготовили и провели эксплуатационные испытания корпусов букс из механически обработанных фасонных труб. Фасонная труба была изготовлена методом экструзии из сплава АМг6 и имела обозначение ТФ-2⁴. По форме она имела наружные очертания корпуса буксы, а внутренний диаметр был с припуском на механическую обработку [12, 13].

Первое опытное прессование было проведено в 1966 г. В 1968 г. была изготовлена первая опытная партия алюминиевых букс и были начаты стендовые и эксплуатационные испытания. В 1971 и 1973 гг. конструкция корпуса была доработана. Образцы трубы ТФ-2, мерная заготовка из трубы и корпус буксы приведены на рис. 1, 2, 3 соответственно.

Испытания проводились вплоть до 1980 г. За весь период (12 лет) эксплуатационных испытаний общая наработка опытных букс составила 930 тыс. км, алюминиевые корпуса букс и работающие с ними подшипники не потребовали ни одной внеплановой замены, что оказало положительное влияние на безопасность движения поездов [14].

Корпуса букс, получаемые из алюминиевого сплава методом прессования, в 1984 г. были рекомендованы межведомственной приемочной комиссией и поставлены на серийное производство. В эксплуатации к тому времени находилось около 5 тыс. алюминиевых корпусов. Массовое производство корпусов букс из

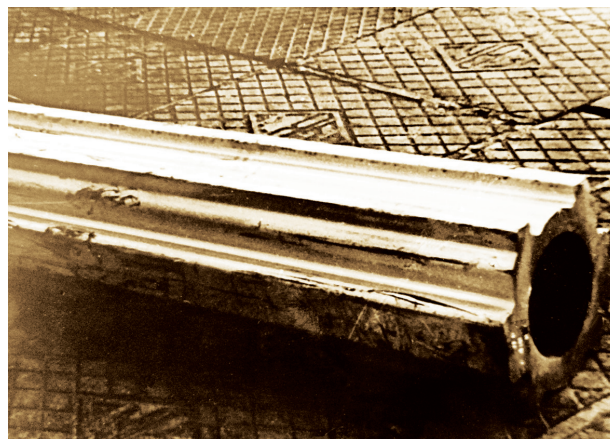


Рис. 1. Труба ТФ-2

Fig. 1. TF-2 pipe



Рис. 2. Мерная заготовка из трубы ТФ-2 для корпуса буксы

Fig. 2. Measuring billet from TF-2 pipe for axle box

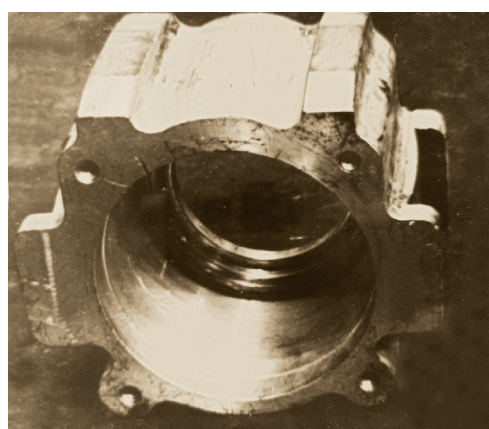


Рис. 3. Корпус буксы из трубы после механической обработки

Fig. 3. Axle box made of pipe after mechanical treatment

³ Aluminum alloy axle box. URL: <https://www.am-casting.com/railway-accessories/57274229.html> (дата обращения: 26.10.2023).

⁴ А. с. №1585195 СССР, МПК В61F 15/12(2006.01). Корпус буксы из алюминиевого сплава: №4383308: заявл. 09.12.1987: опубл. 15.08.1990 /Новиков В. В., Двухглавов В. А., Ткачук З. Г. [и др.]. 2 с.



Рис. 4. Штампованная заготовка для корпуса буксы

Fig. 4. Stamped billet for axle box

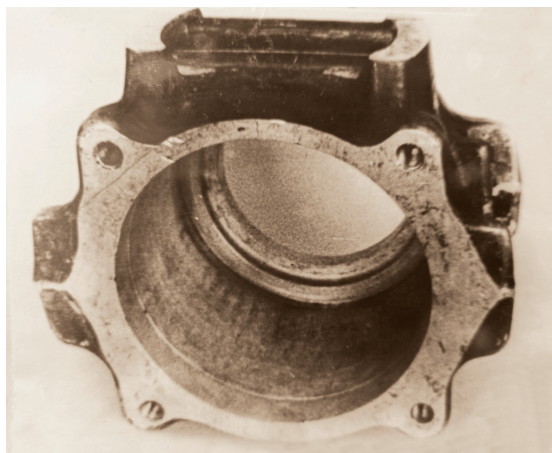


Рис. 5. Корпус из штампованной заготовки после механической обработки

Fig. 5. Axle box made of stamped billet after mechanical treatment

профильной трубы ТФ-2 было организовано на Люблинском литейно-механическом и Уфимском тепловозоремонтном заводах.

Алюминиевые корпуса букс по отношению к стальным имеют недостаток, выражающийся в более интенсивном износе контактных поверхностей с буксовым проемом тележки, что негативно сказывалось на сроке службы корпусов. Интенсивность износа достигала в среднем около 1 мм на каждые 100 тыс. км пробега вагона [15–17]. Для решения данной проблемы предложен симметричный

в горизонтальной плоскости корпус буксы [18]. При износе контактных поверхностей буксы без проведения демонтажа поворачивалась на 180 градусов вокруг оси вращения, в результате чего эксплуатация буксы могла быть продолжена. На данное техническое решение было получено авторское свидетельство на изобретение⁵. В феврале 1990 г. предложенная конструкция корпуса буксы внедрена в серийное производство. Заготовкой для изготовления данных корпусов служила фасонная труба ТФ-5 из сплава АМгб.

В 1989 г. группой специалистов ВНИИЖТ, Всесоюзного научно-исследовательского и проектно-конструкторского института металлургического машиностроения (ВНИИМЕТМАШ), Люблинского литейно-механического завода, КУМЗ и Уралвагонзавода была разработана технология производства корпусов букс по чертежу 100.10.009-3 из штампованной алюминиевой заготовки УВ-37⁶. На рис. 4 и 5 приведены штампованная заготовка и корпус буксы, изготовленный из нее, соответственно.

Комплекс проводимых исследований показал, что выбранная конструкция корпуса из сплава АМгб обладает достаточным запасом прочности как при статическом, так и циклическом приложении нагрузки. Были проведены сравнительные испытания корпусов букс из прессованной трубы (к испытаниям были приняты корпуса, изготовленные из труб, поставленных Самарским металлургическим производственным объединением) и штампованных заготовок без отжига и с отжигом (поставленные КУМЗ). Результаты испытаний показали, что прочность направляющих челюстей у корпусов букс из штампованной заготовки выше, чем у букс из прессованной трубы, хотя материал букс в обоих случаях один и тот же — алюминиевый сплав АМгб [19, 20].

В 1990 г. Красноярский металлургический завод (КраМЗ) предложил МПС свой вариант штампованных заготовок (чертеж Б-1М) для изготовления корпуса буксы из алюминиевого сплава АМгб по чертежу 100.10.009-3 (рис. 6).

В период 1992–1993 гг. силами ВНИИЖТ была выполнена программа стендовых испытаний. Результаты испытаний показали, что корпуса букс, изготовленные из штамповок КраМЗ, по прочностным характеристикам соответствуют корпусам, изготовленным из штамповок КУМЗ, и превосходят корпуса, получаемые из прессованных фасонных труб. Результаты испытаний нагруженности подшипников показали, что при нагрузке в 235 кН (23,5 тс) корпуса букс

⁵ А. с. № 1306782 СССР, МПК В61F 15/12 (2006.01). Корпус буксы из алюминиевого сплава для железнодорожного подвижного состава: № 2016137520: заявл. 19.04.1985; опубл. 30.04.1987 / Буше Н. А., Савчук О. М., Деяткин В. П. [и др.]. 4 с.

⁶ А. с. № 568493 СССР, МПК В21J 5/00(2006.01). Заготовка для получения корпуса буксы железнодорожных вагонов методом горячей штамповки: № 1870556: заявл. 12.01.1973; опубл. 15.08.1977 / Кузько Ю. П., Копыский Б. Д., Залбштейн А. О. [и др.]. 2 с.

находятся на рекомендованном уровне технологической и конструктивной проработки для серийного производства, а при испытаниях под нагрузкой в 300 кН для перспективных условий эксплуатации с повышенными нагрузками на ось корпус буксы обеспечивает более благоприятные условия для нагрузки подшипников, что позволит в эксплуатации иметь повышенную их долговечность (более чем на 30%) за счет уменьшения браковки по усталостным повреждениям [21–24].

В работе Д. Б. Грица [25] рассмотрен вопрос распределения нагрузки по телам качения. В частности, утверждается, что для корпусов буксовых узлов, выполненных по чертежу 100.10.009-0 (и аналогичных), ролики, находящиеся под действием радиальной нагрузки (в центре), являются недогруженными в сравнении со смежными с ними, а наиболее нагруженный ролик смещен от вертикали под углом α или 2α . В рассматриваемом случае на угол $\alpha = 25^\circ 42'$ от вертикальной оси смещена наиболее нагруженная точка. Нагрузка, приходящаяся на находящийся в этом месте ролик, в сравнении с расчетной для переднего подшипника меньше на 12–16%, для заднего — на 13–15%. Зависимость номинального ресурса подшипника от воспринимаемой им эквивалентной динамической нагрузки обратно пропорциональная: чем больше нагрузка, тем меньше ресурс [6, 26, 27].

Более оптимальное распределение нагрузки на тела качения буксовых подшипников достигается при использовании корпусов букс из алюминиевого сплава, что описано в работах [7, 28, 29, 30].

В работе [16] описаны сравнительные динамические испытания четырехосных полувагонов на тележках ЦНИИ-Х3-О, оборудованных корпусами букс из алюминиевого сплава АМг6 (метод изготовления — из прессованной трубы ТФ-2) и стальными стандартными корпусами букс. Во время испытаний при нагрузках на ось 23,25 т и скоростях движения от 50 до 120 км/ч регистрировались силы взаимодействия вагонов и пути, динамические ускорения корпусов букс и кузова, усилия в ходовых частях вагона. Чтобы исключить влияние на результаты испытаний побочных факторов, опытные поездки проводились в два этапа: сначала на тележки были установлены стальные корпуса букс, а затем буксы из алюминиевого сплава. Параметры вагонов и пути оставались практически без изменений.

Анализ результатов испытаний показал, что применение корпусов букс из алюминиевых сплавов положительно сказывается на взаимодействии вагона и пути. Уровень вертикального воздействия на путь характеризуется, как известно, величиной статической нагрузки на ось и знакопеременными добавками к ней, вызываемыми колебаниями вагона и оцениваемыми средними квадратичными отклонениями сил и прогибов рельсов от их средних значений. При проследовании вагона



Рис. 6. Корпус буксы из штампованной заготовки КраМЗ. Слева — вид передней стороны, справа — вид со стороны лабиринта

Fig. 6. Axle box made of stamped billets by the Krasnoyarsk Metallurgical Plant. Left — front view, right — labyrinth side view

с алюминиевыми корпусами букс эти отклонения оказывались на 10–15% ниже, чем при движении вагона, оборудованного стальными корпусами. Соответственно, наибольшие вероятностные значения вертикальных сил и прогибов рельсов в диапазоне скоростей от 50 до 100 км/ч у таких вагонов оказались на 9–12% ниже, чем у вагонов со стальными корпусами. Обработка записей сил взаимодействия, зарегистрированных на вагоне (в колесах динамометрической колесной пары), позволила подтвердить результаты измерений в пути.

Вертикальные ускорения буксовых узлов и коррелирующие с ними коэффициенты динамики неподдрессоренных масс вагона (определенные по усилиям в боковых рамах тележек) уменьшились при установке алюминиевых корпусов по средним значениям на 12–15%, по максимальным вероятностным — на 9–10%. Снизились также на 15% вертикальные ускорения кузова полувагона вблизи пятниковых узлов. Анализ спектральных плотностей динамических процессов в вагонах со стальными и алюминиевыми корпусами букс показал, что последние весьма эффективно погашают высокочастотные вибрации, что способствует уменьшению амплитуды колебаний.

В целом по результатам испытаний сделан вывод, что корпуса букс из алюминиевых сплавов обеспечивают снижение динамических сил и ускорений на тележках ЦНИИ-Х3-О, а также воздействие их на путь не менее чем на 9% [22, 31].

Результаты комплексных исследований и испытаний подтвердили высокую техническую эффективность корпусов букс из алюминиевого сплава АМг6. Благодаря им достигается уменьшение уровня динамических сил взаимодействия вагона и пути, что особенно важно в связи с увеличением нагрузки на ось, а также повышением долговечности работы подшипников.

Выявленное при динамических испытаниях снижение динамических сил взаимодействия вагона и пути должно снизить интенсивность износа элементов пути и поверхности катания колеса, а также способствовать увеличению технической скорости вагонов. На опытных маршрутах Кривой Рог — Ужгород и Экибастуз — Омск были измерены в начальный период прокаты колес с алюминиевыми корпусами букс, затем периодически проводились повторные измерения. Также в маршрут Кривой Рог — Ужгород были включены первые вагоны со стальными корпусами букс, у которых тоже проводили измерения проката колес для сравнения [32].

Статистическая обработка данных измерений, выполненная в ДИИТе, показала, что за полтора года испытаний (115 тыс. км пробега) средний пробег на 1 мм проката для колесных пар с алюминиевыми корпусами букс составил 76 тыс. км, а со стальными — 70 тыс. км, т. е. на 10 % выше. Это подтверждает данные динамических испытаний о положительном влиянии алюминиевых корпусов на уменьшение динамических сил. Полученные на маршрутах Экибастуз — Омск данные по износам колес и гребней показали преимущества алюминиевых корпусов букс. Средний за два года пробег на 1 мм проката составил 100 тыс. км, что было значительно выше среднесетевого уровня [7].

В 1991 г. заказы на алюминиевые корпуса резко снизились, а затем совсем прекратились в связи с тем, что стоимость их была выше, чем стальных [18]. Второй причиной (а по мнению экспертов — главной), по которой корпуса букс из алюминиевых сплавов не получили развития и в настоящее время не применяются, явилось их хищение из-под вагонов, находящихся в составе поездов, что приводило к значительному простоя поездов в ожидании восстановительного ремонта, а также убыткам грузоотправителей, операторов железнодорожных перевозок и грузополучателей. Однако статистических данных по данной проблеме в доступных источниках обнаружить не удалось.

Обсуждение и заключение. В СССР промышленное применение алюминия строго ранжировалось, и алюминий использовался исключительно в оборонной промышленности и авиастроении. Поэтому для нужд МПС были выделены фонды только на алюминиевый сплав марки АМгб. В настоящее время таких ограничений нет, в связи с чем представляется целесообразным провести НИР по выбору наиболее отвечающего запросам оптимального алюминиевого сплава для изготовления корпусов букс грузовых вагонов с учетом современных условий эксплуатации.

Исходя из того, что применение алюминиевых корпусов букс позволяет снизить динамическое воздействие на путь, предлагается провести исследования по влиянию алюминиевого корпуса буксы на боковой

износ колес и рельсов. Данные исследования особенно актуальны для кривых малых радиусов.

Анализ литературных источников, в которых рассматривались различные технологии изготовления корпусов алюминиевых букс, показал, что перспективным методом их изготовления является штамповка.

В связи с внедрением кассетных подшипников перспективно рассмотреть возможность изготовления адаптера из алюминиевого сплава, что может позволить увеличить долговечность подшипника. При этом необходимо провести исследования теплового режима кассетного подшипника. Так как теплопроводность алюминия в пять раз больше, чем у стали, то можно ожидать снижения рабочей температуры кассетного подшипника в процессе эксплуатации.

О надежности корпусов букс говорит тот факт, что за период 12-летних эксплуатационных испытаний (общий пробег 930 тыс. км) алюминиевые корпуса букс и работающие с ними подшипники не имели ни одного внезапного отказа и полностью обеспечили безопасность движения поездов.

Представленный анализ показывает, что работы по применению алюминиевых сплавов для изготовления корпусов букс грузовых вагонов целесообразно возобновить.

Финансирование: авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

Funding: the authors received no financial support for the research, authorship, and publication of this article.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов и не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах и методах.

Conflict of interest: the authors declare no conflict of interest and no financial interests in any material discussed in this article.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Аль-Шумари А. С., Котенко О. В. Влияние веса и скорости грузовых поездов на провозную способность однопутных линий большой грузонапряженности // Известия Петербургского университета путей сообщения. 2011. № 1 (26). С. 27–35 [Al-Shumary A. S., Kotenko O. V. Influence of freight train weight and speed on carrying capacity of single-track lines having great traffic density. *Proceedings of Petersburg Transport University*. 2011;(1):27-35. (In Russ.)]. EDN: <https://www.elibrary.ru/ntzcaf>.
2. Бороненко Ю. П., Орлова А. М. Тележки с повышенной осевой нагрузкой // Железнодорожный транспорт. 2008. № 10. С. 50–54 [Boronenko Yu. P., Orlova A. M. Increased axial load bogies. *Zheleznodorozhnyy transport*. 2008;(10):50-54. (In Russ.)]. EDN: <https://www.elibrary.ru/julgit>.
3. Подшипники качения: справ.-каталог / под ред. В. Н. Нарышкина, Р. В. Коросташевского. М.: Машиностроение, 1984. 280 с. [Naryshkin V. N., Korostashevskiy R. V. (eds.) *Roller bearings: a reference catalogue*. Moscow: Mashinostroenie Publ.; 1984. 280 c. (In Russ.)].
4. Савчук О. М. Влияние упругости корпуса буксы на работу подшипников // Динамика механических систем. Киев: Наукова думка, 1983. С. 139–149 [Savchuk O. M. Influence of axle housing elasticity on bearing performance. In: *Dynamics of mechanical systems*. Kiev: Naukova Dumka Publ.; 1983. p. 139–149. (In Russ.)].

5. Фавстов Ю. К., Шульга Ю. Н. Сплавы с высокими демпфирующими свойствами. М.: Металлургия, 1973. 255 с. [Favstov Yu. K., Shulga Yu. N. *Alloys with high damping properties*. Moscow: Metallurgiya Publ.; 1973. 255 p. (In Russ.)].
6. Цюренко В. Н., Петров В. А. Надежность роликовых подшипников в буксах вагонов. М.: Транспорт, 1982. 96 с. [Tsyurenko V. N., Petrov V. A. *Reliability of roller bearings in carriage axleboxes*. Moscow: Transport Publ.; 1982. 96 p. (In Russ.)].
7. Абашкин В. В. Результаты контрольных испытаний работоспособности роликовых подшипников в буксах с упругими элементами // Повышение надежности и долговечности роликовых подшипников в буксах вагонов. М.: Транспорт, 1978. С. 102–112. (Труды ЦНИИ МПС; вып. 583) [Abashkin V. V. Results of verification tests of roller bearings in axleboxes with elastic elements. In: *Increasing roller bearing reliability and durability in car axleboxes*. Moscow: Transport Publ.; 1978. p. 102–112. (Proceedings of TsNII MPS; Issue 583). (In Russ.)].
8. Детали роликового буксового узла из алюминиевого сплава / В. В. Новиков [и др.] // Вопросы оптимизации деталей тележек и организации обслуживания вагонов: межвуз. сб. науч. тр. / Днепропетровский ин-т инженеров ж.-д. транспорта. Днепропетровск: ДИИТ, 1985. С. 11–15 [Novikov V. V., Tsyurenko V. N., Solodukho O. A., Dvukhglavov V. A., Zhakovskiy A. D. Aluminium alloy roller axlebox parts. In: *Questions of bogie parts optimisation and car maintenance organisation: interuniversity collection of scientific articles*. Dnepropetrovsk: Dnepropetrovsk Institute of Railway Engineers; 1985. p. 11–15. (In Russ.)].
9. Исследование прочности направляющих челюстей алюминиевых корпусов букс грузовых вагонов / В. В. Новиков [и др.] // Вестник Всероссийского научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (Вестник ВНИИЖТ). 1994. № 2. С. 19–21 [Novikov V. V., Shotashvili Ya. M., Solov'ev A. I., Bakhmutov V. F. Study of the strength of jaw guides of aluminium axleboxes of freight cars. *Russian Railway Science Journal*. 1994;(2):19–21. (In Russ.)].
10. Sun X., Han X., Dong C., Li X. Applications of Aluminum Alloys in Rail Transportation. In: Dobrzański L. A. (ed.) *Advanced Aluminum Composites and Alloys*. London: Intechopen; 2021. Vol. 9. 284 p. <http://doi.org/10.5772/intechopen.96442>.
11. Речкалов А. И. Опыт использования алюминиевых сплавов в зарубежном вагоностроении // Железнодорожный транспорт за рубежом. Серия II: Подвижной состав. Локомотивное и вагонное хозяйство. 1980. Вып. 6. С. 12–20 [Rechkalov A. I. Experience in the use of aluminium alloys in foreign railcar construction. *Zheleznodorozhnyy transport za rubezhom. Seriya II: Podvizhnoy sostav. Lokomotivnoye i vagonnoye khozyaystvo*. 1980;(6):12–20. (In Russ.)].
12. Веденкин С. Г. Алюминиевые сплавы для подвижного состава. М.: Трансжелдориздат, 1962. 44 с. [Vedenkin S. G. *Rolling stock aluminium alloys*. Moscow: Transzheldorizdat Publ.; 1962. 44 p. (In Russ.)].
13. Прессованные трубы из алюминиевых сплавов для деталей роликового буксового узла / В. В. Новиков [и др.] // Вопросы оптимизации деталей тележек и организации обслуживания вагонов: межвуз. сб. науч. тр. / Днепропетровский ин-т инженеров ж.-д. транспорта. Днепропетровск: ДИИТ, 1985. С. 7–11 [Novikov V. V., Tkachuk Z. G., Semin N. A., Shishmentsev V. I. Extruded aluminium alloy tubes for roller axlebox components. In: *Questions of bogie parts optimisation and car maintenance organisation: interuniversity collection of scientific articles*. Dnepropetrovsk: Dnepropetrovsk Institute of Railway Engineers; 1985. p. 7–11. (In Russ.)].
14. Корпус роликовых букс грузовых вагонов из алюминиевых сплавов / Н. А. Буше [и др.] // Пути совершенствования конструкций буксовых узлов вагонов с подшипниками качения. М.: Транспорт, 1982. С. 98–102. (Труды ВНИИЖТ; вып. 654) [Bushe N. A., Tsyurenko V. N., Novikov V. V., Savchuk O. M. Aluminium alloy roller axle housings for freight cars. In: *Ways to improve car roller bearing axlebox design*. Moscow: Transport Publ.; 1982. p. 98–102. (Proceedings of the Railway Research Institute; Issue 654). (In Russ.)].
15. Авдеев В. К. Влияние вибрации на процессы трения и износа сопряженных пар // Трение, износ и смазочные материалы: тр. междунар. научн. конф., Ташкент, 22–26 мая 1985 г. Ташкент: ТашПИ, 1985. Т. IV. С. 18–19 [Avdeev V. K. Influence of vibration on friction and wear of mating pairs. In: *Friction, wear and lubricants: proceedings of the international scientific conference, 22–26 May 1985, Tashkent*. Tashkent: TashPI; 1985. Vol. IV. p. 18–19. (In Russ.)].
16. Корпус буксы из алюминиевого сплава / Н. А. Буше [и др.] // Железнодорожный транспорт. 1981. № 10. С. 53–55 [Bushe N. A., Savchuk O. M., Novikov V. V., Churin V. G., Frenkel V. Ya. Aluminium alloy axle housing. *Zheleznodorozhnyy transport*. 1981;(10):53–55. (In Russ.)].
17. Слушкин И. В. Разработка рациональных конструкций корпусов букс подвижного состава на роликовых подшипниках. М.: Трансжелдориздат, 1961. С. 110–136. (Труды ВНИИЖТ; вып. 221) [Slushkin I. V. *Rational design of rolling stock roller bearing axle housings*. Moscow: Transzheldorizdat Publ.; 1961. p. 110–136. (Proceedings of the Railway Research Institute; Issue 221). (In Russ.)].
18. Буше Н. А. Некоторые соображения о технической политике в области эксплуатационной надежности // Железные дороги мира. 2006. № 7. С. 27–30 [Bushe N. A. Some considerations on technical operational reliability policies. *Zheleznyye dorogi mira*. 2006;(7):27–30. (In Russ.)].
19. Новиков В. В., Шоташвили Я. М., Соловьев А. И. Совершенствование корпуса буксы из алюминиевого сплава // Вопросы совершенствования конструкции и технического содержания вагонов: межвуз. сб. науч. тр. / Днепропетровский ин-т инженеров ж.-д. транспорта. Днепропетровск: ДИИТ, 1991. С. 13–20 [Novikov V. V., Shotashvili Ya. M., Solov'ev A. I. Improving aluminium alloy axle housing. In: *Issues of improvement of carriage design and maintenance: interuniversity collection of scientific articles*. Dnepropetrovsk: Dnepropetrovsk Institute of Railway Engineers; 1991. p. 13–20. (In Russ.)].
20. Савчук О. М., Пастернак Н. А., Жаковский А. Д. Сравнительные стендовые испытания корпусов роликовых букс // Совершенствование конструкции и обслуживания вагонов: межвуз. сб. науч. тр. / Днепропетровский ин-т инженеров ж.-д. транспорта. Днепропетровск: ДИИТ, 1989. С. 12–18 [Savchuk O. M., Pasternak N. A., Zhakovskiy A. D. Comparative bench testing of roller axle housings. In: *Improving carriage design and maintenance: interuniversity collection of scientific articles*. Dnepropetrovsk: Dnepropetrovsk Institute of Railway Engineers; 1989. p. 12–18. (In Russ.)].
21. Буше Н. А., Копытько В. В. Причины овализации внутренней поверхности алюминиевых корпусов букс // Вопросы оптимизации деталей тележек и организации обслуживания вагонов: межвуз. сб. науч. тр. / Днепропетровский ин-т инженеров ж.-д. транспорта. Днепропетровск: ДИИТ, 1985. С. 3–6 [Bushe N. A., Kopytko V. V. Causes of ovalisation of the inner surface of aluminium axle housings. In: *Questions of bogie parts optimisation and car maintenance organisation: interuniversity collection of scientific articles*. Dnepropetrovsk: Dnepropetrovsk Institute of Railway Engineers; 1985. p. 3–6. (In Russ.)].
22. Костеева Т. Н. Работоспособность подшипников в буксах грузовых вагонов с нагрузкой от оси на рельсы 250 кН // Пути совершенствования конструкций буксовых узлов вагонов с подшипниками качения. М.: Транспорт, 1982. С. 26–31 (Труды ВНИИЖТ; вып. 654) [Kosteeva T. N. Bearing serviceability in freight car axleboxes with axle-to-rail load of 250 kN. In: *Ways to improve car roller bearing axlebox design*. Moscow: Transport Publ.; 1982. p. 26–31. (Proceedings of the Railway Research Institute; Issue 654). (In Russ.)].
23. Результаты статических испытаний роликовой буксы грузового вагона с корпусом из алюминиевого сплава / Ю. Д. Мельниченко [и др.] // Вопросы совершенствования тормозов подвижного состава в условиях Сибири и Дальнего Востока: межвуз. сб. науч. тр. / Хабаровский ин-т инженеров ж.-д. транспорта. Хабаровск: ХаБииЖТ, 1985. С. 48–53 [Mel'nichenko Yu. D., Shmyrov Yu. A., Khusidov V. D., Chebanenko V. I. Results of static tests of aluminium alloy roller axlebox of a freight car. In: *Questions of improvement of rolling*

stock brakes in Siberia and the Far East: interuniversity collection of scientific articles. Khabarovsk: KhabIIZhT; 1985. p. 48–53. (In Russ.).

24. Стендовые испытания нагруженности подшипников в новых конструкциях алюминиевых корпусов букс грузовых вагонов / Н. А. Аверин [и др.] // Вестник Всероссийского научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (Вестник ВНИИЖТ). 1992. № 7. С. 37–41 [Averin N. A., Novikov V. V., Larionov N. V., Kamyshin A. N. Bench tests of bearing loading in new designs of aluminium axle housings of freight cars. *Russian Railway Science Journal*. 1992;(7):37-41. (In Russ.)].

25. Гриц Д. Б. Повышение ресурса консольно расположенных роликовых подшипников: дис. ... канд. техн. наук: 05.02.02. Омск, 2022. 206 с. [Grits D. B. *Improving the life of cantilevered roller bearings*. Cand. Sci. (Eng.) thesis: 05.02.02. Omsk; 2022. 206 p. (In Russ.)].

26. Кудрявцев Н. Н. Динамические нагрузки ходовых частей грузовых вагонов. М.: Транспорт, 1977. 143 с. (Труды ВНИИЖТ; вып. 572) [Kudryavtsev N. N. *Dynamic loads of freight car undercarriages*. Moscow: Transport Publ.; 1977. 143 p. (Proceedings of the Railway Research Institute; Issue 572). (In Russ.)].

27. Морчиладзе И. Г., Соколов А. М. Совершенствование и модернизация буксовых узлов грузовых вагонов // Железные дороги мира. 2006. № 10. С. 59–64 [Morchiladze I. G., Sokolov A. M. Improving and upgrading freight car axleboxes. *Zheleznyye dorogi mira*. 2006;(10):59-64. (In Russ.)].

28. Влияние динамической нагруженности и дефектов роликов буксового подшипника на безопасность движения грузовых вагонов в эксплуатации / И. И. Галиев [и др.] // Известия Транссиба. 2013. № 4 (16). С. 102–110 [Galiev I. I., Nikolaev V. A., Sergeev B. B., Samohvalov E. A., Loucks D. Yu. The influence of dynamic loading and defects roller bearing axle-box on safety of movement of freight cars in operation. *Journal of Transsib Railway Studies*. 2013;(4):102-110. (In Russ.)]. EDN: <https://www.elibrary.ru/rsywkn>.

29. Иванов С. Г., Новиков В. В., Аверин Н. А. Исследование нагруженности подшипников в алюминиевом и типовом стальном корпусах букс грузового вагона // Вестник Всесоюзного научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (Вестник ВНИИЖТ). 1988. № 7. С. 46–48 [Ivanov S. G., Novikov V. V., Averin N. A. Study of bearing loading in aluminium and standard steel axle housings of freight cars. *Russian Railway Science Journal*. 1988;(7):46-48. (In Russ.)].

30. Исследования распределения нагрузки на ролики подшипника в корпусе буксы из алюминиевого сплава / В. К. Бурякин [и др.] // Повышение надежности узлов вагонов / Днепропетровский ин-т инженеров ж.-д. транспорта. Днепропетровск: ДИИТ, 1971. С. 19–28. (Труды ДИИТ; вып. 133) [Buryakin V. K., Korosteev I. M., Novikov V. V., Reutskiy N. P. *Study of load distribution on bearing rollers in an aluminium alloy axle housing*. Dnepropetrovsk: Dnepropetrovsk Institute of Railway Engineers; 1971. p. 19–28. (Proceedings of the Dnepropetrovsk Institute of Railway Engineers; Issue 133). (In Russ.)].

31. Писаренко Г. С. Рассеяние энергии при механических колебаниях. Киев: АН УССР, 1962. 436 с. [Pisarenko G. S. *Energy dissipation in mechanical oscillations*. Kiev: AN USSR; 1962. 436 p. (In Russ.)].

32. Опыт эксплуатации роликовых буксовых узлов с корпусами из алюминиевого сплава / В. В. Копытко [и др.] // Вестник Всероссийского научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (Вестник ВНИИЖТ). 1992. № 5. С. 45–47 [Kopytko V. V., Ivanov S. G., Savchuk O. M., Pasternak N. A., Zhakovskiy A. D. Operating experience of roller axlebox units with aluminium alloy housings. *Russian Railway Science Journal*. 1992;(5):45-47. (In Russ.)].

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Александр Владимирович ЛАПА, руководитель проекта, Департамент развития потребления алюминия, Объединенная компания РУСАЛ Торговый дом (121096, Россия, г. Москва, ул. Василисы Кожинной, д. 1), <https://orcid.org/0009-0003-0184-4336>

Иосиф Сергеевич ГЕРШМАН, д-р техн. наук, главный научный сотрудник, Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта (ВНИИЖТ, 129626, Россия, г. Москва, ул. 3-я Мытищинская, д. 10), Author ID: 384806, <https://orcid.org/0000-0002-1100-7326>

Сергей Васильевич НОВИКОВ, канд. техн. наук, действительный член Международной академии транспорта; заместитель генерального директора, РИЦ «ТЕХНОСФЕРА» (125319, Москва, ул. Краснопролетарская, д. 16), Author ID: 880795, <https://orcid.org/0000-0002-0943-9488>

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Alexander V. LAPA, Project Manager, Department of Aluminium Consumption Development, United Company RUSAL Trading House (121096, Moscow, 1, Vasilisy Kozhinoy St.), <https://orcid.org/0009-0003-0184-4336>

Iosif S. GERSHMAN, Dr. Sci. (Eng.), Chief Researcher, Railway Research Institute (129626, Moscow, 10, 3rd Mytishchinskaya St.), Author ID: 384806, <https://orcid.org/0000-0002-1100-7326>

Sergey V. NOVIKOV, Cand. Sci. (Eng.), Full Member of the International Transport Academy; Deputy Director General, TECHNOSPHERE Advertising and Publishing (125319, Moscow, 16, Krasnoproletarskaya St.), Author ID: 880795, <https://orcid.org/0000-0002-0943-9488>

ВКЛАД АВТОРОВ

Александр Владимирович ЛАПА. Поиск информации, подготовка текста статьи (34%).

Иосиф Сергеевич ГЕРШМАН. Руководство работой над подготовкой статьи, помощь в поиске информации (33%).

Сергей Васильевич НОВИКОВ. Редактирование текста, помощь в поиске информации (33%).

CONTRIBUTION OF THE AUTHORS

Alexander V. LAPA. Finding information, article preparation (34%).

Iosif S. GERSHMAN. Guidance in article preparation, assistance in finding information (33%).

Sergey V. NOVIKOV. Text editing, assistance in finding information (33%).

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

The authors have read and approved the final manuscript.

Статья поступила в редакцию 13.11.2023, рецензия от первого рецензента получена 22.12.2023, рецензия от второго рецензента получена 15.01.2024, принята к публикации 25.01.2024.

The article was submitted 13.11.2023, first review received 22.12.2023, second review received 15.01.2024, accepted for publication 25.01.2024.