



ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

Оригинальная статья

УДК 629.456

DOI: <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2023-82-4-325-334>

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



Разработка и стендовые испытания генераторно-приводной установки нового поколения для железнодорожных вагонов

П. Ю. Семенов¹, С. Л. Самошкин², А. Н. Макаров²✉

¹ТрансПриводТверь,

Тверь, Российская Федерация

²Тверской институт вагоностроения (ТИВ),

Тверь, Российская Федерация

АННОТАЦИЯ

Введение. В настоящее время на пассажирских вагонах с системой кондиционирования воздуха используется редукторно-карданный привод от средней части оси колесной пары типа WBA-32/2 немецкой фирмы Flender или его аналоги отечественного производства. Разработка и начало применения данного привода относятся к середине 60-х гг. прошлого века. Статья посвящена разработке и испытаниям генераторно-приводной установки нового поколения для пассажирских вагонов.

Материалы и методы. Проведен анализ многолетней эксплуатации привода по данным железнодорожных служб, занимающихся техническим обслуживанием и ремонтом пассажирских вагонов с кондиционированием воздуха. Были проведены стендовые испытания для опытной партии основных узлов генераторно-приводной установки, таких как редуктор, муфты и генератор.

Результаты. Была создана моноблочная генераторно-приводная установка, включающая в себя редуктор, генератор, предохранительную и эластичную муфты. Вся конструкция данной установки размещается на рамных тележках с помощью трех опорных элементов системы подвеса.

Обсуждение и заключение. Проведенные расчетно-экспериментальные исследования показали, что новая моноблочная генераторно-приводная установка обладает параметрами, значительно превышающими показатели серийных аналогов. Для размещения генераторно-приводной установки нового поколения на серийные тележки пассажирских вагонов была доработана конструкция тележек моделей 68-4066 и 68-4096. Проведенный расчетно-графический анализ показал, что генераторно-приводную установку нового поколения можно разместить на рамные скоростные тележки модели 18-6960.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: пассажирский вагон, система автономного энергоснабжения, генераторно-приводная установка, пассажирская тележка, стендовые ресурсные испытания, расчетно-графическое вписывание

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Семенов П. Ю., Самошкин С. Л., Макаров А. Н. Разработка и стендовые испытания генераторно-приводной установки нового поколения для железнодорожных вагонов // Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (Вестник ВНИИЖТ). 2023. Т. 82, № 4. С. 325–334. <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2023-82-4-325-334>.



TECHNICAL MEANS OF RAILWAY TRANSPORT

Original article

UDK 629.456

DOI: <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2023-82-4-325-334>

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



Development and bench testing of a new generator-drive set for railway cars

Pavel Yu. Semenov¹, Sergey L. Samoshkin², Alexander N. Makarov²✉

¹TransPrivodTver,

Tver, Russian Federation

²Tver Institute of Railcar Engineering,

Tver, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. Air conditioning systems installed in passenger carriages are currently powered using a gear-cardan drive connected to the middle part of the axis of a WBA-32/2 wheel pair designed by Flender (Germany) or its domestically manufactured analogues. Such drive dates back to the mid 1960s in terms of development and implementation. The article is devoted to the development and testing of a new generator-drive set for passenger carriages.

Materials and methods. The authors analysed the long-standing operation of the drive according to railway services involved in the maintenance and repair of passenger carriages equipped with air conditioning systems. Bench tests were carried out to test a pilot batch of the main units of the generator-drive set, such as gearbox, couplings and generator.

Results. A single-piece generator-drive set was developed and included a gearbox, generator, safety coupling and a elastic coupling. The entire structure of the set is installed on a bogie frame using three supporting elements of the suspension system.

Discussion and conclusion. The completed calculations and experimental studies show that the single-piece generator-drive set features parameters that significantly exceed those of series-produced peers. The design of 68-4066 and 68-4096 bogies was modified in order to enable the installation of a new generator-drive set on passenger carriages series-produced bogies. The completed calculation and graphical analyses demonstrates that the new generator-drive set could be installed on 18-6960 high-speed bogies frame.

KEYWORDS: passenger carriage, standalone power supply system, generator-drive set, passenger bogie, durability bench tests, guidance calculations and graphs

FOR CITATION: Semenov P. Yu., Samoshkin S. L., Makarov A. N. Development and bench testing of a new generator-drive set for railway cars. *Russian Railway Science Journal*. 2023;82(4):325-334. (In Russ.). <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2023-82-4-325-334>.

Введение. В настоящее время большинство отечественных пассажирских вагонов оснащены установками кондиционирования воздуха и экологически чистыми туалетными комплексами. Как правило, все эти вагоны оснащаются системами автономного электроснабжения мощностью 28–32 кВт. Неотъемлемой частью систем автономного электроснабжения является генераторно-приводная установка (ГПУ), состоящая из привода от оси колесной пары и генератора, размещенного на раме вагона.

В качестве привода используется редукторно-карданный механизм от середины колесной пары типа WBA-32/2 немецкой фирмы Flender или его аналоги отечественных производителей. Этот привод производства Германской Демократической Республики начали устанавливать на вагоны с середины 1960-х гг., а с середины 1990-х на новые вагоны постройки ОАО «Тверской вагоностроительный завод» (ОАО «ТВЗ»).

На рис. 1 представлен общий вид данного привода.

Конический одноступенчатый редуктор 3 устанавливается на средней части оси колесной пары. При движении вагона вращение от колесной пары через редуктор передается карданному валу 4, эластичной муфте 6 и ротору генератора 10. Рычаг с реактивной опорой 2, закрепленной на корпусе редуктора, связан с поперечной балкой 1 рамы тележки через упругий амортизатор. Он препятствует повороту редуктора относительно оси колесной пары. Предохранения карданного вала 5, муфты 7 и генератора 8 служат для исключения возможности их падения на путь при разрушении. Генератор с помощью специальных кронштейнов (лап) 11 через амортизаторы 9 крепится к раме вагона 12. В процессе эксплуатации привод может быть укомплектован элементами разных производителей, однако они все взаимозаменяемы по присоединительным размерам и не меняют принципиальную кинематическую схему привода и его электромеханические параметры [1]. Некоторые узлы привода WBA-32/2 были существенно модернизированы и внедрены в серийное производство [2–4].

Статистические данные, полученные от вагонных служб железных дорог, показали, что на долю этого привода приходится до 35 % всех неисправностей пассажирских вагонов, при этом до 40 % выходов из строя привода происходят из-за разрушений элементов карданного вала. Отказ привода не только оставляет вагон без энергоснабжения, но и часто становится причиной срыва графиков движения поездов, что может создать угрозу безопасности движения. Эксплуатация привода выявила ряд недостатков, которые не могут

быть устранены в существующей кинематической схеме ГПУ¹. Были проведены проработки других кинематических схем ГПУ, однако работы ограничились изготовлением опытных образцов [5].

Основным конструктивным недостатком ГПУ с приводом типа WBA-32/2 является расположение генератора на кузове вагона. Из-за такой компоновки работающий привод и генератор оказывают на кузов вагона динамическое воздействие. Редуктор (рис. 1, поз. 3), установленный на оси колесной пары, создает своей массой (690 кг) дополнительные нагрузки на буксовые подшипники. Выкатка приводной тележки из-под вагона затруднена необходимостью рассоединения кинематической схемы привода (рис. 1, поз. 4, 5), как результат — высокие эксплуатационные расходы и расходы на ремонт и техническое обслуживание.

В настоящей работе рассмотрены принципиальные вопросы разработки и результаты испытаний ГПУ нового поколения для пассажирских вагонов.

Принципы разработки и описание новой ГПУ.

Научное обоснование основных принципов разработки кинематических схем и узлов ГПУ нового поколения приведено в работах [6–8]. Основные цели разработки заключаются в упрощении схемы привода, размещении ГПУ только на раме тележки с возможностью выкатки тележки из-под вагона без демонтажа привода. Для этого было необходимо минимизировать габаритно-весовые параметры ГПУ.

На первом этапе для серийных пассажирских тележек на основе вписывания в габарит были определены максимально допустимые размеры ГПУ нового поколения. Было принято решение о разработке моноблочной ГПУ, которая включала бы в себя редуктор, генератор, предохранительную и эластичную муфты. Вся конструкция должна размещаться на рамных тележках с помощью трех опорных элементов системы подвеса. Карданная передача должна быть исключена из конструкции как один из наиболее повреждаемых элементов.

Далее были рассмотрены кинетические схемы моноблочной ГПУ, проведен расчет зубчатых передач и определено передаточное отношение каждой ступени редуктора. После определения реальных размеров спроектированного редуктора было принято решение применить две муфты — упругую и упруго-предохранительную. При выборе упругих элементов для муфт учитывалось климатическое исполнение тележки вагона. На заключительном этапе совместно со специалистами АО «Псковэлектромаш» был разработан генератор и система его крепления к корпусу редуктора. В процессе изготовления опытных

¹ Скобелев З. Ф. Исследование и пути повышения надежности элементов опорно-осевого редукторно-карданного привода вагонного генератора: дис. ... канд. техн. наук: 05.05.01. М., 1981. 158 с.

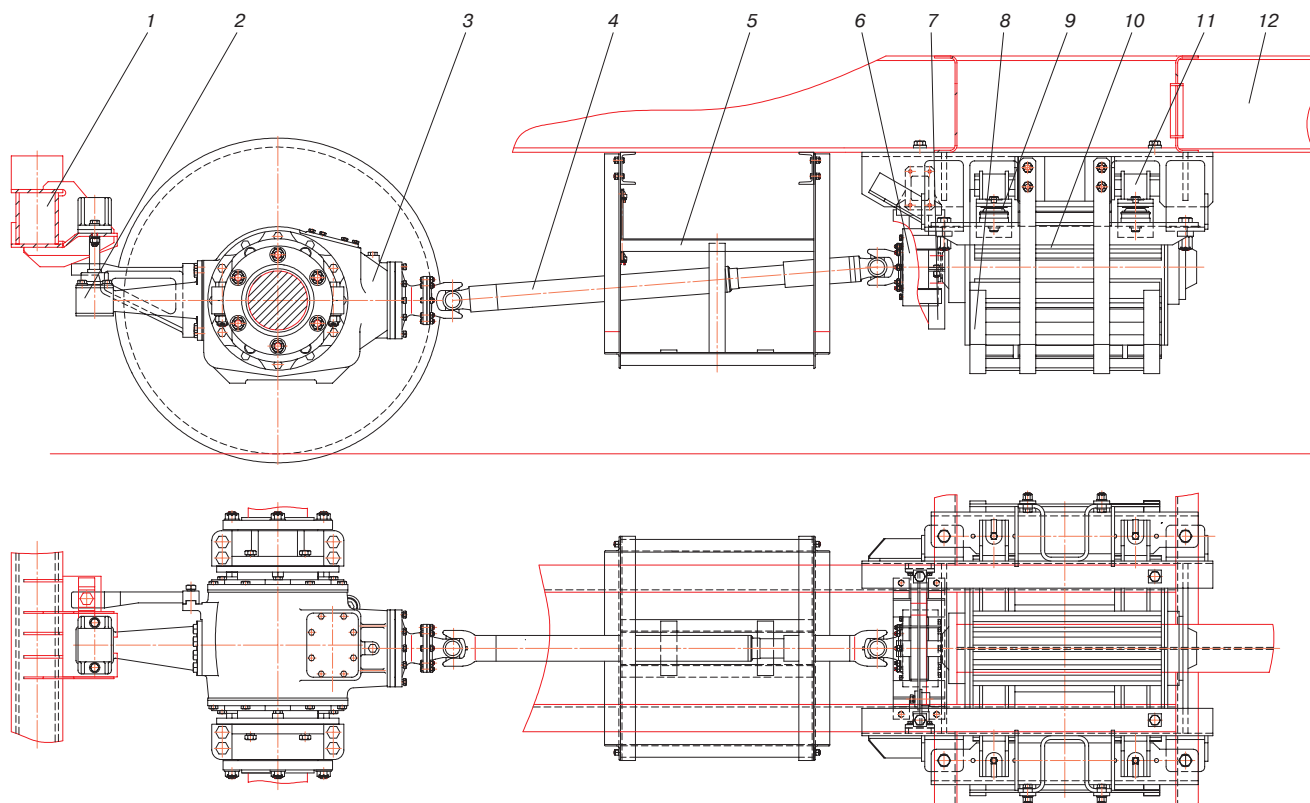


Рис. 1. Общий вид редукторно-карданного привода от средней части оси колесной пары мощностью 32 кВт:
1 — поперечная балка рамы тележки; 2 — рычаг с реактивной опорой; 3 — конический одноступенчатый редуктор;
4 — карданный вал; 5 — предохранение карданного вала; 6 — эластичная предохранительная муфта; 7 — предохранение муфты;
8 — предохранение генератора; 9 — амортизаторы; 10 — генератор; 11 — кронштейны подвески генератора;
12 — рама вагона

Fig. 1. General view of a 32 kW gear-cardan drive powered from the middle part of wheel pair axle:
1 — bogie frame cross beam; 2 — lever with reaction foot; 3 — single-stage right-angle gearbox;
4 — cardan shaft; 5 — cardan shaft protection; 6 — elastic safety coupling; 7 — coupling protection;
8 — generator protection; 9 — shock absorbers; 10 — generator; 11 — generator suspension brackets; 12 — car frame

образцов комплектующих узлов и деталей новой ГПУ проводились их предварительные испытания на стендовом оборудовании ООО «ТрансПриводТверь» по разработанным им программам — методикам.

На рис. 2 показан общий вид ГПУ нового поколения с осью колесной пары. На оси колесной пары монтируется эластичная муфта 1, которая служит для съема крутящего момента при движении вагона. Крутящий момент от эластичной муфты передается на редуктор 2 с цилиндрической зубчатой передачей и эвольвентным профилем, который с помощью полового ведущего вала установлен на ступице эластичной муфты. От выходного вала редуктора крутящий момент через предохранительную муфту 3 передается на генератор 4.

Предохранительная муфта, установленная между генератором и редуктором, предназначена для защиты редуктора и других узлов привода от поломок при внезапной остановке (заклинивании)

генератора. Вся конструкция с помощью трех элементов системы подвеса 5 установлена на раме тележки.

Передача крутящего момента от оси колесной пары на эластичную муфту и далее на всю ГПУ осуществляется от фланца 6, напрессованного на ось.

В табл. 1 и 2 приводится сопоставление основных параметров и эксплуатационных показателей ГПУ нового поколения с аналогичными показателями для серийной ГПУ с приводом WBA-32/2 и генератором, размещенным на раме вагона.

Редуктор, входящий в ГПУ нового поколения, имеет следующие основные технические показатели:

- число оборотов на ведущем валу, об/мин — 170...1220;
- число оборотов на ведомом валу, об/мин — 784...5622;
- направление вращения — реверсивное;
- вид смазки — масляная ванна;

- тип смазки — стойкая к температурам от -55 до $+60$ °С;

- шумоизлучение при номинальной нагрузке, дБ — не более 100.

Предусмотрены к применению смазки российского производства ТСп-10 (ГОСТ 23652–79²) и ТМ-9П (ТУ 5364-034-00148843-95).

Климатическое исполнение согласно ГОСТ 15150–69³ (от -55 до $+60$ °С).

Редуктор в части воздействия механических факторов соответствует группе М26 ГОСТ 30631–99⁴.

Корпус редуктора изготовлен из специального чугуна, обеспечивающего неизменную прочность при температурном режиме эксплуатации от -55 до $+60$ °С.

В корпусе предусмотрены маслоподводящие каналы к подшипникам.

Предусмотрено использование в редукторе цилиндрической зубчатой передачи с эвольвентным профилем. Зубья такой передачи подвергаются цементации и шлифовке.

Стендовые испытания опытных образцов. Для качественной и количественной оценки основных параметров ГПУ нового поколения были проведены стендовые испытания опытной партии основных узлов (редуктор, муфты, генератор и др.) новой ГПУ. Как уже упоминалось, испытания проводились на стендовом оборудовании ООО «ТрансПриводТверь». В процессе проведения испытаний редуктор нагружался в диапазоне скоростей вращения, соответствующих скоростям движения вагона от 0 до 200 км/ч. Испытания проводились для характерных эксплуатационных режимов, приближенных к типичным мощностям и моментным нагрузкам генератора.

Для проведения типового испытания редуктор был установлен в нагрузочный контур типа Back-to-Back испытательного стенда (рис. 3 и 4). Аналогичные стенды у отечественных испытателей деталей машин называются «стенды с циркуляцией мощности», или «стенды с замкнутым контуром», и применяются при ресурсных испытаниях редукторов, цепных ременных передач и др. [9].

Для каждого цикла испытаний регистрировались следующие параметры:

- температура окружающей среды;
- температура подшипников;
- температура масла в картере;

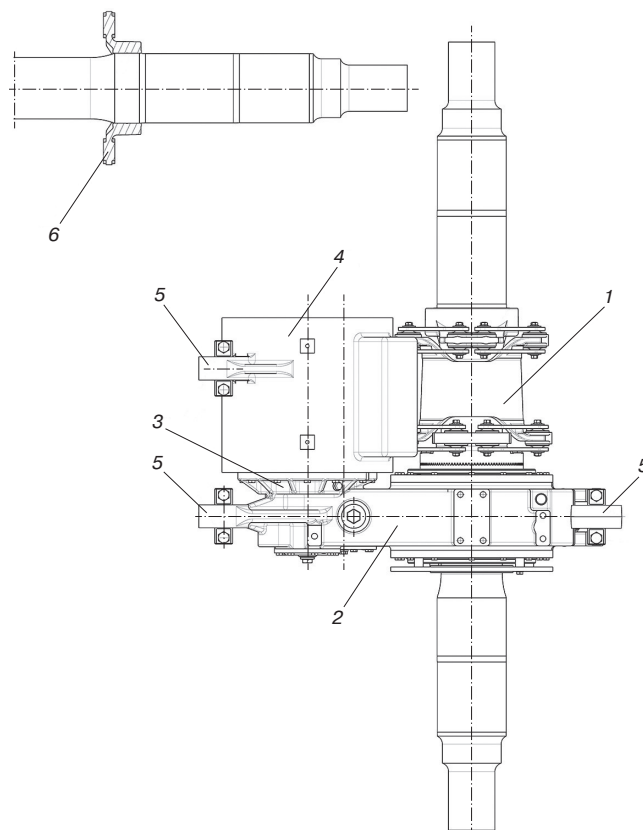


Рис. 2. Общий вид ГПУ нового поколения с осью колесной пары:
1 — эластичная муфта; 2 — редуктор; 3 — предохранительная муфта; 4 — генератор; 5 — элементы системы подвеса; 6 — фланец, напрессованный на ось

Fig. 2. General view of the new generator-drive set and wheel pair axle:
1 — elastic coupling; 2 — gearbox; 3 — safety coupling; 4 — generator; 5 — elements of the suspension system; 6 — axle press-fit flange

- число оборотов и направление вращения входного и выходного валов;
- момент вращения на входе и выходе.

Все измерительные приборы производства фирмы НВМ были аттестованы или поверены метрологическими лабораториями по стандартизированным методикам. В результате испытаний было установлено:

- температурный режим работы редуктора соответствует нормативным требованиям. Превышения допустимой температуры (120 °С для подшипников

²ГОСТ 23652–79. Масла трансмиссионные. Технические условия: дата введения 1981-01-01. М.: Стандартинформ, 2011. 13 с.

³ГОСТ 15150–69. Машины, приборы и другие технические изделия. Исполнения для различных климатических районов. Категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды: дата введения 1971-01-01. М.: Стандартинформ, 2010. 71 с.

⁴ГОСТ 30631–99. Общие требования к машинам, приборам и другим техническим изделиям в части стойкости к механическим внешним воздействующим факторам при эксплуатации: дата введения 2000-09-01. Минск: Изд-во стандартов, 1999. 36 с.

Таблица 1

Основные показатели ГПУ WBA-32/2
и ГПУ нового поколения [7]

Table 1

Main parameters of WBA-32/2 generator-drive set
and new generator-drive set [7]

Наименование	ГПУ WBA-32/2	ГПУ нового поколения
Масса элементов:		
– редуктор, кг	690	350
– муфта(ы), кг	25–33	97 (две муфты)
– карданный вал, кг	30	отсутствует
– генератор, кг	750	490
– подвеска генератора на вагоне	110	отсутствует
Общая масса, кг	~1610	~940
Передаточное отношение редуктора	3,73	4,61
Объем масла в редукторе, дм ³	4,0–4,5	2,0–2,5

Таблица 2

Основные эксплуатационные показатели ГПУ [7]

Table 2

Key performance indicators
of generator-drive sets [7]

Наименование показателя	ГПУ WBA-32/2	ГПУ нового поколения
Скоростной диапазон получения номинальной мощности, км/ч	40–160	35–200
Периодичность смены масла, км	150 000	200 000
Периодичность контроля зубчатой передачи, км	250 000 (или 1 раз в год)	500 000 (или 1 раз в два года)
Гарантированный ресурс подшипников редуктора, км	1 200 000	3 000 000
Назначенный ресурс редуктора до КР-1, км	1 200 000 (но не более 5 лет)	3 000 000 (но не более 6 лет)
Назначенный ресурс до первого депоовского ремонта, км	300 000 (но не более 2 лет)	1 500 000 (или 5 лет для резиновых деталей)
Назначенный общий ресурс редуктора, лет	28	40

и 110 °С для масла) при ресурсных испытаниях не отмечено;

- проверка редуктора на герметичность при обливании в различных скоростных режимах работы показала отсутствие попадания воды внутрь корпуса редуктора;

- при испытаниях в климатической камере подтвердилась устойчивая работа редуктора для низких температур (до – 40 °С);

- замеры шума и вибрации в процессе ресурсных испытаний показали, что все результаты по этим показателям не превышают регламентируемых в техническом задании;

- осмотр состояния зубчатых передач после завершения стендовых ресурсных испытаний показал наличие равномерных пятен контакта и отсутствие повреждений на фланцах и головках-ножах зубьев всех шестерен редуктора. Такие результаты ресурсных форсированных испытаний позволяют гарантировать ресурс редуктора до КР-1 по пробегу не менее 3,0 млн км.

Размещение ГПУ нового поколения на серийных тележках магистральных пассажирских вагонов. Для установки ГПУ нового поколения на серийные тележки пассажирских вагонов совместно со специалистами ОАО «ТВЗ» (конструкторские и технологические службы) была доработана конструкция тележек модели 68-4096 (безлюлочная, рис. 5, а) и модели 68-4066 (люлочная, рис. 5, б). Проведенное расчетно-графическое вписывание позволило устанавливать ГПУ нового поколения на вагоны, проходящие КР-2М и КВР в условиях вагоноремонтных заводов.

Рассматривая данные табл. 1, 2 и рис. 5, можно отметить:

- компактность устройства. Высвобождается значительное место под вагоном, и оно может быть использовано;
- отпадает необходимость применения карданного вала;
- уменьшено количество компонентов системы. Таким образом, повышается общая надежность системы;
- уменьшено количество точек крепления (всего три) на тележке. Такая конструкция позволяет легко устанавливать полый вал, что снижает трудоемкость изготовления вагона;
- значительное уменьшение общего веса ГПУ;
- уменьшение динамических сил за счет уменьшения неподрессоренных масс позволяет значительно увеличить срок службы буксовых подшипников;
- за счет использования принципиально новой системы крепления приводного блока (муфта — редуктор — предохранительная муфта — генератор) на тележке значительно уменьшается вибрация, передаваемая на вагон;
- не требуется регулярного контроля и регулировки посадки редуктора на оси;
- редуктор и ось колесной пары соединены посредством резиновой шарнирно-шаровой муфты, которая компенсирует движение оси колесной пары в вертикальном, горизонтальном, аксиальном, а также, в особенно важном, угловом отклонении;

• редуктор новой ГПУ цилиндрический, более компактный и, соответственно, легкий. Цилиндрические передачи являются более долговечными и имеют лучшие шумовые характеристики по сравнению с коническими.

Кроме того, компоновка ГПУ полностью исключает при выходе из строя какого-либо ее элемента касания им полотна железнодорожного пути, что имеет место в установке WBA-32/2 при разрушении карданного вала.

Исследование возможности применения ГПУ нового поколения на скоростных фитинговых платформах. В последнее время для перевозки скоропортящихся грузов все более широкое применение получают крупнотоннажные рефрижераторные контейнеры. Для их перевозки используют обычные фитинговые платформы с грузовыми трехэлементными тележками модели 18-100, оборудованные в условиях депо или вагоноремонтных заводов односторонней силовой электрической магистралью переменного тока напряжением 380 В с частотой 50 Гц, собранные в специализированные контейнерные сцепы из 12 вагонов и вагона-дизель-электростанции. Для этого используются вагоны от немецкой рефрижераторной секции ZB-5, в которой установлено два дизель-генератора мощностью по 100 кВт каждый, или от рефрижераторной секции РС-5 производства ОАО «Брянский машиностроительный завод», в которой установлено два дизель-генератора мощностью по 75 кВт каждый.

Учитывая, что ГПУ нового поколения может обеспечивать получение от генератора мощности 25 или 32 кВт, целесообразно создавать двухплатформенный сцеп, в котором одна платформа будет оснащена тележкой с ГПУ указанной мощности. Ряд организаций предпринимали попытки разработать ГПУ для тележек типа 18-100, однако все они закончились созданием только опытных образцов, которые не пошли в серийное производство⁵ [10, 11]. Решение этой задачи возможно при использовании тележек с конструкционной скоростью 140–160 км/ч и при движении контейнерных поездов по графикам движения пассажирских [12–14]. Трехэлементные грузовые тележки типа 18-100 позволяют развивать максимальную скорость до 90 км/ч. Проведенное в работе расчетно-графическое вписывание новой ГПУ в тележки указанных моделей показало, что существующие узлы тележек не препятствуют размещению ГПУ по типу люлечных тележек модели 68-4066 (рис. 5, б). Разработана и изготавливается рамная тележка модели 18-6960 с двухступенчатым рессорным подвешиванием [15].

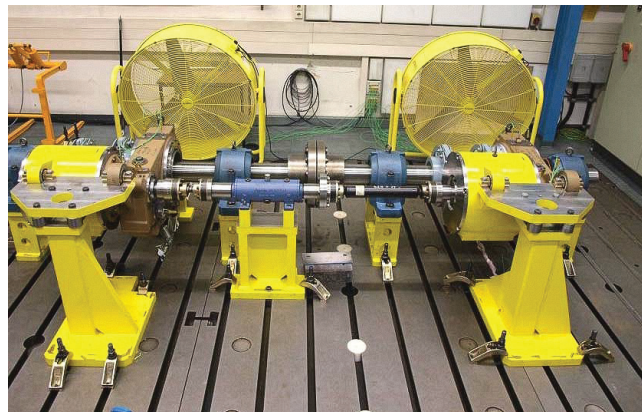


Рис. 3. Общий вид испытательного стенда (вид спереди)

Fig. 3. General view of the test bench (front view)

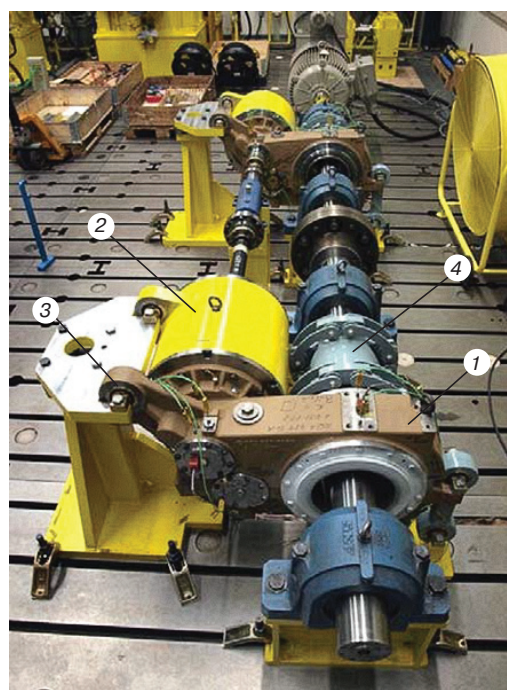


Рис. 4. Общий вид испытательного стенда (вид сверху):
1 — редуктор; 2 — генератор; 3 — подвес к тележке вагона;
4 — эластичная муфта

Fig. 4. General view of the test bench (view from above):
1 — gearbox; 2 — generator; 3 — car bogie suspension;
4 — elastic coupling

Для скоростных фитинговых платформ, установленных на рамных тележках пассажирского типа, максимальная скорость движения — 140 км/ч. Кроме того, учитывая, что режим работы крупнотоннажных рефрижераторных контейнеров не меняется в течение суток, минимальная скорость движения платформы

⁵ Самошкин О. С. Обоснование и разработка приводов с клиноременной передачей для систем энергоснабжения вагонов: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.22.07. СПб.: ПГУПС, 2011. 16 с.

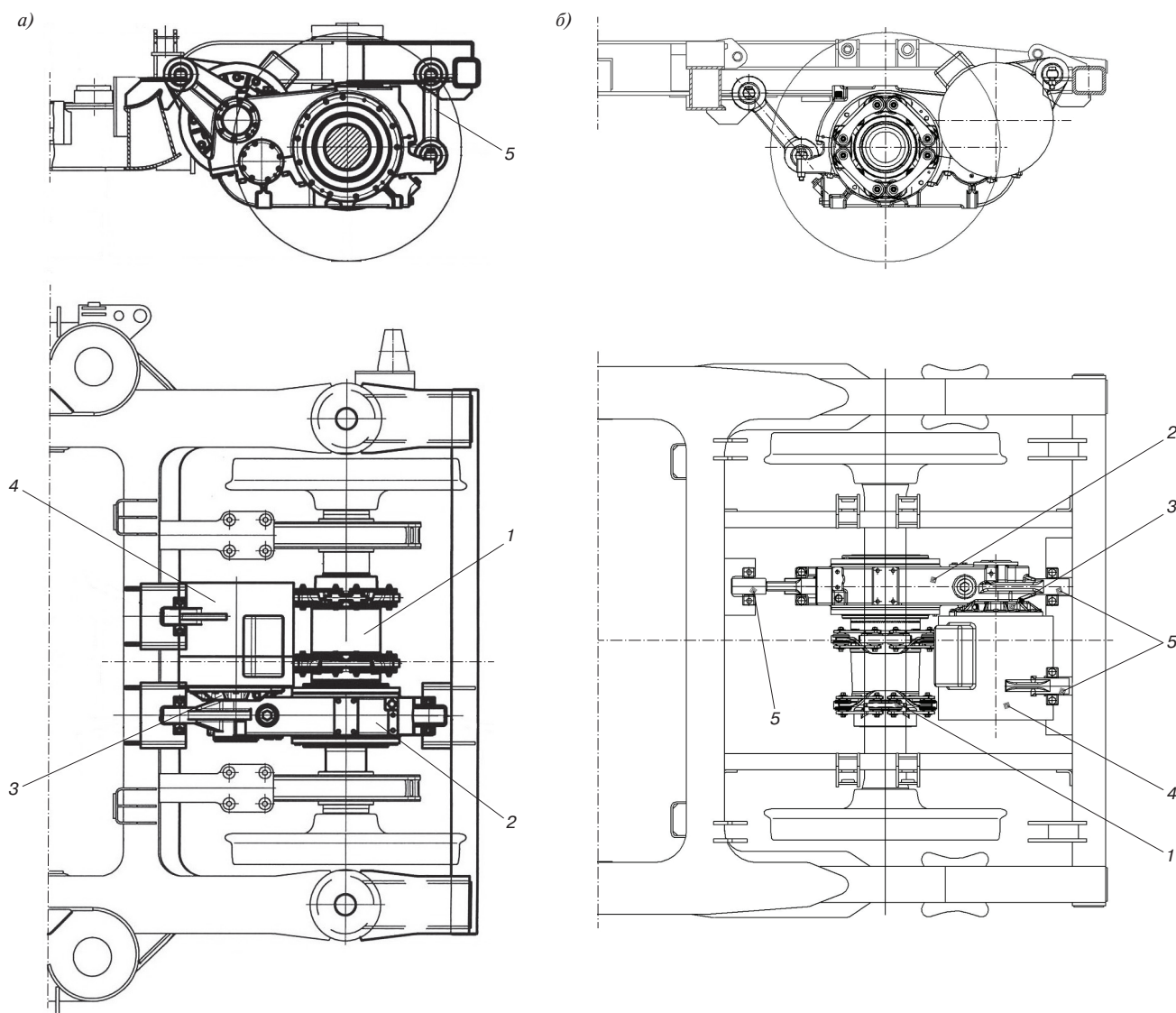


Рис. 5. Размещение ГПУ нового поколения на безлюлочной тележке модели 68-4096 (а) и люлочной тележке модели 68-4066 (б):

1 — эластичная муфта; 2 — редуктор с цилиндрической зубчатой передачей и эвольвентным профилем; 3 — предохранительная муфта; 4 — генератор; 5 — элементы системы подвеса ГПУ на раме тележки

Fig. 5. Installation of the new generator-drive set on a bolsterless 68-4096 bogie (a) and a bolster 68-4066 bogie (b):

1 — elastic coupling; 2 — involute profile spur gearbox; 3 — safety coupling; 4 — generator; 5 — elements of the generator-drive set bogie frame suspension system

для включения ГПУ на номинальную мощность должна быть снижена до 25 км/ч. Для этого передаточное отношение ГПУ рекомендовано повысить с 4,61 до 5,75.

Обсуждение и заключение. Одним из главных элементов вагонов с системой автономного энергоснабжения является ГПУ, которая состоит из привода от оси колесной пары и генератора, установленного на раме вагона или раме тележки. Расположение ГПУ под вагоном предъявляет высокие требования к их

надежности и ремонтопригодности, что вызывает необходимость проведения работ по поиску новых инновационных технических решений. АО «Федеральная пассажирская компания» принято решение об оснащении всего вновь вводимого в эксплуатацию пассажирского подвижного состава экологическими чистыми туалетными комплексами и установками кондиционирования воздуха. Мощность системы автономного энергоснабжения таких вагонов составляет от 25 до 32 кВт.

При разработке ГПУ нового поколения основное внимание уделялось следующим вопросам:

- минимизации габаритно-весовых параметров и возможности размещения ГПУ только на раме тележки;
- повышению надежности и ресурса составляющих узлов и всей ГПУ в целом;
- снижению затрат на проведение технического обслуживания и ремонта.

В результате проведенных расчетно-экспериментальных исследований разработана моноблочная конструкция ГПУ, которая монтируется только на рамах тележек. Основные результаты разработки:

1. Основные показатели превосходят показатели серийных установок:

- масса составляет 940 кг (серийные — 1600 кг);
- общий ресурс — 40 лет (серийные — 28 лет);
- ресурс до КР-1 составляет 3,0 млн км (серийные — не более 1,2 млн км);
- ресурс до первого деповского ремонта — 1,5 млн км (серийные — 0,3 млн км);
- периодичность контроля зубчатой передачи — 500 000 км (серийной — 250 000 км).

2. Опытные образцы ГПУ нового поколения прошли полный цикл стендовых ресурсных и параметрических испытаний. В результате более чем 600-часовых стендовых испытаний установлено, что все замеренные показатели соответствуют регламентируемым в техническом задании.

3. На основании расчетно-графических исследований ГПУ нового поколения вписана в габарит люлочной тележки модели 68-4066 и безлюлочной тележки модели 68-4096 (основных серийно-выпускаемых тележек отечественных пассажирских вагонов).

4. В связи с увеличением роли крупнотоннажных рефрижераторных контейнеров в перевозке скоропортящихся продуктов и необходимостью увеличения скорости контейнерных поездов наметилась тенденция к созданию скоростных фитинговых платформ на тележках рамной конструкции, что позволяет размещать ГПУ на рамах указанных тележек.

5. Учитывая, что ГПУ нового поколения может обеспечивать получение от генератора мощности до 32 кВт, целесообразно создать двухплатформенные сцепы на тележках рамного типа, где одна из тележек сцепа будет оснащена ГПУ нового поколения.

Благодарности: авторы выражают благодарность механикам и инженерам организации ООО «ТрансПриводТверь», обеспечивающим работу стендового оборудования в процессе длительных испытаний.

Acknowledgments: the authors would like to express their gratitude to the mechanics and engineers of TransPrivodTver LLC who supported the operation of the bench equipment in the course of time-consuming tests.

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. Терешкин Л. В. Приводы генераторов пассажирских вагонов. М.: Транспорт, 1990. 152 с. [Tereshkin L. V. *Generator's drives of passenger cars*. Moscow: Transport Publ.; 1990. 152 p. (In Russ.).]
2. Юревич Б. А., Борисов К. Л. Анализ работы редукторно-карданных приводов // Железнодорожный транспорт. 1977. № 1. С. 56–58 [Yurevich B. A., Borisov K. L. Operational analysis of gear-cardan drives. *Zheleznodorozhnyy transport*. 1977;(1):56-58. (In Russ.).]
3. Экспериментальное исследование прочности кронштейнов крепления генераторов к раме вагона / С. Л. Самошкин [и др.] // Известия Петербургского государственного университета путей сообщения. 2019. № 1. С. 105–117 [Samoshkin S. L., Makarov A. N., Khomenko A. A., Semenov P. Yu. Experimental study of strength of bracket for mounting generators on carriage frame. *Proceedings of Petersburg Transport University*. 2019;(1):105-117. (In Russ.).] <https://doi.org/10.20295/1815-588X-2019-1-105-117>.
4. Здрогов В. Б., Болотина В. Н. Повышение надежности привода подвагонного генератора // Железнодорожный транспорт. 1984. № 5. С. 64–65 [Zdrogov V. B., Bolotina V. N. Enhancing the reliability of an undercar generator drive. *Zheleznodorozhnyy transport*. 1984;(5):64-65 (In Russ.).]
5. Лобастов В. К., Пастухов И. Ф., Цаплин Н. С. Исследование нового привода подвагонного генератора // Труды БелИЖТ. 1974. Вып. 126. С. 23–34 [Lobastov V. K., Pastukhov I. F., Tsaplin N. S. Research into a new drive of an undercar generator. *Trudy BelIzht*. 1974;(126):23-34. (In Russ.).]
6. Волков И. В., Булавин Ю. П. Обобщенная математическая модель колебаний в вертикальной плоскости динамической системы «кузов вагона—тележка—подвагонный генератор» // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. 2002. № 3. С. 52–56 [Volkov I. V., Bulavin Yu. P. Generalized mathematical model of fluctuations in the vertical plane of the “car body—bogie—undercar generator” dynamic system. *Vestnik Rostovskogo Gosudarstvennogo Universiteta Putey Soobshcheniya*. 2002;(3):52-56. (In Russ.).] EDN: <https://www.elibrary.ru/jvxgnh>.
7. Новая генераторно-приводная установка пассажирских вагонов / А. Калиш [и др.] // Железнодорожный транспорт. 2012. № 3. С. 42–43 [Kalish A., Kuz'kin V. I., Samoshkin S. L., Skachkov A. N. Brand new generator-drive set for passenger cars. *Zheleznodorozhnyy transport*. 2012;(3):42-43. (In Russ.).] EDN: <https://www.elibrary.ru/oxvrgn>.
8. Гайденоко В. Я., Усов В. Е., Краснобаев А. М. Совершенствование приводов генераторов пассажирских вагонов // Железнодорожный транспорт. 1989. № 2. С. 41–43 [Gaidenko V. Ya., Usov V. E., Krasnobaev A. M. Improving the drives of passenger car generators. *Zheleznodorozhnyy transport*. 1989;(2):41-43. (In Russ.).]
9. Гадолин В. Л. Стенды с замкнутым контуром для исследования ременных передач // Труды Московского высшего технического

училища им. Э. Н. Баумана. 1977. № 243. С. 102–113 [Gadolin V. L. Close-loop stands for exploring belt drives. *Trudy Moskovskogo vysshego tekhnicheskogo uchilishcha im. E. N. Baumana*. 1977;(243):102–113. (In Russ.)].

10. Самошкин О. С. Совершенствование генераторно-приводных установок пассажирских вагонов // Железнодорожный транспорт. 2011. № 10. С. 56–59 [Samoshkin O. S. Improving the generator-drive systems of passenger cars. *Zheleznodorozhnyy transport*. 2011;(10):56–59. (In Russ.)]. EDN: <https://www.elibrary.ru/ojtiyf>.

11. Выбор кинематической схемы и определение основных характеристик генераторно-приводной установки от оси колесной пары трехэлементной грузовой тележки / В. Г. Каргин [и др.] // Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (Вестник ВНИИЖТ). 2017. Т. 76, № 2. С. 110–116 [Kargin V. G., Naumenko S. N., Burov V. V., Chuvashov I. N. Samoshkin S. L. Selection of the kinematic scheme and determination of the main characteristics of the generator-drive unit from the axis of the wheelset of a three-element freight bogie. *Russian Railway Science Journal*. 2017;76(2):110–116. (In Russ.)]. <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2017-76-2-110-116>.

12. Москвичев О. В. О новом подходе к организации контейнерных поездов во внутреннем сообщении // Железнодорожный транспорт. 2014. № 2. С. 56–59 [Moskvichev O. V. A new approach to the organization of container train traffic in inland transport. *Zheleznodorozhnyy transport*. 2014;(2):56–59. (In Russ.)]. EDN: <https://www.elibrary.ru/sadjgn>.

13. Краснощек А. А. Организация ускоренных контейнерных и контрейлерных поездов // Железнодорожный транспорт. 2014. № 5. С. 14–17 [Krasnoshech A. A. Organization of accelerated container and contrailer trains. *Zheleznodorozhnyy transport*. 2014;(5):14–17. (In Russ.)]. EDN: <https://www.elibrary.ru/skxbah>.

14. Валинский О. С. На основе логистических технологий // Железнодорожный транспорт. 2014. № 10. С. 28–31 [Valinskiy O. S. On the basis of logistical technologies. *Zheleznodorozhnyy transport*. 2014;(10):28–31. (In Russ.)]. EDN: <https://www.elibrary.ru/sxhiwl>.

15. Скоростная платформа для перевозки контейнеров / В. А. Никонов [и др.] // Вагоны и вагонное хозяйство. 2017. № 2 (50). С. 25–27 [Nikonov V. A., Meshcherin Yu. V., Kimasov M. A., Shcheklein N. I., Konurov V. A. High-speed platform for the transportation of containers. *Vagony i vagonnoye khozyaystvo*. 2017;(2):25–27 (In Russ.)]. EDN: <https://www.elibrary.ru/ytarhr>.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Павел Юрьевич СЕМЕНОВ,

генеральный директор, ТрансПриводТверь (170036, г. Тверь, ул. Коняевского, д. 12, стр. 3), <https://orcid.org/0009-0003-5577-8063>

Сергей Львович САМОШКИН,

д-р техн. наук, начальник управления научно-технического обеспечения и развития, Тверской институт вагоностроения (ТИВ, 170003, г. Тверь, Петербургское шоссе, д. 45г), Author ID: 429049, <https://orcid.org/0009-0002-3757-6882>

Александр Николаевич МАКАРОВ,

ведущий инженер, Тверской институт вагоностроения (ТИВ, 170003, г. Тверь, Петербургское шоссе, д. 45г), <https://orcid.org/0009-0008-1062-4964>

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Pavel Yu. SEMENOV,

General Director, TransPrivodTver (170036, Tver, 12/3, Konyaevskogo St.), <https://orcid.org/0009-0003-5577-8063>

Sergey L. SAMOSHKIN,

Dr. Sci. (Eng.), Head of the Scientific and Technical Support and Development Department, Tver Institute of Railcar Engineering (170003, Tver, 45g, Peterburgskoye highway), Author ID: 429049, <https://orcid.org/0009-0002-3757-6882>

Alexander N. MAKAROV,

Leading Engineer, Tver Institute of Railcar Engineering (170003, Tver, 45g, Peterburgskoye highway), <https://orcid.org/0009-0008-1062-4964>

ВКЛАД АВТОРОВ

Павел Юрьевич СЕМЕНОВ. Руководство и организация испытаний, расчетно-графическое вписывание, анализ результатов работы и выводы (35%).

Сергей Львович САМОШКИН. Научно-техническое сопровождение, методические вопросы стендовых испытаний, анализ результатов и выводы, написание и редактирование текста статьи (30%).

Александр Николаевич МАКАРОВ. Разработка методики испытаний, проведение испытаний и обработка результатов, расчетно-графическое вписывание (35%).

CONTRIBUTION OF THE AUTHORS

Pavel Yu. SEMENOV. Managing and organising tests, guidance calculations and graphs, analysing work outcomes and drawing conclusions (35%).

Sergey L. SAMOSHKIN. Scientific and technical support, methodological aspects of bench tests, analysing outcomes and drawing conclusions, article writing and editing (30%).

Alexander N. MAKAROV. Developing test methods, holding tests and processing results, guidance calculations and graphs (35%).

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

The authors have read and approved the final manuscript.

Статья поступила в редакцию 11.09.2023, рецензия от первого рецензента получена 17.10.2023, рецензия от второго рецензента получена 31.10.2023, принята к публикации 30.11.2023.

The article was submitted 11.09.2023, first review received 17.10.2023, second review received 31.10.2023, accepted for publication 30.11.2023.