УДК 629.01.02/03 DOI: http://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2020-79-4-191-201

Общие принципы расширения скоростного диапазона работы систем автономного энергоснабжения пассажирских вагонов

С. Л. САМОШКИН[1], С. С. МИРОНОВ[2], О. С. САМОШКИН[3], М. В. ХОДЕНКОВ[2], А. С. САРИКОВ[1]

[1] Закрытое акционерное общество Научная организация «Тверской институт вагоностроения» (ЗАО НО «ТИВ»), Тверь, 170003, Россия
[2] Общество с ограниченной ответственностью Научно-производственный центр «ЭКСПРЕСС» (ООО НПЦ «ЭКСПРЕСС»), Тверь, 170100, Россия
[3] Акционерное общество «Федеральная пассажирская компания» (АО «ФПК»), Москва, 107078, Россия

Аннотация. Рассматриваются вопросы расширения скоростного диапазона работы систем автономного энергоснабжения пассажирских вагонов с кондиционированием воздуха. Впервые в отечественном вагоностроении вопрос снижения минимальной скорости начала работы генераторно-приводной установки возник при обновлении пассажирского парка Сахалинской железной дороги, где скорости движения пассажирских вагонов значительно ниже общесетевых. Проведенные ЗАО НО «ТИВ» и ОАО «ТВЗ» исследования показали, что использование клиновых ремней при модернизации текстропно-редукторно-карданного привода позволяет решить такую задачу. Кинематическая схема привода была принята без изменений, но с заменой клиновых ремней С(В)-2360Т на новые узкие ремни XPC-2360 без обертки рабочей поверхности и с формированным зубом на нижнем основании. В натяжном устройстве заменена основная пружина жесткостью 75 Н/мм на пружину повышенной жесткости (100 Н/мм). Главным изменением стала замена генератора 2ГВ003 на низкооборотный генератор 2ГВ008, который имеет минимальные обороты включения на полную мощность (700 об/мин). Данная модернизация привода позволила включаться генератору 2ГВ008 на номинальную мощность, начиная со скорости движения 30 км/ч.

Не менее важной является задача расширения скоростного диапазона работы систем автономного энергоснабжения ЭВ-7 и ЭВ-10 для вагонов без кондиционирования. Она решается за счет принудительного форсирования возбуждения генераторов.

Проведенный анализ современных систем автономного энергоснабжения пассажирских вагонов показал, что расширение скоростного диапазона их работы может быть достигнуто тремя способами:

- поднятием передаточного отношения редуктора для обеспечения включения на номинальный режим при скорости движения вагона 15 – 20 км/ч без изменения параметров генератора и всей системы автономного энергоснабжения;
- модернизацией комплекса электрооборудования пассажирских вагонов для обеспечения работы основных энергопотребителей и заряда аккумуляторной батареи при движении на малых скоростях (более 18 км/ч) без изменения механических параметров и состава серийной генераторно-приводной установки;
- модернизацией генератора с целью понижения оборотов включения его на необходимую для обеспечения основных энергопотребителей мощность без изменения механических параметров привода.

Все три способа имеют свои преимущества и недостатки, выбор любого из них определяется техническими требованиями для конкретной модели вагона.

Ключевые слова: система автономного энергоснабжения; установка кондиционирования воздуха; генераторно-приводная установка; скоростной диапазон; стендовые испытания

E-mail: info@tiv.ru (С. А. Самошкин)

Состояние вопроса и постановка задачи. Одним из основных направлений деятельности АО «ФПК» являются мероприятия, направленные на повышение качества транспортного обслуживания пассажиров. Для выполнения указанных мероприятий АО «ФПК» приняло решение об оснащении всего подвижного состава экологически чистыми туалетными комплексами (ЭЧТК) и установками кондиционирования воздуха (УКВ). В настоящее время из приписного парка пассажирских вагонов АО «ФПК», составляющего порядка 18 тыс. вагонов, доля вагонов, оборудованных ЭЧТК, составляет 55 %, а оборудованных УКВ — более 75 %.

На сегодняшний день для получения электроэнергии и питания электропотребителей отечественные вагоны оснащены системами автономного (от подвагонного генератора) или централизованного (от высоковольтной поездной магистрали напряжением 3000 В через высоковольтный статический преобразователь) электроснабжения.

Большинство отечественных вагонов оснащается системой автономного энергоснабжения (САЭ), которая включает в себя генераторно-приводную установку (ГПУ). ГПУ, в свою очередь, состоит из привода от оси колесной пары и генератора, установленного на раме вагона или раме тележки. Имеется парк вагонов поездов постоянного формирования, которые предназначены для электрифицированных линий и имеют централизованную систему энергоснабжения от контактного провода через преобразователь электровоза [1, 2].

Все ГПУ отечественных пассажирских вагонов предназначены для обеспечения вагонов электро-

энергией при скоростях движения от (35 ± 2) до 160 км/ч. При снижении скорости движения ниже (35 ± 2) км/ч происходит автоматическое отключение ряда наиболее энергоемких потребителей (УКВ, основное освещение, кипятильник и т. д.), что при длительном периоде низкоскоростного движения вагонов приводит к снижению качества транспортного обслуживания пассажиров, которое выражается в первую очередь в невозможности обеспечить оптимальный температурный режим в пассажирских помещениях вагона в летний период [3, 4].

В последнее время происходит расширение номенклатуры вагонов с кондиционированием воздуха и стандартной ГПУ, разрабатываемых на базе различных моделей серийных пассажирских вагонов локомотивной тяги. К этой группе относятся вагоны для экскурсионных поездов, различные вагоны-лаборатории, вагоны сопровождения грузовых поездов, различные служебные вагоны и т. д. В этих вагонах период движения при скоростях ниже (35 ± 2) км/ч значительно превышает (иногда в несколько раз) аналогичный период для магистральных поездов. Управлением вагонного хозяйства АО «ФПК» отмечено, что на современном этапе развития парка пассажирских вагонов и вагонов специального назначения, созданных на базе пассажирских, стоит вопрос об обеспечении комфортных условий проезда при малых скоростях движения (ниже 40 км/ч).

Таким образом, цель настоящей работы — рассмотреть вопросы расширения скоростного диапазона работы САЭ вагонов с кондиционированием воздуха.

Впервые в отечественном вагоностроении вопрос снижения минимальной скорости начала работы ГПУ возник при обновлении пассажирского парка Сахалинской железной дороги, где скорости движения пассажирских вагонов значительно ниже общесетевых.

При разработке вагонов для Сахалинской железной дороги потребовался привод для генераторов мощностью 8–9 кВт, способный обеспечивать их работу на полную номинальную мощность при скоростях движения 25÷30 км/ч. При этом требовалось использовать максимально короткий и простой путь с применением узлов серийного привода. Проведенные ЗАО НО «ТИВ» и ОАО «ТВЗ» (Тверской вагоностроительный завод) исследования показали, что использование клиновых ремней XPC при модернизации привода текстропно-редукторно-карданного (ТРК) позволяет решить такую задачу.

Кинематическая схема привода ТРК была принята без изменений, но с заменой клиновых ремней С(В)-2360Т на новые узкие ремни XPC-2360 без обертки рабочей поверхности и с формированным зубом на нижнем основании. В натяжном устройстве заменена основная пружина жесткостью 75 Н/мм на пружину повышенной жесткости (100 Н/мм).

Главным изменением стала замена генератора 2ГВ003, который имеет минимальные обороты для включения на полную мощность (950 ± 50) об/мин, на низкооборотный генератор 2ГВ008 с минимальными оборотами включения на полную мощность (700 ± 80) об/мин от привода ТК-2. Привод позволил включаться генератору 2ГВ008 на номинальную мощность, начиная со скорости движения 30 км/ч [5].

Позднее удалось понизить минимальную скорость включения ГПУ до 25 км/ч. Это было достигнуто за счет увеличения диаметра ведущего шкива клиноременной передачи с 284 до 340 мм [6].

В работе [7] задача расширения скоростного диапазона работы САЭ ЭВ-7 и ЭВ-10 для вагонов без кондиционирования решена за счет принудительного форсирования возбуждения генераторов. Однако в этой работе не рассматривается тяговая способность клиноременного привода номинальной мощности САЭ при пониженных скоростях движения вагона (ниже (35 ± 2) км/ч).

Проведенный анализ показал, что расширение скоростного диапазона работы САЭ современных пассажирских вагонов может быть достигнуто тремя способами:

- поднятием передаточного отношения редуктора для обеспечения включения на номинальный режим при скорости движения вагона 15–20 км/ч без изменения параметров генератора и всей системы автономного энергоснабжения;
- модернизацией комплекса электрооборудования пассажирских вагонов для обеспечения работы основных энергопотребителей и заряда аккумуляторной батареи при движении на малых скоростях (более 18 км/ч) без изменения механических параметров и состава серийной генераторно-приводной установки;
- модернизацией генератора с целью понижения оборотов включения его на необходимую для обеспечения основных энергопотребителей мощность без изменения механических параметров привода.

Все три способа имеют свои преимущества и недостатки. Однако их необходимо рассматривать для каждого конкретного типа вагонов — пассажирских магистральных, специальных вагонов, вагонов-лабораторий, вагонов сопровождения, служебных вагонов и т. д.

ГПУ с повышенным передаточным отношением редуктора. ОАО «ТВЗ» получило заказ на партию специализированных вагонов с УКВ. Вагоны были разработаны на базе серийных пассажирских вагонов модели 61-4447.06 (вагон пассажирский некупейный) и модели 61-4458.15 (вагон с местами для сидения). Кроме отличий в планировочных решениях и внутреннем оборудовании, основным отличием специализированных вагонов являлось снижение конструкционной скорости до 100 км/ч. При этом САЭ должна

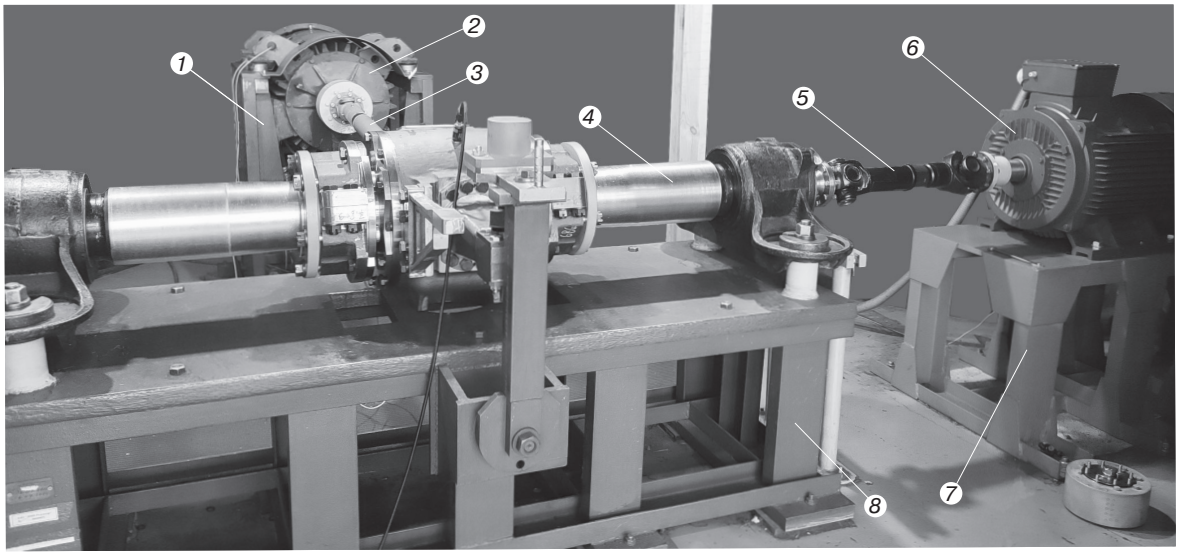

Рис. 1. Механическая часть стенда СР-2:
1 — опора генератора; *2* — генератор; *3* — карданный вал; *4* — ось с редуктором в буксовых узлах;
5 — приводной карданный вал; *6* — приводной электродвигатель; *7* — опора приводного электродвигателя; *8* — опора оси с редуктором
Fig. 1. Mechanical part of the SR-2 stand:
1 — generator support; *2* — generator; *3* — cardan shaft; *4* — axle with gearbox in axle boxes;
5 — drive cardan shaft; *6* — drive electric motor; *7* — support of the drive electric motor; *8* — axle support with gearbox

обеспечивать работу УКВ, начиная со скорости движения вагонов 20–25 км/ч.

В связи со срочностью выполнения заказа и для минимизации затрат на разработку в техническом задании АО «ФПК» рекомендовалось добиться поставленной цели за счет модернизации конического редуктора серийной ГПУ.

В соответствии с техническим заданием две организации, имеющие большой опыт изготовления редукторов, разработали и изготовили редукторы с повышенным передаточным отношением. После этого встал вопрос о проведении типовых испытаний каждого редуктора по единой программе. Такая программа была разработана, и ее основные положения подробно изложены в [8, 9, 10].

Следует отметить, что при разработке единой программы типовых испытаний учитывались аналогичные программы производителей, разработанные и согласованные с участием ЗАО НО «ТИВ» [11, 12].

Объектом типовых испытаний являлись два редуктора различных отечественных производителей:

• редуктор ЖДР-0002-У-2 привода генератора мощностью 32 кВт с передаточным отношением $U_р = 4{,}95$ производства ЗАО «Привод-комплектация»;

• редуктор ДМИ-44.00.000-01 привода генератора мощностью 32 кВт с передаточным отношением $U_р = 4{,}937$ производства ЗАО «ДМИ-Редуктор».

В серийной ГПУ используется редуктор с передаточным отношением 3,727 и штатный генератор ЭГВ-08.У1, который работает в диапазоне оборотов от (750 ± 50) до 3450 об/мин и обеспечивает мощность 32 кВт. При этом его наибольшая допустимая частота вращения не должна превышать 3880 об/мин.

Испытания проводились в два этапа [8, 9, 10]. На первом этапе с помощью метрологических средств измерений, оговоренных в нормативных документах, были определены зазоры и биения элементов редукторов [13, 14]. На втором этапе колесная пара с редуктором устанавливалась на стенд, параметры которого оговорены в [15]. Общий вид стенда показан на рис. 1. Все характеристики стенда и правила его эксплуатации приведены в документах изготовителя [16, 17].

В табл. 1 приведены режимы работы стенда при испытаниях редукторов.

Испытания редукторов на стенде производились с плавным изменением частоты вращения колесной пары и нагрузки в каждом направлении вращения.

Таблица 1

Режимы работы оборудования при испытаниях редукторов

Table 1

Operating modes of equipment when testing gearboxes

Направление вращения полого вала или колесной пары	Частота вращения полого вала, об/мин	Нагрузка на выходном валу, кВт	Время, мин
Правое	0÷700	Без нагрузки	60
Левое	0÷700	Без нагрузки	60
Правое	0÷700	40	90
Левое	0÷700	40	90
		Итого	300

Таблица 2

Результаты испытаний редукторов

Table 2

Gearbox test results

Наименование контролируемого показателя, единица измерения	Нормативное значение контролируемого показателя	Фактическое значение контролируемого показателя, полученное по результатам испытаний			
		ЖДР-0002-У-2		ДМИ-44.00.000-01	
Определение зазоров и биений, мм:		До обкатки	После обкатки	До обкатки	После обкатки
боковой зазор в зацеплении шестерен	От 0,15 до 0,50	0,31	0,33	0,23	0,20
осевой зазор в подшипниках полого вала	От 0,30 до 0,50	0,40	0,41	0,42	0,41
осевой зазор в подшипниках ведомого вала шестерни	От 0,03 до 0,18	0,07	0,09	0,11	0,11
биение корпуса редуктора относительно оси колесной пары	0,15, не более	правая сторона оси: 0,09 левая сторона оси: 0,09	правая сторона оси: 0,10 левая сторона оси: 0,11	правая сторона оси: 0,08 левая сторона оси: 0,08	правая сторона оси: 0,09 левая сторона оси: 0,09
биение фланца ведомой шестерни					
– торцевое	0,10, не более	0,07	0,08	0,05	0,05
– радиальное	0,10, не более	0,07	0,08	0,05	0,05
Определение пятна контакта зубчатой пары, %:					
рабочей поверхности высоты зуба	45, не менее	80,0		55,0	
рабочей поверхности длины зуба	65, не менее	90,0		75,0	
Определение уровня шума, дБА	90, не более	87		81	
Определение температуры корпуса редуктора, °С:					
в центральной части	70, не более	55,3		53,4	
в зоне установки подшипников	70, не более	45,6		60,6	
Определение массы, кг	595, не более	540,0		531,0	

Отклонения частоты вращения колесной пары от номинального значения — не более ±10 об/мин.

Общие итоговые результаты испытаний каждого редуктора (до и после обкатки) приведены в табл. 2.

Измерения допустимого уровня шума, производимого при работе редуктора, выполнялись в соответствии с требованиями, указанными в [18, 19]. При измерениях уровня шума приводной электродвигатель стенда накрывают звукоизолирующим кожухом и отключают все работающее в цехе оборудование. На рис. 2 показана схема установки датчика измерения уровня шума.

Уровень фонового шума измеряют при неработающем редукторе. Данный уровень должен быть достаточно низким, чтобы не влиять на результаты измерений шума редуктора. Это гарантировано, если эквивалентный уровень шума при неработающем редукторе на 10 дБА ниже уровня, зафиксированного при работе редуктора в заданном режиме.

Положительные результаты типовых испытаний позволили изготовить первую партию редукторов ЖДР-0002-У-2 и ДМИ-44.00.000-01 и передать их ОАО «ТВЗ» для установки на строящиеся специальные вагоны. В 2019 г. ОАО «ТВЗ» изготовило и передало заказчику четыре вагона на базе модели 61-4447.06 (редуктор ЖДР-0002-У-2) и семь вагонов на базе модели 61-4458.15 (редуктор ДМИ-44.00.000-01).

Однако при решении вопроса о работе ГПУ при пониженных скоростях движения вагонов за счет повышения передаточного отношения редуктора не следует забывать о генераторах.

В табл. 3 приведены обороты генераторов для различных редукторов, входящих в ГПУ пассажирских вагонов. Как видно из таблицы, при увеличении скорости движения вагона более 120 км/ч скоростной режим работы генератора приближается к предельно допустимому или превышает его. Для специализированных вагонов с ограниченной конструкционной скоростью до 100–120 км/ч этот путь является наиболее экономически целесообразным. Кроме того, затраты на техническое обслуживание редуктора с повышенным передаточным отношением и затраты на техническое обслуживание серийного редуктора практически одинаковы.

Модернизированный комплекс электрооборудования, обеспечивающий работу энергопотребителей при низких скоростях движения вагона. Вектор развития АО «ФПК» направлен на обеспечение работоспособности УКВ при пониженных скоростях (18 ± 1) км/ч вместо (35 ± 2) км/ч при сохранении конструкционной скорости 160 км/ч для магистральных пассажирских вагонов при движении на низкоскоростных участках железных дорог, когда состав длительное время движется при скоростях ниже (35 ± 2) км/ч. Кроме того, все большее развитие получает железнодорожный туризм. Эти поезда в ночное время суток двигаются с любой скоростью, допустимой для участка железной дороги, а в дневное время для осмотра достопримечательностей стараются максимально ее снижать.

ООО НПЦ «ЭКСПРЕСС» был разработан комплекс электрооборудования Э-12.03.00.00.000АК-67 для пассажирских вагонов локомотивной тяги, который при работе от серийного подвагонного генератора типа ЭГВ-08.У1 (или аналогичного) и серийного редуктора позволяет обеспечить работу энергопотребителей, а также заряд аккумуляторной батареи суммарной мощностью не менее 15 кВт при движении вагона со скоростями более (18 ± 1) км/ч. Основным отличием данного комплекса электрооборудования от ранее выпускаемых (включая комплексы других производителей) является наличие в составе модуля согласования напряжения Э-00.14.90.00.000 (далее – МС), размещаемого в ящике низковольтной аппаратуры и работающего по алгоритму, обеспечивающему оптимальный режим работы основных потребителей, подзаряда аккумуляторной батареи и надежность эксплуатации при движении вагона на малых скоростях.

Сущность разработки поясняется на функциональной схеме системы энергоснабжения с МС для пассажирских железнодорожных вагонов локомотивной тяги, показанной на рис. 3.

Система энергоснабжения пассажирских железнодорожных вагонов локомотивной тяги работает следующим образом.

При движении вагона вращение генератора *2* осуществляется от колесной пары, при этом он работает в режиме самовозбуждения. С обмоток возбуждения генератора *12* снимается напряжение, поступающее на выпрямительный мост *3* и блок управления системой энергоснабжения (БУЭК) *1,* которая вычисляет скорость движения вагона пропорциональную частоте вращения генератора *2.* При снижении скорости движения вагона до 18 км/ч БУЭК *1* выдает разрешающий сигнал на управляющий вход *17* согласующего устройства *14.* Одновременно датчик напряжения *13* контролирует выходное напряжение выпрямительного моста *3.* При снижении напряжения на выходе выпрямительного моста ниже допустимого предела датчик напряжения *13* выдает соответствующий сигнал на первый вход согласующего устройства *14.* По приходу сигнала с выхода датчика напряжения *13* включается согласующее устройство *14.* При этом согласующее устройство *14* по заданной программе управления повышает и стабилизирует напряжение, поступающее с выпрямительного моста до уровня, необходимого для питания энергопотребителей *6.* При этом происходит заряд аккумуляторной батареи *6.1.* Ток заряда ограничивается по сигналу датчика тока *6.3.* При увеличении скорости движения вагона до 35 км/ч напряжение,

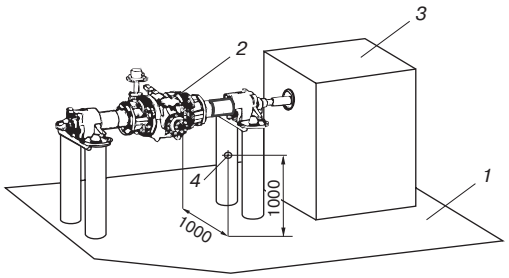

Рис. 2. Схема установки датчика измерения шума для редукторов: *1* — основание; *2* — испытываемый редуктор; *3* — звукоизолирующий короб электродвигателя; *4* — точка измерений

Fig. 2. Installation diagram of the noise measurement sensor for gearboxes: *1* — base; *2* — tested gearbox; *3* — soundproof box of the electric motor; *4* — measuring point

Таблица 3

Соотношение скоростей движения вагона и оборотов генератора при редукторах с разным передаточным отношением

Table 3

Ratio of the speed of the car and the rotations of the generator with gearboxes with different gear ratios

Скорость движения вагона $v_в$, км/ч	Обороты колесной пары $n_к$, об/мин	Обороты генератора $n_г$, об/мин		
		$U_р = 3{,}727$	$U_р = 4{,}937$	$U_р = 4{,}95$
15,0	84	313	415	416
18,0	101	376	499	500
20,0	112	417	553	554
25,0	140	522	692	693
30,0	168	626	829	832
35,0	196	729	968	970
40,0	224	835	1106	1109
60,0	335	1249	1654	1658
80,0	447	1666	2207	2213
100,0	558	2080	2745	2762
120,0	670	2499	3308	3317
140,0	782	2915	3861	3871
160,0	894	3332	4414	4425

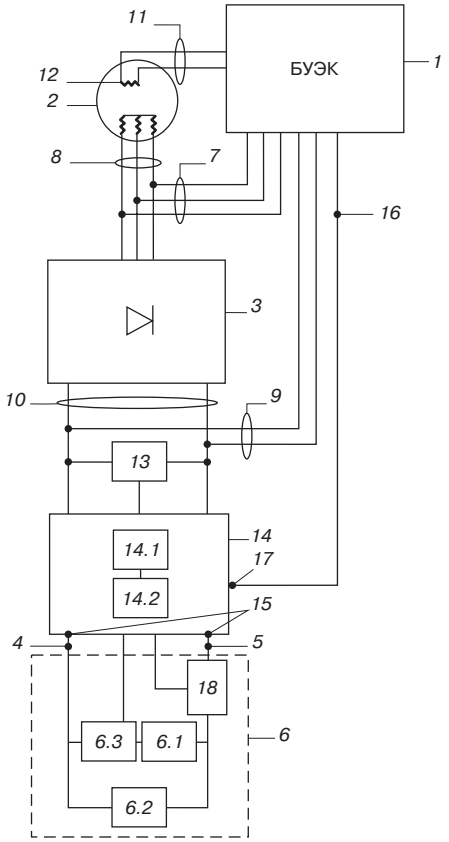

Рис. 3. Функциональная схема системы энергоснабжения с МС:
1 — блок управления системой энергоснабжения (БУЭК); *2* — генератор; *3* — выпрямительный мост; *4* — нейтральная клемма подключения энергопотребителей; *5* — фазовая клемма подключения энергопотребителей; *6* — энергопотребители; *6.1* — аккумуляторная батарея; *6.2* — электроаппаратура жизнеобеспечения (освещения, кондиционирования, туалетного обслуживания); *6.3* — датчик тока заряда аккумуляторной батареи; *7* — первые сигнальные входы БУЭК; *8* — выход силовых обмоток подвагонного генератора; *9* — вторые сигнальные входы БУЭК; *10* — выход выпрямительного моста; *11* — первый управляющий выход БУЭК; *12* — обмотка возбуждения подвагонного генератора; *13* — датчик напряжения; *14* — согласующее устройство; *14.1* — цифровой анализатор уровня напряжения на выходе выпрямительного моста; *14.2* — электронный коммутатор; *15* — выходы согласующего устройства; *16* — второй управляющий выход БУЭК; *17* — управляющий вход согласующего устройства; *18* — датчик тока сети

Fig. 3. Functional diagram of the power supply system with a voltage matching module (VM):
1 — power supply system control unit (PSSCU); *2* — generator; *3* — rectifier bridge; *4* — neutral terminal for connecting power consumers; *5* — phase terminal for connecting power consumers; *6* — energy consumers; *6.1* — rechargeable battery; *6.2* — electrical equipment for life support (lighting, air conditioning, toilet service); *6.3* — battery charge current sensor; *7* — first signal inputs of the PSSCU; *8* — output of the power windings of the undercar generator; *9* — second signal inputs of PSSCU; *10* — rectifier bridge output; *11* — first control output of the PSSCU; *12* — excitation winding of the undercar generator; *13* — voltage sensor; *14* — matching device; *14.1* — digital analyzer of the voltage level at the output of the rectifier bridge; *14.2* — electronic switch; *15* — outputs of the matching device; *16* — second control output of the PSSCU; *17* — control input of the matching device; *18* — network current sensor

снимаемое с выпрямительного моста *3*, становится достаточным для питания потребителей *6* в штатном режиме энергоснабжения. По сигналам БУЭК *1* и датчика напряжения *13* происходит отключение согласующего устройства *14*, и система энергоснабжения переходит в режим управления путем измерения с помощью БУЭК *1* тока обмотки возбуждения *12* генератора *2*. При этом подключены все энергопотребители *6*, питающиеся непосредственно от генератора *2* через выпрямительный мост *3*.

В процессе разработки вышеуказанного комплекса в лаборатории электрооборудования ООО НПЦ «ЭКСПРЕСС» неоднократно проводились стендовые испытания и испытания на функционирование. В аккредитованном испытательном центре были успешно проведены испытания на устойчивость к внешним механическим и климатическим факторам [20, 21].

Совместно с ЗАО НО «ТИВ» была проведена работа по анализу влияния увеличенных нагрузок при малых оборотах колесных пар (400–750 об/мин) на редуктор.

Для снятия с генератора требуемой электрической мощности при работе САЭ редуктор проектируется на более высокие показатели механической мощности. Это связано с определенными потерями в цепи «редуктор — карданный вал — муфта — генератор». Так, например, в приводе WBA-32/2 при электрической мощности генератора $N_г = 32$ кВт редуктор проектируется на механическую мощность 44,68 кВт. На механическую мощность 45 кВт проектируются редукторы отечественных приводов-аналогов производства ЗАО «ДМИ-Редуктор» и ЗАО «Привод-комплектация».

Крутящий момент на валу редуктора определяется мощностью, снимаемой с этого вала, и его оборотами, а именно [22]:

$$M_р = 9740\frac{N}{n_к}, \quad (1)$$

где 9740 — переводной коэффициент; N — максимальная механическая мощность, снимаемая с рассматриваемого вала редуктора, кВт.

При $N = 45$ кВт и $v_в = 40$ км/ч максимальный крутящий момент, на который рассчитан редуктор, будет равен

$$M_р = 9740\frac{45}{224} = 1957 \text{ Н·м}. \quad (2)$$

С учетом передаточного отношения редуктора максимальный расчетный момент на роторе генератора ($n_г = 835$ об/мин при $v_в = 40$ км/ч) составит

$$M_г = 9740\frac{N}{n_г} = 9740\frac{45}{835} = 525 \text{ Н·м}. \quad (3)$$

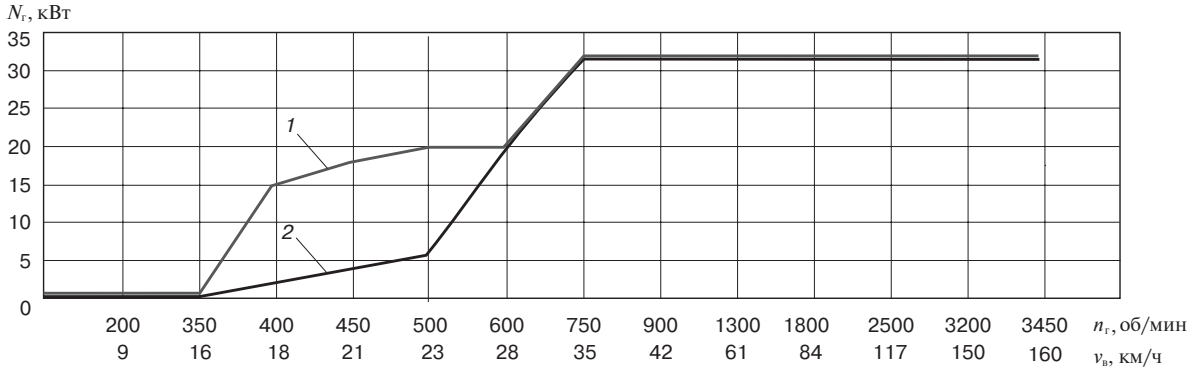

Рис. 4. Сравнительная мощностная характеристика модернизированного комплекса с модулем МС (*1*) и серийного с генератором ЭГВ-08.У1 (*2*)
Fig. 4. Comparative power characteristics of the modernized complex with the VM module (*1*) and the serial one with the EGV-08.U1 generator (*2*)

Определим $M_р$ и $M_г$ при скоростях движения вагона ниже 40 км/ч. Как видно из табл. 4, при мощности генератора 15 кВт и скорости движения вагона 18 км/ч крутящие моменты на редукторе и роторе генератора соответственно равны 2010 и 545 Н·м. Таким образом, максимальные значения $M_р$ и $M_г$ при режиме работы $v_в$ = 18 км/ч и $N_г$=15 кВт практически равны штатному режиму при $v_в$ = 40 км/ч и $N_г$ =32 кВт.

В состав привода входит карданный вал и упругая предохранительная муфта. Они рассчитаны на работу при крутящем моменте до 950 Н·м. Упругая предохранительная муфта срабатывает при крутящем моменте более 1500 Н·м.

Проведенная оценка оборотов генератора, тягово-энергетических параметров генератора и механических параметров привода в расширенном диапазоне скоростей движения вагона позволяет сделать вывод, что нагруженность редуктора и его скоростной режим работы при скоростях движения вагона от (18 ± 1) до (35 ± 2) км/ч и электрической мощности генератора 15 кВт не превышают расчетных значений, что позволяет рекомендовать его для использования в системах энергоснабжения при пониженных скоростях.

Сравнительная мощностная характеристика модернизированного комплекса с МС и ранее выпускаемых серийных комплексов с генератором ЭГВ-08.У1 приведена на рис. 4.

В сентябре 2019 г. на территории ООО НПЦ «ЭКСПРЕСС» при участии представителей АО «ФПК», ЦТА ОАО «РЖД», ЗАО НО «ТИВ» и АО «Вагонремаш» были успешно проведены типовые испытания нового комплекса электрооборудования и на основании акта типовых испытаний внесены соответствующие изменения в технические условия.

В настоящее время комплексы электрооборудования Э-12.03.00.00.000АК-67, обеспечивающие работу установки кондиционирования воздуха и подзаряд аккумуляторной батареи при движении со скоростями от (18 ± 1) км/ч, устанавливаются на вагоны модели К/Кр при проведении их капитально-восстановительного ремонта, а МС применяется в составе других комплексов электрооборудования для пассажирских вагонов, в том числе и для туристических составов.

Таблица 4

Соотношение скоростей движения вагона и моментов на редукторе и генераторе при максимальных нагрузках генератора

Table 4

Ratio of the speed of the car and the moments on the gearbox and generator at maximum generator loads

$v_в$, км/ч	$N_г$, кВт	$M_р$, Н·м	$M_г$, Н·м
15	не менее 15	2435	633
18		2010	545
25		1465	392
30		1218	327
40	35	2030	550
100		785	211
160		490	132

ГПУ с модернизированным генератором. ООО НПЦ «ЭКСПРЕСС» в рамках работ по обеспечению комфортности проезда пассажиров при движении вагонов на малых скоростях обратился в АО «ФПК» с предложением доработать существующий серийно выпускаемый генератор типа ЭГВ-08.У1, позволяющий снимать мощность не менее 18 кВт (достаточной для работы УКВ) при достижении скорости вращения ротора генератора около 400 об/мин. В установленном порядке было разработано и согласовано техническое задание на модернизацию. Совместно с ОАО «Островский завод электрических машин» была разработана конструкторская документация на

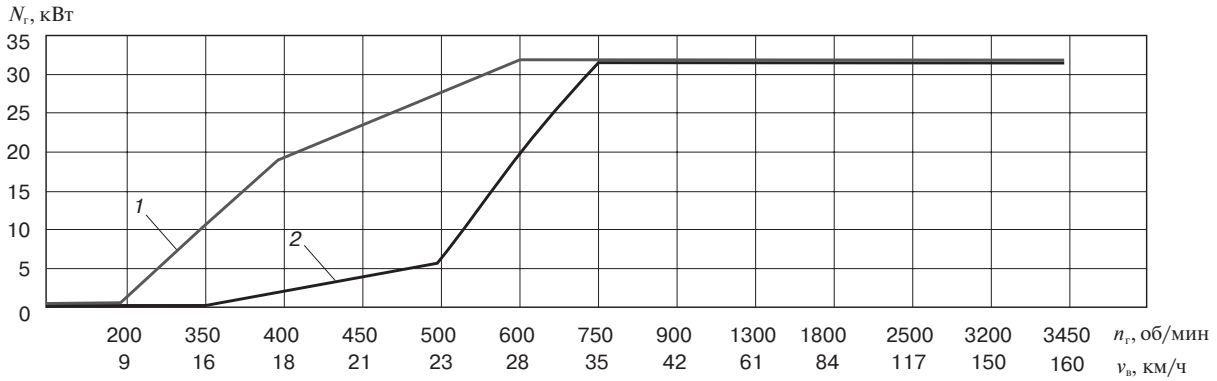

Рис. 5. Сравнительная мощностная характеристика генераторов ЭГВ-08М.У1 (*1*) и ЭГВ-08.У1(*2*)
Fig. 5. Comparative power characteristics of generators EGV-08M.U1 (*1*) and EGV-08.U1 (*2*)

модернизированный генератор и изготовлены опытные образцы [23].

Проведенные стендовые испытания опытных образцов показали высокую эффективность их применения для решения вопросов обеспечения работы электрооборудования на малых скоростях.

В табл. 5 приведены параметры модернизированного генератора ЭГВ-08М.У1.

Таблица 5

Основные параметры модернизированного генератора ЭГВ-08М.У1

Table 5

Main parameters of the modernized generator EGV-08M.U1

Параметр, единица измерения	Значение
Номинальная частота вращения, об/мин	400÷3450
Наибольшая частота вращения, об/мин	3880
Мощность полная при 750÷3450 об/мин, кВт	32
Мощность полная при 400÷750 об/мин, кВт	не менее 15
Коэффициент полезного действия, %	72÷85

Сравнительная мощностная характеристика модернизированного генератора ЭГВ-08М.У1 и серийно выпускаемого генератора ЭГВ-08.У1 приведена на рис. 5.

Габаритно-присоединительные размеры модернизированного генератора, а также его масса унифицированы с серийно выпускаемыми генераторами, что делает оба изделия полностью взаимозаменяемыми.

В настоящее время опытный образец модернизированного генератора ЭГВ-08М.У1 успешно прошел приемо-сдаточные и предварительные испытания и допущен к приемочным испытаниям и предъявлению приемочной комиссии.

Выводы. 1. Разработка новых специализированных вагонов на базе серийных пассажирских вагонов с УКВ и постоянная работа АО «ФПК» по повышению качества транспортного обслуживания пассажиров потребовали расширения скоростного режима работы САЭ вагонов с УКВ. Основным требованием являлось включение УКВ при снижении скорости вагона с (35 ± 2) до 15–20 км/ч.

2. Проведенный в работе анализ современных САЭ показал, что расширение скоростного диапазона пассажирских вагонов с УКВ без разработки принципиально новых САЭ может быть достигнуто тремя способами:

• за счет увеличения передаточного отношения редуктора при сохранении параметров генератора существующей ГПУ;

• за счет модернизации комплексов электрооборудования для пассажирских вагонов;

• за счет снижения рабочей частоты генератора для включения его на требуемую мощность.

В статье рассмотрены все три способа расширения скоростного диапазона включения УКВ.

3. Расчетно-экспериментальные исследования показали, что повышение передаточного отношения конического редуктора с 3,727 до 4,95 без изменения его габаритно-массовых параметров благодаря современным ГПУ обеспечивает получение в САЭ мощность 32 кВт при скорости движения вагона 25 км/ч и мощность 16 кВт при скорости 20 км/ч. При этом следует отметить, что по достижении предельной частоты вращения генератора максимальная допускаемая скорость движения вагона снижается до 130–140 км/ч.

4. Проведенные испытания, а также данные об эксплуатации комплекса электрооборудования Э-12.03.00.00.000АК-67 показали, что при существующих серийных ГПУ, устанавливаемых на пассажирские вагоны, комплекс позволяет принимать от генератора мощность не менее 15 кВт в диапазоне низких скоростей ~18–35 км/ч.

При этом возможна доработка вагонов, находящихся в эксплуатации, путем установки на них модуля

согласования, позволяющего расширить скоростной диапазон работы энергопотребителей без внесения существенных изменений в конструкцию вагона.

Модернизированный генератор с расширенным диапазоном рабочей частоты в настоящее время прошел приемо-сдаточные и предварительные испытания и готов к проведению приемочных испытаний и предъявлению приемочной комиссии.

Способы расширения скоростного диапазона работы САЭ без ее принципиальной модернизации показали свою работоспособность. Они позволяют решить поставленную АО «ФПК» задачу по повышению качества транспортного обслуживания пассажиров, связанную с работой энергопотребителей при низких скоростях движения поезда. Выбор способа должен осуществляться в соответствии с техническими требованиями для конкретного вагона.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Егоров В.П. Эксплуатация электрооборудования пассажирских вагонов. М.: Транспорт, 1987. 220 с.
2. Зорохович А.Е., Либман А.З. Электро- и радиооборудование пассажирских вагонов. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Транспорт, 1985. 343 с.
3. Самошкин С.Л., Доронин И.С., Чернышев А.А. Приводы генераторов индивидуальных систем энергоснабжения вагонов локомотивной тяги: обзор. М.: ЦНИИТЭИтяжмаш, 1986. 44 с. (Транспортное оборудование. Серия. 5; вып. 1).
4. Терешкин Л.В. Приводы генераторов пассажирских вагонов. М.: Транспорт, 1990. 152 с.
5. Самошкин О.С. Генераторно-приводные установки для пассажирских вагонов Сахалинской железной дороги на базе привода ТРК // Проблемы и перспективы развития вагоностроения: сб. тезисов докл. IV Всерос. науч.-практ. конф. (Брянск, окт. 2008 г.). Брянск: БГТУ, 2008. С. 97–99.
6. Самошкин О.С. Обоснование и разработка приводов с клиноременной передачей для систем энергоснабжения вагонов: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.22.77. СПб.: ПГУПС, 2011. 16 с.
7. Поярков М.Г. Об одном конструктивном решении проблемы расширения скоростного диапазона подвагонного генератора // Подвижной состав XXI века: идеи, требования, проекты: тезисы докл. XIV Междунар. науч.-техн. конф. (Санкт-Петербург, 9–13 июля 2019 г.). СПб.: ПГУПС, 2019. С. 245–247.
8. Самошкин С.Л., Сорокина Е.В., Сариков А.С. Особенности генераторно-приводных установок пассажирских и специальных вагонов для скоростей движения ниже 40 км/ч // Труды РГУПС. 2019. № 4 (49). С. 102–105.
9. Самошкин С.Л., Сорокина Е.В., Сариков А.С. Расширение скоростного диапазона работы генераторно-приводных установок пассажирских вагонов для пониженных скоростей движения // Проблемы безопасности на транспорте. Материалы IX Междунар. науч.-практ. конф. (Гомель, 28–29 ноября 2019 г.). В 2-х ч. Ч. 1. Гомель: БелГУТ, 2019. С. 191–192.
10. Самошкин С.Л., Сорокина Е.В., Сариков А.С. Испытания редуктора с повышенным передаточным отношением приводов вагонных генераторов от середины оси колесной пары // Проблемы и перспективы развития вагоностроения: сб. науч. тр. VIII Всерос. науч.-практ. конф. (Брянск, 18–19 апр. 2019). Брянск: БГТУ, 2019. С. 158–160.
11. ЖДР-0002-У-2ПМ. Редуктор ЖДР-0002-У-2: программа и методика типовых испытаний / ЗАО «Привод-комплектация». [Б. м.], 2018. 18 с.
12. 3183-002-76619015-19ПМ. Редуктор ДМИ-44.00.000-01 конический одноступенчатый привода вагонного генератора от средней части оси колесной пары мощностью не более 32 кВт пассажирского вагона локомотивной тяги с передаточным числом 4,937: программа и методика типовых испытаний / ЗАО «ДМИ-Редуктор». М., 2019. 20 с.
13. ГОСТ 15.309–98. Система разработки и постановка продукции на производство. Испытания и приемка выпускаемой продукции. Минск: Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 1998. 14 с.
14. ГОСТ Р 51672–2000. Метрологическое обеспечение испытаний продукции для целей подтверждения соответствия. Основные положения. М.: Госстандарт России, 2000. 16 с.
15. 038ПКБЦЛ/ПКТБв-04РД. Редукторно-карданные приводы вагонных генераторов пассажирских ЦВМ. Руководство по ремонту / ОАО «Вагонреммаш». М., 2014. 285 с.
16. СР.301329.001ПС. Стенд обкатки редукторов от средней части оси под нагрузкой СР-2. Паспорт. Екатеринбург: Дизель-тест-Комплект, 2017. 11 с.
17. СР.301329.001РЭ. Стенд для обкатки и испытаний редукторов от средней части оси СР-2. Руководство по эксплуатации. Екатеринбург: Дизель-тест-Комплект, 2017. 21 с.
18. ТУ 3183-001-76619009-06. Редуктор ДМИ-44.00.000 конический одноступенчатый привода вагонного генератора от средней части оси колесной пары мощностью не более 32 кВт пассажирского вагона локомотивной тяги. Технические условия / ЗАО «ДМИ-Редуктор». М., 2019. 45 с.
19. ТУ ЖДРУ.303144.001. Редуктор ЖДР-0002 привода вагонного генератора мощностью 32 кВт для пассажирских вагонов. Технические условия / ЗАО «Привод-комплектация». [Б. м.], 2019. 42 с.
20. Э-12.03.00.00.000АК-67ПМ4. Комплекс электрооборудования пассажирских вагонов Э-12АК: программа и методика типовых испытаний / ООО НПЦ «ЭКСПРЕСС». Тверь, 2019. 13 с.
21. ТУ 3456-045-21315498-2000. Комплекс электрооборудования Э-12АК / ООО НПЦ «ЭКСПРЕСС». Тверь, 2007. 25 с.
22. Решетов Д.Н. Детали машин. М.: Машиностроение, 1975. 656 с.
23. Техническое задание на проведение работ по модернизации серийного подвагонного генератора типа ЭГВ-08.У1 / ООО НПЦ «ЭКСПРЕСС». Тверь, 2019. 22 с.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

САМОШКИН Сергей Львович ,
д-р техн. наук, профессор, начальник управления научно-технического обеспечения и развития, ЗАО НО «ТИВ»

МИРОНОВ Сергей Семенович,
исполнительный директор ООО НПЦ «ЭКСПРЕСС»

САМОШКИН Олег Сергеевич,
канд. техн. наук, главный специалист, отдел разработки и внедрения нового подвижного состава, АО «ФПК»

ХОДЕНКОВ Максим Владимирович,
заместитель главного конструктора, ООО НПЦ «ЭКСПРЕСС»

САРИКОВ Артем Сергеевич,
инженер, ЗАО НО «ТИВ»

Статья поступила в редакцию 21.04.2020 г., принята к публикации 30.06.2020 г.

Для цитирования: Общие принципы расширения скоростного диапазона работы систем автономного энергоснабжения пассажирских вагонов / С.Л. Самошкин [и др.] // Вестник ВНИИЖТ. 2020. Т. 79. № 4. С. 191–201. DOI: https://doi.org/10.21780/2223-9731-2020-79-4-191-201.

General principles of expanding the speed range of operation of autonomous power supply systems for passenger cars

S.L. SAMOSHKIN[1], S.S. MIRONOV[2], O.S. SAMOSHKIN[3], M.V. KHODENKOV[2], A.S. SARIKOV[1]

[1] Closed Joint Stock Company Scientific Organization "Tver Institute of Car Building" (CJSC SO "TIV"), Tver, 170003, Russia
[2] Limited Liability Company Research and Production Center "EXPRESS" (LLC RPC "EKSPRESS"), Tver, 170100, Russia
[3] Joint Stock Company "Federal Passenger Company" (JSC "FPC"), Moscow, 107078, Russia

Abstract. Authors address the issues of expanding the speed range for operation of autonomous power supply systems for air-conditioned passenger cars. For the first time in the domestic car construction, the issue of reducing the minimum start-up speed of a generator-drive unit arose when the passenger fleet of the Sakhalin Railway was renewed, where the speed of passenger cars is much lower than the overall network speed. Research carried out by CJSC SO "TIV" and JSC "TVZ" has shown that the use of V-belts in the modernization of the textropic-reduction-cardan drive allows solving this problem. Kinematic diagram of the drive was adopted without changes, but with the replacement of the V-belts C (B)-2360T with new narrow belts XPC-2360 without working surface wrap and with a formed tooth on the lower base. In the tensioner, the main spring with a stiffness of 75 N/mm was replaced with a spring of increased stiffness (100 N/mm). The main change was the replacement of the 2GV003 generator with a 2GV008 low-speed generator, which has a minimum rotation at full power (700 rpm). This modernization of the drive made it possible to turn on the generator 2GV008 at rated power, starting at a speed of 30 km/h.

The article sets the task of expanding the speed range of operation of the EV-7 and EV-10 autonomous power supply systems for cars without air conditioning. It is solved by forcing the excitation of the generators.

Analysis of modern systems of autonomous power supply of passenger cars showed that the expansion of the speed range of its operation can be achieved in three ways:

• raising the gear ratio of the gearbox to ensure it is switched on to the nominal mode at a carriage speed of 15–20 km/h without changing the parameters of the generator and the entire system of autonomous power supply;

• modernization of the electrical equipment complex for passenger cars to ensure the operation of the main power consumers and charge the battery while driving at low speeds (over 18 km/h) without changing the mechanical parameters and composition of the serial generator-drive unit;

• modernization of the generator in order to reduce its turn-on revolutions to the power required to provide the main power consumers without changing the mechanical parameters of the drive.

All three methods have its advantages and disadvantages, the choice of any of them is determined by the technical requirements for a specific car model.

Keywords: autonomous power supply system; air conditioning installation; generator drive unit; speed range; bench tests

DOI: http://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2020-79-4-191-201

REFERENCES

1. Egorov V.P. *Ekspluatatsiya elektrooborudovaniya passazhirskikh vagonov* [Operation of electric equipment for passenger cars]. Moscow, Transport Publ., 1987, 220 p.

2. Zorokhovich A.E., Libman A.Z. *Elektro- i radiooborudovanie passazhirskikh vagonov*. 3-e izd., pererab. i dop. [Electric and radio equipment of passenger cars. 3rd edition, revised and amended]. Moscow, Transport Publ., 1985, 343 p.

3. Samoshkin S.L., Doronin I.S., Chernyshev A.A. *Privody generatorov individual'nykh sistem energosnabzheniya vagonov lokomotivnoy tyagi: obzor* [Drives of generators of individual power supply systems for locomotive traction cars: an overview]. Moscow, TsNIITEItyazhmash Publ., 1986, 44 p. (Transportnoe oborudovanie, Seriya 5, vyp. 1 [Transport Equipment, Vol. 5, iss. 1]).

4. Tereshkin L.V. *Privody generatorov passazhirskikh vagonov* [Generator's drives of passenger cars]. Moscow, Transport Publ., 1990, 152 p.

5. Samoshkin O.S. *Generatorno-privodnye ustanovki dlya passazhirskikh vagonov Sakhalinskoy zheleznoy dorogi na baze privoda TRK* [Generator-drive installations for passenger cars of the Sakhalin railway on the basis of TRK drive]. Problemy i perspektivy razvitiya vagonostroeniya. Sb. tezisov dokl. IV vseros. nauch.-prakt. konf. (Bryansk, okt. 2008 g.) [Problems and prospects for the development of car building. Proc. of articles of abstracts of the IV All-Russian scientific-practical conf. (Bryansk, October 2008)]. Bryansk, BGTU Publ., 2008, pp. 97–99.

6. Samoshkin O.S. *Obosnovanie i razrabotka privodov s klinoremennoy peredachey dlya sistem energosnabzheniya vagonov. Avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk* [Substantiation and development of drives with V-belt transmission for power supply systems for cars. Cand. tech. sci. diss. synopsis]. St. Petersburg, PGUPS Publ., 2011, 16 p.

7. Poyarkov M.G. *Ob odnom konstruktivnom reshenii problemy rasshireniya skorostnogo diapazona podvagonnogo generatora* [On one constructive solution to the problem of expanding the speed range of an undercar generator]. Podvizhnoy sostav XXI veka: idei, trebovaniya, proekty. Tezisy dokl. XIV Mezhdunar. nauch.-tekhn. konf. (St. Peterburg, 9–13 iyulya 2019 g.) [Rolling stock of the XXI century: ideas, requirements, projects. Abstracts of reports of the XIV Inter. scientific and technical conf. (St. Petersburg, July 9–13, 2019)]. St. Petersburg, PGUPS Publ., 2019, pp. 245–247.

8. Samoshkin S.L., Sorokina E.V., Sarikov A.S. *Osobennosti generatorno-privodnykh ustanovok passazhirskikh i spetsial'nykh vagonov dlya skorostey dvizheniya nizhe 40 km/ch* [Features of generator-drive installations of passenger and special cars for speeds below 40 km/h]. Trudy RGUPS [Proc. of RGUPS], 2019, no. 4 (49), pp. 102–105.

9. Samoshkin S.L., Sorokina E.V., Sarikov A.S. *Rasshirenie skorostnogo diapazona raboty generatorno-privodnykh ustanovok passazhirskikh vagonov dlya ponizhennykh skorostey dvizheniya* [Expansion of the speed range of the generator-drive units of passenger cars for reduced speeds]. Problemy bezopasnosti na transporte. Materialy IX Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. (Gomel', 28–29 noyab. 2019 g.). V 2-kh ch. Ch. 1 [Problems of safety on transport. Materials of the IX Inter. scientific-practical conf. (Gomel, November 28–29, 2019). In 2 parts. Part 1]. Gomel, BelGUT Publ., 2019, pp. 191–192.

10. Samoshkin S.L., Sorokina E.V., Sarikov A.S. *Ispytaniya reduktora s povyshennym peredatochnym otnosheniem privodov vagonnykh generatorov ot serediny osi kolesnoy pary* [Tests of a

reducer with an increased gear ratio of car generator drives from the middle of the axle of a wheelset]. Problemy i perspektivy razvitiya vagonostroeniya. Sb. nauch. tr. VIII Vseros. nauch.-prakt. konf. (Bryansk, 18–19 apr. 2019) [Problems and prospects for the development of car building. Proc. of articles of the scientific works of the VIII All-Russian scientific-practical conf. (Bryansk, April 18–19, 2019)]. Bryansk, BGTU Publ., 2019, pp. 158–160.

11. ZhDR-0002-U-2PM. *Reducer ZhDR-0002-U-2: program and method of type tests.* [S. l.], CJSC "Privod-komplektatsiya" Publ., 2018, 18 p. (in Russ.).

12. 3183-002-76619015-19PM. *Conical single-stage reducer DMI-44.00.000-01 for drive of a car generator from the middle part of a wheelset axle with a capacity of not more than 32 kW of a passenger car of locomotive traction with a gear ratio of 4.937: program and method of type tests.* Moscow, CJSC "DMI-Reductor" Publ., 2019, 20 p. (in Russ.).

13. GOST 15.309–98. *System of product development and launching of products. Testing and acceptance of manufactured products.* Minsk, Interstate Council for Standardization, Metrology and Certification, 1998, 14 p. (in Russ.).

14. GOST R 51672–2000. *Metrological support of product testing for the purposes of conformity confirmation. Basic provisions.* Moscow, Gosstandart of Russia Publ., 2000, 16 p. (in Russ.).

15. 038PKBTsL/PKTBv-04RD. *Gear-cardan drives of carriage generators of passenger TsVM. Repair manual.* Moscow, JSC "Vagonremmash" Publ., 2014, 285 p. (in Russ.).

16. CP.301329.001PS. *SR-2 stand for running gears from the middle part of the axle under load. Data sheet.* Yekaterinburg, Diesel-test-Kit Publ., 2017, 11 p. (in Russ.).

17. CP.301329.001RE. *SR-2 stand for running and testing gearboxes from the middle part of the axle. Manual.* Yekaterinburg, Diesel-test-Kit Publ., 2017, 21 p. (in Russ.).

18. TU 3183-001-76619009-06. *Conical single-stage reducer DMI-44.00.000 for the drive of the car generator from the middle part of the wheelset axle with a capacity not exceeding 32 kW of a passenger car of locomotive traction. Specifications.* Moscow, CJSC "DMI-Reductor" Publ., 2019, 45 p. (in Russ.).

19. TU ZhDRU.303144.001. *Reducer ZhDR-0002 of the drive of a car generator with a capacity of 32 kW for passenger cars. Specifications.* [S. l.], CJSC "Privod-komplektatsiya" Publ., 2019, 42 p. (in Russ.).

20. E-12.03.00.00.000AK-67PM4. *Electrical equipment complex for passenger cars E-12AK: program and methodology of type tests.* Tver, LLC RPC "EKSPRESS" Publ., 2019, 13 p. (in Russ.).

21. TU 3456-045-21315498-2000. *Electrical equipment complex E-12AK.* Tver, LLC RPC "EKSPRESS" Publ., 2007, 25 p. (in Russ.).

22. Reshetov D. N. *Detali mashin* [Machine parts]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1975, 656 p.

23. *Terms of reference for the modernization of a serial undercar generator of type EGV-08.U1.* Tver, LLC RPC "EKSPRESS" Publ., 2019, 22 p. (in Russ.).

ABOUT THE AUTHORS

Sergey L. SAMOSHKIN,
Dr. Sci. (Eng.), Professor, Head of Scientific and Technical Support and Development Department, CJSC SO "TIV"

Sergey S. MIRONOV,
Executive Director, LLC RPC "EKSPRESS"

Oleg S. SAMOSHKIN,
Cand. Sci. (Eng.), Chief Expert, Department of Development and Implementation of New Rolling Stock, JSC "FPC"

Maksim V. KHODENKOV,
Deputy Chief Structural Engineer, LLC RPC "EKSPRESS"

Artem S. SARIKOV,
Engineer, CJSC SO "TIV"

E-mail: info@tiv.ru (S. L. Samoshkin)

Received 21.04.2020
Accepted 30.06.2020

For citation: Samoshkin S. L., Mironov S. S., Samoshkin O. S., Khodenkov M. V., Sarikov A. S. General principles of expanding the speed range of operation of autonomous power supply systems for passenger cars // VNIIZhT Scientific Journal. 2020. 79 (4): 191–201 (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.21780/2223-9731-2020-79-4-191-201.

«Вестник ВНИИЖТ»
ГДЕ подписаться?

Подписку **на научно-технический журнал «Вестник научно-исследовательского института железнодорожного транспорта» («Вестник ВНИИЖТ»)** можно оформить в любом почтовом отделении связи по Объединенному каталогу «Пресса России», том 1 или агентствах по распространению печатных изданий «Урал-Пресс», АРЗИ и др.

Подписной индекс журнала — 70116.

Также можно оформить подписку (годовую и полугодовую) на договорных условиях в редакции. Адрес редакции журнала: 129626, Москва, 3-я Мытищинская ул., д. 10, тел.: +7 (499) 260-43-19, факс: +7 (499) 262-00-70, E-mail: journal@vniizht.ru. Информация о подписке размещена на сайте журнала https://www.journal-vniizht.ru.

Подписчики стран ближнего и дальнего зарубежья могут оформить подписку на журнал «Вестник ВНИИЖТ» в агентстве «Урал-Пресс» (Ural-Press , export@ural-press.ru).