

УДК 629.01.02/03

Инж. В. Г. КАРГИН, д-р техн. наук С. Н. НАУМЕНКО, инженеры В. В. БУРОВ, И. Н. ЧУВАШОВ, д-р техн. наук С. Л. САМОШКИН

Экспериментальные исследования тягово-энергетических характеристик генераторно-приводной установки для трехэлементных грузовых тележек фитинговых платформ

Аннотация. Для перевозки крупнотоннажных рефрижераторных контейнеров (КРК) на фитинговых платформах разработана система автономного электроснабжения (САЭ), которая устанавливается на трехэлементной грузовой тележке и обеспечивает снабжение КРК электроэнергией в пути следования. Одной из основных частей САЭ является генераторно-приводная установка, состоящая из генератора, клиноременной передачи и одноступенчатого редуктора с разъемной ведущей шестерней, установленной на средней части оси колесной пары.

С целью проверки работоспособности и определения экспериментальных тягово-энергетических показателей опытной генераторно-приводной установки были проведены стендовые испытания. При испытаниях использовался обкаточный стенд разработки ПКБ ОАО «ВНИИЖТ».

Для решения поставленных задач стенд был оборудован системами для определения натяжения клиноременной передачи по усилию на натяжном винте и для измерения скольжения по оборотам ведомого и ведущего шкивов клиноременной передачи.

Стендовые испытания проводились при различных скоростях движения фитинговой платформы и трех режимах нагружения САЭ, включая холостой ход.

Для проведения стендовых испытаний была разработана методика, которая позволяла определять скольжение клиноременной передачи с точностью до 0,01%. Результаты испытаний были сопоставлены с расчетными данными, полученными авторами ранее.

Испытания опытного образца САЭ показали, что ее генераторно-приводная установка обеспечивает работу до мощности 16 ± 1 кВт в диапазоне скоростей движения фитинговой платформы от 30 до 132 км/ч.

Ключевые слова: система автономного электроснабжения; крупнотоннажный рефрижераторный контейнер; генераторно-приводная установка; усилие натяжения; тяговая способность; скольжение; температурный режим

Для осуществления перевозок крупнотоннажных рефрижераторных контейнеров (КРК) на фитинговых платформах специалисты ПКБ ОАО «ВНИИЖТ» и компании ООО «НОВЕКА» разработали систему автономного электроснабжения (САЭ), устанавливаемую на трехэлементной грузовой тележке (тип 2). Одной из основных частей САЭ является генераторно-приводная установка, состоящая из генератора, клиноременной передачи, одноступенчатого редуктора с разъемной ведущей шестерней и опорной плитой, установленных в специальных подшипниках на средней части оси колесной пары.

В работах [1, 2] приведено описание опытного образца САЭ и изложены результаты предварительных исследований функциональной работоспособности ее генераторно-приводной установки. На основании анализа результатов проведенных исследований генераторно-приводная установка была доработана, и ООО «НОВЕКА» изготовило второй опытный образец [3, 4].

Для проверки работоспособности и определения экспериментальных тягово-энергетических показателей опытной генераторно-приводной установки были проведены стендовые испытания.

Стенд, разработанный специалистами ПКБ ОАО «ВНИИЖТ», предназначен для проведения предварительных испытаний САЭ в ходе которых:

- проверяется качество изготовления элементов оборудования;
- производится обкатка механических передач привода генератора;
- определяются основные параметры системы электроснабжения и их соответствие требованиям технического задания.

Конструкция стенда состоит из вращателя привода генератора 1305.01.000, преобразователя частоты транспортного ПЧ Т-04 из состава системы электроснабжения 1301.00.00.000, электрооборудования 1305.03.000 и нагрузочного устройства.

Вращатель привода генератора служит опорой для генераторно-приводной установки и обеспечивает его вращение в процессе испытаний. В конструкции вращателя предусмотрена возможность поперечного смещения точки подвеса, что позволяет имитировать поворот тележки относительно платформы при движении в кривых.

Питание приводного электродвигателя вращателя осуществляется от преобразователя частоты FR-F740-00770ЕС, который обеспечивает бесступенчатое регулирование частоты вращения опорного вала вращателя, имитируя изменение скорости движения платформы.

Напряжение генератора подается на преобразователь частоты системы электроснабжения, который

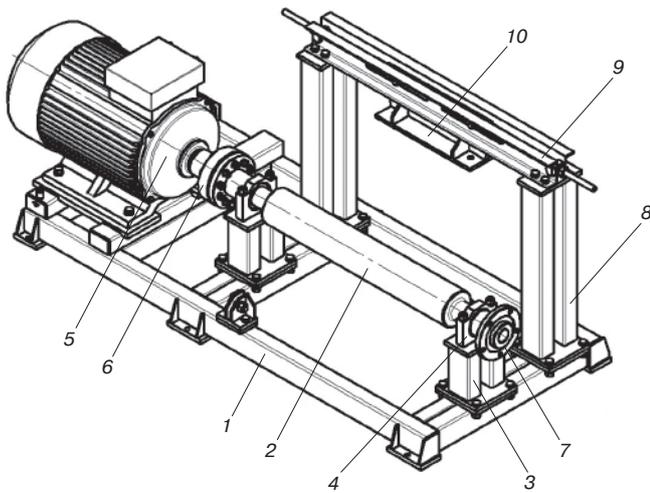


Рис. 1. Устройство вращателя стенда

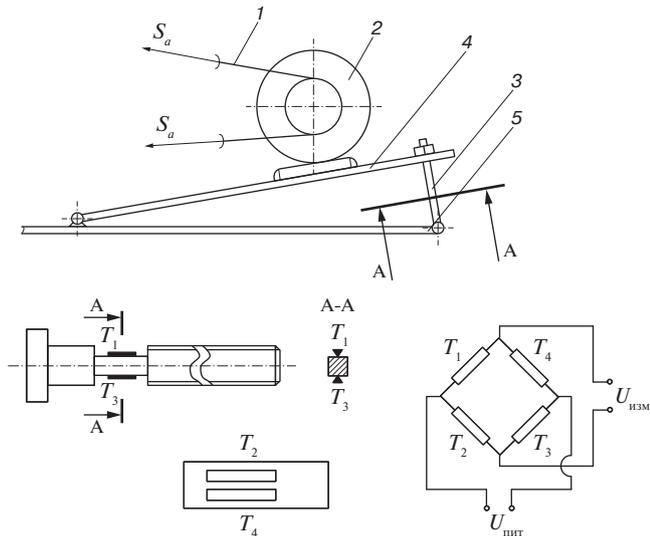


Рис. 2. Схема замера усилия натяжения ременной передачи

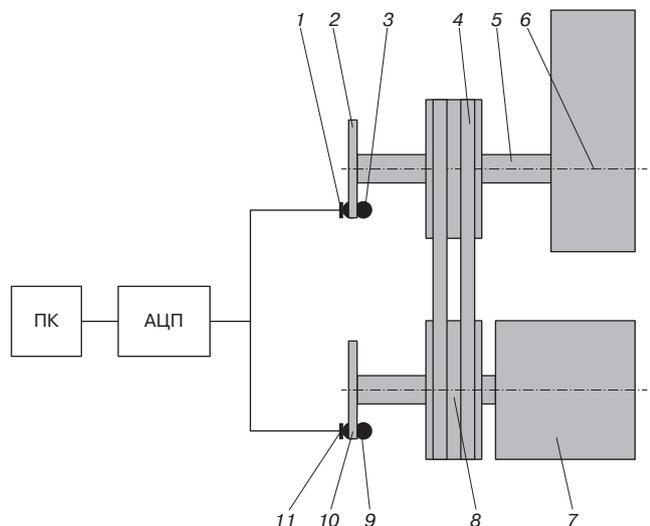


Рис. 3. Схема расположения измерительных средств для определения скольжения клиноременной передачи

питает нагрузку. В качестве нагрузки в зависимости от задачи испытаний используются два рефрижераторных контейнера или специальные нагрузочные модули.

На рис. 1 показано устройство вращателя — одного из основных элементов стенда. Несущим элементом вращателя является рама 1, сваренная из прямоугольных труб. Опорный вал 2, имитирующий ось колесной пары, закреплен на раме посредством подставок 3 с подшипниковыми опорами 4. Опорный вал соединяется с асинхронным электродвигателем 5 втулочно-пальцевой муфтой 6. На свободном конце вала установлен фланец 7, к которому крепится нагрузочный рычаг при определении момента, передаваемого резиновыми втулками от опорного вала к ведущему валу привода (на рис. 1 нагрузочный рычаг не показан).

На раме установлен портал 8, в горизонтальной балке 9 которого смонтирована каретка 10. Каретка имитирует хребтовую балку платформы и служит для крепления подвеса испытуемого привода генератора. Каретка может смещаться вдоль балки портала относительно среднего положения в каждую сторону на 170 мм. Поперечное смещение каретки имитирует перемещение тележки относительно рамы платформы при движении в кривых.

В исследуемой генераторно-приводной установке генератор 2 установлен на платформе 4, шарнирно закрепленной на общей раме 5. Натяжение ременной передачи 1 осуществляется винтом 3 (рис. 2).

Усилие натяжения ременной передачи при стендовых и ходовых динамических испытаниях определялось по деформациям натяжного винта 3, оборудованного тензорезисторами 6 с базой 10 мм. Место их расположения и электрическая схема приведены на рис. 2. Для установки тензорезисторов уменьшается диаметр винта до 12–14 мм (на длине 30 мм) с целью увеличения чувствительности схемы измерения и защиты датчиков. Сигнал от тензорезисторов передается на аналого-цифровой преобразователь (АЦП), а затем с помощью управляющей программы обрабатывается и выводится на дисплей ПК в виде графика изменения усилия на винте во времени [5].

Скольжение клиноременной передачи определяется оборотами ротора-генератора и промежуточного вала (или колесной пары).

Схема для измерения оборотов ротора и промежуточного вала показана на рис. 3.

Чтобы посчитать обороты генератора 7, на хвостовике которого установлен ведомый шкив 8, монтируется диск 10 с 14 прорезями. При вращении генератора от инфракрасного диода 9 сквозь прорези в диске 10 передается сигнал на фотодиод 11.

Далее сигнал передается на АЦП и с помощью управляющей программы обрабатывается и выводится на дисплей ПК в виде графика измерения числа

импульсов в зависимости от скорости движения вагона и мощности, снимаемой с генератора.

Обороты промежуточного вала 5 (ведущего шкива 4) и редуктора 6 определяют с помощью диска 2 с 20 прорезями, инфракрасного диода 3 и фотодиода 1, одновременно измеряют число оборотов генератора.

Для определения скольжения клиноременной передачи на каждом скоростном режиме рассчитывают передаточное отношение холостого хода U_0 :

$$U_0 = \frac{n_{\text{вм}}}{n_{\text{вщ}}}, \quad (1)$$

где $n_{\text{вм}}$ — частота вращения ведомого шкива ротора-генератора; $n_{\text{вщ}}$ — частота вращения ведущего шкива (промежуточного вала).

При нагружении передачи полезной нагрузкой по оборотам обоих шкивов определяется передаточное отношение на данной ступени нагрузки U_i .

Величина скольжения на i -й ступени нагружения определяется из выражения

$$\xi = \frac{U_0 - U_i}{U_0} 100\%. \quad (2)$$

При испытаниях скольжение клиноременной передачи определяют при скоростях движения платформы 30 км/ч, 35, 40, 50, 70, 100 и 120 км/ч для трех уровней полезной нагрузки — 0; 8 и 16 кВт. Регистрация оборотов ведущего и ведомого шкивов ременной передачи производится синхронно с регистрацией величины натяжения и мощности генератора как при стендовых, так и при ходовых динамических испытаниях.

На рис. 4 и 5 показаны системы для регистрации оборотов шкивов и натяжения клиноременной передачи в процессе проведения испытаний.

Разработанная система контроля скольжения клиноременной передачи с помощью дисков с прорезями, диодов и фотодиодов при пробных обкатках показала точность определения скольжения до 0,01%. Это очень высокий показатель, так как при устойчивой работе передачи величина скольжения лежит в пределах от 1 до 4%, а при начале боксования составляет от 7 до 10%.

Общий вид исследуемой генераторно-приводной установки, смонтированной на вращателе стенда, представлен на рис. 6. Траверса 1 подвеса генераторно-приводной установки крепится к каретке 2 корпуса стенда 3 гайками 4 (M20) и болтами 5 (M24×60).

При испытаниях электрическая нагрузка генераторно-приводной установки обеспечивается рефрижераторными контейнерами (20- и 40-футовый), которые подключаются к преобразователю ПЧТ-04. Каждый контейнер подключается к своему каналу преобразователя. В режиме нулевой нагрузки оба контейнера отключаются, в режиме 8 кВт подключается один из контейнеров, в режиме 16 кВт — оба контейнера.

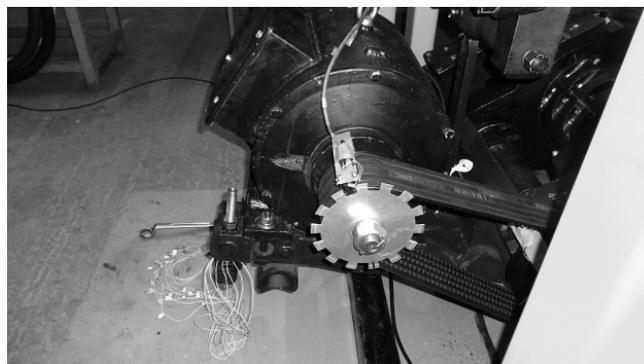


Рис. 4. Система для измерения скольжения клиноременной передачи

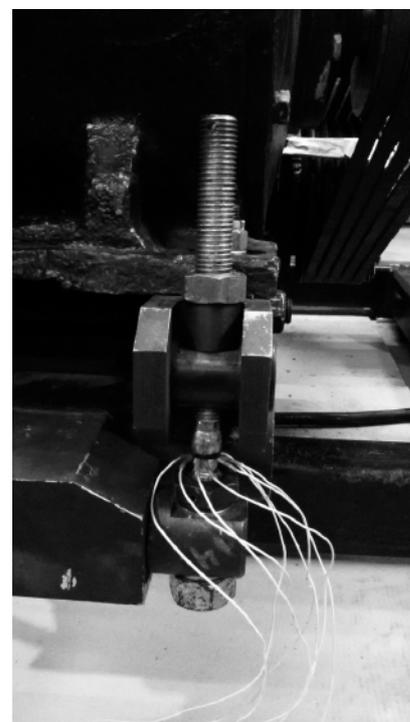


Рис. 5. Система для контроля натяжения клиноременной передачи

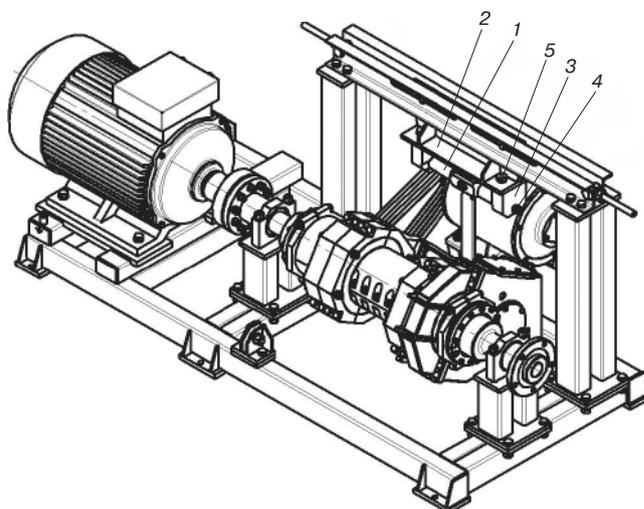


Рис. 6. Общий вид привода на стенде

Экспериментальные тягово-энергетические показатели

Без нагрузки				Нагрузка 8 ± 1 кВт				Нагрузка 16 ± 1 кВт			
$n_{осн}$, об/мин	$v_{в}$, км/ч	$n_{ген}$, об/мин	ξ , %	$n_{осн}$, об/мин	$v_{в}$, км/ч	$n_{ген}$, об/мин	ξ , %	$n_{осн}$, об/мин	$v_{в}$, км/ч	$n_{ген}$, об/мин	ξ , %
170	30,5	901	0	170	30,5	890	1,13	170	30,5	879	2,45
195	35,2	1033	0	195	35,2	1020	1,32	195	35,2	1011	2,26
224	40,4	1187	0	224	40,4	1176	0,94	224	40,4	1165	1,89
280	50,5	1484	0	280	50,5	1473	0,73	280	50,5	1460	1,62
390	70,3	2067	0	390	70,3	2054	0,64	390	70,3	2045	1,08
559	100,8	2962	0	559	100,8	2948	0,57	559	100,8	2935	0,943
670	120,0	3551	0	670	120,0	3540	0,32	670	120,0	3526	0,75
735	132,5	3895	0	735	132,5	3885	0,26	735	132,5	3870	0,66

Испытания проводили в диапазоне скоростей движения фитинговой платформы от 30 до 120 км/ч. Для проверки надежности функционирования генераторно-приводной установки в одном из опытов скорость была увеличена на 10% и достигала 132 км/ч. Скольжение клиноременной передачи (в %) определяли на каждом режиме испытаний по оборотам ведомого вала стэнда (что эквивалентно оборотам оси колесной пары при соответствующей скорости движения вагона-платформы) и генератора. Результаты стеновых испытаний представлены в таблице.

Анализ результатов испытаний показывает, что генераторно-приводная установка обеспечивает работу рефрижераторных контейнеров в скоростном диапазоне от 30 до 120 км/ч. При этом скольжение ременной передачи для наиболее тяжелых режимов работы (минимальная скорость движения платформы при максимальной мощности потребителей) не превышает 2,5%, что соответствует устойчивому режиму работы клиноременной передачи [6–9].

Программа испытаний включала исследование генераторно-приводной установки при повышенной частоте вращения, максимальной скорости (132 км/ч) и номинальной нагрузке 8 и 16 кВт. Продолжительность испытаний составила около 5 мин.

При последующих осмотрах объекта испытаний повреждений и остаточных деформаций узлов, отражающихся на работоспособности генераторно-приводной установки, обнаружено не было.

После завершения тягово-энергетических испытаний генераторно-приводной установки, которые продолжались непрерывно около 5 часов, произвели измерения температуры отдельных ее узлов.

Максимальное превышение температуры (по отношению к температуре окружающей среды на участке испытаний) составило:

- корпус генератора — 54 °С;
- корпус подшипников опорного вала — 52 °С;
- подшипниковые узлы редуктора — 50 °С.

Следует отметить, что полученные значения не выше нормативных (допускается превышение 60 °С).

Выводы. 1. Разработанная система контроля скольжения клиноременной передачи с помощью дисков с прорезями, диодов и фотодиодов показала точность определения скольжения до 0,01%. Это значительно превышает точность многих ранее применяемых в машиностроении аналогичных систем и позволяет детально исследовать работу под полезной нагрузкой клиноременных передач генераторно-приводных установок железнодорожного транспорта.

2. Проведенные исследования установили, что при имитации скоростей движения платформы от 30 до 132 км/ч генераторно-приводная установка обеспечивает работу САЭ мощностью до 16 ± 1 кВт. При этом для самого тяжелого режима работы ($v_{в} = 30$ км/ч, мощность 16 ± 1 кВт) скольжение ременной передачи не превышает 2,5%.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Разработка генераторно-приводной установки для трехэлементных грузовых тележек фитинговых платформ / В. Г. Каргин [и др.] // Вестник ВНИИЖТ. 2014. № 5. С. 44 – 49.
2. Науменко С. Н., Теймуразов С. Н., Просеков А. В. Система автономного электроснабжения железнодорожных грузовых фитинговых платформ от оси колесной пары // Вагонный парк. 2013. № 1 (70). С. 31 – 32.
3. Система автономного электроснабжения железнодорожных вагонов или платформ: патент на полезную модель № 151404. ФИПС Роспатент / В. В. Буров [и др.]. М., 2014.
4. A system of the autonomous power supply of railroad cars or platforms driven by a wheel pair axle / Pub.09.10.2014 №:WO/2014/163529. PCT/RU2013/000891.
5. Тензометрия в машиностроении: справочное пособие / под ред. канд. техн. наук Р. А. Макарова. М.: Машиностроение, 1975. 288 с.
6. Самошкин С. Л. Исследование возможности повышения тягово-энергетических показателей серийных клиноременных приводов генераторов пассажирских вагонов // Тяжелое машиностроение. 1999. № 3. С. 32 – 36.
7. Самошкин О. С. Совершенствование генераторно-приводных установок пассажирских вагонов // Железнодорожный транспорт. 2011. № 10. С. 56 – 59.

8. Horovitz B., Gheorghiu. Messung der Vorspannung bei Riementrieben // Maschinen maret. 1979. №11. S. 177–182.

9. Lysakows E., Ezopa T. Analyse der Riemenbelastungen im Mehrkeilrimengetriebe // Maschinenbautechnik. 1975. 24. №2. S. 78–80.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

КАРГИН Валентин Геннадьевич,

генеральный директор ОАО «Барнаульский ВРЗ». 656004, Алтайский край, Барнаул, Водопроводная ул., д.122. Тел.: (903) 539-75-69. E-mail: w_g_k@mail.ru

НАУМЕНКО Сергей Николаевич,

главный научный сотрудник, ОАО «ВНИИЖТ». 129626, Москва, 3-я Мытищинская ул., д.10. Тел.: (499) 260-41-14. E-mail: naumenko.sergey@vniizht.ru ✉

БУРОВ Валерий Валерьевич,

заместитель генерального директора, ООО «НОВЕКА». 119619, Москва, Производственная ул., д. 6. Тел.: (985) 781-78-74. E-mail: noveka@bk.ru

ЧУВАШОВ Иван Николаевич,

ведущий специалист — эксперт центрального территориального управления РОСЖЕЛДОР. 170003, Москва, Старая Басманная ул., д.11. Тел.: (985) 778-40-53. E-mail: ch.i.n.268@yandex.ru

САМОШКИН Сергей Львович,

руководитель Испытательного центра, ЗАО НО «Тверской институт вагоностроения». 170003, Тверь, Петербургское шоссе, д. 45г. Тел.: (963) 222-24-65. E-mail: info@tiv.ru

Experimental Investigation of Pull and Energy Characteristics of Generator Drive Unit to Be Used with Container Flats” Three-Piece Bogies

Valentin G. Kargin, Director General, JSC “Barnaul OCR”. 122, Vodoprovodnaya str., 656004 Barnaul, Altaysky Krai, Russian Federation. Tel.: +7 (903) 5397569. E-mail: w_g_k@mail.ru

Sergey N. Naumenko, Dr. of Technical Science, Head Researcher, JSC Railway Research Institute (JSC VNIIZhT). 10, 3rd Mytischinskaya str., 129626 Moscow, Russian Federation. Tel.: +7 (499) 260 4114. E-mail: naumenko.sergey@vniizht.ru ✉

Valery V. Burov, Deputy Director General, LLC “NOVEKA”. 6, Proizvodstvennaya str., 119619 Moscow, Russian Federation. Tel.: +7 (985) 7817874. E-mail: noveka@bk.ru

Ivan N. Chuvashov, Leading Officer, Expert of Central Territorial Directorate, ROSZhELDOR. 11, Staraya Basmannaya str. Moscow, Russian Federation. Tel.: +7 (985) 7784053. E-mail: ch. i. n. 268@yandex.ru

Sergey L. Samoshkin, Dr. of Technical Science, Head of Department, NO “Tver” RailCar Building Institute” CJSC. 45g, Peterburg Road, Tver’, Russian Federation. Tel.: +7 (963) 2222465. E-mail: info@tiv.ru

Abstract. To adapt container flats for transportation of high-capacity reefers (HCR) there was developed stand-alone power supply system (SAPSS) to be mounted on the flatcar three-piece freight bogie. Such a system ensures power supply to HCR all over the travel route by rail. One of the SAPSS key components proves to be generator drive unit comprising generator, V-belt transmission and single-reduction gear unit with dissectible driving gear mounted in the midpart of the wheelset axle.

To confirm workability of the generator drive unit and obtain its pull and energy characteristics there were conducted rig tests of its prototype using for this purpose exerciser developed by the VNIIZhT design center. The exerciser was equipped with instrumentation systems capable to determine V-belt tension by the tension screw force value and assess slipping by rotating speeds of the driving and driven V-belt pulleys.

Rig tests implied container flat running at various speeds. Three SAPSS loading modes were tested inclusive of open circuit operation.

There was purposely developed testing procedure, allowing to assess slipping of the V-belt transmission within the accuracy of 0.01%. Experimental data were collated with calculation results obtained by the authors beforehand.

The SAPSS prototype tests outcomes evidence that generator drive unit is capable to support the system operation at power levels up to 16±1 kW within the container flat running speed range from 30 to 132 kph.

Keywords: stand-alone power supply system; high-capacity reefer; generator drive unit; tension force; tractive ability; slipping; thermal regime

References

1. Kargin V. G., Naumenko S. N., Burov V. V., Chuvashov I. N., Samoshkin S. L. *Razrabotka generatorno-privodnoy ustanovki dlya trekhelementnykh gruzovykh telezhek fitingovykh platform* [De-

velopment of generator drive installation for container flats’ three-piece bogies]. *Vestnik VNIIZhT* [Vestnik of the Railway Research Institute], 2014, no. 5, pp. 44–49.

2. Naumenko S. N., Teymurazov S. N., Prosekov A. V. *Sistema avtonomnogo elektrosnabzheniya zheleznodorozhnykh gruzovykh fitingovykh platform ot osi kolesnoy pary* [The system of autonomous power supply of rail freight flatcars from the axis of wheel pair]. *Vagonnyy park*, 2013, no. 1 (70), pp. 31–32.

3. Kargin V. G., Naumenko S. N., Kuzyara S. V., Sukovatin M. I., Burov V. V. *Autonomous power supply system of railway cars and platforms*. Utility patent № 151404. Moscow, Rospatent, 2014. (in Russ.).

4. *A system of the autonomous power supply of railroad cars or platforms driven by a wheel pair axle*. Pub. 09.10.2014, no WO/2014/163529. PCT/RU2013/000891.

5. Makarov R. A., ed. *Tenzometriya v mashinostroenii* [Tensometry in mechanical engineering]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1975. 288 p.

6. Samoshkin S. L. *Issledovanie vozmozhnosti povysheniya tyagovo-energeticheskikh pokazateley seriynykh klinoremennykh privodov generatorov passazhirskikh vagonov* [Investigations into the possibility of improving traction-energy parameters of commercial wedge-belt drives for generators of passenger cars]. *Tyazheloe mashinostroenie*, 1999, no. 3, pp. 32–36.

7. Samoshkin O. S. *Sovershenstvovanie generatorno-privodnykh ustanovok passazhirskikh vagonov* [Improving the generator-drive systems of passenger cars]. *Zheleznodorozhnyy transport*, 2011, no. 10, pp. 56–59.

8. Horovitz B., Gheorghiu N. *Messung der Vorspannung bei Riementrieben* [Measurement of bias in belt drives]. *Maschinen maret*, 1979, no. 11, pp. 177–182.

9. Lysakows E., Ezopa T. *Analyse der Riemenbelastungen im Mehrkeilrimengetriebe* [Analysis of the belt rods in the V-belt transmission]. *Maschinenbautechnik*, 24, no. 2, pp. 78–80.