

**Е.В. Кукушкин**

Сибирский государственный университет науки и технологий  
имени академика М.Ф. Решетнева, Россия, Красноярск

## **СОЗДАНИЕ УНИФИЦИРОВАННОГО ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО РЯДА ТИПОРАЗМЕРОВ КАРДАНЫХ ШАРНИРОВ НЕРАВНЫХ УГЛОВЫХ СКОРОСТЕЙ**

Построение параметрических рядов машин на основе рядов предпочтительных чисел, связанных между собой определенными зависимостями, сводится к сужению количества размеров, образующих ряд числовых значений, путем округления до ближайшего предпочтительного с технико-экономической точки зрения. В статье представлен унифицированный параметрический ряд типоразмеров карданных шарниров неравных угловых скоростей, при выборе которого учитывалась закономерность геометрического ряда ступенчато-арифметической прогрессии. При проектировании карданных шарниров неравных угловых скоростей используются геометрические ряды предпочтительных чисел. Это обусловлено тем, что первые члены геометрической прогрессии имеют малые интервалы, поэтому номенклатура карданных шарниров неравных угловых скоростей также имеет малые интервалы рядов, а граница верхнего предела заканчивается 1-м типом 1-го размерного ряда, что не в полной мере охватывает весь диапазон нагрузок, которые на сегодняшний момент необходимо передавать с помощью карданных шарниров неравных угловых скоростей. Проведенный сравнительный анализ типоразмерных рядов основных производителей карданных шарниров позволил определить ряд предпочтительных чисел. Основным показателем технического уровня карданных шарниров неравных угловых скоростей является удельная несущая способность, за величину которой принимаем статическую грузоподъемность игольчатого подшипника, поэтому с целью установления рациональной величины основных показателей качества и построения их рядов были приняты основные параметры карданных шарниров – диаметр подшипника и диаметр шипа крестовины. В результате получены числа унифицированного параметрического ряда типоразмеров карданных шарниров неравных угловых скоростей, которые практически полностью охватывают как входные, так и выходные параметры проектируемого карданного шарнира, а также удовлетворяют условиям создания параметрического ряда карданных шарниров неравных угловых скоростей.

**Ключевые слова:** унифицированный параметрический ряд, карданный шарнир неравных угловых скоростей.

**E.V. Kukushkin**

Reshetnev Siberian State University of Science and Technology,  
Krasnoyarsk, Russian Federation

## **CREATION OF A UNIFIED PARAMETRIC SERIES OF STANDARD SIZES OF CARDAN JOINTS OF UNEQUAL ANGULAR VELOCITIES**

The construction of the parametric series of machines on the basis of the series of preferred numbers interconnected by certain dependencies is reduced to narrowing the number of sizes forming a series of numerical values by rounding to the nearest optimal one from the technical-economic point of view. In the paper a unified parametric series of sizes of cardan joints of unequal angular velocities is presented, during the choice of which the regularity of the geometric series of step-arithmetic progression is taken into account. When designing cardan joints of unequal angular velocities, the geometric series of preferred numbers are used, this is due to the fact that the first terms of the geometric progression have small intervals, therefore the nomenclature of cardan joints of unequal angular velocities also has small intervals of rows, and the boundary of the upper limit is ended with 1 type of the 1 size range, which does not fully cover the entire range of loads, which at the moment must be transmitted using cardan joints of unequal angular velocities. A comparative analysis of the size ranges of the main manufacturers of cardan joints made it possible to determine a number of preferred numbers. The main indicator of the technical level of cardan joints of unequal angular velocities is the specific bearing capacity, the value of which is taken as the static load-bearing capacity of a needle bearing; therefore, in order to establish a rational value of the main quality indicators and construct their series, the main parameters of cardan joints were adopted: bearing diameter and diameter of the universal-joint pin. As a result, the numbers of a unified parametric series of standard sizes of cardan joints of unequal angular velocities are obtained which almost completely cover both the input and output parameters of the designed cardan joint, and also comply with the conditions of creating a parametric series of cardan joints of unequal angular velocities.

**Keywords:** unified parametric series, cardan joint of unequal angular velocities.

Построение параметрических рядов машин на основе рядов предпочтительных чисел, связанных между собой определенными зависимостями, сводится к сужению количества размеров, образующих ряд числовых значений, путем округления до ближайшего предпочтительного с технико-экономической точки зрения.

При выборе размерного ряда следует учитывать, на основе какой прогрессии может быть построен параметрический ряд – геометрической, арифметической или смешанной, какие граничные условия крайних размеров могут быть заданы.

Закономерность геометрического ряда выражается соотношением [1]

$$\frac{A_{n+1}}{A_n} = \varphi = \text{const}, \quad (1)$$

где  $A_n$  – данный член ряда;  $A_{n+1}$  – последующий член ряда.

Математические закономерности ступенчато-арифметической прогрессии могут быть представлены выражением

$$A_{n+1} - A_n = d. \quad (2)$$

При проектировании карданных шарниров неравных угловых скоростей используются геометрические ряды предпочтительных чисел [2, 3]. Это обусловлено тем, что первые члены геометрической прогрессии имеют малые интервалы, поэтому номенклатура карданных шарниров неравных угловых скоростей также имеет малые интервалы рядов, а граница верхнего предела согласно ГОСТ Р 52923–2008 заканчивается 1-м типом 1-го размерного ряда, что не в полной мере охватывает весь диапазон нагрузок, которые на сегодняшний момент необходимо передавать с помощью карданных шарниров неравных угловых скоростей.

Особенность размерных рядов на основе геометрической прогрессии заключается также в том, что типоразмеры машин обеспечивают возможность унификации деталей и узлов машин начальных размеров на основе арифметической прогрессии [1].

Ряды типоразмеров карданных шарниров разных производителей представлены в табл. 1 и соответствуют R20 ряду предпочтительных чисел согласно ГОСТ 8032–89.

Таблица 1

Ряды типоразмеров карданных шарниров разных производителей

| Производитель карданных шарниров | Ряд чисел по ГОСТ 8032–89 | Основные размеры, мм |                   |
|----------------------------------|---------------------------|----------------------|-------------------|
|                                  |                           | диаметр подшипника   | высота крестовины |
| Dana                             | R20                       | 15–195               | 41–315            |
| FKL                              | R40                       | 20–72                | 44–185            |
| GKN                              | R40                       | 14–195               | 36–315            |
| Koyo                             | R10                       | –                    | 105–435           |
| MPZ                              | R20                       | 19–83                | 43–223            |
| ML-Tuning                        | R20                       | 20–83                | –                 |
| Агро-ВИН                         | R20                       | 18–62                | 47–173            |

Проведенный сравнительный анализ типоразмерных рядов основных производителей карданных шарниров [4–11] позволил определить ряд предпочтительных чисел R20, при  $\varphi = 1,11$ , который включает в себя числа: 1; 1,12; 1,25; 1,4; 1,6; 1,8; 2; 2,24; 2,5; 2,8; 3,15; 3,55; 4; 4,5; 5; 5,6; 6,3; 7,1; 8; 9; 10.

Основным показателем технического уровня карданных шарниров неравных угловых скоростей является удельная несущая способность, за величину которой принимаем статическую грузоподъемность игольчатого подшипника. С целью установления рациональной величины основных показателей качества и построения их рядов были приняты основные параметры карданных шарниров: диаметр подшипника  $D$ , мм, и диаметр шипа крестовины  $d$ , мм (рис. 1).

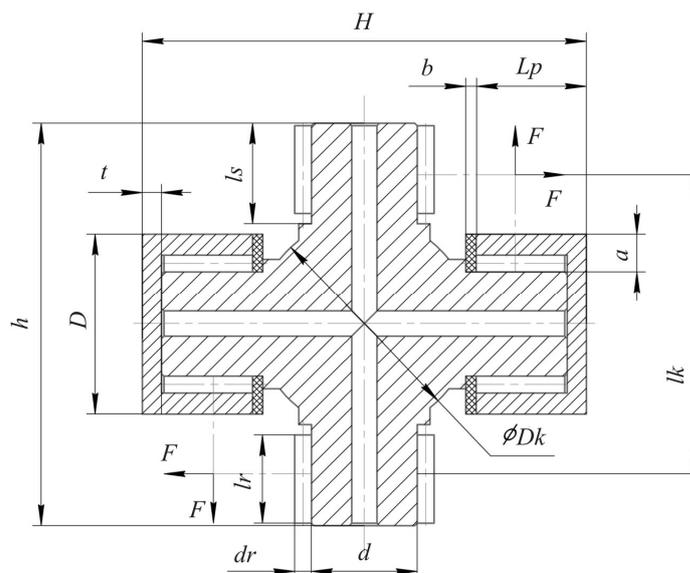


Рис. 1. Основные размеры карданного шарнира

Из параметров, наиболее близких к типичному, определяющим параметром оказывается диаметр подшипника карданного шарнира  $D$ , расчет которого выполняют по ГОСТ 18854–2013 на статическую грузоподъемность, и диаметр шипа крестовины  $d$ , минимальное значение которого (м) находим по формуле [3]

$$d = 2,958 \sqrt{\frac{F_{ш}}{[\sigma_{изг.ш}]}}. \quad (3)$$

Допускаемое напряжение изгиба шипа крестовины карданного шарнира (МПа) определяем по формуле

$$[\sigma_{изг.ш}] = \frac{\sigma_T}{s}, \quad (4)$$

где  $\sigma_T$  – предел текучести материала шипа крестовины, МПа;  $s$  – коэффициент запаса прочности, равен 1,4.

Основным расчетным параметром, определяющим работоспособность подшипников качения по критериям статической прочности и усталостной выносливости рабочих поверхностей, является контактное напряжение, возникающее на поверхности контакта наиболее нагруженных тел качения. Распределение нагрузки, действующей на подшипник, между отдельными телами качения всегда неравномерно (рис. 2). Очевидно, что в передаче общей радиальной нагрузки участвуют лишь тела качения, расположенные по одну сторону от диаметрального сечения, причем и они нагружены неравномерно, а наибольшую нагрузку несет тело качения, которое расположено на линии действия усилия [12].

При отсутствии вращения тела качения расположены симметрично с угловым шагом  $\gamma = 2\pi/z$ , в случае начального контакта по линии формула Герца – Беляева дает:

$$R = F_0 + 2F_1 \cos \gamma + 2F_2 \cos 2\gamma + \dots + 2F_n \cos n\gamma. \quad (5)$$

Условие равновесия можно записать в виде

$$R = F_0 \left( 1 + 2 \sum_{i=1}^{i=n} \cos^2 i\gamma \right), \quad (6)$$

получим

$$F_0 = \frac{R}{1 + 2 \sum \cos^2 i\gamma} = \frac{k_R R}{z}, \quad (7)$$

а теоретический коэффициент неравномерности

$$k_R = \frac{z}{1 + 2 \sum \cos^2 i\gamma}. \quad (8)$$

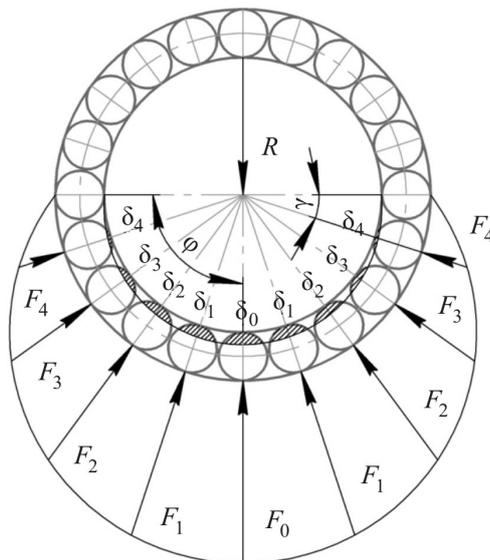


Рис. 2. Распределение нагрузки между телами качения

При  $z = 10 \dots 20$   $k_R = 4$ . С учетом поправок для однорядных роликовых подшипников  $k_R = 4,6$ . При длинных роликах  $l_r/d_r > 3$  неравномерность распределения нагрузки вдоль контактных линий оказывается повышенной, и общий коэффициент неравномерности достигает  $k_R = 6 \dots 8$ .

Определяем радиальную нагрузку на шип крестовины, Н:

$$F_\gamma = \frac{d^2 \sigma_m}{12,25}. \quad (9)$$

Статическая радиальная грузоподъемность подшипника рассчитывается по формуле

$$C_{0r} = 44 \left( 1 - \frac{d_r \cdot \cos \alpha}{d_{pw}} \right) \cdot i \cdot z \cdot l_r \cdot d_r \cdot \cos \alpha, \quad (10)$$

где  $d_r$  – диаметр ролика, мм;  $d_{pw}$  – центровой диаметр набора роликов, мм;  $\alpha$  – номинальный угол контакта, град;  $i$  – число рядов тел качения;  $z$  – число тел качения;  $l_r$  – длина ролика, мм.

Статическая эквивалентная радиальная нагрузка определяется по формулам:

– если  $\alpha > 0$ , то

$$P_{0r} = X_0 F_\gamma + Y_0 F_a, \quad (11)$$

– если  $\alpha = 0$ , то

$$P_{0r} = F_\gamma, \quad (12)$$

где  $F_\gamma$  – радиальная нагрузка на подшипник, Н;  $F_a$  – осевая нагрузка на подшипник, Н; коэффициенты  $X_0 = 0,5$  и  $Y_0 = 0,22 \operatorname{ctg} \alpha$ .

Следует проверить пригодность выбранного подшипника к использованию в условиях тяжелого нагружения подтверждением того, что его статическая грузоподъемность является достаточной, по формуле

$$S_0 = \frac{C_{0r}}{P_{0r}}. \quad (13)$$

Для подшипников роликовых игольчатых с одним наружным штампованным кольцом, подвергнутым химико-термической обработке, рекомендуется минимальное значение  $S_0 = 3$ .

Динамическая грузоподъемность для радиальных подшипников представляет собой такую постоянную радиальную нагрузку, которую группа идентичных подшипников с неподвижным наружным кольцом сможет выдержать до возникновения усталостного разрушения рабочих поверхностей колец и тел качения в течение 1 млн оборотов внутреннего кольца.

Проверка по динамической грузоподъемности согласно ГОСТ 18855–94 осуществляется по формуле

$$C_r = b_m \cdot f_0 \cdot l_{и}^{\frac{7}{9}} \cdot z^{\frac{3}{4}} \cdot d_{и}^{\frac{29}{27}}, \quad (14)$$

где  $b_m$  – коэффициент, характеризующий тип подшипника;  $f_0$  – коэффициент, зависящий от геометрии деталей подшипника;  $z$  – число тел качения в подшипнике.

Расчет допускаемой динамической грузоподъемности осуществляется по формуле

$$[C_r] = 2500 l_{и} \cdot d_{и}^{0,7}. \quad (15)$$

Расчет долговечности карданного шарнира с учетом влияния смазки осуществляется по формуле [2]

$$L_{10h} = a_1 a_{23} \left( \frac{C_r}{P} \right)^m \cdot \frac{10^6}{60 \cdot n}, \quad (16)$$

где  $a_1$  – коэффициент, корректирующий ресурс в зависимости от надежности, равен 1;  $a_{23}$  – коэффициент, корректирующий ресурс в зависимости от смазки, равен 1,1;  $C_r$  – расчетная динамическая грузоподъемность, Н;  $m$  – показатель степени по долговечности, равен 3,333;  $P$  – расчетная нагрузка, определяемая по формуле

$$P = \left( P_A \cdot l_p + \frac{12 \cdot A \cdot l_{и} \cdot d_{и} \cdot \sin \psi}{\sqrt{4 \cdot d_{и}^2 \cdot \sin^2 \psi + (d_{и} - d'_{и} \cdot K)}} + F_{ц} \right) \cdot K_{\sigma} \cdot K_t, \quad (17)$$

где  $K_{\sigma}$  – коэффициент безопасности, равен 1,2;  $K_t$  – коэффициент температуры равен 1,1.

Поскольку долговечность карданного шарнира включает в себя расчетную нагрузку, которая охватывает все геометрические параметры карданного шарнира, было предложено в качестве критерия, описывающего каждый член параметрического ряда карданных шарниров неравных угловых скоростей, использовать геометрический ряд чисел по зависимости

$$A_i = L_{10hi} \cdot D_i, \quad (18)$$

где  $A_i$  – член параметрического ряда;  $L_{10hi}$  – долговечность  $i$ -го члена параметрического ряда машин;  $D_i$  – диаметр подшипника крестовины  $i$ -го члена ряда.

Величина  $A_i$  практически полностью охватывает как входные, так и выходные параметры проектируемого карданного шарнира, а также удовлетворяет условиям создания параметрического ряда карданных шарниров неравных угловых скоростей.

В результате знаменатель геометрической прогрессии колеблется в пределах: 1,309; 1,342; 1,192; 0,937; 1,262; 1,172; 0,758; 1,334; 1,142; 0,981; 1,142; 1,234; 1,508; 1,008; 0,914;

1,037; 1,137; 1,461; 0,781; 1,038; 1,035; 0,989. Наиболее близким значением из предпочтительных чисел для карданных передач является число 1,123, поэтому ряд примет вид, показанный в табл. 2, 3.

Таблица 2

Расчетные и предпочтительные ряды однорядных карданных шарниров

| Ряд              | Ряд типоразмеров |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|------------------|------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
|                  | 1                | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 |
| Расчетный        | 22               | 24 | 28 | 30 | 35 | 40 | 44 | 46 | 55 | 62 |
| Предпочтительный | 22               | 25 | 27 | 31 | 34 | 39 | 45 | 49 | 52 | 62 |

Таблица 3

Расчетные и предпочтительные ряды двухрядных карданных шарниров

| Ряд              | Ряд типоразмеров |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|------------------|------------------|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|                  | 11               | 12 | 13 | 14 | 15  | 16  | 17  | 18  | 19  | 20  | 21  | 22  | 23  |
| Расчетный        | 69               | 78 | 88 | 99 | 110 | 114 | 123 | 136 | 139 | 156 | 176 | 198 | 220 |
| Предпочтительный | 70               | 77 | 88 | 99 | 111 | 124 | 128 | 138 | 153 | 156 | 175 | 198 | 222 |

Необходимую оптимизацию данного ряда до числа предпочтительно используемых можно будет провести после лабораторных испытаний на стендах авторской разработки [13–16].

### Список литературы

1. Парамонова М.С. Создание унифицированного параметрического ряда роторных смесителей // Известия ТулГУ. Технические науки. – 2017. – Вып. 9, ч. 1. – С. 303–309.
2. Меновщиков В.А., Ереско С.П. Исследование и совершенствование игольчатых подшипников карданных передач транспортно-технологических машин. – Красноярск: Изд-во КрасГАУ, 2006. – 283 с.
3. Кукушкин Е.В. Совершенствование конструкции и методов проектирования карданных передач с шарнирами неравных угловых скоростей: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.02.13. – Братск, 2018. – 18 с.
4. Каталог подшипников МПЗ / Минский подшипниковый завод. – Минск, 2008. – 408 с.
5. Genuine Service Parts for Commercial Vehicles. – URL: <http://media.spicerparts.com/cfs/files/media/my2YS2QS8PTGEQ8Po/spicerservicecatalog.pdf?store=original> (дата обращения: 01.04.2019).
6. SKF Universal Joints Catalog. – URL: <https://www.skf.com/binary/79-66357/457285.pdf> (дата обращения: 01.04.2019).
7. Universal Joints. Edition. GKN Driveline Rösrath. – URL: <https://dmliefer.ru/sites/default/files/images/gkn/gkn.pdf> (дата обращения: 01.04.2019).
8. Drive shafts for industry – Koyo. – URL: <http://www.koyo.sk/files/catb2008ex.pdf> (дата обращения: 01.04.2019).
9. MCB Universal joint catalog. – URL: <https://mcbbearings.com/wp-content/uploads/2017/05/MCB-Universal-Joint-Catalog.pdf> (дата обращения: 01.04.2019).
10. Product catalog cardan shafts ML-Tuning. – URL: <https://centrenergomash.com.ua/pdf/ml-tuning/product%20catalog.pdf> (дата обращения: 01.04.2019).
11. ООО Агро-ВИН каталог карданных шарниров. – URL: <http://agrovin.ru/joints/> (дата обращения: 01.04.2019).
12. Дмитриев В.А. Детали машин. – Л.: Судостроение, 1970. – С. 792.
13. Пат. 149002 Российская Федерация, МПК7 G01M 13/02 (2006.01). Стенд для испытаний карданных передач / Кукушкин Е.В., Меновщиков В.А., Ереско С.П., Ереско Т.Т. № 2014120845; заяв. 22.05.2014; Опубл. 20.12.2014. Бюл. № 35. – 1 с.

14. Пат. 153924 Российская Федерация, МПК7 G01M 13/02 (2006.01). Стенд для испытаний карданных шарниров / Ереско С.П., Ереско Т.Т., Кукушкин Е.В., Меновщиков В.А. № 2014147821/28; заяв. 26.11.2014; Опубл. 10.08.2015. Бюл. № 22. – 2 с.

15. Пат. 162876 Российская Федерация, МПК7 G01M 13/02 (2006.01). Стенд для испытаний карданных передач / Ереско С.П., Ереско А.С., Ереско Т.Т., Ереско В.С., Кукушкин Е.В., Меновщиков В.А., Стручков А.В. Хоменко И.И. № 2015157365; заяв. 30.12.2015; Опубл. 27.06.2016. Бюл. № 18. – 2 с.

16. Пат. 2649601 Российская Федерация, МПК7 G01N 13/00. Стенд для испытаний карданных передач / Ереско С.П., Ереско А.С., Ереско Т.Т., Ереско В.С., Кукушкин Е.В., Меновщиков В.А., Орлов А.А., Хоменко И.И.; № 2016140015; заявл. 11.10.2016; опубл. 04.04.2018. Бюл. № 10. – 10 с.

#### References

1. Paramonova M.S. [Creation of a unified parametric series of rotary mixers] *Izvestiya TulGU. Tekhnicheskie nauki*. 2017, Vol. 9, No. 1, P. 303–309.
2. Menovshchikov V.A., Eresko S.P. *Issledovanie i sovershenstvovanie igolchatikh podshipnikov kardanikh peredach transportno-tekhnologicheskikh mashin* [Study and improvement of needle bearing universal joint transmission of transport and technological machines]. Krasnoyarsk: KrasGAU, 2006, 283 p.
3. Kukushkin E.V. *Sovershenstvovanie konstruktсии i metodov proektirovaniya kardannykh peredach s sharnirami neravnykh uglovykh skorostey. diss. kand. tekhn. nauk. autoref.* [Perfection of the design and methods of designing universal joints gears with hinges of unequal angular velocities. Cand. techn. sci. autoref]. Bratsk, BRGU Publ., 2018, 18 p.
4. *Minskiy podshipnikovyy zavod. Katalog podshipnikov MPZ* [Catalog of bearings MPZ]. Minsk, MPZ Publ., 2008, 408 p.
5. Genuine Service Parts for Commercial Vehicles. Available at: <http://media.spicerparts.com/cfs/files/media/my2YS2QS8PTGEQ8Po/spicerservicecatalog.pdf?store=original> (accessed: 01.04.2019).
6. SKF Universal Joints Catalog. Available at: <https://www.skf.com/binary/79-66357/457285.pdf> (accessed: 01.04.2019).
7. Universal Joints. Edition. GKN Driveline Rösraht. Available at: <https://dmliefer.ru/sites/default/files/images/gkn/gkn.pdf> (accessed: 01.04.2019).
8. Drive shafts for industry – Koyo. Available at: <http://www.koyo.sk/files/catb2008ex.pdf> (accessed: 01.04.2019).
9. MCB Universal joint catalog. Available at: <https://mcbbearings.com/wp-content/uploads/2017/05/MCB-Universal-Joint-Catalog.pdf> (accessed: 01.04.2019).
10. Product catalog cardan shafts ML-Tuning. Available at: <https://centrenergomash.com.ua/pdf/ml-tuning/product%20catalog.pdf> (accessed: 01.04.2019).
11. *OOO Agro-VIN katalog kardannykh sharnirov* [Agro-VIN catalog cardan joints] (In Russ.). Available at: <http://agrovin.ru/joints/> (accessed: 01.04.2019).
12. Dmitriev V. A. *Detali mashin*. [Machine parts]. Leningrad, Sudostroenie Publ., 1970, 792 p.
13. Kukushkin E.V., Menovshchikov V.A., Eresko S.P., Eresko T.T. *Stend dlya ispytaniya kardannykh peredach*. [The test stand driveline]. Patent RF, no. 149002, 2014
14. Eresko S.P., Eresko T.T., Kukushkin E.V., Menovshchikov V.A. *Stend dlya ispytaniya kardannykh sharnirov*. [The test stand driveline]. Patent RF, no. 153924, 2015
15. Eresko S.P., Eresko A.S., Eresko T.T., Eresko V.S., Kukushkin E.V., Menovshchikov V.A., Struchkov A.V., Khomenko I.I. *Stend dlya ispytaniya kardannykh peredach*. [The test stand driveline]. Patent RF, no. 162876, 2016
16. Eresko S.P., Eresko A.S., Eresko T.T., Eresko V.S., Kukushkin E.V., Menovshchikov V.A., Orlov A.A., Khomenko I.I. *Stend dlya ispytaniya kardannykh peredach* [The test stand driveline]. Patent RF, no. 2649601, 2018

Получено 25.09.2019

#### Об авторе

**Кукушкин Евгений Владимирович** (Красноярск, Россия) – старший преподаватель кафедры «Основы конструирования машин» Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М.Ф. Решетнева (Россия, 660014, г. Красноярск, пр. Имени газеты «Красноярский рабочий», 31, e-mail: ironjeck@mail.ru).

#### About the author

**Evgeniy V. Kukushkin** (Krasnoyarsk, Russian Federation) – Senior Lecturer, Department of Machine Design Basics, Reshetnev Siberian State University of Science and Technology (31, Krasnoyarsky Rabochy av., Krasnoyarsk, 660037, Russian Federation, e-mail: ironjeck@mail.ru).