

КОНСТРУКТИВНАЯ МОДИФИКАЦИЯ РАДИАЛЬНО-УПОРНЫХ РОЛИКОПОДШИПНИКОВ

Шевченко С.В.

*Луганский государственный университет им. В. Даля,
Луганск, ЛНР*

*канд. техн. наук, доцент,
заведующий кафедрой «Машиноведение»*

Муховатый А.А.

*Луганский государственный университет им. В. Даля,
Луганск, ЛНР*

*канд. техн. наук, доцент,
доцент кафедры «Машиноведение»*

Кроль О.С.

*Восточноукраинский национальный университет им. В. Даля,
Северодонецк, Украина*

*канд. техн. наук, доцент,
профессор кафедры «Машинстроения и прикладной механики»*

CONSTRUCTION MODIFICATION OF RADIAL THRUST ROLLER BEARINGS

Shevchenko S.V.

*Luhansk State University named after V. Dahl,
Luhansk, LPR*

*Cand. tech. Sciences, Associate Professor,
Head of the Department of Mechanical Engineering*

Mukhovaty A.A.

*Luhansk State University named after V. Dahl,
Luhansk, LPR*

*Cand. tech. Sciences, Associate Professor,
Associate Professor of the Department of Mechanical Engineering*

Krol O.S.

*East Ukrainian National University. V. Dahl,
Severodonetsk, Ukraine*

*Cand. tech. sciences, associate professor,
Professor of the Department of Mechanical Engineering and Applied Mechanics*

Аннотация. Разработаны аналитические зависимости для конструирования модифицированных конических роликоподшипников на базе стандартных подшипников типа 7000. Модификация заключается в замене тел качения в виде конических роликов с прямолинейной образующей на вогнутые ролики с дуговой образующей, которые контактируют с выпуклыми дорожками качения колец. Расчетным путем показано преимущество модифицированных роликоподшипников по ресурсу в сравнении со стандартными роликоподшипниками аналогичных габаритных размеров.

Annotation. Analytical relationships have been developed for the design of modified tapered roller bearings based on standard bearings of the 7000 type. The modification consists in replacing the rolling elements in the form of tapered rollers with a straight generatrix by concave rollers with an arc generatrix, which are in contact with the convex raceways of the rings. By calculation, the advantage of modified roller bearings in terms of service life in comparison with standard roller bearings of similar overall dimensions is shown.

Key words: tapered roller bearing, concave roller arc, radius and length of the roller arc, main curvatures of rollers and raceways, reduced curvature, calculated resource of modified roller bearings.

Ключевые слова: подшипник роликовый конический, вогнутая дуга роликов, радиус и длина дуги роликов, главные кривизны роликов и дорожек качения, приведенная кривизна, расчетный ресурс модифицированных роликоподшипников.

Одна из важнейших проблем для подшипников качения – повышение ресурса, может решаться изменением конструкции их элементов. В работах [1, 2] предложен один из вариантов решения, который заключается в том,

что ролики в подшипнике выполнены выпуклой формы, а дорожки качения – вогнутой. Это привело к снижению контактных напряжений в зоне их взаимодействия и, как следствие, к росту ресурса подшипника. В настоящей статье изложены результаты исследования другого варианта конструктивной модификации конических роликоподшипников, [3].

Постановка задачи.

Разработать на базе стандартных конических роликоподшипников [4] конструктивную модификацию, которая при одинаковых габаритах будет обладать повышенным ресурсом.

Основные результаты.

Идея конструктивной модификации роликоподшипника, предложенная в [3], заключается в том, что конические ролики выполнены с вогнутой образующей, а дорожки качения на внутреннем и наружном кольцах – с выпуклой образующей, рис. 1. При этом образующие роликов и дорожек качения на кольцах подшипника очерчены дугой окружности с одинаковым радиусом R_K . Следует особо подчеркнуть, что габаритные размеры и основные геометрические параметры модифицированного подшипника – D, d, T, B, C, α , полностью совпадают с соответствующими размерами и параметрами стандартного подшипника типа 7000, [4]. В настоящей статье изложен аналитический материал по модификации подшипников [3].

Зададимся некоторыми исходными параметрами модифицированного подшипника, рис. 1:

1) углы $\alpha_n = 4^\circ$ и $\alpha_l = 8^\circ$ определены из условия невыхода ролика за широкие торцы внутреннего и наружного колец соответственно;

2) угол конуса ролика $\phi = 2^\circ$, рис. 1, взят из стандартного ряда [5]:

$$45', 1^\circ, 1^\circ 15', 1^\circ 30', 1^\circ 45', 2^\circ, 2^\circ 30', 3^\circ, 3^\circ 30', 4^\circ;$$

3) угол контакта вогнутого ролика на диаметре D_W с дорожкой качения наружного кольца α принимается равным номинальному углу контакта дорожки качения наружного кольца α стандартного подшипника [4] с такими же габаритными размерами D, d, T, B, C .

4) $E_0 = d/0,75$ – параметр, определяющий толщину широкого торца внутреннего кольца подшипника, выраженный в долях его внутреннего диаметра d ; (в стандартных подшипниках [4] аналогичный размер дается для широкого торца наружного кольца и обозначается E).

По результатам геометрических построений внутренней конструкции модифицированного роликоподшипника получены зависимости для минимального диаметра вогнутого ролика в поперечном сечении D_W и радиуса кривизны R_K дуги окружности, которая очерчивает вогнутую образующую ролика и выпуклые образующие дорожек качения колец:

$$D_W = K_D \cdot (D - d) \cdot \cos(\alpha - \phi);$$

$$R_K = K_R \cdot (D + d) / \cos(\alpha - \phi).$$

Коэффициенты K_D и K_R определялись из условия вписывания вогнутого ролика в габариты подшипника D, d, T, B, C с учетом принятых значений исходных параметров $\alpha_n, \alpha_l, \phi, \alpha, E_0$. Варьирование параметров K_D и K_R в пределах $(0,15 \div 0,55)$ показало, что наиболее приемлемыми для них являются диапазоны:

$$K_D = 0,25 \div 0,26; K_R = 0,22 \div 0,23.$$

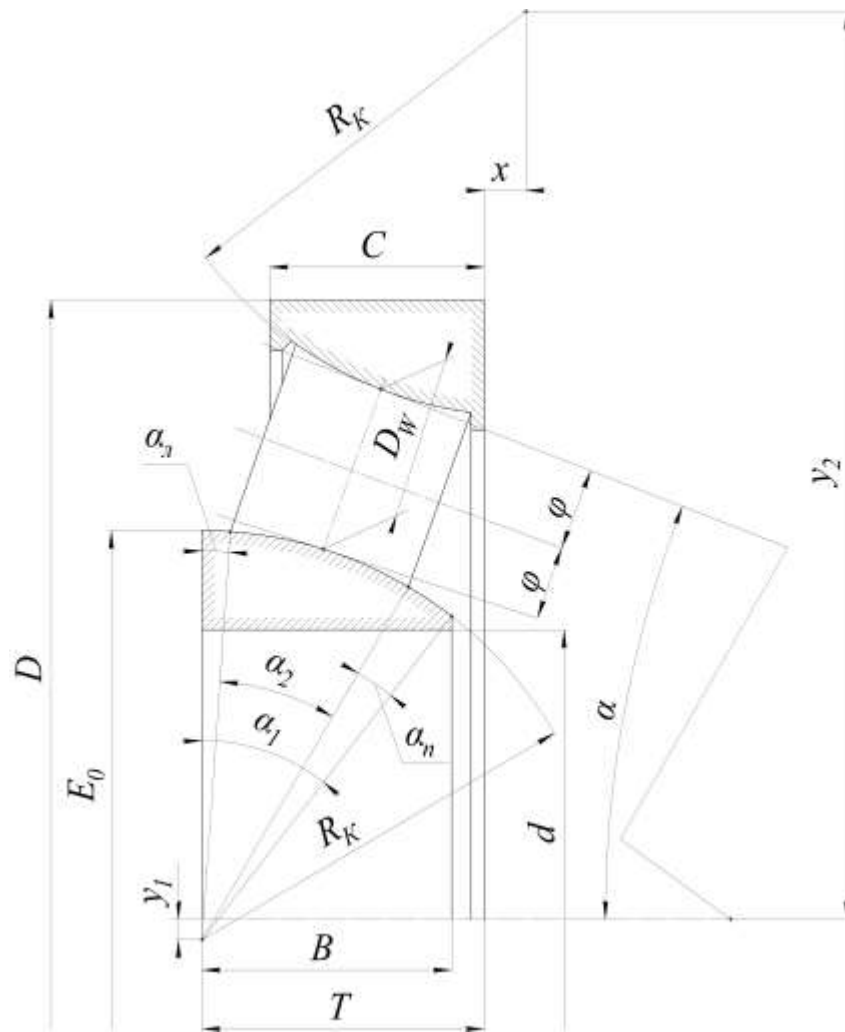


Рис. 1. Модифицированный конический роликоподшипник

Для построения внутренних контуров модифицированного подшипника необходимы координаты центров дуг окружностей радиусом R_K , очерчивающих дорожки качения на внутреннем и наружном кольцах, рис. 1:

$$\begin{cases} x = R_K \cdot [\sin(\alpha_n + \alpha_2/2) + \sin(\alpha_n + \alpha_2/2 + 2 \cdot \phi)] + D_W \cdot \sin(\alpha_n + \alpha_2/2 + \phi) - T; \\ y_1 = R_K - E_0/2; \\ y_2 = R_K \cdot [\cos(\alpha_n + \alpha_2/2) + \cos(\alpha_n + \alpha_2/2 + 2 \cdot \phi)] + D_W \cdot \cos(\alpha_n + \alpha_2/2 + \phi) - y_1. \end{cases}$$

Угол дуги окружности, которая ограничивает выпуклую дорожку качения внутреннего кольца подшипника

$$\alpha_1 = \arcsin(B/R_K).$$

Длина вогнутой образующей ролика

$$L' = R_K \cdot \alpha_2, \text{ где } \alpha_2 = \alpha_1 - (\alpha_n + \alpha_n) = \arcsin(B/R_K) - (\alpha_n + \alpha_n).$$

Главные кривизны боковой поверхности ролика (χ'_{11}, χ'_{12}) и дорожки качения внутреннего кольца модифицированного подшипника (χ'_{21}, χ'_{22}) :

$$\chi'_{11} = 2/D_W; \chi'_{12} = -1/R_K; \chi'_{21} = \cos(\alpha_1/2)/R_K; \chi'_{22} = 1/R_K.$$

Здесь вторая главная кривизна ролика χ'_{12} отрицательна, так как его поверхность в продольном сечении является вогнутой.

В результате, приведенная кривизна указанных поверхностей составит:

$$\chi' = \chi'_{11} + \chi'_{12} + \chi'_{21} + \chi'_{22} = \frac{2}{D_W} + \frac{\cos(\alpha_1/2)}{R_K}$$

Для сравнения дадим зависимости для расчета длины образующей ролика и приведенной кривизны у стандартных роликоподшипников:

$$L = 0,81 \cdot C / \cos \alpha ;$$

$$\chi = \frac{2}{D_W} + \frac{2 \cdot \sin(2 \cdot \alpha_1)}{(E \cdot \cos \alpha + C \cdot \sin \alpha) \cdot \sin(2 \cdot \beta)}$$

Сравнительную оценку ресурсов стандартного (L_{10}) и модифицированного (L'_{10}) подшипников проводим по их отношению $K_{10} = L'_{10}/L_{10}$. Очевидно, что поставленная задача – обеспечить прирост ресурса подшипника за счет его конструктивной модификации, будет выполнена, если

$$K_{10} = L'_{10}/L_{10} > 1.$$

Сопоставим вначале контактные напряжения в стандартном (σ_H) и модифицированном (σ'_H) подшипниках:

$$\sigma_H = \sqrt{\frac{E_H}{\pi \cdot (1-\mu^2)} \cdot \frac{\chi \cdot F_n}{2 \cdot L}}, \sigma'_H = \sqrt{\frac{E_H}{\pi \cdot (1-\mu^2)} \cdot \frac{\chi' \cdot F_n}{2 \cdot L'}}$$

Полагая, что механические характеристики (E_H, μ) и нормальная сила (F_n) в напряжениях σ_H и σ'_H одинаковы, получим

$$\frac{\sigma'_H}{\sigma_H} = \sqrt{\frac{\chi' \cdot L}{\chi \cdot L'}}$$

Поскольку $F_n \sim \sigma_H^2$, а $F'_n \sim (\sigma'_H)^2$, то из последнего равенства следует:

$$\frac{F'_n}{F_n} = \frac{(\sigma'_H)^2}{\sigma_H^2} = \frac{\chi' \cdot L}{\chi \cdot L'}$$

Согласно [8], ресурс роликоподшипников $L_{10} = (C_r/P_r)^{10/3}$; (считаем, что базовая радиальная динамическая грузоподъемность C_r у стандартных и модифицированных подшипников одинакова). Для упрощения сравнительного анализа численных результатов заменим эквивалентную радиальную динамическую нагрузку P_r пропорциональной ей величиной радиальной нагрузки F_r . Учитывая небольшие углы контакта ролика с беговой дорожкой внутреннего кольца, можно считать, что $F_r \approx F_n$. В результате

$$K_{10} = \frac{L'_{10}}{L_{10}} \approx \left(\frac{F'_n}{F_n}\right)^{10/3} \approx \left(\frac{L'}{L} \cdot \frac{\chi}{\chi'}\right)^{10/3}$$

Результаты расчетов по приведенному алгоритму сведены в таблицу; (для сравнения выбраны три стандартных конических роликоподшипника: 7310A, 7320A, 7330A).

Таблица

Подшипник Из [1]	R_K	D'_W	$\frac{L'}{L}$	$\frac{\chi}{\chi'}$	K_{10}
7310A	35,8	15,3	$\frac{23,1}{18,91}$	$\frac{0,1675}{0,156}$	2,46
7320A	70,6	29,4	$\frac{36,7}{32,9}$	$\frac{0,0877}{0,0814}$	1,84
7330A	105,3	43,4	$\frac{48,0}{45,5}$	$\frac{0,0595}{0,0551}$	1,54

Примечание. Численные значения в таблице рассчитаны для $K_D = 0,26$ и $K_R = 0,22$.

Анализ представленных в таблице результатов показывает следующее.

Увеличение длины вогнутой образующей роликов по сравнению с прямолинейной образующей роликов составляет 5÷22%. Приведенная кривизна в контакте роликов с внутренним кольцом от модификации конических роликоподшипников (при одинаковых габаритах стандартных и модифицированных подшипников) снижается примерно на 7%. В результате, ожидаемый рост ресурса подшипников – от 54% до ~2,5 раз.

Выводы

Выполнена геометрическая модификация однорядного конического роликоподшипника. Она заключается в том, что ролики имеют вогнутый контур, а беговые дорожки колец – выпуклый контур. Параметры модификации определены таким образом, что изменения внутренней конструкции модифицированных подшипников выполнены в габаритах стандартных конических роликоподшипников. Результаты модификации позволяют ожидать увеличение ресурса роликоподшипников от 54% до ~2,5 раз. Дальнейшее теоретическое исследование данного вопроса в сочетании с экспериментальной проверкой позволит разработать апробированную методику расчета модифицированных роликоподшипников с повышенным ресурсом.

Литература

1. Радіально-упорний однорядний роликопідшипник / С.В. Шевченко, О.С. Кроль, А.В. Хмельницький, О.А. Муховатий / Патент України № 108373. Бюл. № 13. МПК F16C 19/22 (2006.01). Опубл. 11.07.2016.
2. Шевченко С.В., Муховатий А.А., Кроль О.С. Geometric Aspects of Modifications of Tapered Roller Bearings / 2nd International Conference Industrial Engineering (ICIE-2016). Elsevier, Amsterdam. – 2408 p. P. 1107-1112.
3. Конічний радіально-упорний роликопідшипник / С.В. Шевченко, О.С. Кроль, А.В. Хмельницький, О.А. Муховатий / Патент України № 113817. Бюл. № 3. МПК F16C 19/22 (2006.01). Опубл. 10.02.2017.
4. ГОСТ 27365-87. Подшипники роликовые конические однорядные повышенной грузоподъемности. Основные размеры. М.: Изд. стандартов, 1988.-24 с.
5. Подшипники качения: Справочник-каталог / Л.В. Черневский, Р.В. Коросташевский, Б.А. Яхин и др. Под общ. ред. Л.В. Черневского и Р.В. Коросташевского. – М.: Машиностроение, 1997. – 896 с.
6. ГОСТ 18855-2013. Подшипники качения. Динамическая грузоподъемность и номинальный ресурс. М.: Стандартинформ, 2014. – 50 с.
7. Машиностроение. Энциклопедия. Т. IV-1. Детали машин. Конструкционная прочность. Трение, износ, смазка / Под общ. ред. Д.Н. Решетова. М.: Машиностроение, 1995. – 864 с.
8. Анурьев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя. В 3-х т. М.: Машиностроение, 2006. Т2. – 960 с.

References

1. Radial'no-uporniy odnoryadnyy rol'ikopidshipnik / S.V. Shevchenko, O.S. Krol', A.V. Khmel'nits'kiy, O.A. Mukhovatyy / Patent Ukraїni № 108373. Byul. № 13. MPK F16S 19/22 (2006.01). Opubl. 11.07.2016.
2. Shevchenko S.V., Mukhovatyy A.A., Krol' O.S. Geometric Aspects of Modifications of Tapered Roller Bearings / 2nd International Conference Industrial Engineering (ICIE-2016). Elsevier, Amsterdam. – 2408 p. P. 1107-1112.
3. Konichniy radial'no-uporniy rol'ikopidshipnik / S.V. Shevchenko, O.S. Krol', A.V. Khmel'nits'kiy, O.A. Mukhovatyy / Patent Ukraїni № 113817. Byul. № 3. MPK F16S 19/22 (2006.01). Opubl. 10.02.2017.
4. GOST 27365-87. Podshipniki rol'ikovyye konicheskiye odnoryadnyye povyshennoy gruzopod'yemnosti. Osnovnyye razmery. M.: Izd. standartov, 1988.-24 p.
5. Podshipniki kacheniya: Spravochnik-katalog / L.V. Chernevskiy, R.V. Korostashevskiy, B.A. Yakhin i dr. Pod obshch. red. L.V. Chernevskogo i R.V. Korostashevskogo. – M.: Mashinostroyeniye, 1997. – 896 p.
6. GOST 18855-2013. Podshipniki kacheniya. Dinamicheskaya gruzopod'yemnost' i nominal'nyy resurs. M.: Standartinform, 2014. – 50 p.
7. Mashinostroyeniye. Entsiklopediya. T. IV-1. Detali mashin. Konstruktsionnaya prochnost'. Treniye, iznos, smazka / Pod obshch. red. D.N. Reshetova. M.: Mashinostroyeniye, 1995. – 864 p.
8. Anur'yev V.I. Spravochnik konstruktora-mashinostroitelya. V 3-kh t. M.: Mashinostroyeniye, 2006. T2. – 960 p.