

**ВЫБОР СМАЗОЧНОГО МАТЕРИАЛА ДЛЯ ПОДШИПНИКОВ КАЧЕНИЯ**

Л.Н. Прохорова

liubovprokh@gmail.com

SPIN-код: 1829-3003

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация

**Аннотация**

Статья посвящена изучению влияния свойств смазочного материала на ресурс подшипника качения. Данное влияние учитывается с помощью системного коэффициента модификации ресурса. Выбор смазочного материала необходимо проводить с учетом конкретных условий работы подшипника, что в дальнейшем позволит уточнить ресурс работы подшипника. В статье проанализированы выявленные зависимости значения системного коэффициента модификации ресурса от свойств смазочного материала. Приведены зависимости для расчета модифицированного ресурса, системного коэффициента модификации ресурса подшипника качения. Представлен пример выбора сорта масла для подшипников качения.

**Ключевые слова**

Подшипник качения, смазочный материал, ресурс подшипников качения, модифицированный ресурс подшипников качения, системный коэффициент модификации ресурса подшипников

Поступила в редакцию 06.11.2019

© МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2019

**Введение.** В течение последних десятилетий проведены большие теоретические и экспериментальные исследования в области расчетов ресурса подшипников качения. Выявлено значительное влияние на ресурс не только частоты вращения подшипника и контактных напряжений, но и вязкости смазочного материала, а также степени его загрязнения. Было установлено наличие горизонтального участка кривой усталости, определен предел усталостной нагрузки. Уточнено значение коэффициента надежности и введен новый системный коэффициент модификации ресурса. Все это нашло отражение в новом стандарте [1], посвященном расчету подшипников качения и введенном в РФ в 2015 г.

**Условия выбора смазочного материала для подшипника.** Модифицированный ресурс подшипника качения в миллионах оборотов вычисляются по формуле [2]

$$L_{nm} = a_1 a_{ISO} \left( \frac{C}{P} \right)^q,$$

где  $a_1$  — коэффициент модификации ресурса по вероятности безотказной работы (коэффициент надежности);  $a_{ISO}$  — системный коэффициент модификации ресурса;  $C$  — базовая радиальная или осевая динамическая грузоподъемность подшипника;  $P$  — соответственно радиальная или осевая эквивалентная нагрузка

ка; показатель степени  $q = 3$  для шариковых подшипников и  $q = 10/3$  — для роликовых подшипников [3].

Системный коэффициент модификации ресурса  $a_{ISO}$  зависит от эквивалентной нагрузки  $P$ , предела усталостной нагрузки  $C_u$ , относительной вязкости  $k$  смазочного материала и степени его загрязнения  $e_c$  (табл. 1):

$$a_{ISO} = f\left(\frac{e_c C_u}{P}, k\right).$$

Таблица 1

Коэффициент загрязнения масла  $e_c$  [4]

Уровень загрязнения	$e_c$	
	$D_{pw} \leq 100$ мм	$D_{pw} > 100$ мм
I. Сверхвысокий уровень чистоты. Размер загрязняющих частиц соизмерим с толщиной масляной пленки; лабораторные условия	1	1
II. Высокий уровень чистоты. Масло отфильтровано тонким фильтром; типичные условия для ресурсного смазывания с защитными шайбами	От 0,6 до 0,8	От 0,8 до 0,9
III. Нормальный уровень чистоты. Масло отфильтровано тонким фильтром; типичные условия для ресурсного смазывания защитными шайбами	От 0,5 до 0,6	От 0,6 до 0,8
IV. Легкий уровень загрязнения. Присутствие незначительного загрязнения в смазочном материале	От 0,3 до 0,5	От 0,4 до 0,6
V. Типичное загрязнение. Типичные условия для подшипников без встроенных уплотнений; проточная фильтрация, частички износа и загрязнения из окружающей среды	0,1 до 0,3	От 0,2 до 0,4
VI. Сильное загрязнение. Окружающая среда очень загрязнена и подшипниковый узел не уплотнен надлежащим образом	От 0 до 0,1	От 0 до 0,1
VII. Очень сильное загрязнение	0	0

$D_{pw}$  — центровой диаметр набора тел качения.

Коэффициент относительной вязкости смазочного материала  $k$  равен отношению кинематической вязкости  $\nu$  применяемого масла (или базового масла для пластичных смазочных материалов) при рабочей температуре к номинальной кинематической вязкости масла  $\nu_1$  [5]:

$$k = \nu/\nu_1.$$

Номинальная кинематическая вязкость применяемого масла  $\nu_1$ , мм<sup>2</sup>/с, необходимая для образования масляной пленки и эффективного смазывания под-

шипника, в том числе и для пластичных смазочных материалов, может быть вычислена по формулам

$$v_1 = 45000n^{-0,83}D_{pw}^{-0,5} \text{ для } n < 1000 \text{ мин}^{-1}; \quad (1)$$

$$v_1 = 4500n^{-0,5}D_{pw}^{-0,5} \text{ для } n \geq 1000 \text{ мин}^{-1}, \quad (2)$$

где  $n$  — частота вращения подшипника;  $D_{pw}$  — центровой диаметр набора тел качения, мм.

Обобщенная формула для вычисления системного коэффициента модификации ресурса подшипников  $a_{ISO}$  в соответствии с новым стандартом может быть представлена как

$$a_{ISO} = 0,1 \left[ 1 - \left( a - \frac{b}{k^c} \right)^f \left( \frac{e_c C_u}{gP} \right)^r \right]^{-s}, \quad (3)$$

где  $a, b, c, r, f, g$  и  $s$  — эмпирические коэффициенты, числовые значения которых приведены в табл. 2.

Таблица 2

Значения коэффициентов для определения  $a_{ISO}$

Относительная вязкость масла	Коэффициенты					
	$a$	$b$	$c$	$r$	$f$	$s$
<i>Все шариковые подшипники</i>						
$0,1 \leq k < 0,4$	2,5671	2,2649	0,054381	1/3	0,83	9,30
$0,4 \leq k < 1,0$		1,9987	0,190870			
$1,0 \leq k < 4,0$		1,9987	0,071739			
<i>Все роликовые радиальные и радиально-упорные</i>						
$0,1 \leq k < 0,4$	1,5859	1,3993	0,054381	0,4	1,0	9,185
$0,4 \leq k < 1,0$		1,2348	0,190870			
$1,0 \leq k < 4,0$		1,2348	0,071739			
<i>Подшипники роликовые упорные и упорно-радиальные</i>						
$0,1 \leq k < 0,4$	2,5859	1,3993	0,054381	0,4	1,0	9,185
$0,4 \leq k < 1,0$		1,2348	0,190870			
$1,0 \leq k < 4,0$		1,2348	0,071739			
<p><i>Примечание.</i> <math>g = 1</math> — для радиальных и радиально-упорных шариковых и роликовых подшипников; <math>g = 3</math> — для упорных и упорно-радиальных шариковых подшипников; <math>g = 2,5</math> — для упорных и упорно-радиальных роликовых подшипников.</p>						

В любом случае полученное расчетом значение системного коэффициента модификации ресурса следует ограничить:  $a_{ISO} \leq 50$ .

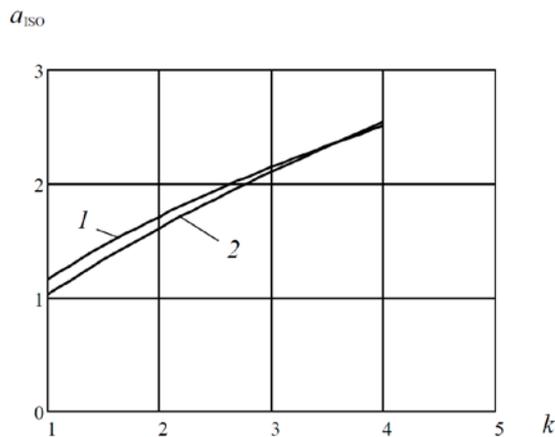
Для стандартных подшипников отношение  $e_c C_u / P$  при среднем уровне загрязнения смазочного материала  $e_c = 0,45$  можно оценить значениями, указанными в табл. 3.

Таблица 3

Значения параметра  $e_c C_u / P$  [6]

Тип подшипников	Значение параметра
<i>Радиальные и радиально-упорные подшипники</i>	
Шариковые	0,05
Роликовые	0,32
<i>Упорно-радиальные и упорные подшипники</i>	
Шариковые	0,16
Роликовые	0,79

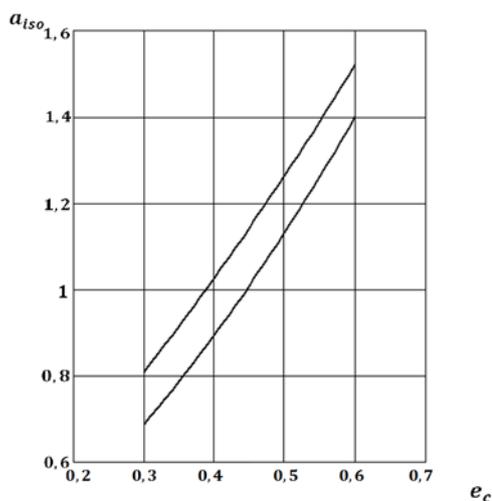
Зависимости коэффициента  $a_{ISO}$  от относительной вязкости масла при  $k \geq 1$ , вычисленные по формуле (3), показаны на рис. 1.



**Рис. 1.** Зависимость коэффициента  $a_{ISO}$  от относительной вязкости смазочного материала  $k = v/v_1$  при  $e_c = 0,45$ :

1 — шариковые радиальные и радиально-упорные подшипники; 2 — роликовые радиальные и радиально-упорные подшипники

При  $k = 1$  гарантируется образование в контактах подшипника масляной пленки достаточной толщины. Влияние уровня загрязнения смазочного материала на коэффициент  $a_{ISO}$  показано на рис. 2.



**Рис. 2.** Зависимость коэффициента  $a_{ISO}$  от уровня загрязнения  $e_c$  при  $k = 1$ :

1 — шариковые радиальные и радиально-упорные подшипники; 2 — роликовые радиальные и радиально-упорные подшипники

Обычно выбор смазочного материала подшипников качения зависит от смазывания сопряженных с ними деталей зубчатых, червячных или других передач [7]. Однако в ряде случаев необходимо назначить смазочный материал для подшипника с учетом конкретных условий его работы. По формулам (1) и (2), можно найти минимальное значение кинематической вязкости смазочного материала  $\nu_1$ , а затем, используя температурно-вязкостные свойства смазочного материала, для заданной рабочей температуры определить необходимый сорт масла, например, по табл. 4 [8].

Таблица 4

Температурно-вязкостные свойства промышленных масел

Обозначение масла по ГОСТ 17479.4-87	Средняя плотность при температуре 20°C, кг/м <sup>3</sup>	Кинематическая вязкость $\nu_{40}$ , мм <sup>2</sup> /с	Температурный коэффициент $B$ , 1/°C
И-Г-А-32	890	32	0,047
И-Г-А-46	890	46	0,043
И-Г-А-68	900	68	0,053
И-ГТ-А-100	910	100	0,067
И-Л-С-3	835	3	0,041
И-Л-С-5	850	5	0,022
И-Л-С-10	880	10	0,036
И-Л-С-22	890	22	0,045
И-Г-С-32	880	27	0,041
И-Г-С-46	885	45	0,041
И-Г-С-68	890	80	0,049
И-Г-С-100	900	118	0,049
И-Г-С-150	900	156	0,054
И-Г-С-220	900	195	0,054
И-Т-С-320	910	320	0,056
И-Т-Д-68	900	68	0,064
И-Т-Д-100	910	100	0,027
И-Т-Д-220	910	220	0,053
И-Т-Д-460	935	460	0,070
И-Т-Д-680	955	680	0,072

Кинематическую вязкость масла при рабочей температуре  $t$  можно определить по аппроксимирующей зависимости [9]

$$\nu_t = \nu_{40} e^{-B(t-40)},$$

где  $\nu_{40}$  — кинематическая вязкость масла, мм<sup>2</sup>/с, при температуре 40°C;  $B$  — температурный коэффициент.

**Пример подбора смазочного материала для подшипника.** Пусть требуется подобрать сорт промышленного масла для работы радиальных шариковых подшипников 306 ( $d = 30$  мм,  $D = 72$  мм) с частотой вращения 950 мин<sup>-1</sup> при рабочей температуре 55°C.

Подбор материала осуществляем в следующем порядке:

1. Находим центровой диаметр набора тел качения [10]:

$$D_{pw} = \frac{D+d}{2} = \frac{72+30}{2} = 51 \text{ мм.}$$

2. Определяем номинальную кинематическую вязкость масла  $\nu_1$  по формуле (1):

$$\nu_1 = 45\,000n^{-0,83}D_{pw}^{-0,5} = 45\,000 \cdot 950^{-0,83} \cdot 51^{-0,5} = 21,28 \text{ мм}^2/\text{с.}$$

3. С использованием табл. 4 определяем вязкость, мм<sup>2</sup>/с, при рабочей температуре 55°С для трех сортов масла:

$$\nu = \nu_{40}e^{-B(t-40)}.$$

Получаем:

для масла И-Г-А-46

$$\nu = \nu_{40}e^{-B(t-40)} = 46e^{-0,043(55-40)} = 24,14;$$

для масла И-Г-А-68:

$$\nu = \nu_{40}e^{-B(t-40)} = 68e^{-0,05(355-40)} = 30,71;$$

для масла И-ГТ-А -100:

$$\nu = \nu_{40}e^{-B(t-40)} = 100e^{-0,067(55-40)} = 36,61.$$

4. Согласно расчетам, вязкостью, наиболее близкой к требуемой при заданной температуре, обладает масло И-Г-А-46. Далее для выбранного масла следует провести уточненный расчет ресурса с учетом реальной нагрузки согласно стандарту [1].

**Заключение.** Надлежащий выбор вязкости смазочного материала (см. рис. 1) при прочих равных условиях позволяет при необходимости существенно увеличить расчетный ресурс подшипника качения. Таким образом, в ряде случаев можно применять подшипники более легких серий по диаметру или ширине (высоте для упорно-радиальных и упорных подшипников), что позволяет уменьшить габаритные размеры подшипникового узла и его стоимость.

## Литература

- [1] ГОСТ 18855-2013 (ISO 281:2007). Подшипники качения. Динамическая грузоподъемность и номинальный ресурс. М., Стандартиформ, 2014.
- [2] Иванов А.С., ред. Подшипники приводов. М., Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2019.
- [3] Черневский Л.В., Коросташевский Р.В., ред. Подшипники качения. М., Машиностроение, 1997.

- [4] Фомин М.В. Расчеты опор с подшипниками качения. М., МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001.
- [5] Леликов О.П. Валы и опоры с подшипниками качения. Конструирование и расчет. М., Машиностроение, 2006.
- [6] Общий каталог SKF. М., SKF, 2006.
- [7] Спицын Н.А., Яхин Б.А., Перегудов В.Н. и др. Расчет и выбор подшипников качения. М., Машиностроение, 1974.
- [8] Смазочные материалы, промышленные масла и родственные продукты. Технические условия. М., Стандартинформ, 2006.
- [9] Фомин М.В. Расчет температурно-вязкостных свойств промышленных масел. *Справочник. Инженерный журнал*, 2017, № 9, с. 45–46. DOI: 10.14489/hb.2017.09.pp.045-046 URL: <http://handbook-j.ru/index.php/archive-eng/836-045-046>
- [10] Перель Л.Я. Подшипники качения. М., Машиностроение, 1983.

**Прохорова Любовь Николаевна** — студентка кафедры «Основы конструирования машин», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

**Научный руководитель** — Фомин Марк Викторович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Основы конструирования машин», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

**Ссылку на эту статью просим оформлять следующим образом:**

Прохорова Л.Н. Выбор смазочного материала для подшипников качения. *Политехнический молодежный журнал*, 2019, № 12(41). <http://dx.doi.org/10.18698/2541-8009-2019-12-560>

---

**SELECTION OF LUBRICANTS FOR ROLLING BEARINGS**

L.N. Prokhorova

liubovprokh@gmail.com

SPIN-code: 1829-3003

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation

**Abstract**

*The article is devoted to the study of the influence of the lubricant properties on the life of a rolling bearing. This effect is studied with the help of the system resource modification coefficient. The choice of lubricant must be carried out taking into account the specific operating conditions of the bearing, which will further clarify the service life of the bearing. The article analyzes the revealed dependences of the value of the system coefficient of resource modification on the properties of the lubricant. Dependencies are given for calculating the modified resource, the system resource modification coefficient of a rolling bearing. An example of choosing a grade of oil for rolling bearings is presented.*

**Keywords**

*Rolling bearing, lubricant, rolling bearing life, modified rolling bearing life, system resource modification coefficient of bearing*

Received 06.11.2019

© Bauman Moscow State Technical University, 2019

**References**

- [1] GOST 18855-2013 (ISO 281:2007). Podshipniki kacheniya. Dinamicheskaya gruppod"emnost' i nominal'nyy resurs [State standard 18855-2013 (ISO 281:2007). Rolling bearings. Dynamic load rating and rating life]. Moscow, Standartinform, 2014 (in Russ.).
- [2] Ivanov A.S., ed. Podshipniki privodov [Apparatus bearings]. Moscow, Bauman MSTU Publ., 2019 (in Russ.).
- [3] Chernevskiy L.V., Korostashevskiy R.V., eds. Podshipniki kacheniya [Rolling bearings]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1997 (in Russ.).
- [4] Fomin M.V. Raschety opor s podshipnikami kacheniya [Calculation of a pier with roller bearings]. Moscow, Bauman MSTU Publ. 2001 (in Russ.).
- [5] Lelikov O.P. Valy i opory s podshipnikami kacheniya: konstruirovaniye i raschet [Shafts and piers with rolling bearings. Construction and calculation]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 2006 (in Russ.).
- [6] Obshchiy katalog SKF. Moscow, SKF Publ., 2006 (in Russ.).
- [7] Spitsyn N.A., Yakhin B.A., Peregudov V.N., et al. Raschet i vybor podshipnikov kacheniya [Calculation and choice of rolling bearings]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1974 (in Russ.).
- [8] Smazochnye materialy, industrial'nye masla i rodstvennyye produkty. Tekhnicheskie usloviya [Lubricants, industrial oils and related products. Technical specifications]. Moscow, Standartinform Publ., 2006 (in Russ.).
- [9] Fomin M.V. The calculation of the temperature-viscosity properties industrial oils. *Spravochnik. Inzhenernyy zhurnal* [Handbook. An Engineering journal with appendix],

2017, no. 9, pp. 45–46. DOI: 10.14489/hb.2017.09.pp.045-046 URL: <http://handbook-j.ru/index.php/archive-eng/836-045-046> (in Russ.).

[10] Perel' L.Ya. Podshipniki kacheniya [Rolling bearings]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1983 (in Russ.).

**Prokhorova L.N.** — Student, Department of Machine Design Principles, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

**Scientific advisor** — Fomin M.V., Cand. Sc. (Eng.), Assoc. Professor, Department of Machine Design Principles, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

**Please cite this article in English as:**

Prokhorova L.N. Selection of lubricants for rolling bearings. *Politekhniicheskiy molodezhnyy zhurnal* [Politechnical student journal], 2019, no. 12(41). <http://dx.doi.org/10.18698/2541-8009-2019-12-560.html> (in Russ.).