

## ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ МИКРОТЕКСТУРИРОВАНИЯ НА ГИДРОМЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОДШИПНИКОВ КОЛЕНЧАТОГО ВАЛА ДИЗЕЛЯ

**Ю.В. Рождественский, К.В. Гаврилов, М.А. Иззатуллоев**

*Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, Россия*

Решение проблемы повышения моторесурса двигателя внутреннего сгорания (ДВС) непосредственно связано со снижением потерь энергии на преодоление трения в элементах систем, механизмов и сложнонагруженных трибосопряжений (ТС). Среди механических потерь на трение особое место занимают гидромеханические потери на трение в ТС ДВС. Снижение потерь энергии на преодоление трения достигается уменьшением механических потерь за счет ограничения уровня нагруженности трущихся поверхностей, увеличением доли жидкостного режима трения для наиболее критичных по надежности ресурсоопределяющих сложнонагруженных ТС. Для сложнонагруженных ТС свойственны переменные по времени и величине действующие нагрузки, при которых положение подвижного элемента в сопряжении характеризуется высокими значениями эксцентриситетов. К таким сложнонагруженным ТС относят коренные и шатунные подшипники коленчатого вала, сопряжения «направляющая поршня – гильза цилиндра» и «поршневое кольцо – гильза цилиндра», опорные и упорные подшипники турбокомпрессора ДВС и т. п. Одним из способов снижения масляного голодания является текстурирование контактирующих поверхностей, которое позволяет увеличить несущую способность сложнонагруженного подшипника за счет создания множества «микроклиньев». В частности, текстурирование поверхности вкладышей подшипников коленчатого вала может выполняться в виде эллиптических микроямок, которые позволяют сохранять масло на поверхности трения при любых режимах работы дизеля. В статье выполнен обзор основных видов микротекстурирования поверхностей трения ТС. Создана расчетная модель и разработана программа расчетного анализа ТС «шейка коленчатого вала – вкладыш» ДВС. Выполнены расчеты гидромеханических характеристик (ГМХ) ТС для различных видов микротекстурирования на примере шатунного подшипника дизеля ЧН 13/15.

*Ключевые слова: подшипник скольжения, потери на трение, лазерное текстурирование, микрогеометрия, трибосопряжения.*

### Введение

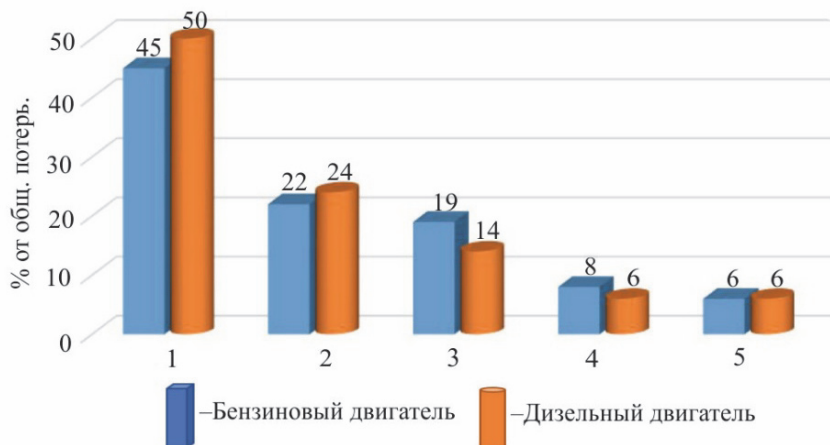
Потери на трение в ДВС являются наиболее важным фактором в определении механического КПД и экономии топлива транспортного средства. По информации из различных источников, потери на трение в подшипниках коленчатого вала достигают 20 % от общих потерь в ДВС [1–3]. Распределение механических потерь по механизмам, узлам и агрегатам ДВС представлено на рис. 1 [2].

В настоящее время многие исследования сосредоточены на возможности текстурирования поверхности подшипников скольжения, гильзы цилиндра, поршневого кольца и других гидродинамических трибосопряжений для улучшения трибологических характеристик этих узлов. Текстурирование опосредованно позволяет [4–5]:

- ✓ уменьшить механические потери;
- ✓ снизить расход масла;
- ✓ снизить вредные выбросы выхлопных газов;
- ✓ улучшить надежность и срок службы двигателя;
- ✓ снизить требования к техническому обслуживанию и увеличить интервалы обслуживания.

Возможность улучшения трибологических характеристик узлов трения путем микротекстурирования привлекла внимание многих исследователей, и в последние годы проведено множество теоретических и экспериментальных исследований в этой области [6–12]. Предполагается, что мелкие поры, искусственно распределенные по фрикционной поверхности, будут действовать

как резервуары для жидкости и будут способствовать удержанию смазывающей тонкой пленки между сопряженными поверхностями. Кроме того, в случаях частых операций пуска / останова считается, что смазочный материал, остающийся в порах, может не допустить задира, вызванного условиями сухого трения.



**Рис. 1. Распределение механических потерь по узлам и агрегатам ДВС: 1 – цилиндропоршневая группа; 2 – кривошипно-шатунный механизм; 3 – газообмен; 4 – газораспределительный механизм; 5 – навесные агрегаты**

В работах [6–9] авторы впервые провели углубленный поиск в области текстурирования и обнаружили, что трение текстурированной поверхности в торцевых уплотнениях уменьшилось на 90 % по сравнению с нетекстурированным уплотнением.

Одной из основных задач, которые решает наличие текстурированной поверхности – это снижение потерь на трение в узлах с возвратно-поступательным движением элементов (поршень, поршневые кольца).

В работе [10] было показано, что текстурирование поверхности юбки поршня позволяет снизить потери на трение в сопряжении поршень-цилиндр до 20 %.

Из обзора литературы следует, что одно из первых исследований текстурированных подшипников скольжения было проведено авторами работы [11]. В статье решили двумерное уравнение Рейнольдса методом конечных разностей для исследования влияния сферических ямок на характеристики подшипников. Результаты показывают, что текстуры влияют на наиболее важные характеристики подшипника: толщину пленки, распределение гидродинамических давлений (ГД), расход смазки и момент трения. Отметим, что положительные результаты зависят от правильного распределения текстурирования и геометрических параметров.

### 1. Методика расчета

Для определения поля гидродинамических давлений в смазочном слое ТС использовалось модифицированное уравнение Элрода, подробности разностной аппроксимации которого приведены в работах [12–18].

При решении уравнений движения подвижных элементов ТС использовался метод ФДН [19].

В качестве текстурирования на поверхности подшипника могут наноситься регулярные микроямки различной формы, получаемые в результате технологической обработки поверхностей. Таким образом, толщина смазочного слоя с учетом как макро- так и микрогеометрии поверхности может быть записана в виде:

$$h(\varphi, z) = h_0(\varphi, z) + h_1(\varphi, z), \quad (1)$$

где  $h_0(\varphi, z)$  описывает макрогеометрию подшипника, а  $h_1(\varphi, z)$  – микрогеометрию поверхности.

В частности, текстурирование поверхности вкладышей подшипников коленчатого вала может выполняться в виде эллиптических ямок (рис. 2). Таким способом возможно увеличить несущую способность смазочного слоя тяжело нагруженного подшипника.

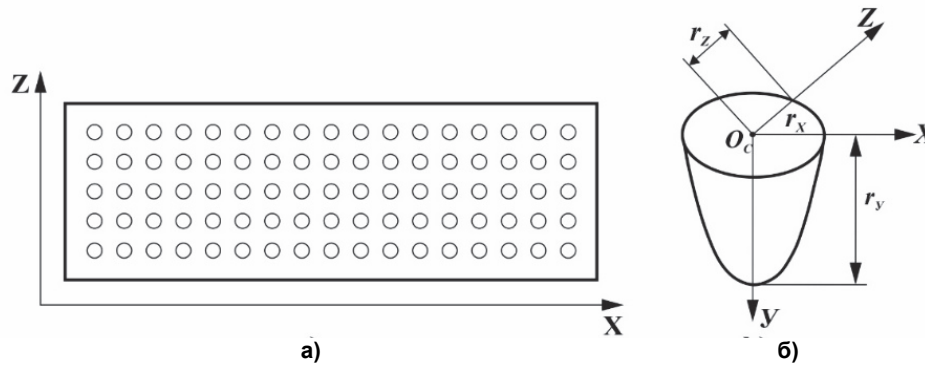


Рис. 2. Текстурированная поверхность подшипника:  
а – развернутая поверхность вкладыша; б – микроямка

Изменение толщины смазочного слоя соответствует изменению координаты  $y$  и подчиняется следующему условию:

$$\Delta h = \begin{cases} \frac{r_y}{r} \sqrt{r^2 (x - x_c)^2 - (z - z_c)^2}, & \text{если } \sqrt{x^2 + z^2} \leq r, \\ 0, & \text{если } \sqrt{x^2 + z^2} \geq r. \end{cases} \quad (2)$$

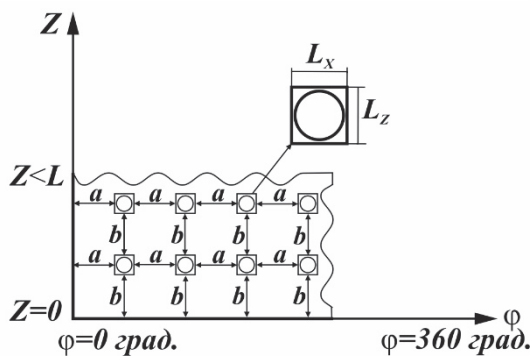


Рис. 3. Распределение микроямок на поверхности подшипника

Условие (2) означает следующее. Если расстояние от центра микроямки до ее границ меньше радиуса микроямки, то приращение толщины смазочного слоя  $\Delta h$  будет соответствовать изменению координаты  $y$  в точке с координатами  $(x, z)$  в границах микроямки. Если расстояние от центра микроямки до ее границ больше  $r$ , то приращения толщины смазочного слоя за счет текстурирования поверхности не произойдет, и толщина смазочного слоя останется прежней.

Таким образом, уравнение (2) может использоваться для задания текстурирования поверхности трения эллиптическими микроямками.

Расположение микроямок для текстурированной поверхности показано на рис. 3.

## 2. Параметрические исследования

Для расчетного анализа ТС «вал – вкладыш» ДВС с учетом описанной методики разработана программа трибологического анализа «Микрогеометрия трибосистемы «вал – вкладыш» двигателя внутреннего сгорания» [20].

Программа служит для расчетного анализа радиальных гидродинамических трибосопряжений, в том числе коренных и шатунных подшипников коленчатого вала ДВС. Исходными данными являются индикаторная диаграмма рабочего процесса в цилиндре, геометрические и технологические параметры, в том числе микротопография поверхностей трения, режимные и эксплуатационные характеристики.

С использованием разработанной программы выполнены расчетные исследования влияния микрогеометрических параметров текстурирования вкладышей на ГМХ шатунного подшипника форсированного дизеля ЧН 13/15.

В качестве исходных данных использовалась индикаторная диаграмма для режима максимальной мощности, а также вязкостно-температурная характеристика основного моторного масла М-10ДМ  $\mu_{40} = 0,0762 \text{ Па} \cdot \text{с}$ ,  $\mu_{80} = 0,0175 \text{ Па} \cdot \text{с}$ ,  $\mu_{100} = 0,0103 \text{ Па} \cdot \text{с}$ .

Основные исходные данные для расчета ГМХ шатунных подшипников представлены в табл. 1.

Параметры текстурирования: глубина микроямки  $r_y = 20 \text{ мкм}$ , радиусы микроямок  $r = r_x =$

$= r_z = 0,0015$  м, плотность расположения микроямок  $\varepsilon_b = \frac{S_{\text{микр}}}{S_{\text{подш}}} = 0,489$ , где  $S_{\text{микр}}$  – площадь микротекстурирования;  $S_{\text{подш}}$  – площадь подшипника, параметры микроямок:  $a = 0,000645$  м,  $b = 0,001214$  м,  $L_x = L_z = 0,0063$  м.

Таблица 1

Исходные данные для расчета ГМХ шатунных подшипников дизеля ЧН 13/15

Параметр	Единица измерения	Значение
Диаметр подшипника	м	0,095
Ширина подшипника	м	0,0324
Номинальный диаметральный зазор в подшипнике	м	0,000103
Количество маслоподводящих отверстий	шт.	1
Диаметр маслоподводящего отверстия на поверхности шейки	м	0,012
Диаметр маслоподводящего канала	м	0,007
Начальный угол расположения маслоподводящего отверстия	град.	225
Давление подачи масла в подшипник	МПа	0,5
Температура масла, подаваемого в подшипник	°С	90

С использованием разработанной программы были выполнены параметрические исследования. На рис. 4 показаны результаты расчета потерь на трение в шатунном подшипнике.

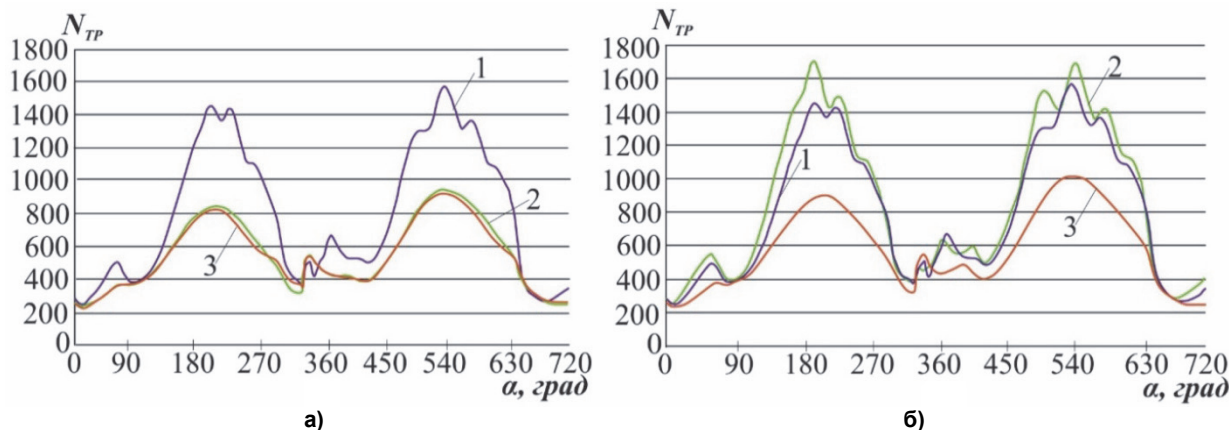


Рис. 4. Потери на трение: а – зависимость потерь на трение от угла поворота коленчатого вала  $\alpha$ : 1 – микроямки на всей поверхности, 2 – без микроямок, 3 – микроямки на участке  $\varphi = 221-329$  град.; б – зависимость потерь на трение от угла поворота коленчатого вала  $\alpha$  при  $\Delta h$ : 1 – 20 мкм, 2 – 30 мкм, 3 – 5 мкм

В табл. 2 и на рис. 5 представлены результаты расчета ГМХ шатунного подшипника при различных видах текстурирования.

Таблица 2

Влияние микрогеометрии на ГМХ шатунного подшипника дизеля ЧН 13/15

Виды микрогеометрии	$N^*$ , Вт	$Q^*$ , см <sup>3</sup> /с	$\inf h_{\min}$ , мкм	$h_{\min}^*$ , мкм	$\sup p_{\max}$ , МПа	$p_{\max}^*$ , МПа
Без микроямок	549,5	0,019	1,756	4,197	362,1	66,1
Микроямки по всей поверхности	799,5	0,022	0,329	1,901	1150,0	140,2
Микроямки на участке поверхности 221–329 град.	514,8	0,023	1,422	3,885	362,5	68,3

Диапазон  $\varphi = 221-329$  град. был выбран на основе параметрических исследований.

Результаты расчета свидетельствуют о неоднозначном влиянии текстурирования поверхности вкладышей на ГМХ шатунного подшипника дизеля ЧН 13/15. Необходимо отметить, что

## Расчет и конструирование

полное текстурирование поверхности подшипника ухудшает значения ГМХ, при этом потери на трение возрастают до 30 %, минимальная толщина смазочного слоя становится сравнимой с высотными параметрами шероховатости поверхности, а значит возможно появление режимов смешанного и граничного трения в сопряжении.

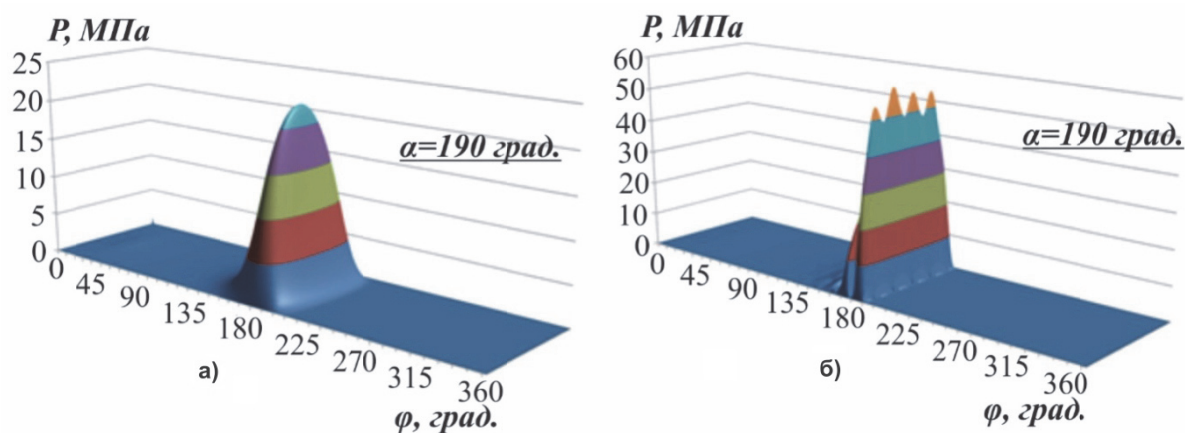


Рис. 5. Распределение давления по поверхности подшипника:  
а – без микроямок; б – с микроямками по всей поверхности

Вместе с тем частичное текстурирование поверхности трения подшипника позволяет снизить потери на трение в среднем на 6 %, при этом значения остальных ГМХ сопоставимы со значениями гладкого подшипника.

### Заключение

Выполнен краткий обзор основных видов микротекстурирования поверхностей трения ТС. Создана расчетная модель и разработана программа расчетного анализа ТС с различными видами микротекстурирования. Выполнены расчеты гидромеханических характеристик ТС для некоторых видов микротекстурирования поверхностей трения, свидетельствующие об улучшении ГМХ ТС в зависимости от локализации и параметров микротекстурирования.

### Обсуждение и применение

Расчетные исследования шатунного подшипника дизеля ЧН 13/15 на различных скоростных режимах показали эффект применения микротекстурирования поверхности вкладыша. При этом снижение максимального ГД-давления составило от 3 до 5 %, потери на трение по углу поворота коленчатого вала уменьшились до 6 % в зависимости от геометрических параметров и расположения микротекстурирования.

### Литература

1. *Friction in automotive engines* / H. Allmaier, C. Priestner, D.E. Sander, F.M. Reich // *Tribology in Engineering*. – 2013. – P. 149–184. DOI: 10.5772/51568
2. Путинев, С.В. *Механические потери в поршневых двигателях* / С.В. Путинцев. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011. – 288 с.
3. Ligier, Jean-Louis *Friction reduction and reliability for engines bearings* / Jean-Louis Ligier, Bruno Noel // *Lubricants*. – 2015. – № 3. – P. 569–596. DOI: 10.3390/lubricants3030569
4. Tung, Simon C. *Automotive tribology overview of current advances and challenges for the future* / Simon C. Tung., Michael L. McMillan // *Tribology International*. – 2004. – Vol. 37. – P. 517–536. DOI: 10.1016/j.triboint.2004.01.013
5. Ohue, Y. *Effect of surface texturing on lubricating condition under point contact using numerical analysis* / Y. Ohue, H. Tanaka // *J. Scientific Research*. – 2013. – № 4. – P. 379–385. DOI: 10.4236/eng.2013.54050
6. Etsion, I. *Improving tribological performance of mechanical components by laser surface texturing* / I. Etsion // *Tribology Letters*. – 2004. – Vol. 17, iss. 4. – P. 733–737.

7. Etsion, I. State of the art in laser surface texturing / I. Etsion // *J. Tribol.* – 2005. – Vol. 127, iss.1. – pp. 248-253. DOI: 10.1115/1.1828070
8. Etsion, I. A model for mechanical seals with regular microsurface structure / I. Etsion, L. Burstein // *Journal Tribology Transactions.* – 1996. – Vol. 39, iss. 3. – P. 677–683. DOI: 10.1080/10402009608983582
9. Etsion, I. A laser surface textured hydrostatic mechanical seal / I. Etsion, G. Halperin // *Journal Tribology Transactions.* – 2002. – Vol. 45, iss. 3. – P. 430–434. DOI: 10.1080/10402000208982570
10. Fang, C. A piston tribodynamic model with deterministic consideration of skirt surface grooves / C. Fang, X. Meng, Y. Xie // *Tribology International.* – 2017. – Vol. 110. – P. 232–251. DOI: 10.1016/j.triboint.2017.02.026
11. Effects of surface texture on journal-bearing characteristics under steady-state operating conditions / N. Tala-Ighil, P. Maspeyrot, M. Fillon, A. Bounif // *J Eng Tribol.* – 2007. – Vol. 221. – P. 623–633. DOI: 10.1243/13506501JET287
12. Brewe, D.E. Theoretical modeling of the vapor cavitation in dynamically loaded journal bearings / D.E. Brewe // *J. Tribol.* – 1986. – Vol. 108, iss. 4. – P. 628–637. DOI: 10.1115/1.3261288
13. Wang, Y. Mixed lubrication of coupled journal-thrust-bearing systems including mass conserving cavitation / Y. Wang, Q.J. Wang, C. Lin // *Journal of Tribology.* – 2003. – Vol. 125. – P. 747–755.
14. Fesanghary, M. A modification of the switch function in the elrod cavitation algorithm / M. Fesanghary, M.M. Khonsari // *J. Tribol.* – 2011. – Vol. 133, iss. 2. – Number article 024501. DOI: 10.1115/1.4003484
15. Vijayaraghavan, D. Development and evaluation of a cavitation algorithm / D. Vijayaraghavan, T.G. Keith // *Jr. Tribology Transactions.* – 1996. – Vol. 32, iss. 2. – P. 225–233. DOI: 10.1080/10402008908981882
16. Vijayaraghavan, D. An efficient, robust, and time accurate numerical scheme applied to a cavitation algorithm / D. Vijayaraghavan, T.G. Keith // *J. Tribol.* – 1990. – Vol. 112, iss.1. – P. 44–51. DOI: 10.1115/1.2920229
17. Qiu, Y. On the prediction of cavitation in dimples using a mass-conservative algorithm / Y. Qiu, M.M. Khonsari // *J. Tribol.* – 2009. – Vol. 131, iss. 4. – Number article 041702. DOI: 10.1115/1.3176994
18. Woloszynski, T. Efficient solution to the cavitation problem in hydrodynamic lubrication / T. Woloszynski, P. Podsiadlo, G.W. Stachowiak // *Tribol Lett.* – 2015. – P. 1–11. DOI: 10.1007/s11249-015-0487-4
19. Прокопьев, В.Н. Повышение эффективности алгоритмов расчета выходных параметров сложнонагруженных опор скольжения двигателей транспортных машин / В.Н. Прокопьев, Ю.В. Рождественский, Н.В. Ширококов // *Вестник УМОАТ.* – 1999. – № 2. – С. 28–32.
20. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2019664243. Микрогеометрия трибосистемы «вал – вкладыш» двигателя внутреннего сгорания / К.В. Гаврилов, М.А. Иззатуллоев; заявитель и правообладатель ЮУрГУ. – № 2109662988; заявл. 17.10.2019; опубл. 01.11.2019 г.

**Рождественский Юрий Владимирович**, доктор технических наук, заведующий кафедрой «Автомобильный транспорт», Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, rozhdestvenskiiyv@susu.ru.

**Гаврилов Константин Владимирович**, кандидат технических наук, доцент кафедры «Автомобильный транспорт», Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, gavrilovkv@susu.ru.

**Иззатуллоев Мубориз Акрамхонович**, аспирант кафедры «Автомобильный транспорт», Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, izzatulloevma@susu.ru.

*Поступила в редакцию 11 января 2020 г.*

## ASSESSMENT OF THE INFLUENCE OF MICROTTEXTURING PARAMETERS ON THE HYDROMECHANICAL CHARACTERISTICS OF DIESEL CRANKSHAFT BEARINGS

*Yu.V. Rozhdestvensky, rozhdestvenskiyv@susu.ru,*

*K.V. Gavrilov, gavrilovkv@susu.ru,*

*M.A. Izzatulloev, izzatulloevma@susu.ru*

*South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation*

The solution to the problem of increasing the motor resource of an internal combustion engine (ICE) is directly related to the reduction of energy losses due to overcoming friction in the elements of systems, mechanisms, and complexly loaded tribo-couplers (TC). Among the mechanical friction losses, a special place is occupied by the hydromechanical friction losses in the internal combustion engine. The reduction of energy losses to overcome friction is achieved by reducing mechanical losses by limiting the level of loading of the rubbing surfaces, by increasing the proportion of the liquid friction regime for the most critical in terms of reliability resource-determining complex loaded vehicles. For complexly loaded vehicles, the time and magnitude of the acting loads are characteristic, at which the position of the movable element in conjunction is characterized by high eccentricities. Such complexly loaded vehicles include the main and connecting rod bearings of the crankshaft, the “piston guide – cylinder liner” and “piston ring – cylinder liner” couplings, the thrust and thrust bearings of the ICE turbocharger, etc. One of the ways to reduce oil starvation is to texturize the contacting surfaces, which will increase the bearing capacity of a complex bearing due to the creation of many “micro wedges”. In particular, the texturing of the surface of the bearing shells of the crankshaft can be performed in the form of elliptical micro-holes, which allow you to save oil on the friction surface under any operating conditions of the diesel engine. The article provides an overview of the main types of microtexturing of friction surfaces of TC. A calculation model has been created and a calculation analysis program has been developed for the internal combustion engine “crankshaft neck-liner” TC. The calculations of the hydromechanical characteristics (HMC) of the vehicle for various types of microtexture were performed using the connecting rod bearing of the diesel engine CHN 13/15 as an example.

*Keywords: plain bearing, friction loss, laser texturing, microgeometry, tribo-coupling.*

### References

1. Allmaier H., Priestner C., Sander D.E., Reich F.M. Friction in automotive engines. *Tribology in Engineering*, 2013, pp. 149–184. DOI: 10.5772/51568
2. Putintsev, S.V. *Mekhanicheskiye poteri v porshnevykh dvigatelyakh* [Mechanical Losses in Piston Engines]. Moscow, MSTU named after N.E. Bauman, 2011. 288 p.
3. Ligier Jean-Louis, Noel. Bruno Friction Reduction and Reliability for Engines Bearings. *Lubricants*, 2015, no. 3, pp. 569–596. DOI: 10.3390/lubricants3030569
4. Tung Simon C., McMillan Michael L. Automotive tribology overview of current advances and challenges for the future. *Tribology International*, 2004, vol. 37, pp. 517–536. DOI: 10.1016/j.triboint.2004.01.013
5. Ohue Y., Tanaka H. Effect of Surface Texturing on Lubricating Condition under Point Contact Using Numerical Analysis. *J. Scientific Research*, 2013, no. 4, pp. 379–385. DOI: 10.4236/eng.2013.54050
6. Etsion I. Improving tribological performance of mechanical components by laser surface texturing. *Tribology Letters*, 2004, vol. 17, iss. 4, pp. 733–737.
7. Etsion I. State of the art in laser surface texturing. *J. Tribol*, 2005, vol. 127, iss. 1, pp. 248–253. DOI: 10.1115/1.1828070
8. Etsion I., Burstein L. A Model for Mechanical Seals with Regular Microsurface Structure. *Journal Tribology Transactions*, 1996, vol. 39, iss. 3, pp. 677–683. DOI: 10.1080/10402009608983582

9. Etsion I., Halperin G. A Laser Surface Textured Hydrostatic Mechanical Seal. *Journal Tribology Transactions*, 2002, vol. 45, iss. 3, pp. 430–434. DOI: 10.1080/10402000208982570
10. Fang C., Meng X., Xie Y. A Piston Tribodynamic Model with Deterministic Consideration of Skirt Surface Grooves. *Tribology International*, 2017, vol. 110, pp. 232–251. DOI: 10.1016/j.triboint.2017.02.026
11. Tala-Ighil N., Maspeyrot P., Fillon M., Bounif A. Effects of surface texture on journal-bearing characteristics under steady-state operating conditions. *J Eng Tribol*, 2007, vol. 221, pp. 623–633. DOI: 10.1243/13506501JET287
12. Brewe, D.E. Theoretical Modeling of the Vapor Cavitation in Dynamically Loaded Journal Bearings. *J. Tribol.*, 1986, vol. 108, iss. 4, pp. 628–637. DOI: 10.1115/1.3261288
13. Wang Y., Wang Q.J., Lin C. Mixed Lubrication of Coupled Journal-Thrust-Bearing Systems Including Mass Conserving Cavitation. *Journal of Tribology*, 2003, vol. 125, pp. 747–755.
14. Fesanghary M., Khonsari M.M. A Modification of the Switch Function in the El-rod Cavitation Algorithm. *J. Tribol.* 2011, vol. 133, iss. 2, number article 024501. DOI: 10.1115/1.4003484
15. Vijayaraghavan D., Keith T.G. Development and Evaluation of a Cavitation Algorithm. *Jr. Tribology Transactions*, 1996, vol. 32, iss. 2, pp. 225–233. DOI: 10.1080/10402008908981882
16. Vijayaraghavan D., Keith T.G. An Efficient, Robust, and Time Accurate Numerical Scheme Applied to a Cavitation Algorithm. *J. Tribol.*, 1990, vol. 112, iss. 1. pp. 44–51. DOI: 10.1115/1.2920229
17. Qiu Y., Khonsari M.M. On the Prediction of Cavitation in Dimples Using a Mass-Conservative Algorithm. *J. Tribol.*, 2009, vol. 131, iss. 4, number article 041702. DOI: 10.1115/1.3176994
18. Woloszynski T., Podsiadlo P., Stachowiak G.W. Efficient Solution to the Cavitation Problem in Hydrodynamic Lubrication. *Tribol Lett.*, 2015, pp. 1–11. DOI: 10.1007/s11249-015-0487-4
19. Prokopiev V.N., Rozhdestvenskii Yu.V., Shirobokov N.V. [Enhancement of Efficiency of Algorithms for Calculation of Output Parameters of Complex Loaded Journal Bearings of the Engines of Transport Vehicles]. *UMOAT Bulletin*, 1999, no. 2, pp. 28–32. (in Russ.)
20. Gavrilov K.V., Izzatullov M.A. *Mikrogeometriya tribosistemy “val – vkladysch” dvigatelya vnutrennego sgoraniya* [Certificate of State Registration of a Computer Program. Microgeometry of the Tribosystem “Shaft – Liner” of an Internal Combustion Engine]. Patent RF 2019664243, no. 2109662988; decl. 17.10.2019, publ. 01.11.2019.

Received 11 January 2020

---

#### ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Рождественский, Ю.В. Оценка влияния параметров микротекстурирования на гидромеханические характеристики подшипников коленчатого вала дизеля / Ю.В. Рождественский, К.В. Гаврилов, М.А. Иzzatullov // Вестник ЮУрГУ. Серия «Машиностроение». – 2020. – Т. 20, № 1. – С. 30–37. DOI: 10.14529/engin200104

#### FOR CITATION

Rozhdestvensky Yu.V., Gavrilov K.V., Izzatullov M.A. Assessment of the Influence of Microtexturing Parameters on the Hydromechanical Characteristics of Diesel Crankshaft Bearings. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Mechanical Engineering Industry*, 2020, vol. 20, no. 1, pp. 30–37. (in Russ.) DOI: 10.14529/engin200104