

## ПОВЫШЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ РАДИАЛЬНОГО ПОДШИПНИКА СКОЛЬЖЕНИЯ С НЕКРУГОВЫМ ПРОФИЛЕМ ОПОРНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ НАЛИЧИИ ПОКРЫТИЯ НА ПОВЕРХНОСТИ ВАЛА

*Абдулрахман Х.Н., Мукутадзе М.А., Киришчиева В.И., Шведова В.Е.  
Ростовский государственный университет путей сообщения  
Ростов-на-Дону, Россия*

**Ключевые слова:** адаптированный профиль, расплав покрытия, асимптотическое и автомодельное решение, радиальный подшипник бесконечной длины.

**Аннотация.** В работе на основе уравнения течения жидкости для «тонкого слоя», уравнения неразрывности, а также уравнения, описывающего радиус расплавленного контура вала, найдено асимптотическое и точное автомодельное решение для радиального подшипника скольжения, адаптированного к условиям трения опорным профилем и металлическим покрытием. Получены аналитические зависимости для радиуса расплавленной поверхности металлического покрытия, а также для поля скоростей и давлений при нулевом и первом приближении. Кроме того, определены основные рабочие характеристики рассматриваемой пары трения, несущая способность и сила трения. Дана оценка влияния параметров, обусловленных расплавом покрытия, адаптированным к условиям трения опорным профилем на несущую способность и силу трения.

## INCREASING THE WEAR RESISTANCE OF A RADIAL SLIDING BEARING WITH A NON-CIRCULAR PROFILE OF THE BEARING SURFACE IN THE PRESENCE OF A COATING ON THE SURFACE OF THE SHAFT

*Abdulrahman H.N., Mukutadze M.A., Kirishchieva V.I., Shvedova V.E.  
Rostov State University of Railway Transport, Rostov-on-Don, Russia*

**Keywords:** adapted profile, coating melt, asymptotic and self-similar solution, radial bearing of infinite length.

**Abstract.** Based on the fluid flow equation for the "thin layer", the continuity equation, as well as the equation describing the radius of the molten shaft contour, an asymptotic and exact self-similar solution for a radial sliding bearing adapted to friction conditions by a support profile and a metal coating is found. Analytical dependences are obtained for the radius of the molten surface of the metal coating, as well as for the velocity and pressure fields at zero and first approximation. In addition, the main performance characteristics of the friction pair under consideration, bearing capacity and friction force are determined. The influence of the parameters caused by the melt of the coating, adapted to the friction conditions of the support profile on the bearing capacity and friction force is estimated.

### Введение

Разработке расчетной модели радиальных подшипников скольжения с металлическим покрытием посвящено значительное количество работ [1-13]. Однако процесс смазывания на расплавах покрытий не является самоподдерживающимся процессом. Для обеспечения

самоподдерживающегося процесса смазывания подшипников скольжения возникает необходимость постоянного наличия смазочного материала, которое можно обеспечить при постоянной подаче смазочного материала или пористым покрытием на другой контактной поверхности [14-24], а также нестандартным опорным профилем.

В предлагаемой работе для обеспечения самоподдерживающегося процесса и гидродинамического режима течения приводится расчетная модель радиального подшипника скольжения с нестандартным опорным профилем подшипниковой втулки и металлическим покрытием поверхности вала.

### Постановка задачи

Рассматривается установившееся движение жидкости между валом и подшипником. Подшипник с некруговым профилем опорной поверхности неподвижен, а вал при наличии покрытия вращается с угловой скоростью  $\Omega$  (рис. 1). Уравнения контуров вала с покрытием  $C_1$ , вала с расплавленной поверхностью  $C_0$ , подшипниковой втулки с адаптированным профилем опорной поверхности  $C_2$  и подшипниковой втулки запишутся в виде

$$C_1 : r' = r_0, \quad C_0 : r' = r_0 - \lambda' f(\theta), \quad C_2 : r' = r_1(1+H) - a' \sin \omega \theta, \quad C_3 : r' = r_1(1+H), \quad (1)$$

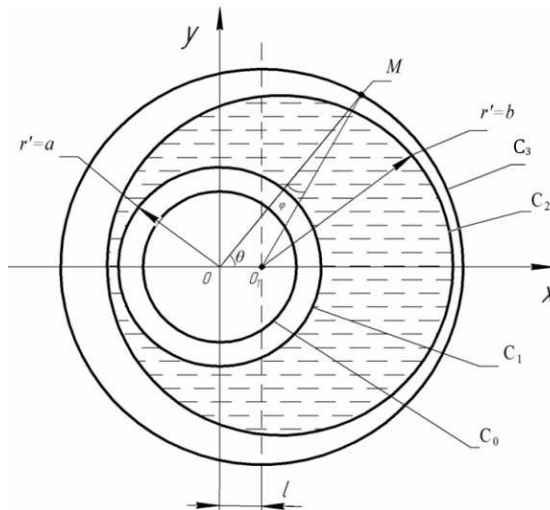


Рис. 1. Расчетная модель

Исходными базовыми уравнениями являются безразмерное уравнение движения вязкой жидкости, уравнение неразрывности, а также уравнение, описывающее радиус расплавленного контура покрытия

$$\frac{\partial p}{\partial r} = 0; \quad \frac{\partial^2 v}{\partial r^2} = \frac{dp}{d\theta}; \quad \frac{\partial u}{\partial r} + \frac{\partial v}{\partial \theta} = 0; \quad -$$

$$\frac{d\lambda' f(\theta)}{d\theta} = -K \int_{-\Phi(\theta)}^{h(\theta)} \left( \frac{\partial v}{\partial r} \right)^2 dr, \quad (2)$$

где  $K = \frac{2\mu\Omega(r_0 - \lambda' f(\theta))}{L\delta}$ ;  $\eta = \frac{e}{\delta}$ ;  $\eta_1 = \frac{a'}{\delta}$ ;  $\Phi(\theta) = \lambda' f(\theta)$ .

$$u = 0, \quad v = 1 \text{ при } r = r_0 - \Phi(\theta);$$

$$u = 0, \quad v = 0 \text{ при } r = 1 + \eta \cos \theta - \eta_1 \sin \omega \theta = h(\theta);$$

$$p(0) = p(2\pi) = \frac{Pg}{p^*}. \quad (3)$$

Асимптотическое решение системы дифференциальных уравнений (2) с учетом граничных условий (3) находим по параметру  $K$  – характеризующему расплав, в результате имеем

– для нулевого приближения:

$$\frac{\partial^2 v_0}{\partial r^2} = \frac{dp_0}{d\theta}, \quad \frac{\partial v_0}{\partial \theta} + \frac{\partial u_0}{\partial r} = 0; \quad (4)$$

$$v_0 = 0, \quad u_0 = 0 \text{ при } r = 1 + \eta \cos \theta - \eta_1 \sin \omega \theta; \quad (5)$$

$$v_0 = 1, \quad u_0 = 0 \text{ при } r = r_0 - \Phi(\theta); \quad p_0(0) = p_0(2\pi) = \frac{Pg}{p^*};$$

– для первого приближения:

$$\frac{\partial^2 v_1}{\partial r^2} = \frac{dp_1}{d\theta}; \quad \frac{\partial v_1}{\partial \theta} + \frac{\partial u_1}{\partial r} = 0; \quad \frac{d\Phi_1(\theta)}{d\theta} = -K \int_0^{h(\theta)} \left( \frac{\partial v_0}{\partial r} \right)^2 dr; \quad (6)$$

$$v_1 = \left( \frac{\partial v_0}{\partial r} \right) \Big|_{r=0} \cdot \tilde{\Phi}; \quad u_1 = \left( \frac{\partial u_0}{\partial r} \right) \Big|_{r=0} \cdot \tilde{\Phi};$$

$$v_1 = 0 \quad u_1 = 0 \text{ при } r = h(\theta) + \tilde{\Phi}; \quad (7)$$

$$p_1(0) = p_1(2\pi) = 0; \quad \Phi(0) = \Phi(2\pi) = h_0^*.$$

Точное автомодельное решение задачи для нулевого приближения будем искать по известному методу. В результате для поля скорости и давления имеем

$$\tilde{\Psi}'_0(\xi) = \frac{\tilde{C}_2}{2}(\xi^2 - \xi), \quad \tilde{v}_0(\xi) = \tilde{C}_1 \frac{\xi^2}{2} - \left(1 + \frac{\tilde{C}_1}{2}\right)\xi + 1, \quad \tilde{C}_1 = 6.$$

$$p_0 = 6 \left( \eta \sin \theta + \frac{\eta_1}{\omega} (\cos \omega \theta - 1) \right) - \frac{\eta_1 \theta}{2\pi \omega} (\cos 2\pi \omega - 1) + \frac{Pg}{p^*}. \quad (8)$$

В результате определения  $\Phi_1(\theta)$  получим

$$\Phi_1(\theta) = \theta - \eta \sin \theta - \frac{\eta_1}{\omega} \cos \omega \theta + h_0^*; \quad (9)$$

Тогда для первого приближения получим:

$$\tilde{\Psi}'_1(\xi) = \frac{\tilde{\tilde{C}}_2}{2}(\xi^2 - \xi), \quad \tilde{v}_1(\xi) = \tilde{\tilde{C}}_1 \frac{\xi^2}{2} + \left( \frac{\tilde{\tilde{C}}_1}{2} - M \right) \xi + M, \quad \tilde{\tilde{C}}_1 = 6M.$$

$$p_1 = 6M \frac{\left( \tilde{\eta} \sin \theta + \frac{\tilde{\eta}_1}{\omega} (\cos \omega \theta - 1) - \frac{\tilde{\eta}_1 \theta}{2\pi\omega} (\cos 2\pi\omega - 1) \right)}{(1 + \tilde{\Phi})^2}. \quad (10)$$

С учетом (4), (6), (8) и (10) для несущей способности и силы трения имеем:

$$R_x = p^* r_0 \int_0^{2\pi} \left( p_0 - \frac{p_g}{p^*} + K p_1 \right) \cos \theta d\theta = 0;$$

$$R_y = p^* r_0 \int_0^{2\pi} \left( p_0 - \frac{p_g}{p^*} + K p_1 \right) \sin \theta d\theta = \frac{\mu \Omega r_0^3}{\delta^2} \left[ \eta \pi - \frac{\eta_1}{\omega} (\cos 2\pi\omega - 1) + KM \left( \frac{\pi \tilde{\eta} + \frac{\tilde{\eta}_1 (\cos 2\pi\omega - 1)}{\omega}}{(1 + \tilde{\Phi})^2} \right) \right];$$

$$L_{\text{тр}} = \mu \int_0^{2\pi} \left[ \frac{\partial v_0}{\partial r} \Big|_{r=0} + K \frac{\partial v_1}{\partial r} \Big|_{r=0} \right] d\theta = \mu \left[ -2\pi + \frac{\eta_1}{\omega} (\cos 2\pi\omega - 1) + K \left[ \left( 2\pi - \frac{2\eta_1}{\omega} (\cos 2\pi\omega - 1) \right) \cdot \tilde{\Phi} \right] \right]. \quad (11)$$

Проведя численный анализ в исследованном диапазоне параметров, построим графики основных трибохарактеристик (рис. 2).

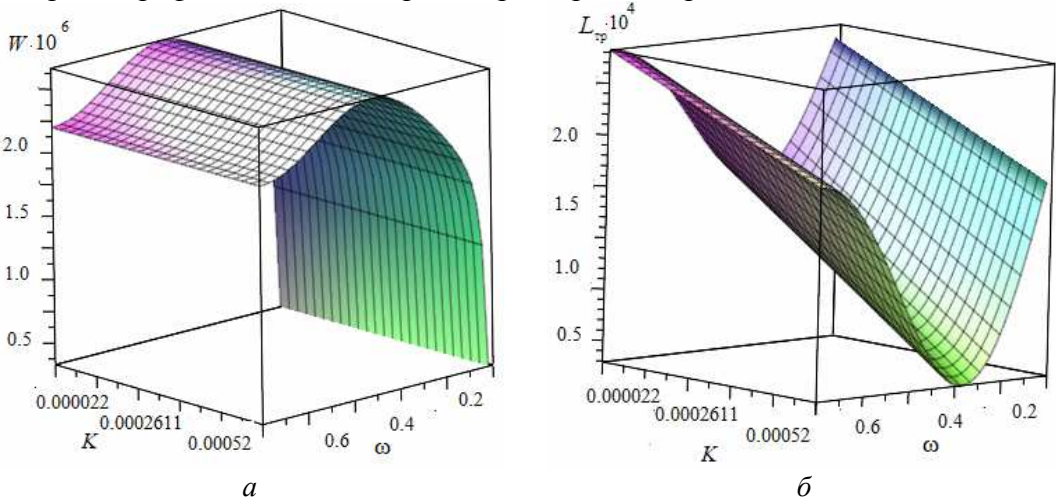


Рис. 2. Влияние параметров  $\omega$ , характеризующего адаптированный профиль, и теплового параметра  $K$ , обусловленного расплавом, на поддерживающую силу *a*) и силу трения *б*)

## Выводы

В экспериментальном исследовании рассмотрена опора скольжения с металлическим покрытием из сплава Вуда (см. табл. 1). По результатам экспериментов определялась величина коэффициента трения. А также определяли температурный режим и переход гидродинамического режима трения на граничное трение.

Разработаны новые многопараметрические выражения для основных рабочих характеристик (несущая способность и сила трения) радиального

подшипника скольжения с учетом реологических свойств смазочного материала и расплава покрытия.

Дана оценка влияния параметров переменных факторов, обусловленных расплавом покрытия.

Табл. 1. Сравнение результатов теоретических и экспериментальных исследований

№	Теоретические исследования		Эксперимент. исследования	
	Без покрытия	С покрытием	С покрытием из сплава Вуда	
Коэффициент трения	1	0,0052	0,0027	0,0028
	2	0,0050	0,0026	0,0023
	3	0,0051	0,0029	0,0031
	4	0,0047	0,0028	0,0032
	5	0,0049	0,0029	0,0030

Полученные уточненные расчетные модели радиальных подшипников скольжения позволяют в результате варьирования покрытия регулировать соотношение его несущей способности и коэффициента трения. Также установлена удовлетворительная сходимость теоретических и экспериментальных исследований в подтверждение сделанных теоретических выводов.

#### Список литературы

1. Mukutadze M.A., Lagunova E.O., Solop K.S. Working out of an analytical model of an axial bearing taking into account dependence of viscous characteristics of micropolar lubrication on pressure and temperature // International Journal of Applied Engineering Research. 2017. Vol. 12. No. 14. P. 4644-4650.
2. Ахвердиев К.С., Мукутадзе М.А., Лагунова Е.О., Солоп К.С. Расчетная модель радиального подшипника скольжения с повышенной несущей способностью, работающего на микрополярной смазке с учетом ее вязкостных характеристик от давления // Инженерный вестник Дона. 2013. № 4 (27). С. 22.
3. Ахвердиев К.С., Мукутадзе М.А., Лагунова Е.О., Солоп К.С. Расчетная модель упорного подшипника скольжения с повышенной несущей способностью, работающего на неньютоновских смазочных материалах с адаптированной опорной поверхностью // Инженерный вестник Дона. 2013. № 4 (27). С. 23.
4. Мукутадзе М.А., Флек Б.М., Задорожная Н.С., Поляков Е.В., Мукутадзе А.М. Расчетная модель гидродинамической смазки неоднородного пористого подшипника конечной длины, работающего в устойчивом нестационарном режиме трения при наличии принудительной подачи смазки // Инженерный вестник Дона. 2013. № 3 (26). С. 9.
5. Akhverdiev K.S., Mukutadze M.A., Semenko I.S. Hydrodynamic calculation of a thrust plain bearing that operates with viscoelastic lubricant under turbulent friction conditions // Journal of Machinery Manufacture and Reliability. 2011. Vol. 40. No. 4. P. 359-365.
6. Ахвердиев К.С.О., Эркенов А.Ч., Александрова Е.Е., Мукутадзе М.А. Стратифицированное течение трехслойной смазки в зазоре упорного подшипника, обладающего повышенной несущей способностью // Трибология и

- надежность. Сбор. научн. трудов X Международной конференции. СПб.: СПбГУПС, 2010. С. 15-24.
7. Ахвердиев К.С., Александрова Е.В., Кручинина Е.Е., Мукутадзе М.А. Стратифицированное течение двухслойной смазки в зазоре упорного подшипника, обладающего повышенной несущей способностью // Вестник ДГТУ. 2010. Т.10. № 2 (45). С. 217-223.
  8. Ахвердиев К.С.О., Мукутадзе М.А., Замшин В.А., Семенко И.С. Гидродинамический расчет радиального подшипника скольжения, работающего в турбулентном режиме трения при неполном заполнении зазора вязкоупругой смазкой // Вестник машиностроения. 2009. №7. С.11-17.
  9. Ахвердиев К.С., Лагунова Е.О., Мукутадзе М.А. Гидродинамический расчет радиального подшипника при наличии электромагнитного поля с учетом зависимости вязкости и электропроводимости от температуры // Вестник ДГТУ. 2009. Т.9. № 3 (42). С. 529-536.
  10. Ахвердиев К.С., Вовк А.Ю., Мукутадзе М.А., Савенкова М.А. Математическая модель гидродинамической смазки бесконечно широких опор, работающих в турбулентном режиме на микрополярной смазке // Трение и смазка в машинах и механизмах. 2007. № 9. С. 12-15.
  11. Мукутадзе М.А. Разработка системы расчетных моделей подшипников скольжения на основе развития гидродинамической и реодинамической теории смазки: Автореферат дисс. ... докт. техн. наук. Ростов-на-Дону: РГУПС, 2015.
  12. Ахвердиев К.С., Мукутадзе М.А., Вовк А.Ю., Семенко И.С. Гидродинамический расчет радиального подшипника, работающего в нестационарном режиме на вязкопластичной смазке, обладающей микрополярными свойствами // Вестник РГУПС. 2008. № 4 (32). С. 131-138.
  13. Ахвердиев К.С., Мукутадзе М.А., Савенкова М.А., Вовк А.Ю. Математическая модель гидродинамической смазки радиального подшипника, работающего в нестационарном режиме на микрополярной смазке // Вестник РГУПС. 2008. №1(29). С. 147-151.
  14. Мукутадзе М.А., Хасьянова Д.У., Мукутадзе А.М. Гидродинамическая модель клиновидной опоры скольжения с легкоплавким металлическим покрытием // Проблемы машиностроения и надежности машин. 2020. № 4. С. 51-58.
  15. Mukutadze M.A., Vasilenko V.V., Mukutadze A.M., Opatskikh A.N. Mathematical model of a plain bearer lubricated with molten metal // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. International Conference on Innovations and Prospects of Development of Mining Machinery and Electrical Engineering. 2019. P. 012021.
  16. Mukutadze M.A., Mukutadze A.M., Vasilenko V.V. Simulation model of thrust bearing with a free-melting and porous coating of guide and slide surfaces // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. P. 012031.
  17. Mukutadze M.A., Khasyanova D.U. Radial friction bearing with a fusible coating in the turbulent friction mode // Journal of Machinery Manufacture and Reliability. 2019. Vol. 48. No. 5. P. 421-430.
  18. Akhverdiev K.S., Lagunova E.O., Mukutadze M.A. Calculated model of wedge-shaped sliding supports taking into account rheological properties of viscoelastic lubricant // Advances in Engineering Research. Proceedings of the International Conference "Aviamechanical engineering and transport" (AVENT 2018). 2018. P.246-253.

19. Mukutadze M.A., Khasyanova D.U. Optimization of the supporting surface of a slider bearing according to the load-carrying capacity taking into account the lubricant viscosity depending on pressure and temperature // *Journal of Machinery Manufacture and Reliability*. 2018. Vol. 47. No. 4. P. 356-361.
20. Mukutadze M.A., Lagunova E.O., Vasilenko V.V. Development of the design model of a hydrodynamic lubricating material formed during melting of the axial bearing, in the presence of forced lubrication // *Journal of Machinery Manufacture and Reliability*. 2018. Vol. 47. No. 3. P. 271-277.
21. Akhverdiev K.S., Bolgova E.A., Mukutadze M.A., Vasilenko V.V. Mathematical model of a radial sliding bearing with a porous layer on its operating surface with a low-melting metal coating on shaft surface // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. International Conference on Mechanical Engineering, Automation and Control Systems, MEACS 2020*. 2021. P. 012005.
22. Кохановский В.А., Мукутадзе М.А. Матричные материалы антифрикционных композитов // *Вестник ДГТУ*. 2001. Т. 1. № 2. С. 51-56.
23. Lagunova E.O., Mukutadze M.A. Calculation of a radial slider bearing with a fusible coating // *Journal of Friction and Wear*. 2019. Vol. 40. No. 1. P. 88-94.
24. Mukutadze M.A., Khasyanova D.U. Optimization of the supporting surface of a slider bearing according to the load-carrying capacity taking into account the lubricant viscosity depending on pressure and temperature // *Journal of Machinery Manufacture and Reliability*. 2018. Vol. 47. No. 4. P. 356-361.

### References

1. Mukutadze M.A., Lagunova E.O., Solop K.S. Working out of an analytical model of an axial bearing taking into account dependence of viscous characteristics of micropolar lubrication on pressure and temperature // *International Journal of Applied Engineering Research*. 2017. Vol. 12. No. 14. P. 4644-4650.
2. Akhverdiev K.S., Mukutadze M.A., Lagunova E.O., Solop K.S. Calculation model of a radial sliding bearing with increased bearing capacity operating on a micropolar lubricant taking into account its viscosity characteristics from pressure // *Engineering Bulletin of the Don*. 2013. No. 4 (27). P. 22.
3. Akhverdiev K.S., Mukutadze M.A., Lagunova E.O., Solop K.S. Calculation model of a thrust sliding bearing with increased load-bearing capacity operating on non-Newtonian lubricants with an adapted bearing surface // *Engineering Bulletin of the Don*. 2013. No. 4 (27). P. 23.
4. Mukutadze M.A., Fleck B.M., Zadorozhnaya N.S., Polyakov E.V., Mukutadze A.M. Computational model of hydrodynamic lubrication of a nonuniform porous bearing of finite length operating in a stable unsteady friction mode in the presence of forced lubrication // *Engineering Bulletin of the Don*. 2013. No.3(26). P. 9.
5. Akhverdiev K.S., Mukutadze M.A., Semenko I.S. Hydrodynamic calculation of a thrust plain bearing that operates with viscoelastic lubricant under turbulent friction conditions // *Journal of Machinery Manufacture and Reliability*. 2011. Vol. 40. No. 4. P. 359-365.
6. Akhverdiev K.S.O., Erkenov A.Ch., Alexandrova E.E., Mukutadze M.A. Stratified flow of three-layer lubrication in the gap of a thrust bearing with increased bearing capacity // *Tribology and reliability. Collection of scientific papers of the X International Conference*. SPb: SPbGTU, 2010. P. 15-24.

7. Akhverdiev K.S., Alexandrova E.V., Kruchinina E.E., Mukutadze M.A. Stratified flow of two-layer lubricant in the gap of a thrust bearing with increased bearing capacity // Bulletin of the DSTU. 2010. Vol. 10. No. 2 (45). P. 217-223.
8. Akhverdiev K.S.O., Mukutadze M.A., Shamshin V.A., Semenko I.S. Hydrodynamic calculation of a radial sliding bearing operating in turbulent friction mode with incomplete filling of the gap with viscoelastic lubricant // Bulletin of Mechanical Engineering. 2009. No. 7. P. 11-17.
9. Akhverdiev K.S., Logunova E.O., Mukutadze M.A. Hydrodynamic calculation of a radial bearing in the presence of an electromagnetic field, taking into account the dependence of viscosity and electrical conductivity on temperature // Bulletin of the DSTU. 2009. Vol. 9. No. 3 (42). P. 529-536.
10. Akhverdiev K.S., Vovk A.Yu., Mukutadze M.A., Savenkova M.A. Mathematical model of hydrodynamic lubrication of infinitely wide supports operating in turbulent mode on micropolar lubrication // Friction and lubrication in machines and mechanisms. 2007. No. 9. P. 12-15.
11. Mukutadze M.A. Development of a system of calculation models of sliding bearings based on the development of hydrodynamic and rheodynamic theory of lubrication: Abstract diss. ... doct. tech. sc. Rostov-on-Don: RSTU, 2015.
12. Akhverdiev K.S., Mukutadze M.A., Vovk A.Yu., Semenko I.S. Hydrodynamic calculation of a radial bearing operating in a non-stationary mode on a viscoplastic lubricant with micropolar properties // Bulletin of the RSTU. 2008. No.4(32). P.131-138.
13. Akhverdiev K.S., Mukutadze M.A., Savenkova M.A., Vovk A.Yu. A mathematical model of hydrodynamic lubrication of a radial bearing operating in a non-stationary mode on micropolar lubrication // Bulletin of the RSTU. 2008. No. 1 (29). P. 147-151.
14. Mukutadze M.A., Khasyanova D.U., Mukutadze A.M. Hydrodynamic model of a wedge-shaped sliding support with a fusible metal coating // Problems of mechanical engineering and machine reliability. 2020. No. 4. P. 51-58.
15. Mukutadze M.A., Vasilenko V.V., Mukutadze A.M., Opatskikh A.N. Mathematical model of a plain bearer lubricated with molten metal // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. International Conference on Innovations and Prospects of Development of Mining Machinery and Electrical Engineering. 2019. P. 012021.
16. Mukutadze M.A., Mukutadze A.M., Vasilenko V.V. Simulation model of thrust bearing with a free-melting and porous coating of guide and slide surfaces // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. P. 012031.
17. Mukutadze M.A., Khasyanova D.U. Radial friction bearing with a fusible coating in the turbulent friction mode // Journal of Machinery Manufacture and Reliability. 2019. Vol. 48. No. 5. P. 421-430.
18. Akhverdiev K.S., Lagunova E.O., Mukutadze M.A. Calculated model of wedge-shaped sliding supports taking into account rheological properties of viscoelastic lubricant // Advances in Engineering Research. Proceedings of the International Conference "Aviamechanical engineering and transport" (AVENT 2018). 2018. P.246-253.
19. Mukutadze M.A., Khasyanova D.U. Optimization of the supporting surface of a slider bearing according to the load-carrying capacity taking into account the lubricant viscosity depending on pressure and temperature // Journal of Machinery Manufacture and Reliability. 2018. Vol. 47. No. 4. P. 356-361.



20. Mukutadze M.A., Lagunova E.O., Vasilenko V.V. Development of the design model of a hydrodynamic lubricating material formed during melting of the axial bearing, in the presence of forced lubrication // Journal of Machinery Manufacture and Reliability. 2018. Vol. 47. No. 3. P. 271-277.
21. Akhverdiev K.S., Bolgova E.A., Mukutadze M.A., Vasilenko V.V. Mathematical model of a radial sliding bearing with a porous layer on its operating surface with a low-melting metal coating on shaft surface // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. International Conference on Mechanical Engineering, Automation and Control Systems, MEACS 2020. 2021. P. 012005.
22. Kohanovskiy V.A., Mukutadze M.A. Matrix materials of antifriction composites // Bulletin of the DSTU. 2001. Vol. 1. No. 2. P. 51-56.
23. Lagunova E.O., Mukutadze M.A. Calculation of a radial slider bearing with a fusible coating // Journal of Friction and Wear. 2019. Vol. 40. No. 1. P. 88-94.
24. Mukutadze M.A., Khasyanova D.U. Optimization of the supporting surface of a slider bearing according to the load-carrying capacity taking into account the lubricant viscosity depending on pressure and temperature // Journal of Machinery Manufacture and Reliability. 2018. Vol. 47. No. 4. P. 356-361.

<b>Абдулрахман Хайдар Нофалевич</b> – кандидат физико-математических наук, доцент кафедры «Высшая математика»	<b>Abdulrahman Haidar Nofalevich</b> – candidate of physical and mathematical sciences, associate professor of the Department of higher mathematics
<b>Мукутадзе Мурман Александрович</b> – доктор технических наук, профессор кафедры «Высшая математика»	<b>Mukutadze Murman Aleksandrovich</b> – doctor of technical sciences, professor of the Department of higher mathematics
<b>Киришчиева Виктория Игоревна</b> – аспирант	<b>Kirishchieva Victoria Igorevna</b> – postgraduate student
<b>Шведова Валерия Евгеньевна</b> – аспирант	<b>Shvedova Valeria Evgenievna</b> – postgraduate student
Murman1963@yandex.ru	

*Received 06.06.2022*