

РАСЧЕТНАЯ МОДЕЛЬ МИКРОПОЛЯРНОГО СМАЗОЧНОГО МАТЕРИАЛА В РАБОЧЕМ ЗАЗОРЕ КЛИНОВИДНОЙ ОПОРЫ СКОЛЬЖЕНИЯ

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

Ключевые слова: гидродинамика, опора скольжения, адаптированный профиль, расплав, автомодельное решение, поля скоростей.

Аннотация. В работе на основе уравнения течения микрополярной жидкости для «тонкого слоя», уравнения неразрывности, а также уравнения, описывающего профиль расплавленного контура направляющей, покрытой металлическим сплавом, с учетом формулы скорости диссипации механической энергии найдено асимптотическое и точное автомодельное решение для нулевого (без учета расплава) и первого (с учетом расплава) приближения клиновидной опоры скольжения с адаптированным к условиям трения опорным профилем ползуна.

CALCULATION MODEL OF A MICROPOLAR LUBRICANT IN THE WORKING GAP OF A WEDGE-SHAPED SLIDING SUPPORT

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

Keywords: hydrodynamics, sliding support, adapted profile, melt, self-similar solution, velocity fields.

Abstract. Based on the equation of the flow of a micropolar liquid for a "thin layer", the continuity equation, as well as the equation describing the profile of the molten contour of a guide coated with a metal alloy, taking into account the formula of the rate of dissipation of mechanical energy, an asymptotic and exact self-similar solution for the zero (excluding the melt) and the first (taking into account the melt) approximation of a wedge-shaped sliding supports with a slider support profile adapted to friction conditions.

Разработке расчетной модели упорных подшипников скольжения с покрытием подвижных и неподвижных контактных поверхностей посвящено достаточное количество работ [1-12]. Однако процесс смазывания на расплавах покрытий не является самоподдерживающимся процессом [13-21]. Для обеспечения самоподдерживающегося процесса смазывания подшипников скольжения возникает необходимость не только наличия покрытий на одной из рабочих контактных поверхностей, но и постоянного наличия смазочного материала.

В предлагаемой работе приводится математическая расчетная модель гидродинамического режима течения смазочного материала и расплава покрытия, обладающих микрополярными реологическими свойствами, в рабочем зазоре клиновидной опоры скольжения с адаптированным профилем опорной поверхности ползуна.

Рассматривается установившееся течение несжимаемой жидкости и расплава покрытия в рабочем зазоре. Клиновидная опора скольжения с нестандартным опорным профилем поверхности неподвижна, а опорное кольцо с покрытием перемещается со скоростью u^* (рис. 1).

Представленные на расчетной схеме в системе координат $x'o'y'$ контуры: C_0 – наклонного ползуна, C_1 – наклонного ползуна с адаптированным профилем, C_2 – расплавленного покрытия поверхности опорного кольца – обозначены следующим образом:

$$C_0 : y' = h_0 + x' \operatorname{tg} \alpha, \quad C_1 : y' = h_0 + x' \operatorname{tg} \alpha - a' \sin \omega' x', \quad C_2 : y' = -\lambda' f'(x'), \quad (1)$$

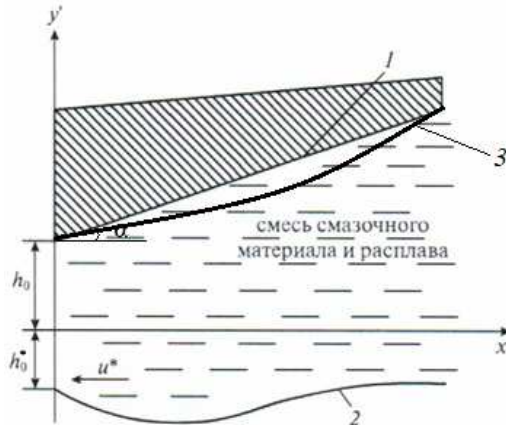


Рис. 1. Рабочая схема

Для решения данной задачи использованы общеизвестные безразмерные уравнения для «тонкого слоя» движения микрополярного смазочного материала, уравнение неразрывности, а также уравнение, определяющее профиль расплавленного контура покрытия с учетом скорости диссипации механической энергии с соответствующими граничными условиями:

$$\frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{N^2}{2N_1 h(x)} (2y - h) = \frac{dp}{dx}, \quad v = \frac{1}{2N_1 h} (y^2 - hy),$$

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0, \quad \frac{d\Phi(x)}{dx} = -K \int_{-\Phi(x)}^{h(x)} \left(\frac{\partial u}{\partial y} \right)^2 dy.$$

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

$$v = 0, \quad v = 0, \quad u = -1 \quad \text{при} \quad y = -\Phi(x); \quad p(0) = p(1) = \frac{Pa}{p}. \quad (2)$$

Переход к безразмерным переменным осуществлен по стандартной методике:

$$u' = u^* u; \quad v' = u^* \varepsilon v; \quad v' = v^* v; \quad p' = p^* p; \quad y' = h_0 y;$$

$$N^2 = \frac{\kappa}{2\mu + \kappa}; \quad N_1 = \frac{2\mu l^2}{\kappa h_0^2}; \quad l^2 = \frac{\gamma}{4\mu};$$

$$\varepsilon = \frac{h_0}{L}; \quad v^* = \frac{u^*}{2h_0}; \quad p^* = \frac{(2\mu + \kappa)Lu^*}{2h_0^2}; \quad x' = Lx. \quad (3)$$

Непосредственное решение найдено в виде асимптотического решения по параметру, обусловленному расплавом, в результате имеем:

– для нулевого приближения:

$$\frac{\partial^2 u_0}{\partial y^2} + \frac{N^2}{2N_1 h} (2y - h) = \frac{dp_0}{dx}, \quad \frac{\partial v_0}{\partial x} + \frac{\partial u_0}{\partial y} = 0,$$

$$v_0 = 0, \quad v_0 = 0, \quad u_0 = 0 \text{ при } y = 1 + \eta x - \eta_1 \sin \omega x;$$

$$v_0 = 0, \quad u_0 = -1, \quad v_0 = 0 \text{ при } y = 0; \quad p_0(0) = p_0(1) = \frac{P_a}{p}; \quad (4)$$

– для первого приближения:

$$\frac{\partial^2 u_1}{\partial y^2} = \frac{dp_1}{dx}, \quad \frac{\partial v_1}{\partial x} + \frac{\partial u_1}{\partial y} = 0, \quad -\frac{d\Phi_1(x)}{dx} = K \int_{-\Phi_0}^{h(x)} \left(\frac{\partial u_1}{\partial y} \right)^2 dy;$$

$$v_1 = \left(\frac{\partial u_0}{\partial y} \right) \Big|_{y=0} \cdot \Phi_1(x); \quad u_1 = \left(\frac{\partial u_0}{\partial y} \right) \Big|_{y=0} \cdot \Phi_1(x);$$

$$v_1 = 0, \quad v_1 = 0, \quad u_1 = 0 \text{ при } y = h(x) + \tilde{\Phi}; \quad (5)$$

$$p_1(0) = p_1(1) = 0.$$

Автомодельное решение системы (4) и (5) ищем по известному методу. В результате имеем выражения для поля скоростей и давлений в смазочном слое для нулевого и первого приближения, а также определена функция, характеризующая профиль расплавленного контура поверхности опорного кольца с учетом адаптированного профиля ползуна и реологических свойств применяемого смазочного материала и расплава покрытия, обладающих микрополярными свойствами:

– для нулевого приближения:

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

$$\tilde{u}_0(\xi) = \tilde{C}_1 \frac{\xi^2}{2} - \frac{N^2}{2N_1} \left(\frac{\xi^3}{3} - \frac{\xi^2}{2} \right) - \left(\frac{N^2}{12N_1} + \frac{\tilde{C}_1}{2} + 1 \right) \xi + 1.$$

$$p_0 = 6 \left(\frac{\eta}{2} (x^2 - x) + \frac{\eta_1}{\omega} (\cos \omega x - 1 - x(\cos \omega - 1)) \right) + \frac{P_a}{p}. \quad (6)$$

Для функции, определяющей расплавленный контур опорного кольца:

$$\Phi_1(x) = x - \frac{1}{2}\eta x^2 - \frac{\eta_1}{\omega} \cos \omega x + \frac{N^4}{720N_1^2} \left(x - \frac{\eta}{2}x^2 - \frac{\eta_1}{\omega} \cos \omega x \right) + h_0^*. \quad (7)$$

– для первого приближения:

$$p_1 = \frac{6M}{(1+\tilde{\Phi})^2} \left(\frac{\tilde{\eta}}{2}(x^2 - x) + \frac{\tilde{\eta}_1}{\omega}(\cos \omega x - 1 - x(\cos \omega - 1)) \right), \quad (8)$$

С учетом (6)-(8) для нагрузочной способности и силы трения:

$$W = p^* L \int_0^1 \left(p_0 - \frac{p_a}{p^*} + K p_1 \right) dx = \frac{(2\mu + \kappa) L^2 u^*}{h_0^2} \left(-\frac{\eta}{12} + \frac{\eta_1}{\omega} \left(\frac{\sin \omega}{\omega} - \frac{1}{2} - \frac{\cos \omega}{2} \right) + \frac{KM}{(1+\tilde{\Phi})^2} \left(-\frac{\tilde{\eta}}{12} + \frac{\tilde{\eta}_1}{\omega} \left(\frac{\sin \omega}{\omega} - \frac{1}{2} - \frac{\cos \omega}{2} \right) \right) \right);$$

$$L_{\text{тр}} = \int_0^1 \left[\frac{\partial u_0}{\partial y} \Big|_{y=0} + K \frac{\partial u_1}{\partial y} \Big|_{y=0} \right] dx = (2\mu + \kappa) \times$$

$$\times \left(1 - \frac{\eta}{2} - \frac{\eta_1}{\omega}(\cos \omega - 1) + \frac{N^2}{4N_1} \left(1 + \frac{\eta}{2} + \frac{\eta_1}{\omega}(\cos \omega - 1) \right) - \tilde{\Phi} K \left(1 - \eta - \frac{2\eta_1}{\omega}(\cos \omega - 1) \right) \right). \quad (9)$$

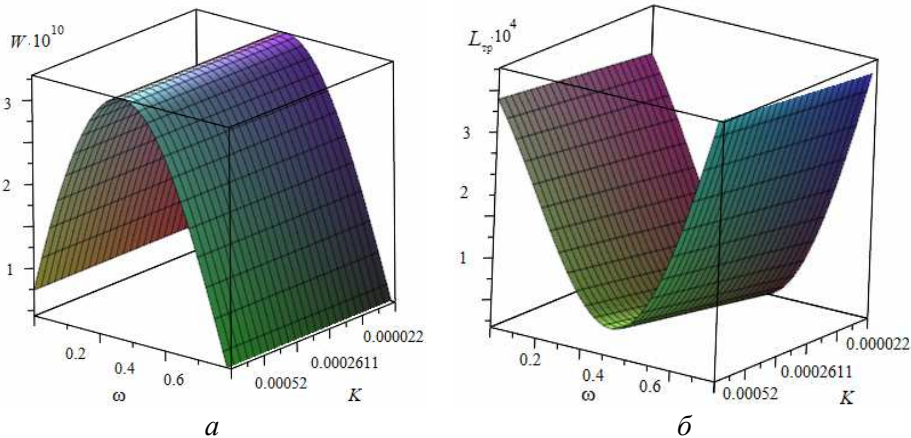


Рис. 2. Влияние параметра ω , характеризующего адаптированный профиль, и теплового параметра K , характеризующего расплав, на величины: а) несущей способности и б) силы трения

В результате численного анализа построены зависимости, представленные на рисунке 2, позволяющие сделать следующие выводы.

Теоретические исследования показали, что несущая способность с металлическим покрытием поверхности направляющей и адаптированный профиль ползуна при учете зависимости общих реологических свойств применяемого смазочного материала и расплава металлического покрытия, обладающих микрополяльными свойствами от давления, увеличивается \approx на 8-9% с ростом параметра α , характеризующего зависимость вязкости от

давления; ω , характеризующего адаптированный профиль, а коэффициент трения при этом уменьшается на $\approx 10-12\%$.

Экспериментальные исследования

В экспериментальном исследовании рассмотрена клиновидная опора скольжения с металлическим покрытием из сплава Вуда (см. табл. 1). По результатам экспериментов определялась величина коэффициента трения, позволяющая судить о наличии гидродинамического режима трения.

Табл. 1. Сравнение результатов теоретических и экспериментальных исследований

№	Теоретические исследования		Экспериментальные исследования	
	без покрытия	с покрытием	покрытием из сплава Вуда	
Коэффициент трения	1	0,0054	0,0032	0,0041
	2	0,0052	0,0033	0,0040
	3	0,0053	0,0030	0,0038
	4	0,0050	0,0031	0,0039
	5	0,0049	0,0036	0,0041

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.

Мукутадзе Мурман Александрович – доктор технических наук, профессор кафедры «Высшая математика»	Mukutadze Murman Aleksandrovich – doctor of technical sciences, professor of the Department of higher mathematics
Мукутадзе Александр Мурманович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Начертательная геометрия»	Mukutadze Alexander Murmanovich – candidate of technical sciences, associate professor of the Department of descriptive geometry
Киришчиева Виктория Игоревна – аспирант	Kirishchieva Victoria Igorevna – postgraduate student
Шведова Валерия Евгеньевна – аспирант	Shvedova Valeria Evgenievna – postgraduate student
Murman1963@yandex.ru	

Received 20.06.2022