

УДК 621.865.8: 629.016

doi: 10.18698/0536-1044-2022-10-55-61

Анализ условий движения мобильных устройств магнитного типа по ферромагнитной рабочей поверхности

С.И. Корягин, О.В. Шарков, Н.Л. Великанов

ФГАОУ ВО «Балтийский федеральный университет им. И. Канта»

Analysis of the Conditions of Movement of Mobile Devices of Magnetic Type on a Ferromagnetic Working Surface

S.I. Koryagin, O.V. Sharkov, N.L. Velikanov

Immanuel Kant Baltic Federal University

Мобильные устройства магнитного типа применяют в технических системах обследования, диагностики, очистки и ремонта ферромагнитных рабочих поверхностей различного назначения. При передвижении таких устройств необходимо гарантировать постоянный контакт их рабочих элементов с поверхностью, а также минимальную силу сцепления, влияющую на точность и время передвижения по поверхности, на которой установлено устройство. Предложены физическая и математическая модели, которые позволяют определять геометрические условия, соотношения между силами сцепления и тяжести, обеспечивающие возможность функционирования мобильного устройства магнитного типа на наклонной поверхности. Установлен характер зависимости силы притяжения, развиваемой электромагнитом, от угла наклона ферромагнитной рабочей поверхности и коэффициента сцепления. Показано, что при увеличении коэффициента сцепления сила притяжения, развиваемая электромагнитом, нелинейно уменьшается, стремясь к некоторому пределу. Электромагнит можно не задействовать при движении мобильного устройства магнитного типа по горизонтальной поверхности и высоком коэффициенте сцепления.

Ключевые слова: робототехническое устройство, мобильное устройство магнитного типа, ферромагнитная поверхность, коэффициент сцепления

Mobile devices of magnetic type are used in technical systems for inspection, diagnostics, cleaning and repair of ferromagnetic working surfaces of various functional purposes. When moving such devices, it is necessary to ensure the constant contact of their working elements with the surface, as well as the minimum adhesion force that affects the accuracy and time of movement on the surface on which the device is installed. The task of analyzing and determining the geometric conditions, the relationship between the forces of adhesion and gravity, which ensure the possibility of functioning of a mobile device of magnetic type on an inclined surface, is set. To solve this problem, physical and mathematical models are proposed. They describe the relationship between the geometric and power parameters of a mobile device. The nature of the dependence of the required force of the electromagnet on the angle of inclination of the ferromagnetic surface and the adhesion coefficient is established. It is shown that with an increase in the adhesion coefficient, the force developed by the electromagnet decreases non-linearly and tends to a certain limit. The electromagnet

can be omitted when the mobile device is moving on a horizontal surface and the coefficient of adhesion is high.

Keywords: robotic device, magnetic type mobile device, ferromagnetic surface, friction coefficient

При ремонте и техническом обслуживании инженерных конструкций, изготовленных из ферромагнитных материалов, все более широкое применение находят различные роботы и робототехнические устройства. Их использование позволяет не только увеличить производительность технологических операций, но и обеспечить возможность работ в труднодоступных и опасных для человека местах.

Такие робототехнические устройства применяют для диагностики и обслуживания трубопроводов, резервуаров [1–3], обследования и технического обслуживания корпусов судов [2, 4–6], сварных швов [2, 7, 8] и др. [9–11].

В качестве транспортной базы таких роботов можно использовать мобильные устройства магнитного типа (МУМТ), оборудованные необходимыми рабочими инструментами и устройствами.

Важным достоинством МУМТ является способность перемещаться по ферромагнитным рабочим поверхностям (далее ФМП) различной конфигурации при любом (горизонтальном, наклонном и вертикальном) расположении в пространстве.

По типу перемещения МУМТ можно подразделить на колесные [2, 9–12], гусеничные [2, 13–15] и шагающие [2, 8, 16, 17]. В общем случае колесные МУМТ проще по конструкции, легче и маневреннее, чем другие типы.

В работе [18] показано, что по ФМП наиболее эффективно перемещаются МУМТ, представляющие собой платформу 1, на которой шарнирно закреплены две тележки колесной базы 2 (рис. 1).

Такие устройства обладают возможностью перемещения не только по плоским, но и

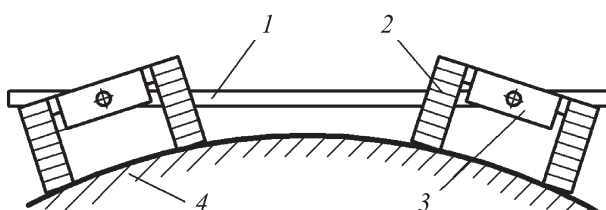


Рис. 1. Схема МУМТ:

1 — платформа; 2 — колесная база;
3 — электромагнит; 4 — опорная поверхность

криволинейным ферромагнитным поверхностям.

Проектированием и исследованием МУМТ занимаются как зарубежные специалисты, так и российские. Однако публикации, посвященные этой тематике, в основном носят описательный и рекламный характер, а данные, необходимые для расчета и проектирования не раскрываются.

Цель статьи — разработка физических и математических моделей взаимодействия рабочих элементов МУМТ с поверхностью, по которой движутся эти устройства.

Расчетная схема и математическая модель.

Рассмотрим колесную тележку МУМТ, находящуюся на ФМП, положение которой относительно горизонта определяется углом наклона α , изменяющимся в диапазоне $0 \dots 180^\circ$ (рис. 2). Примем, что точка приложения всех сил совпадает с точкой O шарнирного крепления тележки к платформе.

Введем следующие обозначения: F_G — сила тяжести МУМТ (передается через шарнирное крепление тележки к платформе); F_W — реакция со стороны рабочих инструментов (передается так же, как и сила F_G); F_T — сила сцепления между ведущими колесами тележки и опорной поверхностью; F_N — нормальная реакция со стороны опорной поверхности на ведущие колеса; F_E — сила притяжения, развиваемая электромагнитом (далее сила притяжения электромагнита); β — угол, определяющий

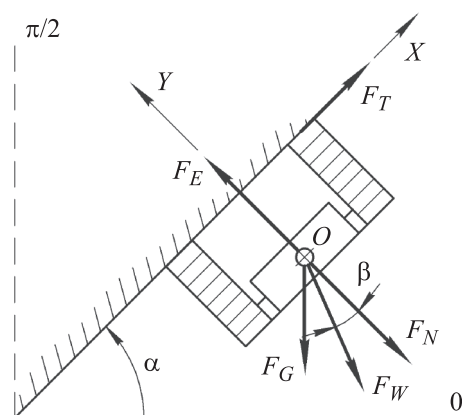


Рис. 2. Схема сил, действующих на колесную тележку МУМТ

направление действия реакции со стороны рабочих инструментов к нормали ФМП.

Рассмотрим суммы сил относительно осей X и Y (см. рис. 2):

$$\sum X = 0; \quad F_T - F_G \sin \alpha - F_W \sin \beta = 0; \quad (1)$$

$$\sum Y = 0; \quad F_E - F_G \cos \alpha - F_W \cos \beta = 0. \quad (2)$$

Следует отметить, что угол наклона ФМП $\alpha = 0^\circ$ соответствует движению МУМТ по потолочной поверхности, $\alpha = 90^\circ$ — по вертикальной, $\alpha = 180^\circ$ — по горизонтальной (напольной).

Максимальная сила сцепления в зоне контакта определяется выражением

$$F_{T\max} = \psi F_P, \quad (3)$$

где ψ — коэффициент сцепления; F_P — давление колес на опорную поверхность,

$$F_P = F_E - F_G \cos \alpha - F_W \cos \beta = F_N.$$

Для удержания колесной тележки на ФМП должно выполняться условие

$$F_{T\max} \geq F_G \sin \alpha + F_W \sin \beta. \quad (4)$$

Если условие (4) не выполняется, то колесная тележка будет соскальзывать с поверхности.

С учетом выражений (1)–(3) неравенство (4) можно представить в виде

$$\psi(F_E - F_G \cos \alpha - F_W \cos \beta) \geq F_G \sin \alpha + F_W \sin \beta$$

или

$$F_E = \frac{F_G(\sin \alpha + \psi \cos \alpha) + F_W(\sin \beta + \psi \cos \beta)}{\psi}. \quad (5)$$

Результаты расчетов и их обсуждение. На основании выражения (5) выполнен анализ влияния геометрических и силовых характеристик МУМТ на выполнение условия его перемещения по ФМП.

Для примера в таблице приведены шесть вариантов условий движения МУМТ при характерных значениях углов α и β . Первый и второй варианты соответствуют движению МУМТ по потолочной поверхности. В первом варианте необходимо, чтобы сила притяжения электромагнита компенсировала силу тяжести МУМТ и реакцию со стороны рабочих инструментов. Наихудшим из них является второй вариант, так как реакция со стороны рабочих инструментов направлена против силы сцепления.

Условия движения МУМТ

Вариант	α , град	β , град	Условия передвижения тележки
1	0	0	$\psi(F_E - F_G - F_W) \geq 0,$ $F_E \geq F_G + F_W$
2	0	90	$\psi(F_E - F_G) \geq F_W,$ $F_E \geq F_G + F_W/\psi$
3	90	0	$\psi(F_E - F_G) \geq F_W,$ $F_E \geq F_W + F_G/\psi$
4	90	90	$\psi F_E \geq F_W + F_G,$ $F_E \geq (F_W + F_G)/\psi$
5	180	90	$\psi(F_E + F_G - F_W) \geq 0,$ $F_E \geq F_W - F_G$
6	180	180	$\psi(F_E + F_G) \geq F_W,$ $F_E \geq F_W/\psi - F_G$

Третий и четвертый варианты соответствуют движению МУМТ по вертикальной поверхности. Наихудшим из них является четвертый вариант, когда реакция со стороны рабочих инструментов и сила тяжести МУМТ направлены против силы сцепления.

Пятый и шестой варианты соответствуют движению МУМТ по горизонтальной поверхности. Здесь сила тяжести МУМТ направлена в ту же сторону, что и сила притяжения электромагнита, т. е. в сторону опорной поверхности. Это позволяет достичь более высокой предельной силы сцепления, чем в вариантах движения МУМТ по потолочной и вертикальной поверхностям.

Зависимости силы притяжения электромагнита F_E от угла наклона ФМП α при угле, определяющем направление действия реакции со стороны рабочих инструментов к нормали ФМП, $\beta = 0, 90$ и 180° приведены на рис. 3. Эти данные получены при коэффициенте сцепления $\psi = 0,5$, силе тяжести МУМТ $F_G = 200$ Н и реакции со стороны рабочих инструментов $F_W = 100$ Н.

Результаты исследования подтвердили сделанные на основании данных таблицы выводы. При движении МУМТ по вертикальной поверхности требуется наибольшая сила притяжения электромагнита, при движении по горизонтальной поверхности она может быть наименьшей.

При варьировании угла, определяющего направление действия реакции со стороны ра-

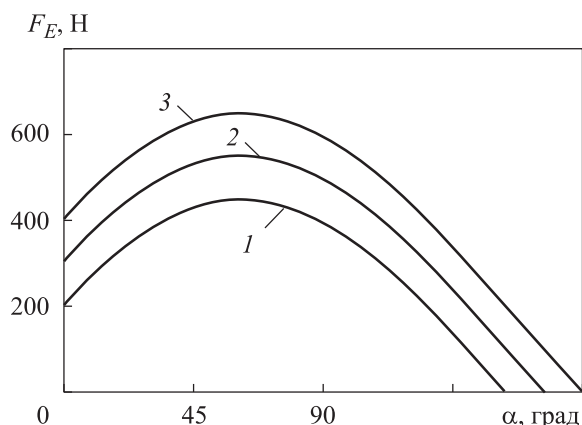


Рис. 3. Зависимости силы притяжения электромагнита F_E от угла наклона ФМП α при угле $\beta = 180$ (1), 0 (2) и 90° (3)

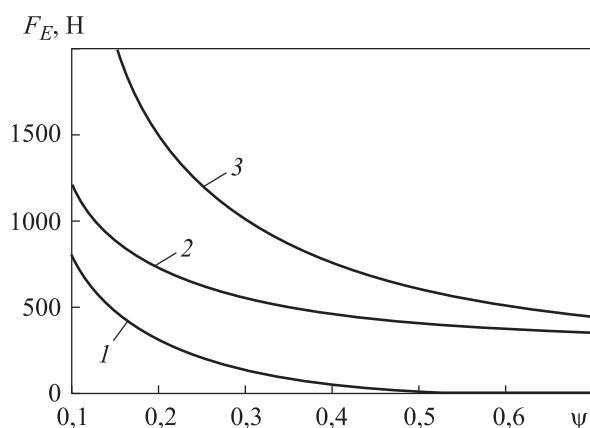


Рис. 4. Зависимости силы притяжения электромагнита F_E от коэффициента сцепления ψ при угле наклона ФМП $\alpha = 180$ (1), 0 (2) и 90° (3)

бочих инструментов к нормали ФМП, в диапазоне $\beta = 0 \dots 90^\circ$ сила притяжения электромагнита, меняется в 1,45–5,40 раза для различных типов поверхностей.

Зависимости силы притяжения электромагнита F_E от коэффициента сцепления ψ при угле наклона ФМП $\alpha = 180, 0$ и 90° приведены на рис. 4.

Анализ полученных результатов показал, что при увеличении коэффициента сцепления сила притяжения электромагнита нелинейно уменьшается, стремясь к некоторому пределу. При движении МУМТ по горизонтальной поверхности ($\alpha = 180^\circ$) и высоком коэффициенте сцепления ($\psi \geq 0,5$) оно может перемещаться при выключенном электромагните.

Выводы

1. Наибольшее влияние на силу притяжения электромагнита оказывают коэффициент сцепления и угол наклона ФМП. При проектировании МУМТ следует учитывать, что увеличение коэффициента сцепления уменьшает требуемое усилие от электромагнита, но не сводит его к нулю.

2. Самым неблагоприятным является вариант движения МУМТ, когда оно перемещается по вертикальной ФМП, а реакция со стороны рабочих инструментов направлена против сил сцепления.

Литература

- [1] Fan J., Yang C., Chen Y. et al. An underwater robot with self-adaption mechanism for cleaning steel pipes with variable diameters. *Ind. Robot*, 2018, vol. 45, no. 2, pp. 193–205, doi: <https://doi.org/10.1108/IR-09-2017-0168>
- [2] Сырых Н.В., Чашухин В.Г. Роботы вертикального перемещения с контактными устройствами на основе постоянных магнитов: конструкции и принципы управления контактными устройствами. *Известия РАН. Теория и системы управления*, 2019, № 5, с. 163–173, doi: <https://doi.org/10.1134/S0002338819050135>
- [3] Мунасыпов Р.А., Шахматъев Т.Р., Москвичев С.С. Телеуправляемая робототехническая система внутритрубной диагностики. *Робототехника и техническая кибернетика*, 2014, № 3, с. 73–77.
- [4] Балашов В.С., Громов Б.А., Ермолов И.Л. и др. Автономный робот для очистки корпусов судов Hismar. *Мехатроника, автоматизация, управление*, 2009, № 9, с. 42–48.
- [5] Song C., Cui W. Review of underwater ship hull cleaning technologies. *J. Marine. Sci. Appl.*, 2020, vol. 19, no. 3, pp. 415–429, doi: <https://doi.org/10.1007/s11804-020-00157-z>
- [6] Lee M.H., Lee K.S., Park W.C. et al. On the synthesis of an underwater ship hull cleaning robot system. *Int. J. Precis. Eng. Manuf.*, 2012, vol. 13, no. 11, pp. 1965–1973, doi: <https://doi.org/10.1007/s12541-012-0259-0>
- [7] Yanqiong F.E.I., Libo S. Design and analysis of modular mobile robot with magnetic wheels. *WSEAS Trans. Appl. Theor. Mech.*, 2008, vol. 3, no. 12, pp. 902–911.

- [8] Shang J., Bridge B., Sattar T. et al. Development of a climbing robot for inspection of long weld lines. *Ind. Robot*, 2008, vol. 35, no. 3, pp. 217–223, doi: <https://doi.org/10.1108/01439910810868534>
- [9] Tavakoli M., CarlosViegas C., Marques L. et al. OmniClimbers: Omni-directional magnetic wheeled climbing robots for inspection of ferromagnetic structures. *Rob. Auton. Syst.*, 2013, vol. 61, no. 9, pp. 997–1007, doi: <https://doi.org/10.1016/j.robot.2013.05.005>
- [10] Градецкий В.Г., Князьков М.М. Состояние и перспективы развития роботов вертикального перемещения для экстремальных сред. *Робототехника и техническая кибернетика*, 2014, № 1, с. 9–16.
- [11] Song W., Jiang H., Wang T. et al. Design of permanent magnetic wheel-type adhesion-locomotion system for water-jetting wall-climbing robot. *Adv. Mech. Eng.*, 2018, vol. 10, no. 7, doi: <https://doi.org/10.1177%2F1687814018787378>
- [12] Mahmood S.K., Bakhy S.H., Tawfik M.A. Magnetic-type climbing wheeled mobile robot for engineering Education. *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.*, 2020, vol. 928, art. 022145, doi: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/928/2/022145>
- [13] Быков Н.В., Власова Н.С., Губанов М.Ю. и др. Механизм вертикального перемещения мобильного гусеничного робота с гибридным магнитно-ленточным принципом сцепления. *Мехатроника, автоматизация, управление*, 2020, т. 21, № 3, с. 158–166, doi: <https://doi.org/10.17587/mau.21.158-166>
- [14] Серебрянный В.В., Лапин Д.В., Мокаева А.А. Экспериментальные исследования динамики мобильного робота с механизмом вертикального перемещения на магнитных гусеничных движителях. *Проблемы машиностроения и надежности машин*, 2020, № 4, с. 68–75, doi: <https://doi.org/10.31857/S0235711920040136>
- [15] Hu J., Han X., Tao Y. et al. A magnetic crawler wall-climbing robot with capacity of high payload on the convex surface. *Rob. Auton. Syst.*, 2022, vol. 148, art. 103907, doi: <https://doi.org/10.1016/j.robot.2021.103907>
- [16] Souto D., Faina A., Deibe A. et al. A robot for the unsupervised grit-blasting of ship hulls. *Int. J. Adv. Robot. Syst.*, 2012, vol. 9, no. 3, doi: <https://doi.org/10.5772%2F50847>
- [17] Kim S.H., Lee J.Y., Hashi S. et al. Oscillatory motion-based miniature magnetic walking robot actuated by a rotating magnetic field. *Rob. Auton. Syst.*, 2012, vol. 60, no. 2, pp. 288–295, doi: <https://doi.org/10.1016/j.robot.2011.11.008>
- [18] Корягин С.И., Великанов Н.Л., Шарков О.В. Оценка технического состояния корпусов судов с использованием мобильных устройств магнитного типа. *Морские интеллектуальные технологии*, 2021, т. 1, № 4–1, с. 54–58, doi: <https://doi.org/10.37220/MIT.2021.54.4.031>

References

- [1] Fan J., Yang C., Chen Y. et al. An underwater robot with self-adaption mechanism for cleaning steel pipes with variable diameters. *Ind. Robot*, 2018, vol. 45, no. 2, pp. 193–205, doi: <https://doi.org/10.1108/IR-09-2017-0168>
- [2] Syrykh N.V., Chashchukhin V.G. Wall-climbing robots with permanent-magnet contact devices: design and control concept of the contact devices. *Izvestiya RAN. Teoriya i sistemy upravleniya*, 2019, no. 5, pp. 163–173, doi: <https://doi.org/10.1134/S0002338819050135> (in Russ.). (Eng. version: *J. Comput. Syst. Sci. Int.*, 2019, vol. 58, no. 5, pp. 818–827, doi: <https://doi.org/10.1134/S1064230719050137>)
- [3] Munasypov R.A., Shakhmamet'yev T.R., Moskvichev S.S. Remotely operated robotic system for inner diagnostics of pipelines. *Robototekhnika i tekhnicheskaya kibernetika* [Robotics and Technical Cybernetics], 2014, no. 3, pp. 73–77. (In Russ.).
- [4] Balashov V.S., Gromov B.A., Ermolov I.L. et al. Autonomous robot Hismar for hull cleaning. *Mekhatronika, avtomatizatsiya, upravlenie*, 2009, no. 9, pp. 42–48. (In Russ.).
- [5] Song C., Cui W. Review of underwater ship hull cleaning technologies. *J. Marine. Sci. Appl.*, 2020, vol. 19, no. 3, pp. 415–429, doi: <https://doi.org/10.1007/s11804-020-00157-z>
- [6] Lee M.H., Lee K.S., Park W.C. et al. On the synthesis of an underwater ship hull cleaning robot system. *Int. J. Precis. Eng. Manuf.*, 2012, vol. 13, no. 11, pp. 1965–1973, doi: <https://doi.org/10.1007/s12541-012-0259-0>

- [7] Yanqiong F.E.I., Libo S. Design and analysis of modular mobile robot with magnetic wheels. *WSEAS Trans. Appl. Theor. Mech.*, 2008, vol. 3, no. 12, pp. 902–911.
- [8] Shang J., Bridge B., Sattar T. et al. Development of a climbing robot for inspection of long weld lines. *Ind. Robot*, 2008, vol. 35, no. 3, pp. 217–223, doi: <https://doi.org/10.1108/01439910810868534>
- [9] Tavakoli M., CarlosViegas C., Marques L. et al. OmniClimbers: Omni-directional magnetic wheeled climbing robots for inspection of ferromagnetic structures. *Rob. Auton. Syst.*, 2013, vol. 61, no. 9, pp. 997–1007, doi: <https://doi.org/10.1016/j.robot.2013.05.005>
- [10] Gradetskiy V.G., Knyaz'kov M.M. Present and future trends of wall climbing robot's development for extreme conditions. *Robototekhnika i tekhnicheskaya kibernetika* [Robotics and Technical Cybernetics], 2014, no. 1, pp. 9–16. (In Russ.).
- [11] Song W., Jiang H., Wang T. et al. Design of permanent magnetic wheel-type adhesion-locomotion system for water-jetting wall-climbing robot. *Adv. Mech. Eng.*, 2018, vol. 10, no. 7, doi: <https://doi.org/10.1177%2F1687814018787378>
- [12] Mahmood S.K., Bakhy S.H., Tawfik M.A. Magnetic-type climbing wheeled mobile robot for engineering Education. *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.*, 2020, vol. 928, art. 022145, doi: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/928/2/022145>
- [13] Bykov N.V., Vlasova N.S., Gubanov M.Yu. et al. Locomotion mechanism for a mobile wall-climbing robot with a hybrid magnetic-tape adhesion method. *Mekhatronika, avtomatizatsiya, upravlenie*, 2020, vol. 21, no. 3, pp. 158–166, doi: <https://doi.org/10.17587/mau.21.158-166> (in Russ.).
- [14] Serebrennyy V.V., Lapin D.V., Mokaeva A.A. Experimental studies of the dynamics of a mobile robot with a vertical movement mechanism on magnetic caterpillar movers. *Problemy mashinostroeniya i nadezhnosti mashin*, 2020, no. 4, pp. 68–75, doi: <https://doi.org/10.31857/S0235711920040136> (in Russ.). (Eng. version: *J. Mach. Manuf. Reliab.*, 2020, vol. 49, no. 4, pp. 329–334, doi: <https://doi.org/10.3103/S1052618820040135>)
- [15] Hu J., Han X., Tao Y. et al. A magnetic crawler wall-climbing robot with capacity of high payload on the convex surface. *Rob. Auton. Syst.*, 2022, vol. 148, art. 103907, doi: <https://doi.org/10.1016/j.robot.2021.103907>
- [16] Souto D., Faina A., Deibe A. et al. A robot for the unsupervised grit-blasting of ship hulls. *Int. J. Adv. Robot. Syst.*, 2012, vol. 9, no. 3, doi: <https://doi.org/10.5772%2F50847>
- [17] Kim S.H., Lee J.Y., Hashi S. et al. Oscillatory motion-based miniature magnetic walking robot actuated by a rotating magnetic field. *Rob. Auton. Syst.*, 2012, vol. 60, no. 2, pp. 288–295, doi: <https://doi.org/10.1016/j.robot.2011.11.008>
- [18] Koryagin S.I., Velikanov N.L., Sharkov O.V. Assessment of the technical condition of ship hulls using mobile magnetic devices. *Morskie intellektual'nye tekhnologii* [Marine Intellectual Technologies], 2021, vol. 1, no. 4–1, pp. 54–58, doi: <https://doi.org/10.37220/MIT.2021.54.4.031> (in Russ.).

Статья поступила в редакцию 30.03.2022

Информация об авторах

КОРЯГИН Сергей Иванович — доктор технических наук, профессор, профессор института Высоких технологий. ФГАОУ ВО «Балтийский федеральный университет им. И. Канта» (236016, Калининград, Российская Федерация, ул. А. Невского, д. 14, e-mail: skoryagin@kantiana.ru).

ШАРКОВ Олег Васильевич — доктор технических наук, доцент, профессор института Высоких технологий. ФГАОУ ВО «Балтийский федеральный университет им. И. Канта» (236016, Калининград, Российская Федерация, ул. А. Невского, д. 14, e-mail: osharkov@kantiana.ru).

Information about the authors

KORYAGIN Sergey Ivanovich — Doctor of Science (Eng.), Professor, Professor of the High Technologies Institute. Immanuel Kant Baltic Federal University (236016, Kaliningrad, Russian Federation, A. Nevsky St., Bldg. 14, e-mail: skoryagin@kantiana.ru).

SHARKOV Oleg Vasil'yevich — Doctor of Science (Eng.), Associate Professor, Professor of the High Technologies Institute. Immanuel Kant Baltic Federal University (236016, Kaliningrad, Russian Federation, A. Nevsky St., Bldg. 14, e-mail: osharkov@kantiana.ru).

ВЕЛИКАНОВ Николай Леонидович — доктор технических наук, профессор, профессор института Высших технологий. ФГАОУ ВО «Балтийский федеральный университет им. И. Канта» (236016, Калининград, Российская Федерация, ул. А. Невского, д. 14, e-mail: nvelikanov@kantiana.ru).

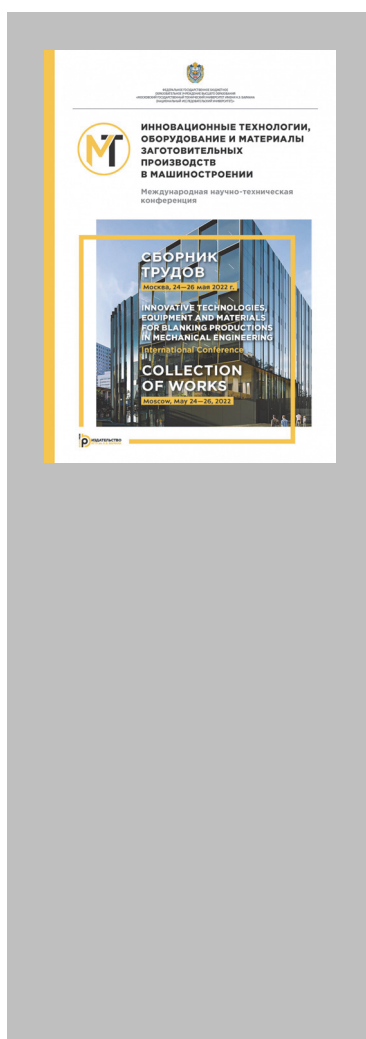
VELIKANOV Nikolay Leonidovich — Doctor of Science (Eng.), Professor, Professor of the High Technologies Institute. Immanuel Kant Baltic Federal University (236016, Kaliningrad, Russian Federation, A. Nevsky St., Bldg. 14, e-mail: nvelikanov@kantiana.ru).

Просьба ссылаться на эту статью следующим образом:

Корягин С.И., Шарков О.В., Великанов Н.Л. Анализ условий движения мобильных устройств магнитного типа по ферромагнитной рабочей поверхности. *Известия высших учебных заведений. Машиностроение*, 2022, № 10, с. 55–61, doi: 10.18698/0536-1044-2022-10-55-61

Please cite this article in English as:

Koryagin S.I., Sharkov O.V., Velikanov N.L. Analysis of the Conditions of Movement of Mobile Devices of Magnetic Type on a Ferromagnetic Working Surface. *BMSTU Journal of Mechanical Engineering*, 2022, no. 10, pp. 55–61, doi: 10.18698/0536-1044-2022-10-55-61



**Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана
предлагает читателям материалы конференции
«Инновационные технологии, оборудование
и материалы заготовительных производств
в машиностроении»**

Сборник трудов посвящен актуальным вопросам создания новых технологий и оборудования заготовительных производств в машиностроении (литейное, кузнечно-штамповочное, прокатно-волочильное производства, высокоэнергетические методы изготовления заготовок), восстановления и упрочнения деталей в машиностроении, триботехники в реновации, модернизации и повышения надежности машиностроительного оборудования, а также проблемам контроля и диагностики деталей и оборудования в машиностроении. В книге отражены результаты исследований, проводимых учеными и специалистами вузов, научно-исследовательских организаций и промышленных предприятий России, Беларуси, Казахстана, Донецкой Народной Республики, Луганской Народной Республики, Словацкой Республики и Китая.

Для преподавателей вузов, молодых ученых, аспирантов и студентов, обучающихся по направлениям подготовки «Машиностроение», «Материаловедение и технологии материалов», «Проектирование технологических машин и комплексов», а также специалистов научно-исследовательских организаций и промышленных предприятий, занимающихся разработкой и применением технологий и оборудования заготовительных производств и восстановительных технологий в машиностроении.

По вопросам приобретения обращайтесь:

105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, к. 1.
Тел.: +7 499 263-60-45, факс: +7 499 261-45-97;
press@baumanpress.ru; <https://bmstu.press>