

21. Evdokimenkov V.N., Gogolev A.A. and Ermakov P.G. Operational Control of an Unmanned Helicopter to Ensure an Emergency Safe Landing on an Unequipped Pad, *Journal of Computer and Systems Sciences International*, 2024, Vol. 63, No. 3, pp. 521-533.
22. Yang L., Meng X., Zhang X. SRTM DEM and its application advances, *International Journal of Remote Sensing*, 2011, Vol. 32, No. 14, pp. 3875-3896.

Ермаков Павел Григорьевич – Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет); e-mail: pavel-ermakov-1998@mail.ru; г. Москва; тел.: 89854612510; аспирант.

Ermakov Pavel Grigor'evich – Moscow Aviation Institute; e-mail: pavel-ermakov-1998@mail.ru; Moscow, Russia; phone: +79854612510; postgraduate.

УДК 007.52 + 621.865.8

DOI 10.18522/2311-3103-2024-6-201-209

А.А. Хачатрян, Е.С. Брискин

ОСОБЕННОСТИ УПРАВЛЕНИЯ ЛИНЕЙНЫМИ ПРИВОДАМИ РОБОТА ПРИ ЕГО ДВИЖЕНИИ ПО ВЕРТИКАЛЬНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Эксплуатация роботов на вертикальных и близких к ним поверхностях имеет широкие перспективы в силу необходимости выполнения на них достаточно большого количества технологических операций с одной стороны и сложности использования ручного труда – с другой стороны. Рассматривается движение мобильного робота по вертикальной поверхности. Движение робота и его удержание на поверхности осуществляется посредством работы двух линейных приводов, оказывающих на него давление, и опирающихся на платформы, способные перемещаться по горизонтальной поверхности. Робот и платформа имеют колеса рояльного типа, работающие в одном из двух режимов – свободном и тормозном. При этом тормозные устройства обеспечивают надежное сцепление колес с соответствующими поверхностями. Предложена расчетная схема и математическая модель робототехнической системы, использующей усилие линейных приводов для перемещения робота по вертикальной ровной поверхности. Решена задача динамики движения мобильного робота, перемещение которого по рабочей поверхности осуществляется за счет управления величиной и направлением усилий, развиваемых актуаторами и выбора заторможенных опор, обеспечивающих устойчивый режим движения. Рассмотрен процесс движения, состоящий из трех этапов, на каждом из которых одна из опор робота заторможена, при этом все опоры платформ на горизонтальной поверхности также заторможены. При переходе между этапами движения мобильный робот совершает остановку перед тем, как сменить заторможенное колесо, после чего возобновляется движение. Силами трения между расторможенными опорами робота и рабочей поверхностью пренебрегается. Получены уравнения и траектория движения центра масс мобильного робота. Представлены зависимости длин линейных приводов механизма прижатия от координат центра масс робота. Проведено имитационное моделирование, в результате которого определены диапазоны изменений длин линейных приводов и развиваемые усилия, обеспечивающие требуемое перемещение.

Мобильные робототехнические средства; перемещение; математическая модель; имитационное моделирование; задача динамики; робот вертикального перемещения; движение по вертикальной поверхности.

A.A. Khachatryan, E.S. Briskin

FEATURES OF CONTROL OF LINEAR DRIVES OF A ROBOT WHEN ITS MOVEMENT ON A VERTICAL SURFACE

The operation of robots on vertical and close to them surfaces has broad prospects due to the need to perform a sufficiently large number of technological operations on them on the one hand and the complexity of using manual labor on the other hand. The movement of a mobile robot along a vertical surface is considered. The movement of the robot and its retention on the surface is carried out through the operation of two linear actuators that exert pressure on it and rely on platforms capable of moving along a horizontal surface. The robot and the platform have piano-type wheels operating in one of two modes – free

and brake. At the same time, the braking devices ensure reliable adhesion of the wheels to the corresponding surfaces. A design scheme and a mathematical model of a robotic system using the force of linear actuators to move the robot along a vertical flat surface are proposed. The problem of the dynamics of the movement of a mobile robot has been solved, the movement of which along the working surface is carried out by controlling the magnitude and direction of the efforts developed by the actuators and the choice of inhibited supports that ensure a stable mode of movement. The process of movement is considered, consisting of three stages, at each of which one of the robot's supports is braked, while all the supports of the platforms on the horizontal surface are also braked. During the transition between the stages of movement, the mobile robot makes a stop before changing the braked wheel, after which movement resumes. The friction forces between the disinhibited robot supports and the work surface are neglected. The equations and trajectories of the motion of the center of mass of the mobile robot are obtained. The dependences of the lengths of the linear drives of the clamping mechanism on the coordinates of the center of mass of the robot are presented. Simulation modeling was carried out, as a result of which the ranges of changes in the lengths of linear actuators and the forces developed to ensure the required displacement were determined.

Mobile robotics; displacement; mathematical model; simulation modeling; the task of dynamics; movement on a vertical surface.

Введение. Учитывая особые условия осуществления тех или иных технологических операций на вертикальных и близких к ним поверхностях, эксплуатация роботов, способных перемещаться по таким поверхностям, имеет широкие перспективы. Области применения этих машин варьируются от осмотра и контроля мостов, трубопроводов, ветрогенераторов до очистки стен и фасадов высотных зданий [1–3]. Основная причина их применения – повышение эффективности работ, исключив дорогостоящую сборку строительных лесов, и защита здоровья и безопасности людей при выполнении опасных работ.

Существуют различные виды роботов, способных перемещаться по наклонным и вертикальным поверхностям за счет вакуумных устройств [4–6], электромагнитного взаимодействия [7, 8], тросовых движителей [9, 10] или адгезии [11, 12]. Основными ограничениями применения указанных движителей являются требования к поверхности, по которой необходимо перемещаться и к ее ориентации [13–18]. Рассматривается движение робота, опирающегося на вертикальную поверхность за счет прижатия к ней двумя «толкающими» актуаторами. Каждый актуатор установлен одним концом на платформе, перемещающейся по горизонтальной поверхности. За счет работы двух линейных приводов и осуществляется реализация усилия «прижатия» робота к вертикальной поверхности [19].

1. Постановка задачи. Ставится задача разработки программных режимов управляемого движения изучаемого робота, обеспечивающих требуемое перемещение его центра масс и ориентацию в пространстве. Программное управление должно обеспечиваться выдвиганием штоков двух линейных приводов механизма прижатия, развивающих необходимое усилие для обеспечения требуемого перемещения.

2. Расчетная схема робототехнической системы с двумя опорами на горизонтальную поверхность. Для проведения имитационного моделирования обосновывается расчетная схема изучаемой робототехнической системы с двумя линейными приводами (рис. 1,а). Рассматривается движение робототехнической системы, состоящей из робота 1, представленного на рис. 1 характерной поверхностью S , перемещающегося по вертикальной (рабочей) поверхности 2, опираясь на нее тремя опорами 3-5. Требуемое перемещение робота реализуется за счет усилий P_1 и P_2 , приложенных со стороны двух линейных приводов механизма прижатия 6, закрепленных на горизонтальной (опорной) поверхности 7. Изучается вращательное движение мобильного робота вокруг заторможенных поочередно опор 3 и 4 при расторможенных остальных опорах и воздействии усилиями P_1 и P_2 со стороны механизма прижатия на мобильного робота. При этом опоры платформ на горизонтальной поверхности заторможены.

При описании расчетной схемы использованы следующие обозначения: C – центр масс робота; k – расстояние от заторможенной опоры 3 или 4 (оси вращения) до центра масс робота; $x_{оп1}$, $x_{оп2}$, $y_{оп1}$, $y_{оп2}$ – соответственно горизонтальные и вертикальные координаты оснований линейных приводов механизма прижатия робота в плоскости XOY ; δ_1 , δ_2 – углы между усилиями P_1 и P_2 и отрицательным направлением оси Z соответственно; ε_1 , ε_2 – углы между проекциями усилий P_1 и P_2 на плоскость XOY и осью Y соответ-

ственно; φ – угол поворота мобильного робота вокруг заторможенной опоры; $l_1, l_2, l_{xy1}, l_{xy2}$ – длины линейных приводов механизма прижатия и их проекции на плоскость XOY соответственно; P_{xy1}, P_{xy2} – проекции усилий P_1 и P_2 на плоскость XOY соответственно; h_1, h_2 – расстояния от оси вращения до линий действия усилий P_1 и P_2 в плоскости XOY соответственно.

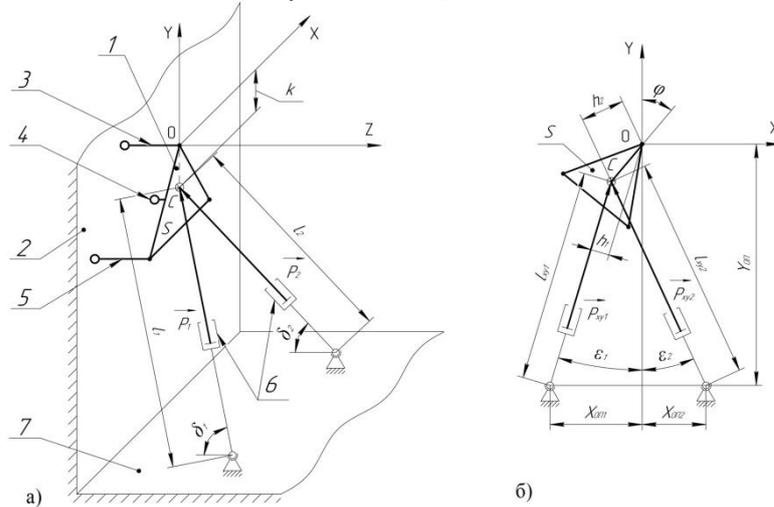


Рис. 1. Расчетная схема робота с двумя линейными приводами:
 а – общий вид робототехнической системы; б – проекция робототехнической системы на плоскость XOY

3. Метод решения. При определении параметров механизма прижатия, обеспечивающих требуемое перемещение центра масс робота, принимается, что усилия прижатия двух линейных приводов P_1 и P_2 обеспечивают вращательное движение робота вокруг неподвижной опоры. Силами трения между расторможенными опорами и рабочей поверхностью пренебрегается. Рассматриваемый процесс движения состоит из трех этапов, на каждом из которых одна из опор робота должна быть заторможена с целью обеспечения устойчивого режима движения. На первом и третьем этапах вращение происходит относительно неподвижной опоры 3, на втором – относительно неподвижной опоры 5 [20]. Таким образом, поочередным торможением необходимых опор и воздействием усилиями двух линейных приводов P_1 и P_2 достигается требуемая траектория движения робота.

Представлены зависимости для первого этапа движения: вращение робота вокруг заторможенной опоры 3, совпадающей с осью Z . Уравнение вращательного движения в дифференциальной форме представляется в виде:

$$I_z \ddot{\varphi} = M_z, \quad (1)$$

где I_z – момент инерции мобильного робота относительно оси Z , проходящей через опору 3; M_z – главный момент внешних сил, действующих на мобильного робота относительно оси Z :

$$M_z = P_{xy1} h_1 + P_{xy2} h_2 - F_{\text{тяж}} k \sin \varphi. \quad (2)$$

Для решения поставленной задачи задается закон движения мобильного робота по вертикальной поверхности (зависимостью изменения угла поворота робота вокруг заторможенной опоры от времени в плоскости XOY):

$$\varphi = at^3 + bt^2 + ct + d, \quad (3)$$

где a, b, c, d – неизвестные, определяемые при заданных граничных условиях.

Координаты центра масс робота x_c и y_c в момент времени t , можно вычислить:

$$\begin{cases} x_c = -k \sin \varphi; \\ y_c = -k \cos \varphi. \end{cases} \quad (4)$$

Зависимость длин линейных приводов механизма прижатия от координат центра масс робота можно задать следующими выражениями:

$$l_1 = \frac{\sqrt{(x_c - x_{он1})^2 + (y_c - y_{он1})^2}}{\sin \delta_1}. \quad (5)$$

$$l_2 = \frac{\sqrt{(x_c - x_{он2})^2 + (y_c - y_{он2})^2}}{\sin \delta_2}. \quad (6)$$

Полученные зависимости позволяют решить дифференциальное уравнение (1) и построить траекторию движения мобильного робота.

4. Имитационное моделирование. Целью имитационного моделирования является определение величин выдвигания исполнительных штоков и развиваемых усилий линейных приводов механизма прижатия, обеспечивающих требуемое перемещение разрабатываемой робототехнической системы.

Для решения уравнения (1) и построения траектории движения мобильного робота задаются начальные и граничные условия при движении робота по рабочей поверхности и необходимые массово-геометрические параметры робототехнической системы (табл. 1). При этом время τ для каждого из этапов принимается равным трем секундам.

Таблица 1

Исходные данные для имитационного моделирования

I Этап (вращение относительно опоры 3)	Начальные условия при $t = 0$ с	$\varphi_0 = 0$ рад	$\dot{\varphi}_0 = 0$ с ⁻¹ $\dot{\varphi}_\tau = 0$ с ⁻¹
	Граничные условия при $t = 3$ с	$\varphi_\tau = \pi/2$	
II Этап (вращение относительно опоры 5)	Начальные условия при $t = 3$ с	$\varphi_0 = \pi/6$	
	Граничные условия при $t = 6$ с	$\varphi_\tau = 2\pi/3$	
III Этап (вращение относительно опоры 3)	Начальные условия при $t = 6$ с	$\varphi_0 = 0$ рад	
	Граничные условия при $t = 9$ с	$\varphi_\tau = \pi/2$	
Массово-геометрические параметры	$I_z = 3,5$ кг·м ²	$m = 8$ кг	$k = 0,5$ м
	$x_{он1} = -0,15$ м	$x_{он2} = 0,5$ м	$\delta_1 = \delta_2 = 60^\circ$
	$y_{он1} = -2,6$ м	$y_{он2} = -2,6$ м	$x_0 = y_0 = 0$ м

Получены зависимости угла поворота мобильного робота вокруг заторможенной опоры от времени для каждого из этапов движения с учетом указанных исходных данных:

- ♦ для I и III этапов

$$\varphi = -\frac{\pi}{\tau^3} t^3 + \frac{3\pi}{2\tau^2} t^2; \quad (7)$$

- ♦ для II этапа

$$\varphi = -\frac{\pi}{\tau^3} t^3 + \frac{3\pi}{2\tau^2} t^2 + \frac{\pi}{6}. \quad (8)$$

Используя приведенные выражения, получены графики зависимости координат центра масс мобильного робота x_c и y_c от длин l_1 и l_2 линейных приводов механизма прижатия (рис. 2) для определения его перемещения по рабочей поверхности (в плоскости XOY). На рис. 3 представлена траектория движения робота на рабочей поверхности (в плоскости XOY).

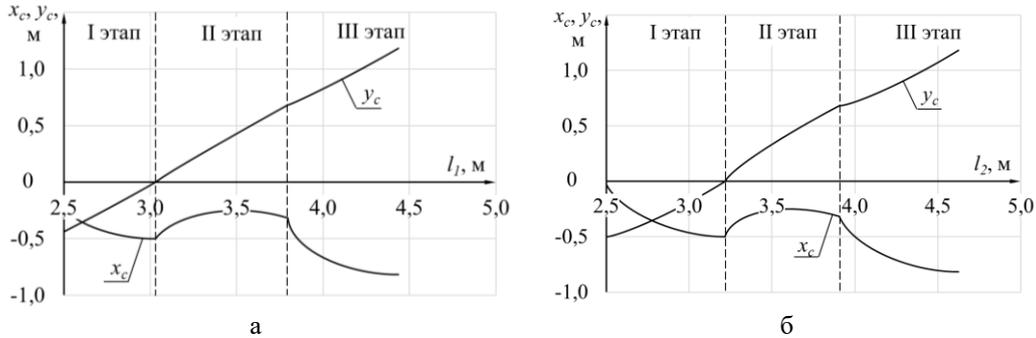


Рис. 2. Графики зависимости координат центра масс робота x_c и y_c от: а – длины l_1 линейного привода механизма прижатия; б – длины l_2 линейного привода механизма прижатия

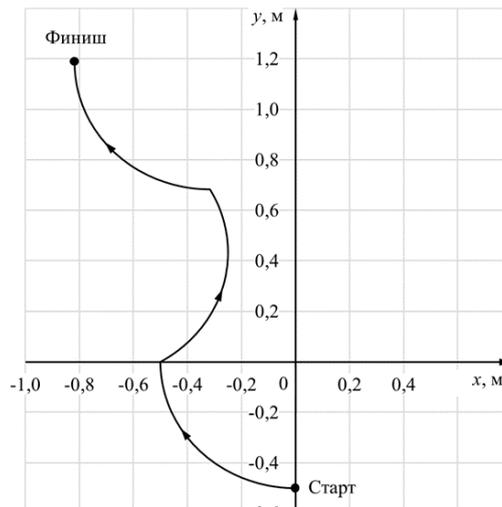


Рис. 3. Траектория движения центра масс робота.

Вычислены значения усилий P_1 и P_2 , возникающих на штоках линейных приводов механизма прижатия, обеспечивающие требуемое перемещение мобильного робота по рабочей поверхности. Получены графики зависимости этих усилий от длин соответствующих линейных приводов, представленные на рис. 4 и 5.

В результате выполненных расчетов получены диапазоны изменений длин первого и второго линейных приводов механизма прижатия l_1 от 2,4 м до 4,4 м и l_2 от 2,5 м до 4,6 м соответственно. При этом усилия P_1 и P_2 принимают одинаковые значения от 27 Н до 100 Н за счет распределения системой управления значений вращающих моментов мобильного робота относительно неподвижной опоры между двумя приводами. Исключением является начало движения на первом этапе, где усилия на первом линейном приводе не возникают $P_1 = 0$ Н (привод отключен), что связано с выбором исходных данных для моделирования. Иначе, в начальный момент времени усилие первого линейного привода противодействовало бы движению мобильного робота.

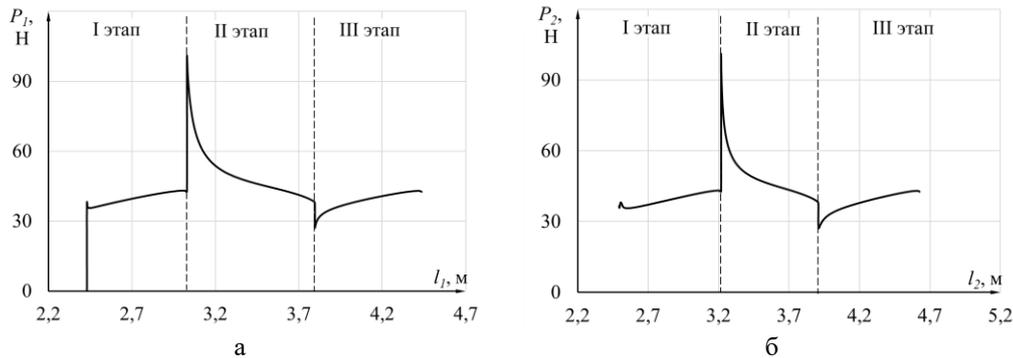


Рис. 4. Графики зависимости усилий P_1 и P_2 , возникающих на штоках линейных приводов механизма прижатия от их длин l_1 (а) и l_2 (б) соответственно

Получены также графики зависимости усилия P_2 от длины линейного привода l_2 для робототехнической системы с одним и с двумя приводами, представленные на рис. 5. В случае с одним приводом значения усилия достигают 345 Н, что в 3,5 раза больше аналогичных значений, при использовании двух приводов.

При переходе между этапами движения мобильный робот совершает остановку, перед тем как сменить заторможенное колесо, после чего возобновляет движение, в связи с этим на границах этапов наблюдаются скачки значений усилия линейных приводов.

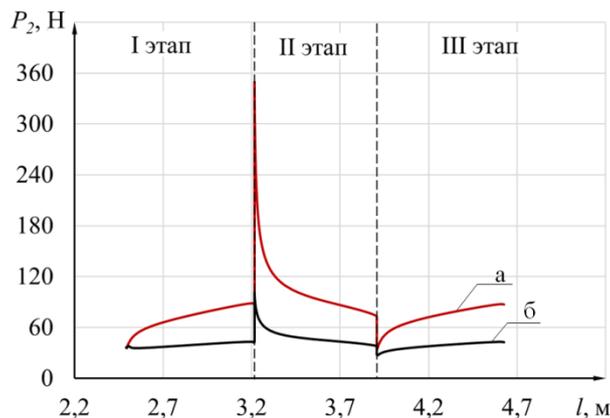


Рис. 5. Графики зависимости усилия P_2 от длины линейного привода механизма прижатия l_2 для робототехнической системы: а – с одним линейным приводом; б – с двумя линейными приводами

Выводы. Решена задача определения перемещения центра масс мобильного робота по вертикальной поверхности с использованием двух линейных приводов:

- ◆ получены уравнения и траектория движения робота;
- ◆ получены зависимости длин линейных приводов от координат центра масс робота, диапазоны изменений длин актуаторов от 2,4 м до 4,6 м;
- ◆ вычислены значения усилий P_1 и P_2 , возникающих на штоках линейных приводов (не более 100 Н), обеспечивающие требуемое перемещение.

Полученные результаты позволяют установить требуемые программные режимы движения робота, обеспечиваемые изменением длин линейных приводов разрабатываемой робототехнической системы.

Результаты исследования необходимы и для создания системы управления робота, использующего два линейных привода при перемещении по произвольно ориентированным в пространстве поверхностям, и обеспечения устойчивости его движения.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-21-00477, <https://rscf.ru/project/24-21-00477/>.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Silva Manuel & Tenreiro Machado José*. A Survey of Technologies and Applications for Climbing Robots Locomotion and Adhesion. – 2010. – 10.5772/8826.
2. *Градецкий В.Г., Вешиников В.Б., Калинин С.В., Кравчук Л.Н.* Управляемое движение мобильных роботов по произвольно ориентированным в пространстве поверхностям / Российская акад. наук, Ин-т проблем механики. – М.: Наука, 2001. – 359 с.
3. *Silva Manuel & Tenreiro Machado José & Tar József*. A Survey of Technologies for Climbing Robots Adhesion to Surfaces // ICCS 2008 - IEEE 6th International Conference on Computational Cybernetics, Proceedings. – 2008. – P. 127-132.
4. *Князьков М.М., Семенов Е.А.* Диагностический робототехнический комплекс вертикального перемещения // Известия Волгоградского государственного технического университета. – 2013. – № 24 (127). – С. 43-46. – EDN RSEZEB.
5. *Lee Giuk & Kim Hwang & Seo Kunchan & Kim Jongwon & Kim Hong*. MultiTrack: A multi-linked track robot with suction adhesion for climbing and transition // Robotics and Autonomous Systems. – 2015. – 72. – 10.1016/j.robot.2015.05.011.
6. *Kim Hwang & Seo Kunchan & And Kyuhee & Kim Jongwon*. Development of a Multi-Body Wall Climbing Robot With Tracked Wheel Mechanism. – 2010. – 10.1142/9789814329927_0055.
7. *Matsumura Yodai & Shiba Takehiro & Ito Satoshi & Kawase Yuya & Takada Yogo*. Development of Magnetic Bridge Inspection Robot Aimed at Carrying Heavy Loads // International Journal of Robotic Engineering. – 2018. – 3. – P. 1-10. – 10.35840/2631-5106/4110.
8. *Tavakoli Mahmoud & Viegas Carlos & Marques Lino & Pires J. Norberto & de Almeida Anibal*. OmniClimbers: Omnidirectional magnetic wheeled climbing robots for inspection of ferromagnetic structures // Robotics and Autonomous Systems. – 2013. – 61. – 10.1016/j.robot.2013.05.005.
9. *Ефимов М.И., Брискин Е.С., Шаронов Н.Г.* О перемещении тросового робота по вертикальной поверхности // XXXI Международная инновационная конференция молодых ученых и студентов по проблемам машиноведения (МИКМУС - 2019): Сб. трудов конференции, Москва, 04–06 декабря 2019 года. – М.: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук, 2020. – С. 468-471. – EDN IOCHJR.
10. *Шаронов Н.Г., Ефимов М.И.* О перемещении роботов по вертикальной шероховатой поверхности с помощью тросовых движителей // Известия Волгоградского государственного технического университета. – 2019. – № 3 (226). – С. 51-54. – EDN ZARJYD.
11. *Daltorio Kathryn and Wei Terence and Horchler Andrew and Southard Lori and Wile Gregory and Quinn Roger and Gorb Stanislav and Ritzmann Roy*. Mini-Whegs TM Climbs Steep Surfaces Using Insect-inspired Attachment Mechanisms // I. J. Robotic Res. – 2009. – Vol. 28. – P. 285-302.
12. *Daltorio Kathryn & Horchler Andrew & Gorb Stanislav & Ritzmann Roy & Quinn Roger*. A small wall-walking robot with compliant, adhesive feet. – 2005. – P. 3648-3653. – 10.1109/IROS.2005.1545596.
13. *Сырых Н.В., Чащухин В.Г.* Роботы вертикального перемещения с контактными устройствами на основе постоянных магнитов: конструкции и принципы управления контактными устройствами // Известия Российской академии наук. Теория и системы управления. – 2019. – № 5. – С. 163-173.
14. *Градецкий В.Г., Князьков М.М.* Состояние и перспективы развития роботов вертикального перемещения для экстремальных сред // Робототехника и техническая кибернетика. – 2014. – № 1 (2). – С. 9-16.
15. *Серебряный В.В., Бошляков А.А., Калинин С.В., Огородник А.И., Коновалов К.В.* Шагающий робот для перемещения по вертикальным и произвольно ориентированным в пространстве поверхностям // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2021. – 22 (11). – P. 585-593.
16. *Побегайлов О.А., Кравченко И.В., Кожуховский С.О.* Мобильные роботы вертикального перемещения // Инженерный вестник Дона. – 2010. – № 4 (14). – С. 85-95.
17. *Nansai Shunsuke & Mohan Rajesh Elara*. A Survey of Wall Climbing Robots: Recent Advances and Challenges // Robotics. – 2016. – 5. 14. – 10.3390/robotics5030014.
18. *Unver O. & Uneri Ali & Aydemir Alper & Sitti M.* Geckobot: A gecko inspired climbing robot using elastomer adhesives // Proceedings - IEEE International Conference on Robotics and Automation. – 2006. – P. 2329-2335. – 10.1109/ROBOT.2006.1642050.

19. *Хачатрян А.А., Брискин Е.С.* О перемещении мобильного робота по произвольно ориентированным поверхностям // Известия ВолГГТУ. – 2022. – № 9 (268). – С. 86-93.
20. *Хачатрян А.А., Смирная Л.Д.* Особенности динамики управляемого движения робота, опирающегося на различно ориентированные ровные поверхности // Известия ВолГГТУ. – 2024. – № 4 (287). – С. 84-87.

REFERENCES

1. *Silva Manuel & Tenreiro Machado José.* A Survey of Technologies and Applications for Climbing Robots Locomotion and Adhesion, 2010. 10.5772/8826.
2. *Gradetskiy V.G., Veshnikov V.B., Kalinichenko S.V., Kravchuk L.N.* Upravlyаемое dvizhenie mobil'nykh robotov po proizvol'no orientirovannym v prostranstve poverkhnostyam [Controlled motion of mobile robots on surfaces arbitrarily oriented in space], Russian Academy of Sciences, Institute of Problems in Mechanics. Moscow: Nauka, 2001, 359 p.
3. *Silva Manuel & Tenreiro Machado José & Tar József.* A Survey of Technologies for Climbing Robots Adhesion to Surfaces, *ICCC 2008 - IEEE 6th International Conference on Computational Cybernetics, Proceedings*, 2008, pp. 127-132.
4. *Knyaz'kov M.M., Semenov E.A.* Diagnosticheskiy robototekhnicheskiy kompleks vertikal'nogo peremeshcheniya [Diagnostic robotic complex for vertical movement], *Izvestiya Volgogradskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [Bulletin of the Volgograd State Technical University], 2013, No. 24 (127), pp. 43-46. EDN RSEZEB.
5. *Lee Giuk & Kim Hwang & Seo Kunchan & Kim Jongwon & Kim Hong.* MultiTrack: A multi-linked track robot with suction adhesion for climbing and transition, *Robotics and Autonomous Systems*, 2015, 72. 10.1016/j.robot.2015.05.011.
6. *Kim Hwang & Seo Kunchan & And Kyuhee & Kim Jongwon.* Development of a Multi-Body Wall Climbing Robot With Tracked Wheel Mechanism, 2010. 10.1142/9789814329927_0055.
7. *Matsumura Yodai & Shiba Takehiro & Ito Satoshi & Kawase Yuya & Takada Yogo.* Development of Magnetic Bridge Inspection Robot Aimed at Carrying Heavy Loads, *International Journal of Robotic Engineering*, 2018, 3, pp. 1-10. 10.35840/2631-5106/4110.
8. *Tavakoli Mahmoud & Viegas Carlos & Marques Lino & Pires J. Norberto & de Almeida Anibal.* OmniClimbers: Omnidirectional magnetic wheeled climbing robots for inspection of ferromagnetic structures, *Robotics and Autonomous Systems*, 2013, 61. 10.1016/j.robot.2013.05.005.
9. *Efimov M.I., Briskin E.S., Sharonov N.G.* O peremeshchenii trosovogo robota po vertikal'noy poverkhnosti [On the movement of a cable robot along a vertical surface], *XXXI Mezhdunarodnaya innovatsionnaya konferentsiya molodykh uchenykh i studentov po problemam mashinovedeniya (MIKMUS - 2019): Sb. trudov konferentsii, Moskva, 04–06 dekabrya 2019 goda* [XXXI International Innovative Conference of Young Scientists and Students on Mechanical Engineering Problems (MIKMUS - 2019): Conference Proceedings, Moscow, December 4-6, 2019]. Moscow: Federal'noe gosudarstvennoe byudzhethoe uchrezhdenie nauki Institut mashinovedeniya im. A.A. Blagonravova Rossiyskoy akademii nauk, 2020, pp. 468-471. EDN IOCHJR.
10. *Sharonov N.G., Efimov M.I.* O peremeshchenii robotov po vertikal'noy sherokhovatoy poverkhnosti s pomoshch'yu trosovykh dvizhiteley [On the movement of robots along a vertical rough surface using cable movers], *Izvestiya Volgogradskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [Bulletin of the Volgograd State Technical University], 2019, No. 3 (226), pp. 51-54. EDN ZARJYD.
11. *Daltorio Kathryn and Wei Terence and Horchler Andrew and Southard Lori and Wile Gregory and Quinn Roger and Gorb Stanislav and Ritzmann Roy.* Mini-Whegs TM Climbs Steep Surfaces Using Insect-inspired Attachment Mechanisms, *I. J. Robotic Res.*, 2009, Vol. 28, pp. 285-302.
12. *Daltorio Kathryn & Horchler Andrew & Gorb Stanislav & Ritzmann Roy & Quinn Roger.* A small wall-walking robot with compliant, adhesive feet, 2005, pp. 3648-3653. 10.1109/IROS.2005.1545596.
13. *Syrykh N.V., Chashchukhin V.G.* Roboty vertikal'nogo peremeshcheniya s kontaktnymi ustroystvami na osnove postoyannykh magnitov: konstruksii i printsipy upravleniya kontaktnymi ustroystvami [Vertical movement robots with contact devices based on permanent magnets: designs and principles of contact device control], *Izvestiya Rossiyskoy akademii nauk. Teoriya i sistemy upravleniya* [Bulletin of the Russian Academy of Sciences. Control Theory and Systems], 2019, No. 5, pp. 163-173.
14. *Gradetskiy V.G., Knyaz'kov M.M.* Sostoyanie i perspektivy razvitiya robotov vertikal'nogo peremeshcheniya dlya ekstremal'nykh sred [Status and development prospects of vertical movement robots for extreme environments], *Robototekhnika i tekhnicheskaya kibernetika* [Robotics and Technical Cybernetics], 2014, No. 1 (2), pp. 9-16.
15. *Serebrennyy V.V., Boshlyakov A.A., Kalinichenko S.V., Ogorodnik A.I., Kononov K.V.* Shagayushchiy robot dlya peremeshcheniya po vertikal'nykh i proizvol'no orientirovannym v prostranstve poverkhnostyam [Walking robot for movement on vertical and arbitrarily oriented in space surfaces], *Mekhatronika, avtomatizatsiya, upravlenie* [Mechatronics, automation, control], 2021, 22 (11), pp. 585-593.

16. Pobegaylov O.A., Kravchenko I.V., Kozhukhovskiy S.O. Mobil'nye roboty vertikal'nogo peremeshcheniya [Mobile robots of vertical movement], *Inzhenernyy vestnik Dona* [Engineering Bulletin of the Don], 2010, No. 4 (14), pp. 85-95.
17. Nansai Shunsuke & Mohan Rajesh Elara. A Survey of Wall Climbing Robots: Recent Advances and Challenges, *Robotics*, 2016, 5. 14. 10.3390/robotics5030014.
18. Unver O. & Uneri Ali & Aydemir Alper & Sitti M. Geckobot: A gecko inspired climbing robot using elastomer adhesives, *Proceedings - IEEE International Conference on Robotics and Automation*, 2006, pp. 2329-2335. 10.1109/ROBOT.2006.1642050.
19. Khachatryan A.A., Briskin E.S. O peremeshchenii mobil'nogo robota po proizvol'no orientirovannym poverkhnostyam [On the movement of a mobile robot on arbitrarily oriented surfaces], *Izvestiya VolgGTU* [Bulletin of the Volgograd State Technical University], 2022, No. 9 (268), pp. 86-93.
20. Khachatryan A.A., Smirnaya L.D. Osobennosti dinamiki upravlyаемого dvizheniya robota, oprirayushchegosya na razlichno orientirovannye rovnnye poverkhnosti [Features of the dynamics of controlled motion of a robot resting on differently oriented flat surfaces], *Izvestiya VolgGTU* [Bulletin of the Volgograd State Technical University], 2024, No. 4 (287), pp. 84-87.

Хачатрян Арам Арам – Волгоградский государственный технический университет; e-mail: Aram-081097@mail.ru; г. Волгоград, Россия; тел.: +79375508766; кафедра «Динамика и прочность машин»; аспирант.

Брискин Евгений Самуилович – e-mail: dtm@vstu.ru; тел.: +78442248113; кафедра «Динамика и прочность машин»; д.ф.-м.н.; профессор.

Khachatryan Aram Aram – Volgograd State Technical University; e-mail: Aram-081097@mail.ru; Volgograd, Russia; phone: +79375508766; the Department of "Dynamics and strength of machines"; postgraduate student.

Briskin Evgeny Samuilovich – e-mail: dtm@vstu.ru; phone: +78442248113; the Department of "Dynamics and strength of machines"; dr. of phys. and math. sc.; professor.

УДК 004.056

DOI 10.18522/2311-3103-2024-6-209-218

С.А. Смирнов, Н.Ю. Паротькин, В.В. Золотарев

АВТОМАТИЗАЦИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЛОЖНЫХ КОМПОНЕНТОВ В ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ

Рассматривается вопрос применимости ложных информационных систем и их компонентов в построении автоматизированной системы развертывания прикладной реализации технологии ложных компонентов и управления ею – для совершенствования системы предупреждения атак. Приводятся основные преимущества технологии и роль в стратегии информационной безопасности, задающие специфику и область практического применения ее средств и инструментов. Рассматриваются основы архитектуры и особенности применения технологии, а также ее ограничения. Указываются цель и назначение использования современной технологии в разрезе раскрытия ключевых принципов ее реализации. Кроме того, были проанализированы нормативно-правовые публикации и иные рекомендации, составляющие лучшие практики в области её использования. Рассмотрены концепция и архитектура итогового автоматизированного решения в интеграции в информационные системы и системы защиты, описано функциональное содержание итогового решения. Отличительной особенностью предлагаемого решения является использование управляемых механизмов контейнеризации, обеспечивающих широкие возможности по масштабированию решения и изоляции скомпрометированных компонентов системы в результате действий злоумышленника. Схематически отражается сформулированный процесс практического исполнения системы автоматизации в перспективе подсистем решения и в отношении к зависимым компонентам (предлагаемым документам, внешним средствам и системам) и условиям протекания составляющих операций. Также приводится модель развертывания и функционирования распределенной системы автоматизации в последовательности: настройка сервера развертывания (включая обеспечение), развертывание сети ложных компонентов-ловушек на базе контейнеризации, развертывание внешних приманок, интеграция с внешними относительно композиции решения системами и инстанциями стека информационной безопасности. Принцип реализации решения сводятся к следующему: посредством