

Acknowledgements: The work was supported by the Russian Foundation for Basic Research, project no. 15-08-03233

For citation:

Belokon S. A., Zolotukhin Yu. N., Kotov K. Yu., Maltsev A. S., Nesterov A. A., Sobolev M. A., Filippov M. N., Yan A. P. Control of the Mobile Robots in a Leader—Follower Formation, *Mekhatronika, Avtomatizatsiya, Upravlenie*, 2016, vol. 17, no. 3, pp. 166—172.

DOI: 10.17587/mau/17.166-172

References

1. **Schaub Hanspeter, Vadali Srinivas R., Alfriend Kyle T.** Spacecraft formation flying control using mean orbit elements, *Journal of the Astronautical Sciences*, 2000, vol. 48, no. 1, pp. 69—87.
2. **Smith T. R., Mann H. H., Leonard N. E.** Orientation control of multiple underwater vehicles, *Proc. 40th IEEE Conf. Decision and Control*, 2001, pp. 4598—4603.
3. **Lawton J. R., Beard R. W., Young B. J.** A decentralized approach to formation maneuvers, *IEEE Trans. on Robotics and Automation*, 2003, vol. 19, no. 6, pp. 933—941.
4. **Burns R. C., McLaughlin A., Leitner J., Martin M.** Techsat21: Formation design, control, and simulation, *Proc. IEEE Aerospace Conf.*, 2000, pp. 19—25.
5. **Aveek K. Das, Rafael Fierro, Vijay Kumar, James P. Ostrowski, John Spletzer, Camillo J. Taylor.** A vision-based formation control framework, *Robotics and Automation, IEEE Transactions on*, 2002, vol. 18, no. 5, pp. 813—825.
6. **Lewis M. Anthony, Tan Kar-Han.** High precision formation control of mobile robots using virtual structures, *Auton. Robots*, 1997, vol. 4, no. 4, pp. 387—403.
7. **Luca Consolini, Fabio Morbidi, Domenico Prattichizzo, Mario Tosques.** Leader—follower formation control of nonholonomic mobile robots with input constraints, *Automatica*, 2008, vol. 44, no. 5, pp. 1343—1349.
8. **Zolotukhin Yu. N., Kotov K. Yu., Nesterov A. A.** Decentralizovannoe upravlenie podvizhnymi obektami v sostave manevriruyushchej gruppy (Decentralized control of mobile robots in formation), *Avtometriya*, 2007, vol. 43, no. 3, pp. 31—39 (in Russian).
9. **Fiorelli Edward, Bhatta Pradeep, Leonard Naomi Ehrlich.** Adaptive sampling using feedback control of an autonomous underwater glider fleet, *Proc. 13th Int. Symposium on Unmanned Untethered Submersible Tech.*, 2003, pp. 1—16.
10. **Kotov K. Yu.** Algoritm upravleniya gruppировкой podvizhnykh avtonomnykh agentov (Control algorithm of autonomous agents in formation), *Mater. VIII mezhdunar. nauch.-tekhn. konf. "Aktualnye problemy elektronnoogo priborostroeniya" APEP-2006*, 2006, vol. 7, pp. 230—235 (in Russian).
11. **Desai Jaydev P, Ostrowski James P, Kumar Vijay.** Modeling and control of formations of nonholonomic mobile robots, *Robotics and Automation, IEEE Transactions on*, 2001, vol. 17, no. 6, pp. 905—908.
12. **Boychuk L. M.** Metod strukturnogo sinteza nelinejnykh sistem avtomaticheskogo upravleniya (Structural synthesis method of automatic control nonlinear systems), Moscow, Energiya, 1971 (in Russian).
13. **Kolesnikov A. A.** Sinergeticheskaya teoriya upravleniya (The synergetic control theory), Moscow, Energoatomizdat, 1994, 344 p. (in Russian).
14. **Krutko P. D.** Obratnye zadachi dinamiki upravlyaemykh sistem: Nelinejnye modeli (Inverse Problems of Control System Dynamics: Nonlinear Models), Moscow, Nauka, 1988, 330 p. (in Russian).
15. **Zolotukhin Yu. N., Nesterov A. A.** Upravlenie perevyornutym mayatnikom s uchytom dissipatsii ehnergii (Inverted pendulum control with allowance for energy dissipation), *Avtometriya*, 2010, vol. 46, no. 5, pp. 3—10 (in Russian).
16. **Belokon S. A., Zolotukhin Yu. N., Mal'tsev A. S., Nesterov A. A., Filippov M. N., Yan A. P.** Upravlenie parametrami poleta kvadrokoptera pri dvizhenii po zadannoj traektorii (Control of flight parameters of a quadrotor vehicle moving over a given trajectory), *Avtometriya*, 2012, vol. 48, no. 5, pp. 32—41 (in Russian).
17. **Zolotukhin Yu. N., Kotov K. Yu., Mal'tsev A. S., Nesterov A. A., Sobolev M. A., Filippov M. N., Yan A. P.** Robastnoe upravlenie podvizhnymi obektami v grupe lider-vedomye s ispolzovaniem metoda strukturnogo sinteza (Robust Control of Moving Objects in a Leader—Follower Formation by the Method of Structural Synthesis), *Avtometriya*, 2015, vol. 51, no. 5, pp. 82—91 (in Russian).
18. **Zolotukhin Yu. N., Kotov K. Yu., Mal'tsev A. S., Nesterov A. A., Filippov M.** Upravlenie traektornym dvizheniem gruppy mobilnykh robotov: modelirovanie i ehksperiment (Trajectory tracking of mobile robots formation: simulation and experiment), *Mater. X mezhdunar. nauch.-tekhn. konf. "Aktualnye problemy elektronnoogo priborostroeniya" APEP-2010*, 2010, pp. 101—106 (in Russian).

УДК 621.3

DOI: 10.17587/mau/17.172-177

В. Г. Градецкий¹, гл. науч. сотр., д-р техн. наук, проф., gradet@ipmnet.ru,
М. М. Князьков¹, ст. науч. сотр., канд. техн. наук, **Е. А. Семёнов**¹, ст. науч. сотр., канд. техн. наук,
А. Н. Суханов^{1, 2}, мл. науч. сотр., аспирант, sukhانov-artiom@yandex.ru,

¹ Институт проблем механики им. А. Ю. Ишлинского РАН, Москва

² Московский государственный технологический университет СТАНКИН

Адаптивные захватные устройства мобильных роботов с миниатюрными эжекторами*

Анализируются принципиальные схемы адаптивных пневматических захватных устройств роботов вертикального перемещения в экстремальных условиях при неизвестных заранее свойствах и качестве поверхностей, по которым происходит движение. Приводятся основные расчетные соотношения и результаты экспериментальных исследований, включая конструктивные схемы адаптивных пневматических захватных устройств.

Ключевые слова: адаптивные захватные устройства, принципиальные схемы, миниатюрные эжекторы, роботы вертикального перемещения

Введение

Для эффективного и надежного использования мобильных роботов, осуществляющих движение в экстремальных условиях по поверхностям непред-

сказуемого во многих случаях качества, в последние годы намечается тенденция разработки и оснащения роботов пневматическими устройствами адаптации к поверхностям, по которым происходит движение [1—4]. Адаптация осуществляется посредством применения различных конструктивных решений или автоматического изменения степени вакуума с помощью миниатюрных вакуумных воздушно-струйных эжекторов [5—15].

*Работа выполнена при поддержке Гранта РФФИ № 15-08-014117 "Исследования и разработки адаптивных вакуумных устройств мобильных роботов, перемещающихся по сложным поверхностям" и Программы Президиума РАН № П-31 "Актуальные проблемы робототехники".

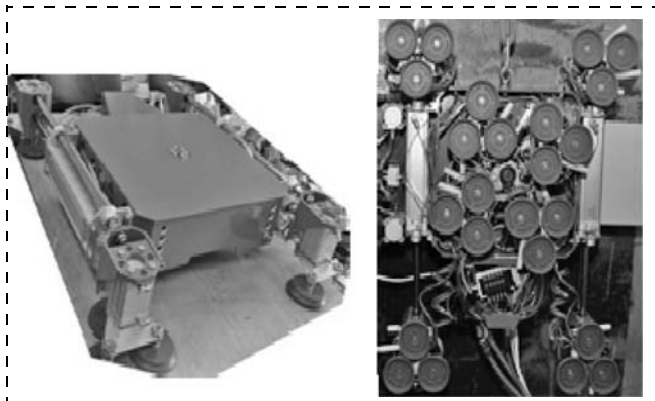


Рис. 1. Общий вид и вид снизу робота вертикального перемещения

Механическая и пневматическая адаптация позволяет простыми и эффективными способами обеспечить в сложных условиях эксплуатации надежное движение роботов вертикального перемещения. На рис. 1 показан один из возможных вариантов такого робота, состоящий из большой и малой платформ, поочередно фиксирующихся к поверхности перемещения с помощью эжекторных вакуумных захватных устройств [16–18].

Несмотря на имеющиеся разработки пневматических захватных устройств и проведенные исследования процессов в эжекторных вакуумных системах, для придания захватным устройствам свойств надежной адаптации потребовалась разработка новых принципиальных решений для устройств сцепления с поверхностями и уточнение расчетных соотношений миниатюрных эжекторных систем необходимой производительности, предназначенных для адаптивных захватных устройств.

Несмотря на выполненные ранее исследования эжекторных вакуумных систем [5–10] и приведенные в промышленных каталогах ряда фирм характеристики, эффективное применение таких систем потребовало получения дополнительных данных. Существенным является выбор режима работы эжектора, установление режима наибольшей производительности, при котором вакуум достигает наибольшего значения, и определение зависимостей величин вакуума от давления питания эжектора.

Выполненные исследования базируются на ранее полученных результатах, приведенных в работах [12–21].

Вакуумные захватные устройства с эжекторной системой создания вакуума находят применение в манипуляционных и в мобильных роботах. Однако для использования в мобильных роботах они должны быть миниатюрными и эффективными. Процесс движения роботов вертикального перемещения включает осуществление контакта с поверхностью и дальнейшее движение вдоль поверхности.

Существуют два основных способа движения таких роботов.

Первый способ — непрерывное движение за счет колесной системы приводов и вакуумной емкости,

служащей корпусом для скользящего уплотнения, осуществляющего непрерывный контакт с поверхностью посредством вакуума, создаваемого центробежным насосом.

Второй способ — дискретное пошаговое движение, которое происходит за счет пневматической системы приводов, и контакт с поверхностью при этом осуществляется в результате попеременного выдвигания захватных устройств.

В данной работе рассматривается второй способ перемещения и соответствующие этому движению способы контакта с поверхностью посредством эжектора [12].

1. Принципиальные схемы адаптации вакуумных захватных устройств

В настоящее время в робототехнических системах используются три наиболее распространенных способа адаптации вакуумных захватных устройств: на основе применения в конструкции захвата микропористых материалов, путем увеличения упругой податливости контактного материала захвата и с помощью миниатюрных запорных клапанов для уменьшения расхода воздуха [12].

Вакуумное захватное устройство с микропористой структурой (рис. 2) содержит эжектор 1, глушитель 2, полость вакуумирования 3, подошву (основу) из материала с микропористой или капиллярной структурой 4.

Принцип действия устройства заключается в том, что микропористый материал при контакте с поверхностью облегает участки поверхности с дефектами таким образом, что сопротивление потоку воздуха оказывается разным на дефектных и бездефектных участках, и контакт со всей поверхностью фиксации происходит за счет недефектных участков. Таким об-

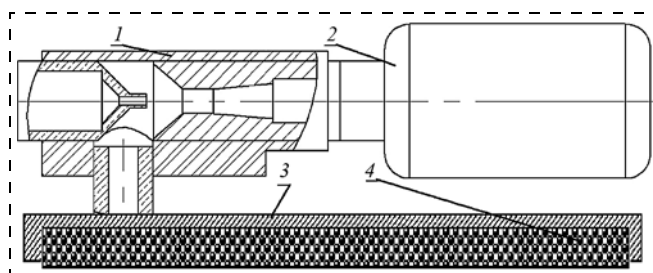


Рис. 2. Вакуумное захватное устройство с микропористым контактным материалом, принимающим форму дефектной поверхности

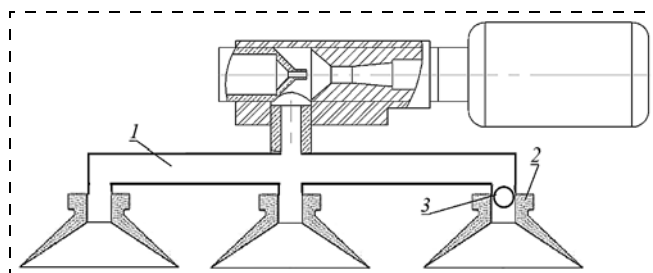


Рис. 3. Вакуумное захватное устройство с запорным клапаном в присоске

разом, данное устройство адаптируется к дефектам поверхности фиксации и может нормально функционировать на таких поверхностях.

В качестве следующего способа адаптации рассмотрим оснащение вакуумного захватного устройства запорным клапаном. В состав такого вакуумного захватного устройства входят: вакуумный канал 1, захватные устройства 2, запорный клапан 3 (рис. 3).

Такие типы устройств могут функционировать только на горизонтальной поверхности, когда на запорный элемент клапана, например шарик, действует сила тяжести. При вертикальном или горизон-

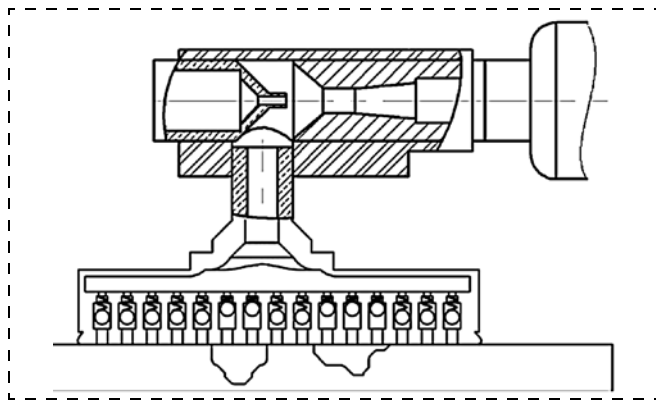


Рис. 4. Вакуумное захватное устройство с миниатюрными запорными клапанами

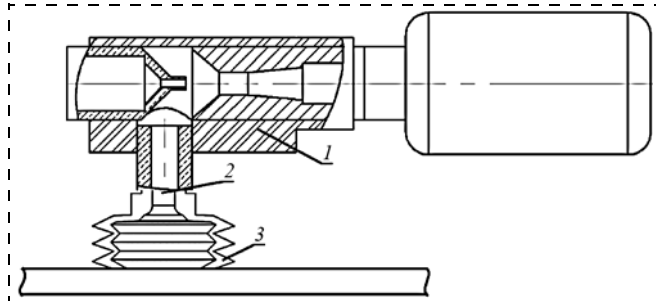


Рис. 5. Вакуумное захватное устройство с использованием сиффона

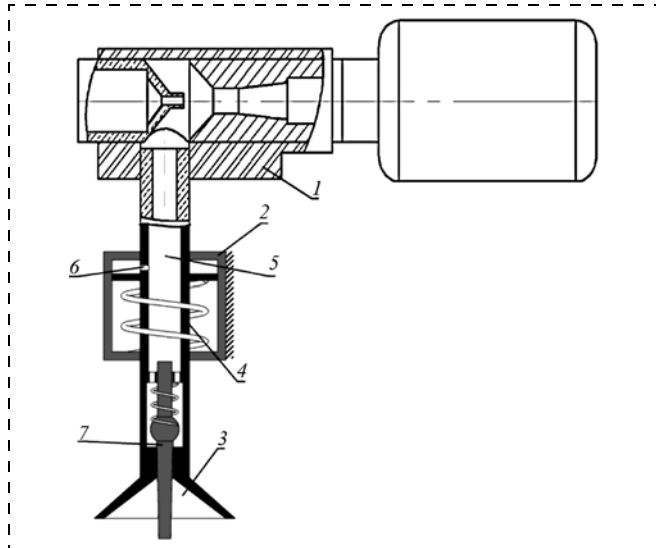


Рис. 6. Вакуумное захватное устройство с обратной пружиной

тальном на потолке положении вакуумного захватного устройства использование силы тяжести, действующей на запорное устройство, невозможно, и при подаче вакуума к захватному устройству запорное устройство в большинстве случаев блокирует вакуумирование полости захватного устройства. Для предотвращения подобной ситуации предлагается уравновесить вес запорного устройства пружиной, жесткость которой рассчитана таким образом, что закрытие канала вакуумирования происходит при определенном расходе воздуха через этот канал. При наличии существенных дефектов на поверхности фиксации происходит запираение миниатюрных клапанов, находящихся над дефектами, посредством миниатюрных подпружиненных шариков (рис. 4).

Следующим способом адаптации является использование в конструкции захватов контактных материалов с увеличенной упругой податливостью. Таким материалом может выступать силиконовый сиффон.

Вакуумное захватное устройство такого типа содержит эжектор 1, вакуумный канал 2, сиффон 3 (рис. 5).

При приближении вакуумного захватного устройства к поверхности фиксации, находящейся под углом к нему, за счет упругости сиффона происходит поворот контактного устройства и дальнейшее вакуумирование. Таким образом, за счет сиффона происходит адаптация присоски к поверхности перемещения, находящейся под углом, и повышается вероятность фиксации вакуумного захватного устройства на поверхности перемещения.

Еще один способ адаптации достигается посредством использования вакуумного захватного устройства с обратной пружиной. Устройство (рис. 6) содержит: эжектор 1, пневмоцилиндр подъема — опускания 2, полость вакуумирования пневмоцилиндра 3, шток пневмоцилиндра 4, вакуумный канал 5, канал подачи вакуума в пневмоцилиндр 6, клапан подачи вакуума 7.

Такое устройство используется для существенного упрощения алгоритма управления фиксацией вакуумного захватного устройства. Принцип действия заключается в том, что посредством эжектора осуществляется вакуумирование полости пневмоцилиндра и выполняется движение штока к поверхности фиксации. Движение происходит до контакта клапана подачи вакуума к поверхности фиксации. После этого вакуум подается в полость захвата, и вакуумное захватное устройство фиксируется на поверхности.

Основные расчетные соотношения для создания вакуума с помощью миниатюрных эжекторов

Вначале рассмотрим действие сил и моментов, возникающих при создании вакуума в полости захватного устройства с использованием сиффона (рис. 7). При увеличении вакуума, генерируемого

посредством встроенного в захватное устройство эжектора, в емкости захватного устройства подвижная стенка-торец упругого элемента, например сильфона, перемещаясь под действием перепада давления внутри емкости p_2 и атмосферного давления p_a , соприкасается с упором в виде поверхности, по которой происходит движение. При соприкосновении с поверхностью возникают следующие силы: сила трения, нормальная реакция опоры, силы адгезии, сила упругости стенок сильфона. Для равновесия системы необходимо, чтобы

$$\text{сумма всех сил равнялась нулю, т. е. } \sum_{i=1}^n F_i = 0.$$

Сумма возникающих моментов также должна

$$\text{равняться нулю: } \sum_{i=1}^n M_i = 0.$$

Сила нормальной реакции N , с которой подвижный торец устройства действует на поверхность, равна

$$N = f_{\text{эф}}(p_a - p_2) - h_0 c = f_{\text{эф}}(p_2 - p_0). \quad (1)$$

Здесь p_2 — абсолютное давление (давление вакуума) в емкости захватного устройства; p_a — атмосферное давление; c — жесткость подвижной стенки торца захватного устройства; h_0 — перемещение торца захватного устройства до поверхности; p_0 — давление, при котором подвижная стенка торца дошла до поверхности; $f_{\text{эф}}$ — эффективная площадь.

Сила Кулонова трения равна

$$F_{\text{тр}} = \mu N, \quad (2)$$

где μ — коэффициент трения скольжения [17].

Базируясь на основных уравнениях эжекторов, использующих законы сохранения массы и импульса, найдем массовый расход через пассивное сопло эжектора, соединенное с полостью захватного устройства, в которой генерируется необходимая величина вакуума (рис. 7, где G_3, P_3 — массовый расход воздуха и давление на выходе из камеры смешения; G_1, P_1 — массовый расход воздуха через активное сопло эжектора и давление в этом сечении; G_2, P_2 — массовый расход воздуха, выходящего из полости захватного устройства, и давление в полости соответственно). Задача состоит в том, чтобы определить расход и давление в полости захватного устройства.

В соответствии с законом сохранения массы получим

$$G_2 = G_3 - G_1.$$

Если контакт с поверхностью осуществляется через материал с капиллярами (рис. 8), то

$$G_2 = \sum_{i=1}^n G_i = G_3 - G_1, \quad (3)$$

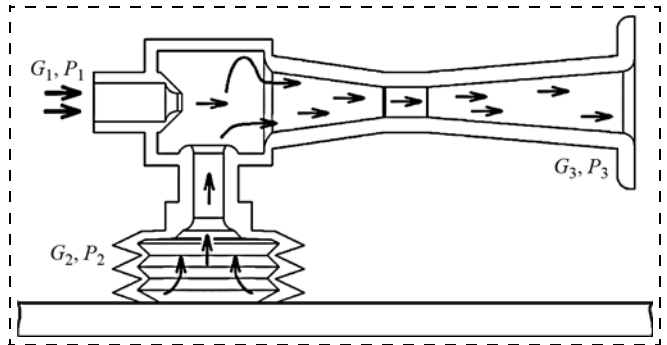


Рис. 7. Схема потоков в системе "вакуумный захват — эжектор" с применением сильфона

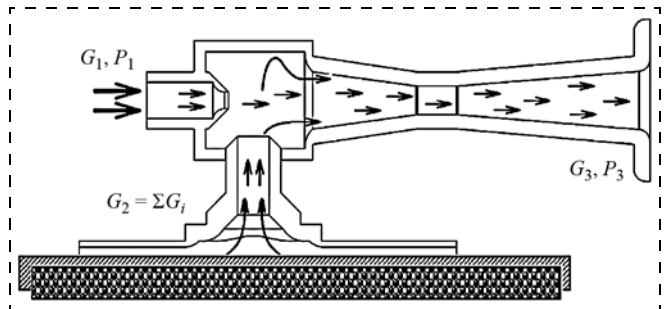


Рис. 8. Схема потоков в системе "вакуумный захват — эжектор" с использованием пористого материала

где $\sum_{i=1}^n G_i$ — расходы воздуха через все " n " капилляров контактирующего с поверхностью материала захватного устройства, при этом G_2 — величина переменная, зависящая от качества поверхности, по которой происходит движение. Так как коэффициент эжекции равен $n = G_2/G_1$, то при полностью вакуумированной полости $G_2 = 0$ и $n = 0$. Условием создания необходимой величины вакуума является условие $G_1 = G_3$ и прогиб упругого элемента захватного устройства за счет образованного вакуума и плотного прижатия торца захвата к поверхности.

Из уравнения сохранения импульса получаем:

$$G_3 u_3 \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right) + P_3 S_3 \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right) + G_2 u_2 + P_2 S_2 = G_1 u_1 + P_a S_1. \quad (4)$$

Здесь u_3 — скорость потока на выходе из сопла; α — угол наклона сопла полости захватного устройства; P_3 — давление на срезе камеры смешения; S_3 — площадь проходного сечения сопла; u_1 — скорость потока через активное сопло питания; S_1 — площадь проходного сечения активного сопла; u_2 — скорость потока воздуха, выходящего из емкости полости захватного устройства; P_2 — давление в полости захватного устройства,

$$P_2 = \frac{G_3 u_3 + P_3 S_3 - G_1 u_1 - P_1 S_1 - G_2 u_2}{S_2}. \quad (5)$$

Здесь P_2, u_2, S_2 — давление, скорость и площадь сечения струи воздуха пассивного сопла эжектора;

P_1, u_1, S_1 — давление, скорость и площадь сечения струи на срезе сопла питания эжектора; P_3, u_3, S_3 — давление, скорость и площадь сечения потока на выходе из камеры смешения эжектора.

Поскольку пассивное сопло эжектора соединено с камерой захватного устройства, можно утверждать, что u_2 — скорость потока воздуха, выходящего из полости захватного устройства, P_2 — давление в полости захватного устройства. Как следует из приведенного соотношения, абсолютное давление в полости, или величина вакуума, зависит от геометрических размеров и гидродинамических параметров эжектора и, прежде всего, от расхода G_1 и давления P_1 питания.

Давление P_2 эжектируемого воздуха из емкости вакуумного захватного устройства может быть найдено полуэмпирическим путем исходя из замеров полей скоростей и динамических напоров на основном участке эжектирующего потока [10]:

$$P_2 = 2B \frac{f_a}{f_2} - P_1 \frac{f_a}{f_1}, \quad (6)$$

где f_2 — площадь входного сечения емкости захватного устройства; f_1 — площадь торца сопла эжектора; f_a — площадь сечения эжектирующей струи; $B = 0,0668$ — коэффициент поля динамических напоров на основном участке эжектирующей струи [19].

Уравнение сохранения энергии записывается в виде

$$G_3 \left(C_p T_3 + \frac{u_3^2}{2} \right) = G_1 \left(C_p T_1 + \frac{u_1^2}{2} \right) + G_2 \left(C_p T_2 + \frac{u_2^2}{2} \right), \quad (7)$$

где C_p — средняя теплоемкость воздуха; T_1, T_2, T_3 — абсолютные температуры воздуха на выходе из сопла питания, из емкости полости захватного устройства и из эжектора.

Заключение

Анализируются различные принципиальные схемы вакуумных захватных устройств роботов вертикального перемещения, обеспечивающих адаптацию к поверхностям различного качества и рельефа, по которым перемещается робот. Приведены расчетные соотношения для оценки давлений и расходов в полостях генерации вакуума с помощью эжекторов, а также конструктивные схемы адаптивных пневматических захватных устройств мобильных роботов.

Экспериментальные исследования были направлены на выявление свойств адаптации роботов с микропористыми материалами, запорными автоматическими клапанами с использованием сильфонов, пружинных механизмов с обратной связью. Обоснованы условия адаптивности вакуумных схватов ро-

ботов вертикального перемещения, при которых изменяется уровень генерации вакуума малоразмерного эжектора, что обеспечивает продолжение движения робота при внезапном изменении качества поверхности, по которой происходит движение. Полученные результаты направлены на обеспечение движений роботов в экстремальных условиях по вертикальным и потолочным поверхностям с неизвестными заранее свойствами и качеством.

Список литературы

1. Longo D., Muscato G. Adhesion techniques for climbing robots: state of the art and experimental consideration // Proc. of 11th Int. Conf. on Climbing and Walking Robots (CLAWAR-2008), 08-10 September 2008, Coimbra, Portugal.
2. Luk B., Collie A., Billingsley J. Robug II: An intelligent wall climbing robot // Proc. IEEE Int. Conf. Robotics and Automation. 1991. Vol. 3. P. 2342–2347.
3. Schmidt D., Berns K., Ohr J. Analysis of sliding suction cups for negative pressure adhesion of a robot climbing on concrete walls // Adaptive Mobile Robotics. Proc. of the 15th Int. Conf. on Climbing and Walking Robots (CLAWAR-2012), 23-26 July 2012, Baltimore, USA. P. 813–820.
4. Illingworth L., Reinfeld D. Vortex attractor for planar and non-planar surfaces. U. S.A. Patent 6.619.922, Sept. 16. 2003.
5. Александров В. Ю., Климовский К. К. Оптимальные эжекторы (теория и расчет). М.: Машиностроение, 2012. 136 с.
6. Александров В. Ю., Климовский К. К. Методика расчета газовых эжекторов с цилиндрической камерой смешения // Теплоэнергетика. 2009. № 8.
7. Аркадов Ю. К. Новые газовые эжекторы и эжекционные процессы. М.: Физматлит, 2001. 336 с.
8. Васильев Ю. Н. Теория сверхзвукового газового эжектора с цилиндрической камерой смешения // Лопаточные машины и струйные аппараты. Вып. 2. М.: Машиностроение, 1967.
9. Соколов Е. Я., Зингер И. М. Струйные аппараты. М.: Энергоатомиздат, 1989. 352 с.
10. Успенский В. А., Кузнецов Ю. М. Струйные вакуумные насосы. М.: Машиностроение, 1973. 144 с.
11. Градецкий В. Г. Динамические процессы в миниатюрных мобильных роботах с вакуумным контактом к поверхностям перемещения // Вестник Нижегородского университета им. Н. И. Лобачевского. 2011. № 4. Ч. 2. С. 104–105.
12. Градецкий В. Г., Фомин Л. Ф. Динамические процессы в системах создания вакуума миниатюрных мобильных роботов // Мехатроника, автоматизация, управление. 2013. № 9. С. 10–14.
13. URL: www.camozzi.com
14. Дмитриев В. Н., Градецкий В. Г. Основы пневмоавтоматики. М.: Машиностроение, 1973. 359 с.
15. Попов Д. Н. Нестационарные гидромеханические процессы. М.: Машиностроение, 1982. 238 с.
16. Градецкий В. Г., Князьков М. М., Фомин Л. Ф., Чашухин В. Г. Механика миниатюрных роботов. М.: Наука, 2010. 271 с.
17. Градецкий В. Г., Вешников В. Б., Калинин С. В., Кравчук Л. Н. Управляемое движение мобильных роботов по произвольно ориентированным в пространстве поверхностям. М.: Наука, 2001. 359 с.
18. Градецкий В. Г., Рачков М. Ю. Роботы вертикального перемещения. М.: Изд. ИПМех РАН, 1997. 223 с.
19. Абрамович Г. Н. Прикладная газовая динамика. В 2 ч. Ч. 1: учеб. руководство для вузов. М.: Наука, Гл. ред физ.-мат. лит., 1991. 600 с.
20. Христианович С. А. О расчете эжектора // Механика сплошной среды. М.: Наука, 1981. С. 265–282.
21. Христианович С. А., Рябинков Г. М., Миллионщиков М. Д., Требин Ф. А. Применение эжекторов в газосборных сетях // Механика сплошной среды. М.: Наука, 1981. С. 283–301.

Mobile Robots' Adaptive Contact Devices with Miniature Ejectors

V. G. Gradetsky¹, gradet@ipmnet.ru, M. M. Knyazkov¹,

E. A. Semyonov¹, A. N. Sukhanov^{1,2}, sukhano-artjom@yandex.ru✉

¹ Institute for Problems in Mechanics, RAS, Moscow, 119526, Russian Federation

² Moscow State Technological University STANKIN, Moscow, 127055, Russian Federation

Corresponding author: Sukhanov Artjom N., Junior Researcher, Institute for Problems in Mechanics, RAS, Moscow, 119526, Russian Federation, Postgraduate Student of Moscow State Technological University STANKIN, Moscow, 127055, Russian Federation, e-mail: sukhano-artjom@yandex.ru

Received on November 05, 2015

Accepted on November 12, 2015

For an effective use of the mobile robotic platforms, moving in extreme conditions on unpredictable surfaces of different quality, there is a trend for designing of the robots with pneumatic devices with adaptation to such types of surfaces. The manipulators and mobile robots usually employ the vacuum grippers with an ejector system. However, they should have a smaller and more efficient design for application in the miniature mobile robots. The process of movement of robots over the vertical surfaces demands a reliable contact with those surfaces. Selection of the ejector's operation mode is important. In this paper the authors consider a discrete-step way of the robots' movement and techniques of a reliable contact with the surfaces by means of an ejector. The authors also analyze the basic schemes of the adaptive pneumatic grippers of the wall climbing robots under extreme conditions with unknown properties and quality of the surfaces of motion, and present the results of their experimental investigations. Experimental studies were aimed at identifying the properties of adaptation of the robots to the microporous structures, automatic shut-off valves with bellows and feedback. The calculated ratios for assessment of the pressures in cavities in the vacuum area, as well as a constructive scheme of the adaptive pneumatic gripping devices for the mobile robots, were demonstrated. The results are aimed to ensure maneuverability of the robots moving in extreme conditions on the vertical surfaces and ceilings in the unknown environments.

Keywords: adaptive grippers, basic schemes, miniature ejectors, wall climbing robots

Acknowledgements: The work was supported by the Russian Foundation for Basic Research, project no. 15-08-04117 and the Program of the Presidium of the Russian Academy of Sciences N P-31.

For citation:

Gradetsky V. G., Knyazkov M. M., Semyonov E. A., Sukhanov A. N. Mobile Robots' Adaptive Contact Devices with Miniature Ejectors, *Mekhatronika, Avtomatizatsiya, Upravlenie*, 2016, vol. 17, no. 3. pp. 172–177.

DOI: 10.17587/mau/17.172-177

References

1. Longo D., Muscato G. Adhesion techniques for climbing robots: state of the art and experimental consideration, *Proc. of 11th Int. Conf. on Climbing and Walking Robots (CLAWAR-2008)*, 08–10 September 2008, Coimbra, Portugal.
2. Luk B., Collie A., Billingsley J. Robug II: An intelligent wall climbing robot, *Proc. IEEE Int. Conf. Robotics and Automation*, 1991, vol. 3, pp. 2342–2347.
3. Schmidt D., Berns K., Ohr J. Analysis of sliding suction cups for negative pressure adhesion of a robot climbing on concrete walls, *Adaptive Mobile Robotics. Proc. of the 15th Int. Conf. on Climbing and Walking Robots (CLAWAR-2012)*, 23–26 July 2012, Baltimore, USA, pp. 813–820.
4. Illingworth L., Reinfeld D. Vortex attractor for planar and non-planar surfaces, U. S.A. Patent 6.619.922, Sept. 16, 2003.
5. Aleksandrov V. U., Klimovskij K. K. *Optimal'nye jezhektory (teoriya i raschet)* (Optimal ejectors (Theory and design)), Moscow, Mashinostroenie, 2012, 136 p. (in Russian).
6. Aleksandrov V. U., Klimovskij K. K. *Metodika rascheta gazovyh jezhektorov s cilindricheskoj kameroy smeshenija* (The design technique of gas ejectors with cylindrical mixing chamber), *Teplojenergetika*, 2009, no. 8 (in Russian).
7. Arkadov U. K. *Novye gazovye jezhektory i jezhekcionnye processy* (New gas ejectors and ejection processes), Moscow, Fizmatlit, 2001, 336 p. (in Russian).
8. Vasil'ev U. N. *Teoriya sverhzvukovogo gazovogo jezhektora s cilindricheskoj kameroy smeshenija* (The theory of supersonic gas ejector with cylindrical mixing chamber), *Lopatocnyye Mashiny i Strujnyye Apparaty* (Blade machines and jet devices), vol. 2, Moscow, Mashinostroenie, 1967 (in Russian).

9. Sokolov E. Y., Zinger I. M. *Strujnyye apparaty* (jet devices), Moscow, Jenergoatomizdat, 1989, 352 p. (in Russian).

10. Uspenskij V. A., Kuznecov U. M. *Strujnyye vakuumnnye nasosy* (Jet vacuum pumps), Moscow, Mashinostroenie, 1973. 144 p. (in Russian).

11. Gradeckij V. G. *Dinamicheskie processy v miniatjurnyh mobil'nyh robotah s vakuumnym kontaktom k poverhnostjam peremeshhenija* (Dynamic processes in miniature mobile robots with vacuum contact to the surfaces movement), *Vestnik Nizhegorodskogo Universiteta im. N. I. Lobachevskogo*, 2011, no. 4, vol. 2, pp. 104–105. (in Russian).

12. Gradeckij V. G., Fomin L. F. *Dinamicheskie processy v sistemah sozdaniya vakuuma miniatjurnyh mobil'nyh robotov* (Dynamic processes in miniature mobile robots with vacuum systems), *Mekhatronika, Avtomatizatsiya, Upravlenie*, 2013, no. 9. pp. 10–14 (in Russian).

13. Available at: www.camozzi.com

14. Dmitriev V. N., Gradeckij V. G. *Osnovy pnevmoavtomatiki* (Fundamentals of pneumatic automation), Moscow, Mashinostroenie, 1973. 359 p. (in Russian).

15. Popov D. N. *Nestacionarnye gidromehaneskie processy* (Non-stationary hydrodynamic processes), Moscow, Mashinostroenie, 1982, 238 p. (in Russian).

16. Gradeckij V. G., Knjaz'kov M. M., Fomin L. F., Chashhuhin V. G. *Mekhanika miniatjurnyh robotov* (Mechanics of miniature robots), Moscow, Nauka, 2010, 271 p. (in Russian).

17. Gradeckij V. G., Veshnikov V. B., Kalinichenko S. V., Kravchuk L. N. *Upravljaemoe dvizhenie mobil'nyh robotov po proizvol'no orientirovannym v prostranstve poverhnostjam* (Controlled motion of mobile robots along arbitrarily oriented in space surfaces), Moscow, Nauka, 2001, 359 p. (in Russian).

18. Gradeckij V. G., Rachkov M. U. *Roboty vertikal'nogo pere-meshhenija* (Wall climbing robots), Moscow, Publishing house of IPMeh RAN, 1997. p 223. (in Russian).

19. Abramovich G. N. *Prikladnaja gazovaja dinamika* (Applied gas dynamics), Part 1, Moscow, Nauka, Gl. red fiz.-mat. lit., 1991, 600 p. (in Russian).

20. Hristianovich S. A. *O raschete jezhektora* (the Designing of ejectors), *Mekhanika Sploshnoj Sredy*, Moscow, Nauka, 1981, pp. 265–282 (in Russian).

21. Hristianovich S. A., Rjabinkov G. M., Millionshhikov M. D., Trebin F. A. *Primenenie jezhektorov v gazosbornyh setjah* (The application of ejectors in gas gathering systems), *Mekhanika Sploshnoj Sredy*. Moscow, Nauka, 1981, pp. 283–301 (in Russian).