

УДК 621.865.8

Автоматизований синтез мобільних роботів довільної орієнтації в технологічному просторі

Поліщук М.М., Кузнєцов Ю.М.

КПІ ім. Ігоря Сікорського, м. Київ, Україна

***Анотація.** Дослідження присвячені розробці методології синтезу мобільних роботів довільної орієнтації (РДО) у технологічному просторі з системами втримання мобільних роботів на поверхні переміщення для компенсації гравітаційного та технологічного навантаження. Мобільні РДО відомі також як роботи вертикального переміщення, а в міжнародних виданнях – під терміном *Climber Robot* (альпіністський робот), є новою модифікацією мобільних роботів. Створення даного виду робототехніки продиктоване необхідністю виконання технологічних операцій у таких областях як моніторинг промислових об'єктів, монтаж і демонтаж будівельних конструкцій, ремонт і профілактичне обслуговування їх компонентів, технічне обслуговування висотних будинків міських комунальних господарств, лісових та паркових деревних масивів тощо. Особливу актуальність експлуатація мобільних роботів здобуває в екстремальних умовах техногенних катастроф, небезпечних і навіть неприйнятних для перебування людини.*

В роботі запропоновані конструкції мобільних роботів, що побудовані на нових принципах їх синтезу. У виконаних дослідженнях, крім новітніх патентованих конструкцій мобільних РДО, запропонована стратегія активного синтезу нового класу мобільних роботів, заснованому на принципах економії енергетичних ресурсів та протидії гравітаційному навантаженню.

***Ключові слова:** структурно-параметричний синтез; мобільні роботи; альпіністські роботи; автоматизоване керування; крокуючі механізми*

Вступ. Вирішення проблеми створення мобільних РДО сприяє полегшенню людської праці у сфері обслуговування висотних об'єктів промислових та комунальних господарств і наданню людині функцій дистанційного автоматизованого керування на основі спеціалізованого технологічного забезпечення РДО. Основне завдання створення мобільних РДО в технологічному просторі полягає в синтезі конструкцій і їх приводів для подолання дестабілізуючої гравітаційної складової транспортних і технологічних операцій. Дослідження зі створення роботів довільної орієнтації в просторі почалися в останньому десятилітті ХХ століття в країнах Західної Європи, Японії, США, Південної Кореї, Китаю, Росії і набули особливої актуальності при експлуатації мобільних роботів в екстремальних умовах, неприйнятних для безпосередньої участі людей.

Постановка завдання. Необхідно сформулювати основні принципи синтезу роботів зазначеного типу і надати конструкції їх підсистем, що компенсують або долають гравітаційне навантаження для гарантованого втримання робота на довільно орієнтованій поверхні переміщення при виконанні технологічних операцій. Тому метою справжніх досліджень є розробка принципів синтезу мобільних роботів і реалізація їх сучасними засобами комп'ютерного моделювання для переходу до проектно-конструкторських розробок.

Аналіз досліджень і публікацій. У роботах [1, 2, 3] запропоновані різні конструкції роботів вертикального переміщення, що працюють у Декартовій прямокутній системі координат, у той час як існують промислові об'єкти, наближені до циліндричної системи координат, наприклад, колони, стовпи високовольтних ліній електропередач, труби теплоелектростанцій, дерева й т.п. Технічні розв'язки, запропоновані в роботах [4, 5] дозволяють мобільним роботам виконувати технологічні операції в циліндричній системі координат, однак безліч приводів педипуляторів зазначених роботів збільшують їхню сумарну потужність, а значить і вагу, тобто гравітаційне навантаження. У конструкції робота [6] пропонуються технічні засоби нагромадження й перетворення енергії приводів переміщення, які дозволяють зменшити потужність приводів, а значить і загальну масу робота. Дослідження [7, 8] присвячені динамічному аналізу

приводів роботів вертикального переміщення, однак без зіставлення з максимально можливим технологічним навантаженням. Тому завдання створення мобільних роботів, здатних виконувати виробничі операції в будь-якій системі координат з урахуванням технологічного навантаження, залишається актуальним.

Принципи синтезу мобільних РДО. На відміну від вказаних експериментальних розробок нижче запропоновані конструкції мобільних роботів, що побудовані на нових принципах їх синтезу, а саме: *Принцип 1:* Нагромадження потенціальної енергії на кожній попередній ділянці переміщення й перетворення її в кінетичну енергію руху на наступній ділянці (або наступному кроці) руху. Ефект, що досягається: економія ресурсів автономних джерел живлення за рахунок руху мобільного робота в наслідок перетворення накопиченої енергії в кінетичну енергію на кожній наступній ділянці переміщення. *Принцип 2:* Інтеграції приводів поздовжнього й вертикального переміщення, а також приводів зміни орієнтації робота по заданому маршруту. Ефект, що досягається: зменшення кількості приводів для зниження ваги робота, і як наслідок, зменшення гравітаційного навантаження, що має принципове значення для мобільних роботів саме довільної орієнтації. *Принцип 3:* Застосування аеродинамічної піднімальної сили (на основі генераторів тяги) як засобу протидії гравітаційному навантаженню з метою збільшення технологічного навантаження при одночасному зменшенні потужності приводів руху й зчеплення робота з поверхнею переміщення.

Зазначені напрямки у світовій теорії й практиці експериментальної побудови мобільних роботів дотепер не були досліджені. Зменшення енергетичних витрат підсистем мобільних роботів приводить до зниження їх гравітаційного навантаження в сукупності динамічних навантажень, як технологічних так і транспортних. В остаточному підсумку реалізація даного методологічного підходу забезпечує надійність втримання мобільних роботів РДО незалежно від топології поверхні переміщення й виду технологічних операцій, параметри яких, однак, домінують у загальній динаміці мобільного робота.

Конструкції мобільних РДО. На основі розробленого підходу до синтезу мобільних роботів створені нові модифікації мобільних засобів в галузі робототехніки. Отримані технічні розв'язки дозволяють роботам виконувати технологічні операції при переміщенні по поверхнях довільної орієнтації в різних системах координат при довільній топології поверхонь руху робота. У якості прикладу на рис. 1 показана конструкція мобільного РДО, створеного за першим із вище вказаних принципів (патенти UA № 111021 та № 121432). Робот містить газовий або пружинний модуль накопичувач потенціальної енергії на кожній попередній ділянці переміщення й перетворення її в кінетичну енергію руху на наступній ділянці (або наступному кроці) руху. Накопичення потенціальної енергії відбувається за рахунок стиснення газу в камері діаметром D довжиною L або стиснення пружинного елемента на величину « x » при обертанні педіпуляторів робота на кут β_1 двигунами $M_{1,2}$. На другому кроці руху вказані двигуни вимикаються і робот рухається за рахунок перетворення потенціальної енергії в кінетичну енергію руху. Таким чином відбувається економія ресурсів автономних джерел живлення, що принципово важливо саме для мобільних РДО. На рис. 2 надано приклад мобільного робота за другим принципом синтезу з інтегрованими приводами гнучких педіпуляторів [9], усередині яких розміщені гофровані трубопроводи в різних площинах системи координат. За рахунок створення різниці тиску (газу або рідини) в трубопроводах педіпулятори вигинаються в різноманітних напрямках, тим самим переміщуючи робота по поверхні довільної орієнтації в технологічному просторі. Таким чином усувається необхідність оснащення педіпуляторів робота окремими двигунами по кожному ступеню свободи, що суттєво зменшує його вагу, а значить і гравітаційне навантаження.

Мобільний робот, створений за третім принципом синтезу (патент UA 120410), тобто з генератором аеродинамічної піднімальної сили R , як засобу протидії гравітаційному навантаженню G представлено на рис. 3. Завдяки тому, що генератор пневматичної тяги встановлено

на Кардановому підвісі з кутами оберту α_x , α_y , α_z навколо відповідних осей системи координат XYZ, робот має можливість компенсації гравітаційного навантаження при будь-якому куті $0^\circ < \alpha < 180^\circ$ нахилу його до обр'ю поверхні довільної орієнтації.

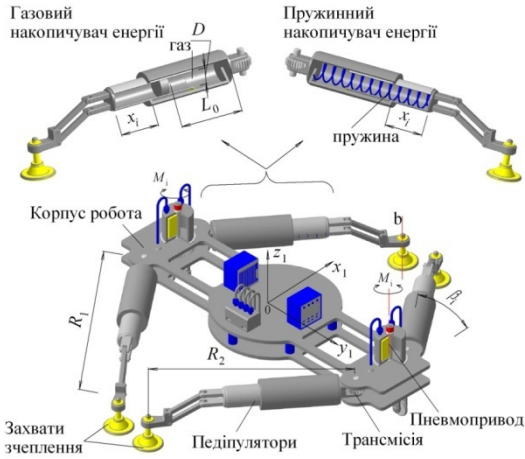


Рис. 1. Робот довільної орієнтації з модулями накопичення та перетворення енергії руху

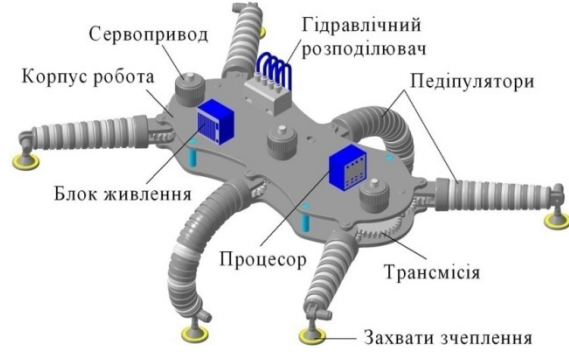


Рис. 2. Загальний вид мобільного робота довільної орієнтації з інтегрованими приводами

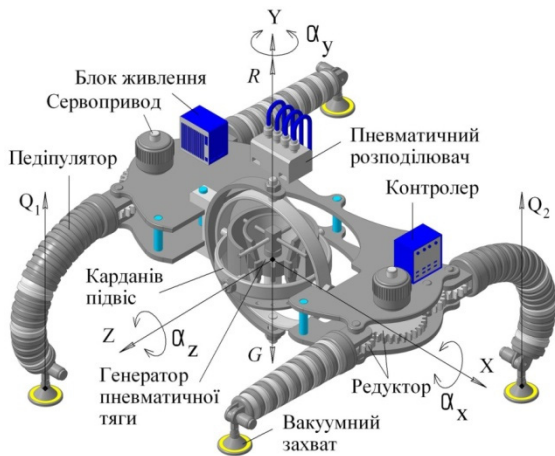


Рис. 3. Мобільний робот з генератором пневматичної тяги на Кардановому підвісі

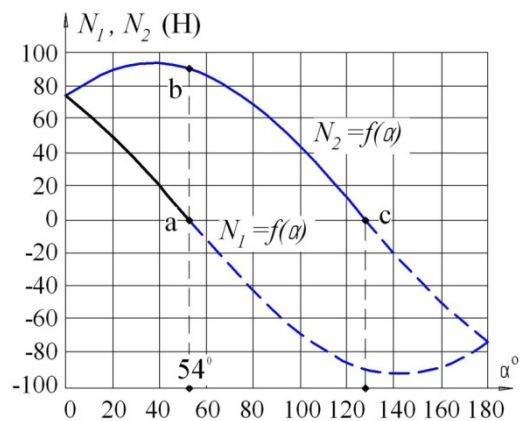


Рис. 4. Графіки залежності нормальних реакцій N_1 , N_2 опор педипуляторів робота від кута α його нахилу до обр'ю

Що стосується пристроїв зчеплення роботів з поверхнею переміщення, то вони можуть бути різноманітними, а саме: механічними, вакуумними, електромагнітними чи на основі адгезії залежно від фізико-механічних властивостей поверхні переміщення.

Проведені експериментальні дослідження керування технологічними режимами аеродинамічної піднімальної сили як засобу протидії гравітаційному навантаженню, підтверджують доцільність технічних розв'язок мобільних РДО з метою збільшення їх технологічного навантаження. Кут α нахилу мобільного робота до обр'ю технологічного простору може змінюватись у межах $0 \leq \alpha \leq 180^\circ$. Як видно із графіків рис. 4 при певних характеристиках робота обидві реакції N_1 і N_2 опору ніг робота додатні до значення кута нахилу поверхні переміщення $\alpha \leq 54^\circ$ (на графіках позначено точками «а» і «b»). Це означає, що включення генератора реактивної тяги необхідне при куті нахилу робота до обр'ю $\alpha \geq 54^\circ$, незважаючи на те, що друга

сила реакції N_2 , на відміну від першої N_1 , стає негативною тільки коли $\alpha \geq 128^\circ$ (точка «с»). Тому для забезпечення надійності втримання робота, щоб не допустити відрив хоча б однієї з його ніг, необхідне включення генератора тяги вже при нахилі робота до обр'ю $\alpha \geq 54^\circ$. Безумовно, значення критичного кута нахилу площі переміщення робота, тобто коли ноги робота починають проковзувати, буде змінюватися при інших масово-центрувальних характеристиках робота, але це не змінює сутність автоматизованого керування генератором тяги мобільного РДО.

Реалізація зазначених модифікацій мобільних роботів сприяє зменшенню сумарної потужності приводів і підвищенню надійності втримання роботів на поверхні довільної орієнтації в технологічному просторі. Це, в свою чергу, дозволить створити досить ефективні засоби для технічного обслуговування промислових і господарських об'єктів в екстремальних умовах, небезпечних для перебування людини, залишаючи для неї функції дистанційного керування.

Висновки

Створення засобів нагромадження потенціальної енергії приводів з наступним її перетворенням у кінетичну енергію руху робота, а також інтеграція приводів поздовжнього й вертикального переміщення, надає можливість суттєво зменшити сумарну потужність, що має принципове значення для мобільних роботів довільної орієнтації в просторі, тому що забезпечує зниження гравітаційного навантаження.

Застосування пневматичного генератора тяги, як засобу протидії гравітаційній силі, дозволяє при регулюванні сили тяги залежно від кута нахилу робота до обр'ю, підвищити надійність утримання робота на поверхні довільної орієнтації, що, у свою чергу, надає можливість зменшенню потужності приводів зчеплення робота з поверхнею переміщення.

Пропонований підхід синтезу мобільних РДО дозволяє за рахунок зменшення сумарної потужності приводів (скорочуючи їх число) пропорційно зменшити вагу робота, а звільнений енергетичний ресурс направити на підвищення ефективності виконання як транспортних, так і технологічних операцій, що виконуються мобільними роботами у різних областях промисловості.

Список літератури

1. Raju D. Dethе, Jaju S.B. Developments in wall climbing robots: a review. *International journal of engineering research and general science*. Volume 2, issue 3, 2014. ISSN 2091-2730. p. 37–42.
2. Apostolescu T.C., Udrea C., Duminiсa D., et al. Development of a climbing robot with vacuum attachment cups. *Mechanical engineering and new high-tech products development*. 2011. Vol. 3, с. 258–267.
3. Shamim Hasan, Khalid Hossain Jewel, Niaz Mostakim, Nabil Hossain Bhuiyan, M.K. Rahman, Sheikh
4. Dobir Hossain, Khalid Hossain, Smartphone Controlled Spy Robot with Video Transmission and Object Collector, *International Journal of Engineering and Manufacturing (IJEM)*, 2017, Vol.7, No.6, pp.50-58.
5. Tin Lun Lam, Yangsheng Xu. *Tree Climbing Robot: Design, Kinematics and Motion Planning*. Springer Heidelberg, New York, 2012, p. 37– 46.
6. Saunders A., Goldman D.I., Full R.J. and Buehler M. The RiSE Climbing Robot: Body and Leg Design. Boston Dynamics, Unmanned Systems Technology VIII. Proc. of SPIE Vol. 6230. 2005. p.13.
7. Ямпольський Л.С., Поліщук М.М., Персиков В.К. Спосіб переміщення педіпуляторів крокуючого робота та пристрій для його здійснення: пат. 111021. Україна: МПК В62D57/032. № 201411741; заявл. 30.10.2014; опубл. 10.03.2016, Бюл. № 5. 10 с.
8. Дышенко В. С. Исследование динамики мобильного робота для перемещения по вертикальным поверхностям: дис. канд. техн. наук: 01.02.06 / Дышенко В. С. Курск, 2006. 135 с.
9. Chernous'ko F.L., Bolotnik N.N. and Gradetskii V.G.. Mobil'nye roboty: issledovaniya, razrabotki, perspektivy. Available: <http://www.ras.ru/news/shownews.aspx?id=f5c75bcf-2fa5-40e6-b067-4492c5ab22&print=1>. Last accessed 20 iyulya 2018.
10. Polishchuk M., Opashnianskyi N., Suyazov. Walking Mobile Robot of Arbitrary Orientation. *International Journal of Engineering and Manufacturing (IJEM)*. 2018. Vol.8, No.3. pp.1–11.

Automated synthesis of mobile robots of arbitrary orientation in the technological space

Polishchuk M.M., Kuznetsov Yu.M.

Abstract. The research is devoted to the solution to the development of a methodology for the synthesis of mobile robots of arbitrary orientation in the technological space with systems for holding mobile robots on the moving surface to compensate for the gravitational and technological load. Mobile robots, also known in international publications as Climber Robot, are a new modification of mobile robots. The creation of this type of robotics is dictated by the need to perform technological operations in such areas as monitoring industrial facilities, erection and dismantling of building structures, repair and preventive maintenance of their components, maintenance of high-rise buildings of urban utilities, forest and park woodlands, etc. The operation of mobile robots acquires particular relevance in the extreme conditions of man-made disasters, which are dangerous and even unacceptable for a person's stay.

The paper proposes designs of mobile robots, which are based on new principles of their synthesis. In the performed studies, in addition to the latest patented designs of mobile robots, a strategy of active synthesis of a new class of mobile robots is proposed.

Keywords: structural-parametric synthesis; mobile robots; climbing work; automated control; walking mechanisms