

В.Б. Струтинський, д.т.н., професор,
Ю.М. Данильченко, д.т.н., професор,
Ю.Й. Бесарабець, к.т.н., доцент,
О.А. Плівак, зав. лаб.,
В.С. Павлун, студентка,

*Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського»*

СПЕЦІАЛЬНІ НАЗЕМНІ РОБОТИЗОВАНІ КОМПЛЕКСИ ДЛЯ РЕАЛІЗАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЇ РОЗМІНУВАННЯ НА ОСНОВІ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ

Значна територія України замінована або насичена вибухонебезпечними об'єктами. Тому розроблення засобів ефективного розмінування місцевості є актуальною науково-технічною проблемою. На сьогодні у світі є досить багато способів і різноманітних систем, призначених для вирішення проблем гуманітарного розмінування. Перспективним є розроблення технології дистанційного виявлення мін на основі автоматизованого аналізу матеріалів зйомки з безпілотних літальних апаратів [1] на базі штучного інтелекту, що повністю відповідає і світовим тенденціям [2]. Застосовуються також і мобільні наземні роботизовані системи і комплекси з різним ступенем автономності [3], але безпечність їх використання технологічно обмежена ефективністю методів виявлення мін та міноподібних об'єктів [4]. З іншого боку, мобільні наземні роботизовані системи можуть бути використаними для додаткового наземного дообстеження «проблемних» ділянок місцезоміщення вибухонебезпечних предметів, виявлених на основі автоматизованого аналізу матеріалів зйомки, тобто увійти до складу інтелектуальної гнучкої робототехнічної системи розмінування [2], сформованої на базі уніфікованих підсистем міжтипового призначення [4].

Сучасні наземні роботизовані комплекси розмінування [5] забезпечують пошук, ідентифікацію небезпечних об'єктів та їх знешкодження [6]. Роботизовані комплекси розмінування мають рухома платформу з колісним або гусеничним шасі та маніпулятор. Застосовуються маніпулятори різного виду, зокрема пристрої з паралельними кінематичними зв'язками [7]. Для таких комплексів розроблені та досліджені різноманітні схемні і конструктивні рішення маніпуляторів, а також створені системи їх керування [8]. Але підвищення безпечності використання роботизованих комплексів розмінування потребує застосування нових підходів до їх конструювання як з позиції зменшення навантаження на ґрунт, так і віддаленості рухомої платформи від зони обстеження.

Запропонована технологія розмінування на основі штучного інтелекту включає багатоелементну систему пошуку та знешкодження мін і боєприпасів, яка реалізується спеціальними наземними роботизованими комплексами, оснащеними надлегкими маніпуляторами (масою до 5 кг) з розширеним робочим простором та віддаленою зоною обслуговування (4..8 м) (рис.1).

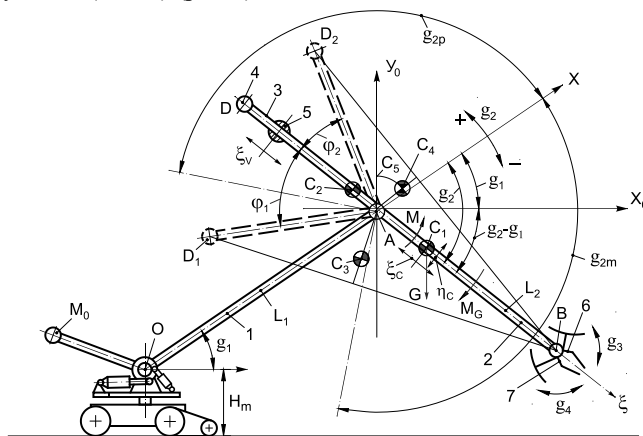


Рис. 1. Схема розробленого спеціального наземного роботизованого комплексу, оснащеного надлегким маніпулятором з розширеним робочим простором для реалізації технології розмінування на основі штучного інтелекту

Маніпулятор має важелі 1 і 2 значної довжини (2..3 м), з'єднані шарніром А. Маніпулятор в цілому статично врівноважується відносно вісі повороту О балансиrom із масою М0. Важіль 2 має індивідуальну систему статичного та динамічного врівноваження у вигляді балансира, що включає штангу 3, жорстко з'єднану з важелем 2. На кінці штанги 3 розміщено інерційний демпфер коливаний 4, а на самій штанзі встановлено вантаж 5, виконаний з можливістю переміщення ζ_v в напрямку вісі штанги та фіксації у необхідному місці штанги.

Особливістю розробленого спеціального наземного роботизованого комплексу є централізація силових систем і приводів маніпулятора на шасі роботизованого комплексу із формуванням каналів передачі потужності до вузлів маніпуляторів у вигляді механічних трансмісій на базі мінітросових систем, що використовують надміцні кевларові троси малого діаметру, а також вбудовані пневмокомунікації та електричні і оптоволоконні кабельні системи. Механічні трансмісії проходять в порожнинах важелів 1 і 2 та в шарнірі А.

На кінці важеля 2 в точці В встановлено подвійний шарнір із рухомими пальцями схвату 6 і 7, на яких встановлені опукле та увігнуте дзеркала для візуального огляду місцевості. На пальцях схвату встановлюються

оптичні, термічні, тактильні, ударні, акустичні та інші пристрої знаходження мін та інших небезпечних об'єктів (на рисунку не показані).

Надлегкий маніпулятор з розширеним робочим простором має систему статичного врівноваження важелів. Це забезпечує можливість роботи маніпулятора у віддаленій зоні обслуговування (4..8 м). Передбачена система динамічного врівноваження важеля 2 та демпфування коливань окремих вузлів і елементів маніпулятора. При роботі системи автоматично змінюється розподіл мас відносно осей обертання шарнірів. Із врахуванням наявності балансира, загальний центр мас важеля 2 знаходиться в точці C_1 та має невелике зміщення у напрямках ζ_C та ζ_C , обумовлене переміщенням пальців схвату. Центр мас важеля 2 може бути автоматично зміщений по вісі важеля переміщенням ζ вантажу 5. Центр мас буде знаходитись між крайніми положеннями C_1 та C_2 і в ідеальному випадку попадає на вісь шарніра А. При цьому буде мати місце повне статичне і динамічне врівноваження системи важеля 2.

Цілеспрямований перерозподіл мас надлегкого маніпулятора забезпечується на основі запропонованих методів аналізу нечітко визначених тензорних полів тензорів моментів інерції протяжних пружно-деформованих елементів важільної системи маніпуляторів, запропонованих нових методів спектрального аналізу тензорних полів тензорів моментів інерції із встановленням областей сингулярності тензорного поля пружно-деформованих елементів маніпулятора та розкладу тензорного поля в околиці області сингулярності в ряди Тейлора із застосуванням спеціально введених синусоїдальних тензорних полів, утворених тензорами другого, третього і вищих рангів для побудови оптимальних з точки зору інерційності динамічних систем надлегких маніпуляторів [9].

Розроблені системи активного перерозподілу мас базуються на використанні впливу сил інерції переносних рухів (сил Коріоліса) на пружну систему маніпулятора. При цьому змінюються параметри тензорного поля тензорів моментів інерції (тензори другого рангу), що визначають інерційні властивості пружно-деформованих вузлів маніпулятора з обчисленням тензорів градієнтів (тензори третього рангу) та їх використання для корекції параметрів тензорів моментів інерції основних вузлів маніпулятора. Проведено теоретичне обґрунтування ефективності застосування сил Коріоліса для підвищення якості систем керування надлегких маніпуляторів, поліпшення їх статичних і динамічних характеристик.

Підвищення показників якості та надійності роботи надлегких маніпуляторів здійснено введенням спеціальних механізмів фіксації та гальмування рухомих ланок маніпуляторів, демпферних систем, механізмів введення системи паралельних кінематичних зв'язків у важільних системах маніпуляторів, механізмів натягу та фіксації положення тросів малого діаметру, механізмів стабілізації зусиль в тросових системах, механізмів акселерації переміщення тросів та засобів виміру натягу тросів, механізмів імпульсної передачі потужності на базі мінітросових систем. Забезпечено підвищення ефективності мінітросових систем на основі проведених теоретичних досліджень із застосуванням багатовимірних стохастичних символічних (узагальнених) функцій для розв'язку задач аналізу і синтезу різномасштабних процесів, що мають місце в мінітросових трансмісіях для передачі потужності.

Розроблені пристрої спрямування руху тросів, зміни їх напрямку, пристрої об'єднання тросів у пасма (пакети) та розділення пакетів тросів на окремі складові. Розроблені статичні силові (шпренгельні) мінітросові системи для забезпечення необхідних параметрів міцності та жорсткості важелів надлегких маніпуляторів. Також запропоновані динамічні мінітросові системи аналогової та імпульсної дії для передачі потужності на окремі вузли маніпуляторів, розміщені у віддаленій зоні обслуговування. Здійснена постановка і розв'язок задач статистичної динаміки попередньо напружених мінітросових систем різноманітної просторової структури.

Розроблені інноваційні системи динамічної стабілізації надлегких маніпуляторів з використанням гіроскопів, встановлених на важелях. При цьому обертання гіроскопів здійснюється за допомогою імпульсних приводів із застосуванням мінітросових трансмісій. На важелях також встановлюються аеродинамічні пропелерні пристрої, побудовані за коптерним принципом для підвищення вантажопідйомності та стабілізації положення маніпуляторів при дії вітрових навантажень. Схемні і конструктивні рішення маніпулятора та його елементів планується уточнити за результатами досліджень експериментального зразка маніпулятора.

Розроблено методи пошуку та знешкодження мін та боєприпасів пристроями надлегких маніпуляторів із віддаленою зоною обслуговування. Запропоновані спеціальні якорі-кішки розмінування, адаптовані до надлегких маніпуляторів, імітатори ходи людини, динамічні вібраційні та ударні пристрої маніпуляторів. Розроблені способи видалення вибухонебезпечних предметів із зони обслуговування маніпулятора спеціально розробленими захватними пристроями. Окремі способи знешкодження мін обґрунтовані і перевірені експериментально [10]. Запропоновано інноваційне схемне рішення наземного роботизованого комплексу, оснащеного маніпулятором, який має приводи важелів та прецизійні приводи мікропереміщень у вигляді механізму-гексаподу ([11], рис. 2,а).

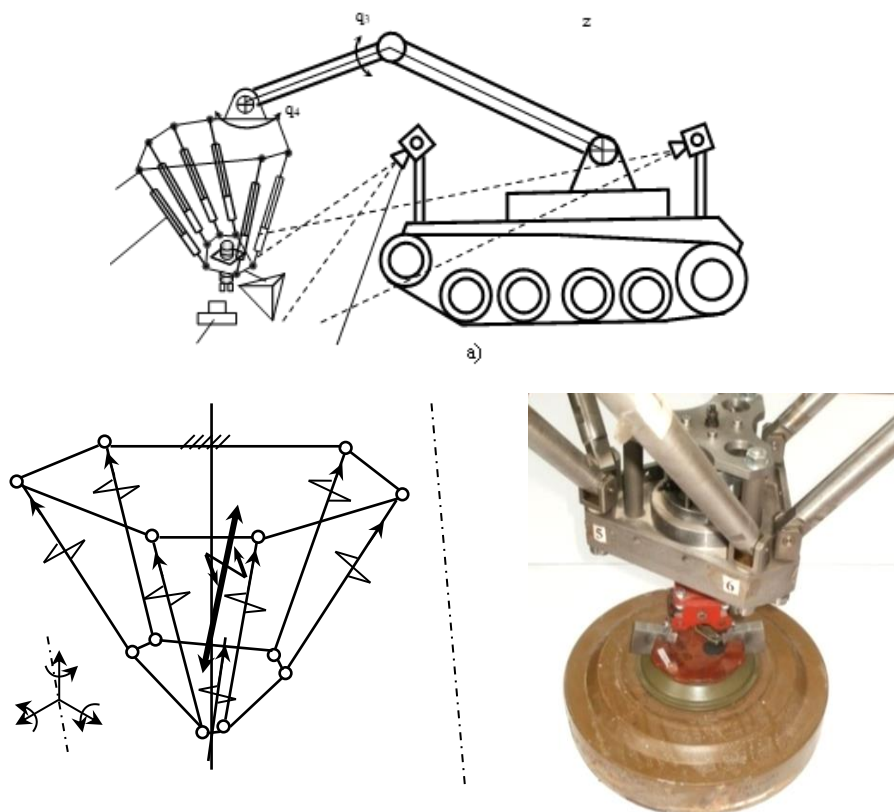


Рис. 2. Схема наземного роботизованого комплексу, що має гібридну систему приводів маніпулятора для роботи з небезпечними об'єктами (а), сприйняття зовнішніх навантажень стрижневою системою механізму-гексаподу (б) та захватний пристрій, використаний для експериментального визначення моментів закручування та відгинчування підривача протитанкової міни (в).

Висновки

1. Запропоновані спеціальні наземні роботизовані комплекси, оснащені надлегкими маніпуляторами з розширеним робочим простором та віддаленою зоною обслуговування для реалізації технології розмінування на основі штучного інтелекту є ефективним доповненням до технології дистанційного виявлення мін на основі автоматизованого аналізу матеріалів зйомки з безпілотних літальних апаратів.
2. Технології розмінування на базі штучного інтелекту, що використовують надлегкі маніпулятори з віддаленою зоною обслуговування при своєму подальшому розвитку дадуть надійні і ефективні засоби пошуку та знешкодження вибухонебезпечних об'єктів.
3. Обґрунтування та експериментальна перевірка запропонованих способів знешкодження мін маніпуляторами роботизованих комплексів підтвердила їх ефективність.
4. Основним напрямком подальших досліджень є вдосконалення конструкції та експериментальна перевірка надлегких маніпуляторів з розширеним робочим простором та віддаленою зоною обслуговування.

Література:

1. Попов М.О. Технологія дистанційного виявлення мін на основі аналізу матеріалів зйомки з безпілотних літальних апаратів: стан та перспективи: Стенограма доповіді на засіданні Президії НАН України 6 квітня 2022 року. Вісник НАН України. 2022, №5 - С 56–62. <https://doi.org/10.15407/visn2022.05.056>
2. Swett, V.A., Hahn, E.N., Llorens, A.J. (2021). Designing Robots for the Battlefield: State of the Art. In: von Braun, J., S. Archer, M., Reichberg, G.M., Sánchez Sorondo, M. (eds) Robotics, AI, and Humanity. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-54173-6_11
3. Marques, L., Almeida, A. T. de, Armada, M., Fernández, R., Franceschi, H. M., González, P. D., & Baudoin, Y. (2016). State of the Art Review on Mobile Robots and Manipulators for Humanitarian Demining. <http://ridda2.utp.ac.pa/handle/123456789/2401>.
4. Кириленко В.А. Глобальна проблема розмінування: стан та підходи до розв'язання / В.А. Кириленко, В.Р. Нероба //Збірник наукових праць Центру воєнно-стратегічних досліджень НУОУ імені Івана Черняхівського. 2019, №2(66) – С. 115-119. <https://doi.org/10.33099/2304-2745/2019-2-66/115-119>
5. Petrișor, S.M., Simion, M. (2021). Aspects Regarding the Elaboration of the Geometric, Kinematic and Organological Study of a Robotic Technological Product “Humanitarian PetSim Robot” Used as an Avant-Garde Element of the Human Factor in High Risk Areas. In: Arai, K., Kapoor, S., Bhatia, R. (eds) Intelligent Systems and Applications. IntelliSys 2020. Advances in Intelligent Systems and Computing, vol 1250. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-55180-3_24

6. Jaradat, M.A., Bani-Salim, M. & Awad, F. A Highly-Maneuverable Demining Autonomous Robot: an Over-Actuated Design. *J Intell Robot Syst* 90, 65–80 (2018). <https://doi.org/10.1007/s10846-017-0654-y>
7. Кропивний О.О. Кінематичні залежності двокоординатного механізму паралельної структури з поворотним кріпленням шарнірів штанг змінної довжини / О. О. Кропивний, А. І. Гречка, А. М. Кириченко, К. К. Щербина // Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки. - 2022. - Вип. 5(2). - С. 22-30. [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.5\(36\).2.22-30](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.5(36).2.22-30)
8. Дмитрієв Д.О. Функціональні можливості і керування просторовими системами приводів для різних технологічних задач / Д. О. Дмитрієв, С. А. Русанов, Д. Д. Федорчук // Вісник Херсонського національного технічного університету. 2019. № 2(1). – С. 48-54. ISSN 2078-4481 <https://journals.kntu.net.ua/index.php/visnyk/article/view/400>
9. Струтинський, В. Б. Наземні роботизовані комплекси: монографія /Струтинський В. Б., Гуржій А. М. - Житомир : ПП «Рута», 2023. - 497 с. <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/57111>
10. Strutynsky, V., Kotsiuruba, V., Dovhopoliy, A., Husliakov, O., Budianu, R., Kolos, O., & Hrechka, I. (2019). Substantiating the requirements to functional indicators for the manipulators of mobile robotic demining complexes. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5/7(101), p.p. 42–50. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.178466>
11. Мобільний робототехнічний комплекс з дистанційним керуванням: пат. 127035 Україна: В25J 5/00, В25J 9/00, В25J 5/02 (2006.01), В25J 9/06 (2006.01), В25J 19/00, В25J 19/04 (2006.01) / В.Б. Струтинський; А.М. Гуржій; С.Ю.Вакулєнко; В.В. Новак. - № а201908587; заявл. 18.07.2019; опубл. 22.033.2023, Бюл. № 12/2023.