

Хазанович Ю.Ю.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Киричук Ю.В.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Черепанська І.Ю.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

СУЧАСНИЙ СТАН ПРОБЛЕМИ СИНТЕЗУ КРОКУЮЧИХ МОБІЛЬНИХ РОБОТІВ

Синтез мобільних роботів (МР) можна вважати актуальним напрямком розвитку сучасної робототехніки, їх характерною особливістю є здатність МР виконувати, як рухомі функції аналогічні функціям людини, так і реалізовувати планування рухів та їх здійснення у тримірному нетермінованому просторі. Досягнення сучасності у галузі синтезу МР можна вважати вагомими, оскільки це підтверджується низкою наукових досліджень, як у вітчизняній, так і у світовій науці, що висвітлюють, як конструкцію, алгоритми роботи і керування, так і функціональне призначення та можливість МР. При цьому, не зважаючи на значні наукові та реальні практичні досягнення у цій галузі, можливо стверджувати, що важлива науково-технічна проблема побудови МР ще не вичерпана повністю.

Проаналізовані в даній роботі принципи синтезу МР, дозволяють стверджувати по відсутності загального методологічного підходу. Наслідком є різні погляди науковців та/або виробників щодо принципів, методів і технологій синтезу МР та застосування їх на власний розсуд для розв'язання конкретних задач. В той же час це є маркером, що сфера МР знаходиться у стадії стрімкого розвитку.

Також слід зазначити, що спостерігається певна позитивна тенденція яка проявляється у спробах сучасних науковців створити теоретичної основи для опису методики параметричного синтезу МР та використання ідентичних математичних апаратів для вирішення задачі кінематики та використанні рівнянь Лагранжа для опису динамічної моделі МР.

На основі аналізу останніх досліджень і публікацій здійсненого в даній роботі було зроблено висновки щодо сучасного стану проблеми синтезу МР. Також приводиться класифікація крокуючих МР за їх конструктивними особливостями, функціональним призначенням, математичними моделями динаміки та кінематики, алгоритмами керування та галузями застосування.

Ключові слова: крокуючий мобільний робот, крокуюча мобільна платформа, крокуючі механізми, квадропод, гексапод, октопод, робопавук, павук робот, математична модель, робототехнічні системи, автоматизація.

Постановка проблеми. Синтез мобільних роботів (МР) є одним із новітніх та актуальних напрямків розвитку сучасної робототехніки, характерною особливістю яких є здатність не тільки до виконання рухомих функцій аналогічних функціям людини, але й здатність до планування рухів у тримірному недетермінованому просторі. Сучасні досягнення у галузі синтезу МР досить вагомі, про що свідчить значна низка наукових досліджень у цій галузі, а також досить різноманітний ринок МР. Аналізуючи принципи синтезу та роботи МР очевидно, що всі вони мають різні

принципи побудови та алгоритми роботи і керування, точність, швидкість, функціональне призначення і можливості.

При цьому, не зважаючи на значні наукові та реальні практичні досягнення у цій галузі, важлива науково-технічна проблема побудови МР ще не вичерпана повністю. Для розвитку МР, як явища системного методологічного підходу для керування їх синтезом, слід враховувати досвід вчених із вітчизняної та світової науки.

Мета статті – проаналізувати відомі праці, що присвячені проблематиці синтезу крокуючих

МР та виявити системність їх синтезу, з огляду на стрімкий розвиток, робототехніки, у тому числі крокуючих МР та автоматизації в цілому.

Аналіз останніх досліджень і публікацій вказує, що на сьогоднішній день існує множина різноманітних МР, що використовуються у різних галузях діяльності людини. При цьому необхідно відмітити, що у роботах вітчизняних [5–15] та світових науковців [16–25] відсутній системний методологічний підхід щодо синтезу МР [5].

Відсутність системного методологічного підходу можна інтерпретувати двояко, оскільки одночасно це є маркером, що сфера крокуючих МР знаходиться у стадії стрімкого розвитку. В той же час, даний факт вказує на відсутність загального методологічного підходу, що призводить до того, що кожен науковець та/або виробник по різному бачить принципи, методи і технології синтезу МР та застосовує їх на власний розсуд для розв'язання конкретних задач. Так у роботах [6–9] проведено аналіз сучасних конструкцій роботизованих пристроїв для обрізки дерев та наводиться опис конструкції МР довільної орієнтації на стовбурах дерев (рис. 1).

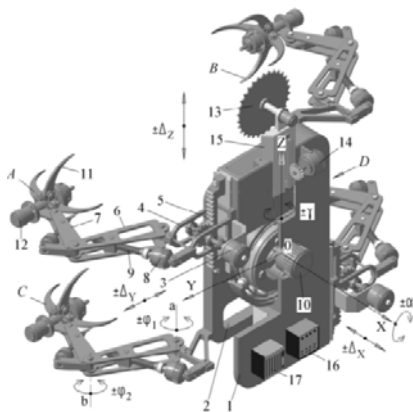


Рис. 1. МР для обрізки дерев, де 1 – верхня платформа, 2 – нижня платформа, 3 – двигун, 4 – шестірня, 5 – зубчаста рейка, 6 – стегно кінцівки МР, 7 – гомілки кінцівка МР, 8 – двигун керування кінцівкою МР, 9 – самогальмуючі гвинти, 10 – привід обертання, 11 – важелів-пазурі А, D і В, С, 12 – двигуни керування важелів-пазурів А, D і В, С, 13 – дискова пила, 14 – електромеханічний привід, 15 – каретка, 16 – бортовий комп'ютер, 17 – акумуляторна батарея [6]

Статті [6, 7] пропонують методику параметричного синтезу МР із рекомендаціями для синтезу крокуючих механізмів, що формує зв'язки між критеріями оптимізації та незалежними змінними всередині цільових функцій, а також зв'язок власне цільових функцій на різних рівнях МР. Серед особливостей та переваг методики параметричного

синтезу МР необхідно відмітити те, що вона є багатоетапною та містить чотири рівні, а її наявність як така значно спрощує впровадження МР у сфери обслуговування, як лісних та паркових деревних масивів, так і плодоовочевих господарств, а отже і автоматизацію процесу синтезу МР. Проте, представлена у статтях [6, 7] методика параметричного синтезу МР має низку недоліків, які полягають у тому, що вона має обмежене застосування і призначена для певних МР, а отже можна стверджувати про відсутність універсальності.

В роботах [10, 11] описана антропоморфна конструкція МР (рис. 2), що зменшує кількість приводів кінематичного ланцюга за рахунок уніфікації конструкції кінцівок, поєднання єдиного електродвигуна, герметичних камер кінцівки МР стегна і гомілки та кабельної передачі від зазначеного двигуна для згинання кінцівок МР. Стискання герметичних камер відбувається за рахунок власної ваги. В конструкції реалізована рекуперація енергії внаслідок стискання газу в газових камерах в процесі руху МР та гідравлічні амортизатори, що дозволяють компенсувати ударні навантаження викликані пересуванням МР. Використанні для опису динамічної моделі рівнянь Лагранжа в даній роботі можна розглядати, як тенденцією до синтезу МР.

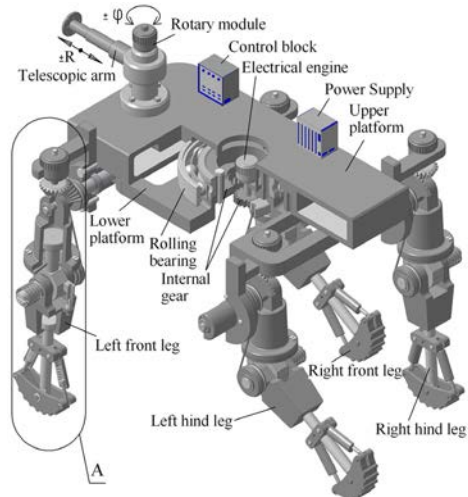


Рис. 2. Загальний вигляд антропоморфного крокуючого МР у чверті

Статті [12–15] пропонують використання крокуючого МР – гексаподу для контролю стану технічних сухих каналів, вентиляційних шахт та інших замкнутих просторів. Якщо в роботі [12] наводиться концепція крокуючого МР, то в роботі [13] запропоновано та розроблено схему системи живлення, яка поділяється на силову та вимірну частини електроніки МР.

У статтях [14, 15] наведено розроблений алгоритм обертання для двоногій та триногій ходи МР в обмеженому просторі. Алгоритм базується на Алгоритмі, який базується на основі матриць станів [14, 15] (рис. 3).

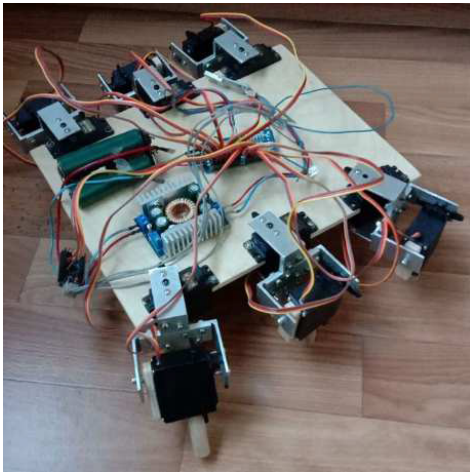


Рис. 3. Конструкція досліджуваного МР [15]

Автори статей [14, 15] стверджують про можливість використання алгоритму для різних за конструкцією МР (квадропод, гексапод, октопод). В процесі створення даного алгоритму вирішувались задачі статичної стійкості за рахунок модифікації матриці положення стану кінцівки. Також у літературі [14, 15] запропоновано ввести матрицю буферних станів кінцівок, для забезпечення запам'ятовування МР положення кінцівок у просторі у випадку відмови або не коректної роботи однієї чи декількох кінцівок. Матриця буферних станів дозволить продовжити рух МР або забезпечить його повернення у вихідну позицію для зміни маршруту пересування. Автори статей [14, 15] вказують на те, що виконані роботи в майбутньому можуть бути покладені в основу загальної методики параметричного синтезу, проте саму методику, як таку, не наводять, що в цілому вказує на обмеженість та декларативність наведеної інформації і унеможливорює її повноцінне використання іншими науковцями. Наведене вказує на очевидну відсутність системності щодо синтезу МР.

У статті [16] описані рівняння кінематики МР – гексапода, що представлені у матричній формі з використанням принципу обертання системи координат. Для опису динамічної моделі в даній роботі були використані рівняння Лагранжа, проте рух всього МР не розглядається. Отримано параметри оптимального руху на основі аналізу кінетичної енергії кінцівки МР (рис. 4).

Очевидно, що стійкою тенденцією у статті [10, 16] при синтезі МР є використання рівнянь Лагранжа для опису динаміки моделі.



Рис. 4. Загальний вигляд крокуючого МР-гексапода

Робота [17] описує математичну модель кінематики руху крокуючого павукopodobного МР за допомогою моделі Денавіта-Хартенберга, що дозволяє розв'язати пряму та обернену задачі кінематики крокуючого МР (рис. 5). Отримані результати надають можливість визначення положення механічної кінцівки у просторі за умови певних кутів повороту зчленувань кінцівки роботу, схематичне подання конструкції МР. Використання моделі Денавіта-Хартенберга у статті [17] дозволяє говорити про загальну тенденцію і деяку систематизацію підходу щодо синтезу МР.

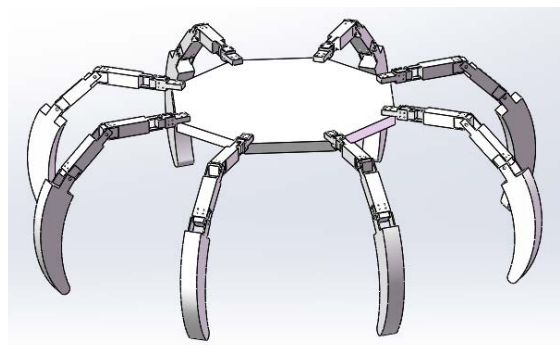


Рис. 5. Схематичне подання конструкції крокуючого МР

У статтях [18, 19] описуються процес пошуку загального підходу для розробки крокуючої системи-платформи, що здатна здійснювати багатоспрямовані стрибкові рухи. Так у статті [18] наводяться результати експериментів щодо визначення працездатності алгоритму керування МР (рис. 6) при реалізації багатоспрямованих стрибкових рухів для перевірки кінематики багатоспрямованого стрибкового руху, що дозволяє йому обминати перешкоди в процесі руху. Це забезпечує стабільність багатоспрямованих стрибкових рухів МР.

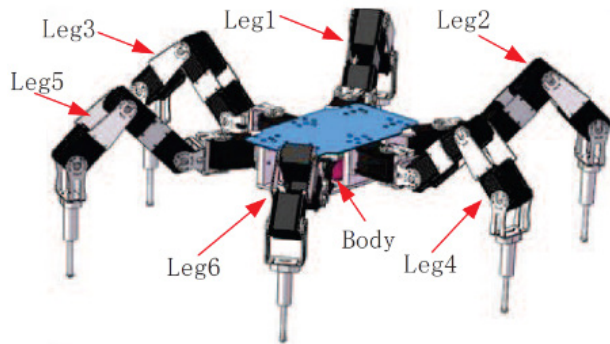


Рис. 6. Структурна модель стрибаючого МР [19]

Для розв'язання прямої та оберненої задачі кінематики у статтях [18, 19] використовується модель Денавіта-Хартенберга. Також наведена динамічна модель, яка побудована за допомогою рівнянь Лагранжа. Представлена система динамічного керування та наведено результати проведеного експериментального дослідження із застосуванням пакетів прикладних програм MATLAB і Adams для багатоспрямованого стрибкового руху. Наведене у роботах [18, 19] дозволяє частково забезпечити теоретичну основу подальших досліджень багатоспрямованих стрибкових рухів МР, оскільки для опису кінематики використовується традиційна модель Денавіта-Хартенберга, а для побудови динамічної моделі рівняння Лагранжа. Все це має ознаки часткової системності підходу щодо синтезу МР.

У роботі [20] була розроблена гексагональна конфігурація крокуючого МР – гексапода СНЗ-Р (рис. 7). Автори стверджують, що гексагональна конфігурація крокуючого МР, дозволяє досягти однакової швидкості пересування в напрямках. Для даної конфігурації МР у статті виконується його кінематичний аналіз у цілому, а також для кожної кінцівки окремо. Автори використовують для цього модель Денавіта-Хартенберга та програмне середовище MATLAB. Крім цього, у даній статті описана штучна нейронна мережа, що використовувалась для порівняння та прогнозування визначення кутів, часу навчання та загальної продуктивності крокуючого МР.

Слід зазначити, що використання моделі Денавіта-Хартенберга, дозволяє говорити про певну тенденцію до систематизації підходу щодо синтезу МР.

Робота [21] присвячена розв'язанню задачі спостереження за допомогою МР. Для її реалізації була розроблена електронна апаратна частина на основі мікроконтролера Atmega 128. В роботі за допомогою моделі Денавіта-Хартенберга вико-

нано аналіз кінематики та динаміки розробленого шестиногого крокуючого МР Snooper (рис. 8).

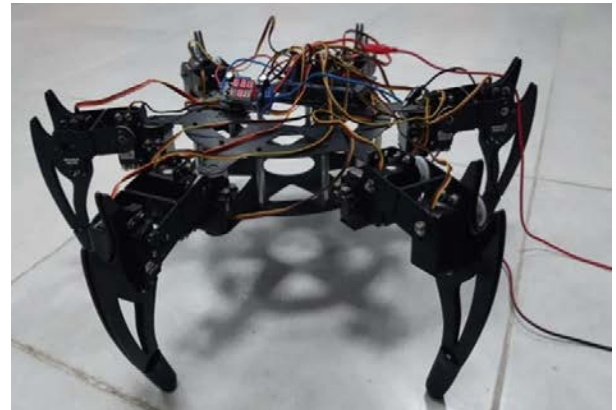


Рис. 7. Фото крокуючого МР СНЗ-Р

Також були проведені розрахунки динаміки із використанням програмного забезпечення MATLAB Simmechanics та проаналізовано алгоритм руху МР за різними методами ходьби. Використання моделі Денавіта-Хартенберга, дозволяє говорити про певну тенденцію до систематизації підходу щодо синтезу МР.

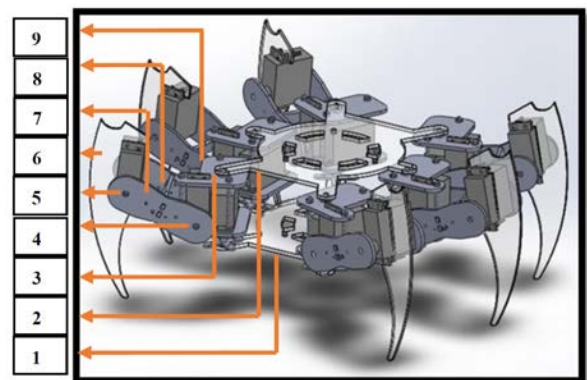


Рис. 8. Конструкція МР Snooper, де 1 – Нижня частина тіла; 2 – Верхня частина тіла; 3 – Коренний шарнір; 4 – Стегновий шарнір 2; 5 – Колінний шарнір; 6 – Гомілкорова кістка; 7 – Стегнова кістка; 8 – Зміцнювач стегна; 9 – Стегно

Робота [22] описує МР Little Crabster LCR200 (рис. 9), що є наземним випробувальним роботом, який було побудовано в рамках роботи над крокуючим МР Crabster для підводних досліджень. Задачами роботи є розробка алгоритму ходьби з високою стійкістю у складних умовах пересування, що досягається за рахунок використання сенсорів із зворотнім зв'язком для керування центром тяжіння (ЦТ).

В роботі описано алгоритм, що дозволяє перемикати контролери для балансування ЦТ в під час ходьби відповідно до зміни числа опорних кінцівок в момент руху МР.

Дана робота може стати основою в майбутньому для методики параметричного синтезу, оскільки в майбутньому планується використати даний алгоритм для МР Crabster, який передбачається для підводних досліджень, тобто можна стверджувати про тенденцію щодо синтезу МР.



Рис. 9. Шестиногий крокуючий МР Little Crabster, LCR200

Для опису кінематики чотириноного крокуючого МР (рис. 10) автори у роботах [23, 24] представляють його, як Платформу Стюарта [25] та описують динамічна модель МР. Серед недоліків, в контексті синтезу МР можна виділити, те що даний метод використовує складний математичний апарат, який потребує додаткової підготовки кваліфікованих кадрів.

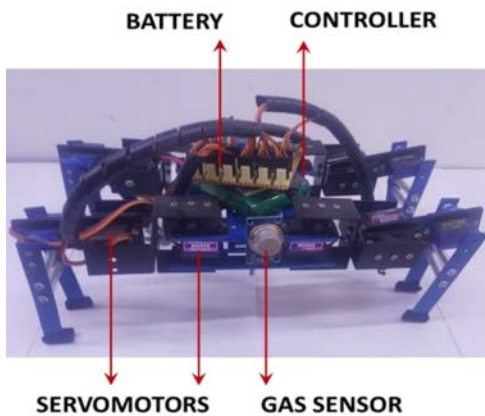


Рис. 10. Конструкція та прототип чотириноного МР

Метою роботи [23] є математичне відображення ходьби чотирилапих тварин та павуків, для цього було проаналізовано рух павука для створення власного крокуючого МР. У статті наведено результати симуляції руху МР у програмному забезпеченні MATLAB.

Стаття [24] є продовженням роботи [23] над крокуючим МР та поглиблює дослідження щодо розв'язання задачі вимірювання індексу вуглекислого газу, шляхом встановлення відповідних датчиків та сенсорів на МР. Оскільки в роботі для опису кінематики не використовувалась модель Денавіта-

Хартенберга, то слід можливо зробити висновок про відсутність тенденції щодо синтезу МР.

Виклад основного матеріалу. Виконаний вище аналіз останніх досліджень і публікацій дозволяє здійснити класифікацію крокуючих МР за їх конструктивними особливостями, функціональним призначенням, математичними моделями динаміки та кінематики, алгоритмами керування та галузями застосування (табл. 1).

Із табл. 1 видно, що на сьогодні при синтезі МР автори не дотримуються загальних підходів через відсутність системного методологічного підходу. При цьому можна говорити про наявність позитивної тенденції до систематизації методологічного підходу синтезу, що проявляється у:

- Спробах сучасних науковців створити теоретичної основи для опису методики параметричного синтезу МР;
- Використання єдиного математичного апарату для вирішення задачі кінематики МР, зокрема моделі Денавіта-Хартенберга;
- Використання єдиного математичного апарату для опису динамічної моделі крокуючих МР – використовуються рівняння Лагранжа.



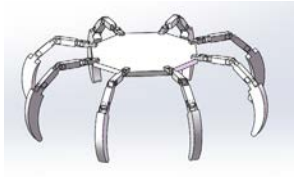
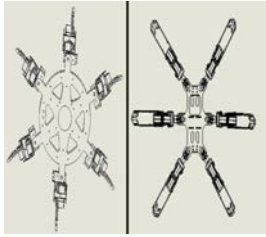

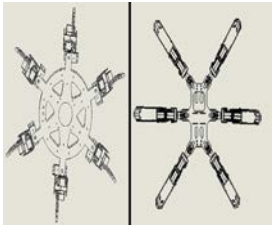
Відсутність системного підходу можна інтерпретувати двояко, оскільки даний факт вказує на відсутність загального методологічного підходу, що було підтверджено аналізом відомих наукових робіт. В той же час це є маркером, що сфера МР знаходиться у стадії стрімкого розвитку.

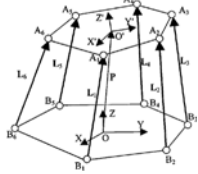
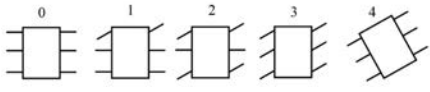
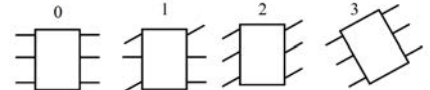
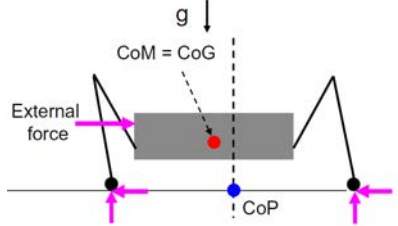
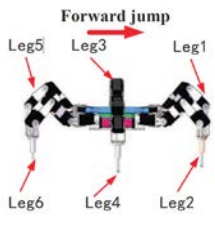
Як наслідок спостерігаються різні принципи, методи і технології синтезу МР та їх застосування на власний розсуд кожним окремим кожен науковцем та/або виробником.

Висновки. Досягнення сучасності у галузі синтезу МР можна вважати вагомими, даний факт можна підтвердити роботами, як вітчизняних, так і світових науковців. Проаналізувавши їхні роботи, стає очевидним, що всі МР різні принципи побудови та алгоритми роботи і керування, точність, швидкість, функціональне призначення та можливості. Для систематизації розглянутих МР у даній роботі було проведено класифікацію крокуючих МР за конструктивними особливостями, описом руху, алгоритмом керування та за функціональним призначенням.

Зроблені висновки щодо сучасного стану проблеми синтезу МР, показують, що на сьогодні відсутній системний підхід щодо їх синтезу, проте спостерігається позитивна тенденція яка проявляється у спробах створення теоретичної основи для опису методики параметричного синтезу МР та використання ідентичних математичних апаратів для задач кінематики та опису динаміки.

Види та класифікація крокуючих МР

Критерій 1	Типова ознака 2	Назва/Приклад/Галузь застосування 3	
	Кількість кінцівок [4–25]	4 кінцівки – «Квадропод»	
		6 кінцівок – «Гексапод»	
		8 кінцівок «Октопод»	
Конструктивні особливості	Форма тіла [7–12, 21]	Колоподібна – «Гексагональна конструкція»	
		Багатокутна	
		Прямокутна	

Критерій	Типова ознака	Назва/Приклад/Галузь застосування	
Опис руху	Кінематика	Денавіта-Хартгенберга [17–21]	${}^{i-1}T_i = \begin{bmatrix} \cos \theta_i & -\sin \theta_i \cos \alpha_i & \sin \theta_i \sin \alpha_i & a_i \cos \theta_i \\ \sin \theta_i & \cos \theta_i \cos \alpha_i & -\cos \theta_i \sin \alpha_i & a_i \sin \theta_i \\ 0 & \sin \alpha_i & \cos \alpha_i & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$
		Платформа Стюарта [23–25]	
	Динаміка [10, 11, 16, 18, 19]	Рівняння Лагранжа	$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{q}_i} \right) - \left(\frac{\partial T}{\partial q_i} \right) = Q_{q_i}, \quad i = 1 \dots k,$
Алгоритм керування	Пересування / обертання [12–15]	Двонога хода	
		Тринога хода	
	Балансування [22]	Баланс центру тиску	
	Стрибкові рухи [18, 19]	Багатоспрямовані стрибкові рухи	
Функціональне призначення / мета використання	Дослідницька діяльність у важко доступних місцях	Замкнені простори, дослідження небесних тіл, підводні дослідження [1–3, 23]	
	Рятувальні операції	Пошукові роботи під завалами [3]	
	Спостереження та/або охорона території	Спостереження та/або охорона промислової території [22]	
	Логістична	Автоматизація транспортно-складських систем [5]	
	Обслуговування та/або ремонт міської, сільської, промислової інфраструктури	Сільсько- та лісгосподарські роботи, обслуговування ліній електропередач [4–15]	

Список літератури:

1. How Robotics in Logistics Helps Improve Supply Chain Efficiency. URL: <https://www.fingent.com/blog/how-robotics-in-logistics-helps-improve-supply-chain-efficiency/>
2. How are Robots Used in Space Exploration URL: <https://blog.bliley.com/robots-used-in-space-exploration>
3. Хазанович Ю.Ю., Киричук Ю.В., Алгоритм керування крокуючих роботів. *Збірник праць XV Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених “Погляд у майбутнє приладобудування”*, 14-15 червня 2022р. – К.: ПБФ, КПІ ім. Ігоря Сікорського. – 2022. – 213 с.

4. Філяюшкін О. В., Огляд конструкцій крокуючих роботів, «*ЛЮГОС. Мистецтво наукової думки*», 2018. № 1 С. 157-160.
5. Поліщук М. М. Автоматизований синтез мобільних роботів довільної орієнтації в технологічному просторі: дис. д-ра техн. наук: 05.02.02 – Машинознавство / Поліщук Михайло Миколайович – Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського». Київ, 2021. – 377 с.
6. Поліщук М. М. Мобільний робот для обслуговування паркових та лісних деревних масивів. *Науково-практичний журнал Екологічні науки*. 2019. 26. С. 132–137. DOI: <https://doi.org/10.32846/2306-9716-2019-3-26-24>.
7. Polishchuk, M., Parametric synthesis of a mobile robot for servicing park trees, *Міжвідомчий науково-технічний збірник «Адаптивні системи автоматичного управління»*. 2019. № 2 (35).
8. Polishchuk, M., Tkach, M., Parkhomey I., Boiko J., Eromenko O., 2020. Walking Mobile Robot for Trimming Trees: Design and Modeling. *International Journal of Control and Automation*. 13, 02 (Jun. 2020), pp. 1760 – 1772.
9. Мобільний робот для обрізки дерев: пат. 119633 Україна: МПК А01G 23/00, № а201901310; заявл.11.02.2019; опубл. 10.07.2019, Бюл. №. 13. 4 с.
10. Polishchuk, M., Tkach, M., & Stenin, A. (2022). Anthropomorphic Walking Robot: Design and Simulation. *FME Transactions*, 50(4), pp. 724–731. <https://doi.org/10.5937/fme2204724P>.
11. Крокуючий мобільний робот: пат. № 121432 Україна: МПК В62D57/032, № а201807976; заявл. 18.07.2018. опубл. 25.05.2020, Бюл. № 2. с. 4.
12. Павловський, О. М. Концепція створення керованих автоматизованих крокуючих платформ з чотирма кінцівками. *Вісник КПІ. Серія Приладобудування: збірник наукових праць*. 2020. Вип. 59(1). С. 79–86.
13. Платов, І. М. Гексапод для діагностики складних споруд та інженерних об'єктів. Система живлення. *XVI Всеукраїнська науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «Ефективність та автоматизація інженерних рішень у приладобудуванні»*, 08-09 грудня 2020 р., м. Київ, Україна: збірник праць конференції. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. С. 37-41.
14. Платов І. М., Павловський О. М. Алгоритм руху автономного робота – гексапода для переміщення у вузьких замкнутих просторах. *Вісник КПІ. Серія Приладобудування : збірник наукових праць*. 2021. Вип. 61(1). С. 61-68. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/46667>.
15. Platov, I. Hexapod movement algorithms to avoid interference. Angular movement. *Вісник КПІ. Серія Приладобудування: збірник наукових праць*. 2021. Вип. 62(2). С. 58-64.
16. S.Yu. Misyurin, G.V. Kreinin, N.Yu. Nosova, A.P. Nelubin, Six-Legged Walking Robot (Hexabot), Kinematics, Dynamics and Motion Optimization, *Procedia Computer Science* 190 (2021), 2020 Annual International Conference on Brain-Inspired Cognitive Architectures for Artificial Intelligence: Eleventh Annual Meeting of the BICA Society, pp. 604–610, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2021.06.071>.
17. Zihao Yang, Minghai Yuan, Xinhui Shi, Zenan Yang and Mengyuan Li, Mechanism Design and Kinematics Analysis of Spider-like Octopod Robot, *IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series* 1314 (2019) 012109 doi:10.1088/1742-6596/1314/1/012109.
18. Yaguang Zhu, Long Chen, Qiong Liu, Rui Qin, Bo Jin Omnidirectional Jump of a Legged Robot Based on the Behavior Mechanism of a Jumping Spider, *Appl. Sci.* 2018, 8, 51; doi:10.3390/app8010051.
19. Yaguang Zhu, Ziqi Fang, Liang Zhang Dynamic Jump Motion Control of a Jumping Spider Robot with Redundant Degrees of Freedom, 2019, DOI: 10.1109/CAC48633.2019.8996895.
20. Abdelrahman Sayed Sayed, Amr Ahmed Mohamed, Ahmed Magd Aly, Youssef Mohamed Hassan, Abdallah Mahir Abdulaziz, Hossam Hassan Ammar, and Rafaat Shalaby, Experimental Modeling of Hexapod Robot Using Artificial Intelligence A.-E. Hassanien et al. (Eds.): *AICV 2020, AISC 1153*, pp. 26–36, 2020. https://doi.org/10.1007/978-3-030-44289-7_3.
21. Munadi, Ismooyo Haryanto, Toni Prahasto. Analisa Kinematik, Dinamik Dan Metode Gerak Kaki Model Snooper Hexapod Robot, *ROTASI Jurnal Teknik mesin – Vol. 17, No. 3, Juli 2015: 137–144*, DOI: 10.14710/rotasi.17.3.137-144.
22. Kim, JY. Dynamic Balance Control Algorithm of a Six-Legged Walking Robot, Little Crabster. *J Intell Robot Syst* 78, 47–64 (2015). <https://doi.org/10.1007/s10846-014-0074-1>.
23. Santiago Noriega Álvarez, María Camila Rojas, Hernando Leon-Rodriguez, Design and development of a quadruped spider robot. URL: <http://robotics.umng.edu.co/publications/2017-UNIBOSQUE-Design%20and%20development%20of%20a%20quadruped%20spider%20robot.pdf>.
24. Maria Camila Rojas Suárez, Santiago Noriega Álvarez, Bio-Inspired Quadruped Robot For Detection Carbon Dioxide In The Air, URL: https://clawar.org/wp-content/uploads/2020/08/CLAWAR_2018_paper_21.pdf.
25. Ping Ji and Hongtao Wu, "A closed-form forward kinematics solution for the 6-6/sup p/ Stewart platform," in *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, vol. 17, no. 4, pp. 522-526, Aug. 2001, doi: 10.1109/70.954766.

Khazanovych Yu.Yu., Kyrychuk Yu.V., Cherepanska I.Yu. CURRENT STATE OF THE PROBLEM OF THE SYNTHESIS OF WALKING MOBILE ROBOTS

The synthesis of mobile robots (MR) can be considered an actual direction of the development of modern robotics, their characteristic feature is the ability of MR to perform both moving functions similar to human functions, and to implement the planning of movements and their implementation in a three-dimensional indefinite space. Modern achievements in the field of MR synthesis can be considered significant, as this is confirmed by a number of scientific studies, both in domestic and international science, which highlight both the design, work and control algorithms, as well as the functional purpose and capabilities of MR. At the same time, regardless of the significant scientific and real practical achievements in this field, it is possible to claim that the important scientific and technical problem of the construction of the MR has not yet been fully exhausted.

The principles of MR synthesis analyzed in this work allow us to state that there is no general methodological approach. The result is different views of scientists and/or manufacturers regarding the principles, methods and technologies of MR synthesis and their application at their own discretion to solve specific problems. At the same time, this is a marker that the field of MR is in a stage of rapid development.

It should also be noted that a certain positive trend is observed, which is manifested in the attempts of modern scientists to create a theoretical basis for describing the methodology of parametric synthesis of MR and the use of identical mathematical apparatuses for solving the problem of kinematics and the use of Lagrange equations to describe the dynamic model of MR.

Based on the analysis of the latest research and publications carried out in this work, conclusions were made regarding the current state of the problem of MR synthesis. The classification of stepping MRs according to their structural features, functional purpose, mathematical models of dynamics and kinematics, control algorithms and fields of application is also given.

Key words: *walking mobile robot, walking mobile platform, walking mechanisms, quadropod, hexapod, octopus, robospider, robot spider, mathematical model, robotic systems, automation.*