

ст. викладач, **Воробйов О. М.**,

vorobyov.kpi@gmail.com, ORCID: 0000-0001-5314-1075

ст. викладач, **Лазарчук-Воробйова Ю. В.**,

jullazarchuk@gmail.com, ORCID: 0000-0002-7866-3299

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

ЗАСТОСУВАННЯ СТРУКТУРНО-ПАРАМЕТРИЧНОГО ПІДХОДУ ДО ГЕОМЕТРИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ГНУЧКОГО МАНІПУЛЯТОРА ЯК СКЛАДОВОЇ РОБОТИЗОВАНИХ СИСТЕМ

Нині в багатьох галузях діяльності людей усе більш широко використовуються різноманітні роботизовані системи. Це стосується промисловості, військової сфери, сільського господарства, медицини, проведення рятувальних операцій, побуту, розваг тощо. Зазначені засоби дозволяють суттєво підвищувати продуктивність праці, виконувати високоточні та небезпечні роботи, ефективно здійснювати складальні технологічні операції, контролювати якість продукції і т. д.

Важливими компонентами роботизованих систем є маніпулятори, що призначені для реалізації безпосередньої взаємодії з опрацьовуваними об'єктами. У наш час доволі популярні відповідні електромеханічні пристрої шарнірного типу. Їхня кінематична структура має електричний привід та являє собою послідовно з'єднані шарнірами ланки. У даній публікації наведено такий запропонований універсальний гнучкий маніпулятор з дистанційно незалежно керованими елементами.

Його конструкція включає основу, певне число однотипних діелектричних ланок (сегментів) та необхідний робочий орган. Ці складові з'єднуються поміж собою електропровідним тросом. Орієнтація сегментів у просторі здійснюється за допомогою дистанційного керування. Робочі органи, зазвичай, різного призначення, пристосовані для обрання та тримання потрібних предметів, їхнього переміщення, бажаного позиціонування, виконання належних технологічних операцій і т. д. Будова вказаних пристроїв теж достатньо багатоманітна. Системи, що розглядаються, можуть бути компонентами не тільки стаціонарних, а й мобільних роботизованих комплексів, джерела живлення яких розташовуються на відповідних рухомих платформах.

Відомо, що комп'ютерне моделювання дозволяє аналізувати значну кількість проєктних варіантів створюваних промислових виробів, обирати найкращий з них. У даному плані доволі продуктивною є структурно-параметрична методологія. Її застосування для опрацювання запропонованого гнучкого маніпулятора подається у статті. Також окреслено перспективи використання останнього в галузі сільського

господарства на прикладі знарядь для механічного обробітку ґрунту. Це особливо актуально для нашої держави нині, коли, внаслідок воєнних дій на її території, велике число аграрних полів засмічені небезпечними вибуховими речовинами. Роботизовані комплекси, в наведеному випадку, успішно сприяють дотриманню безпечних умов праці людей.

Ключові слова: геометричне моделювання; гнучкий маніпулятор; дистанційне керування; роботизовані системи; структурно-параметричне формоутворення.

Постановка проблеми. Нині все більше галузей життєдіяльності характеризуються широким застосуванням різноманітних роботизованих систем. Це стосується промисловості, військової сфери, сільського господарства, медицини, проведення рятувальних операцій, побуту, розваг і т. д. Зазначений напрямок сприяє підвищенню продуктивності праці, виконанню високоточних і небезпечних робіт, ефективному здійсненню складальних технологічних операцій, контролю якості продукції тощо. Подальше вдосконалення процесів автоматизованого конструювання вказаних пристроїв становить актуальну науково-прикладну проблему. Одним із шляхів її ефективного вирішення є комп'ютерне структурно-параметричне проектування.

Аналіз досліджень і публікацій. Монографію [1] присвячено наземним роботизованим комплексам. Розглянуто питання щодо їхньої конструкції, технічних характеристик, засобів навігації, підвищення точності позиціонування, проектування, виготовлення та експлуатації. У праці [2] обґрунтовуються вимоги до функціональних показників маніпуляторів роботизованих комплексів розмінування. Публікацією [3] аналізується конструювання мобільного робота-маніпулятора на основі функціонально-орієнтованої елементної бази. У виданні [4] подано теоретичні основи математичного моделювання різноманітних систем і процесів. Стаття [5] наводить реалізацію морфологічного підходу при проектуванні захватних пристроїв роботизованих систем. Дослідження [6] висвітлює засади більш загальної структурно-параметричної методології формоутворення продукції машинобудування. У патенті [7] на винахід представлено запропонований гнучкий маніпулятор з дистанційним керуванням, який розглядається далі.

Мета та завдання статті полягають у викладенні застосування структурно-параметричного підходу для комп'ютерного моделювання опрацьовуваного маніпулятора, окресленні сфер його практичного використання, зокрема для знарядь механічного обробітку ґрунту в сільському господарстві.

Основна частина. Досліджуваний пристрій показано на рис. 1. Основними компонентами його конструкції є основа 1, типовий діелектричний сегмент 2 та робочий орган 3, які з'єднані між собою електропровідним тросом, розташованим усередині маніпулятора.

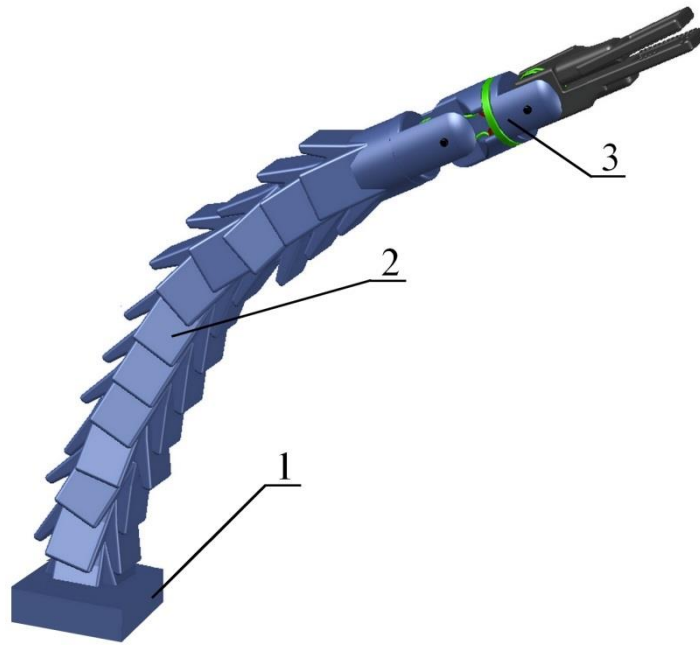


Рис. 1. Загальний вигляд маніпулятора:
1 – основа; 2 – типовий сегмент; 3 – робочий орган

З позицій структурно-параметричної методології склад компонентів гнучкого маніпулятора $ГМ$ подається упорядкованою множиною

$$ГМ = (ГМ_i)_{i=1}^{N_{ГМ}} = (ГМ_i)_{i=1}^3 = (ОСН, СЕГ, РО), \quad (1)$$

де кортежі проєктних структурних варіантів:

$$ГМ_1 = ОСН = (ОСН_j)_{j=1}^{N_{ОСН}} = (ОСН_j)_{j=1}^2 \quad (2)$$

основ $ОСН$;

$$ГМ_2 = СЕГ = (СЕГ_j)_{j=1}^{N_{СЕГ}} = (СЕГ_j)_{j=1}^3 \quad (3)$$

сегментів $СЕГ$;

$$ГМ_3 = РО = (РО_j)_{j=1}^{N_{РО}} = (РО_j)_{j=1}^4 = (ЗАХ_1, ЗАХ_2, PI_1, PI_2) \quad (4)$$

робочих органів $РО$.

Як свідчить вираз (1), першому рівню декомпозиції всього опрацьовуваного об'єкта $ГМ$ відповідає множина з трьох компонентів. На другому рівні для основ $ОСН$ маємо два належні різновиди, для сегментів $СЕГ$ та робочих органів $РО$ відповідно три й чотири. Невелике число наведених елементів має ілюстративний характер.

На рис. 2 зображено два структурних варіанти основ (2). Зауважимо, що вказані об'єкти можуть мати різноманітні параметричні розміри своїх складових, тобто габаритні, діаметри отворів, розташування останніх, радіуси сферичних поверхонь і т. д.

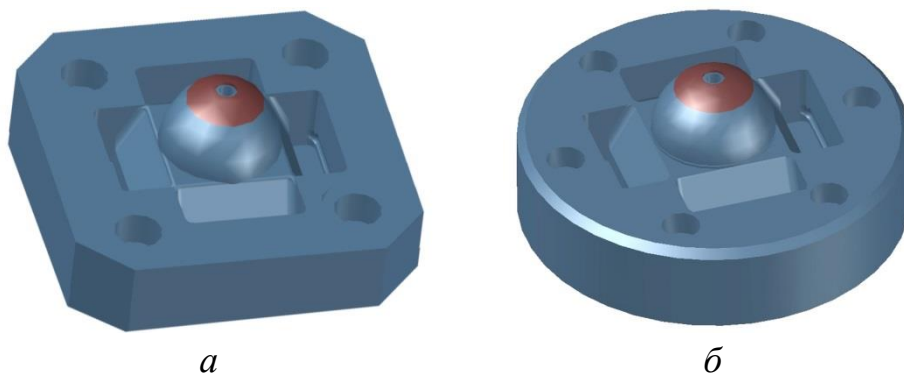


Рис. 2. Варіанти основ маніпулятора:
 a – призматична OCH_1 ; b – циліндрична OCH_2

Рис. 3 містить приклад сегмента $CE\Gamma_1$, до базових елементів якого відноситься діелектричний чашкоподібний корпус 1 із зовнішньою і внутрішньою сферичними поверхнями та чотирма пелюстками, металеві пластини 2 на внутрішній стороні кожного пелюстка та електромагніти 3 – на зовнішній. Сферичні контакти 4 та 5 під'єднані до позитивного полюса живлення, а трос, що проходить через отвори 6, – до негативного.

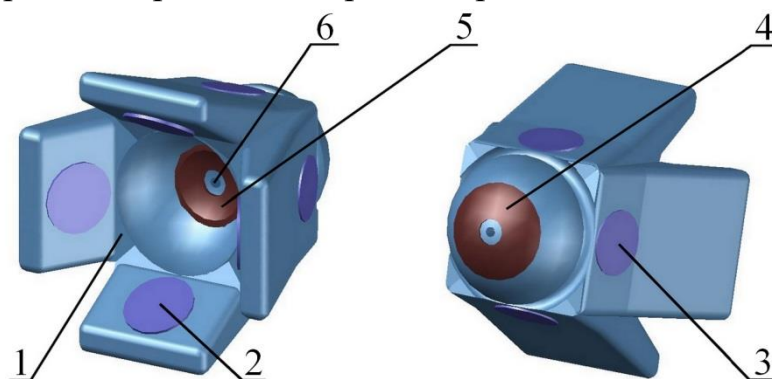


Рис. 3. Конструкція типового сегмента $CE\Gamma_1$:
 1 – корпус; 2 – металева пластина; 3 – електромагніт;
 4, 5 – зовнішній та внутрішній сферичні контакти; 6 – отвір для тросу

Подані у формулі (3) сегменти $CE\Gamma_2$ і $CE\Gamma_3$ схожої конструкції, але мають відповідно шість та вісім пелюстків. Збільшення їхньої кількості підвищує точність позиціонування маніпулятора. У разі його розміщення на мобільному роботизованому комплексі джерело живлення у вигляді акумулятора або генератора розташовується на належній рухомій платформі.

Усередині корпусу сегмента, див. рис. 4 (розріз площиною симетрії), знаходиться система керування, яка складається з блоку живлення (БЖ), мікропроцесора (МП), чотирьох мікроконтролерів (МК) та модуля бездротового зв'язку (МБЗ). У відповідності з сигналами останнього МП керує МК. Живлення для системи керування та електромагнітів подається завдяки сферичним контактам 4 і 5 та тросу 6. Акцентуємо, що позиції 1 ... 5 відповідають рис. 3.

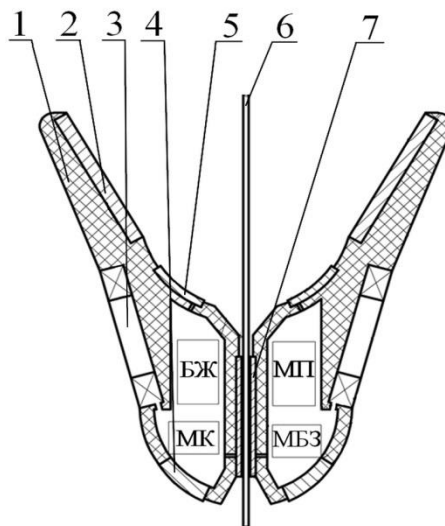


Рис. 4. Система керування сегмента $СЕГ_1$:

1 – корпус; 2 – металева пластина; 3 – електромагніт;
4, 5 – зовнішній та внутрішній сферичні контакти; 6 – трос; 7 – втулка

Кількість розглянутих сегментів у гнучкому маніпуляторі обирається з урахуванням наявних потреб. Як і для основ, для моделювання цих пристроїв застосовуються параметричні розміри. У зв'язку з обмеженим обсягом статті, стосовно множини (4) тільки зазначимо, що її елементами в даному разі є: $ЗАХ_1, ЗАХ_2$ – два варіанти захватів; PI_1, PI_2 – два різновиди робочих інструментів, наприклад, свердло та зварювальний електрод.

На рис. 5 представлено структурно-параметричну графову модель, що описує проаналізований гнучкий маніпулятор з дистанційним керуванням і забезпечує його варіантне проєктування з метою проведення комплексної оптимізації. Використовувані при цьому методи, способи, прийоми та алгоритми докладно викладені, зокрема, у праці [6].

Як видно, за основу взято структурні компоненти, які описуються множинами (1) ... (4). У результаті отримуємо кортеж проєктних варіантів гнучкого маніпулятора

$$ГМ = (ГМ_k)_{k=1}^{N_{БГМ}}, \quad (5)$$

де $N_{БГМ}$ – їхнє число.

Проаналізованому випадку у формулі (5) відповідає величина

$$N_{БГМ} = N_{ОСН} \cdot N_{СЕГ} \cdot N_{РО} = 2 \cdot 3 \cdot 4 = 24. \quad (6)$$

Коли ж не всі елементи (1) ... (4) можуть взаємодіяти між собою, що відтворюється належною матрицею суміжності графової моделі, то кількість структурних проєктних варіантів (6) буде меншою. При цьому кожен різновид (5) визначається вектором параметрів

$$P_{ГМ_k} = (P_{ГМ_{k\ m}})_{m=1}^{N_{ГМ_k}}.$$

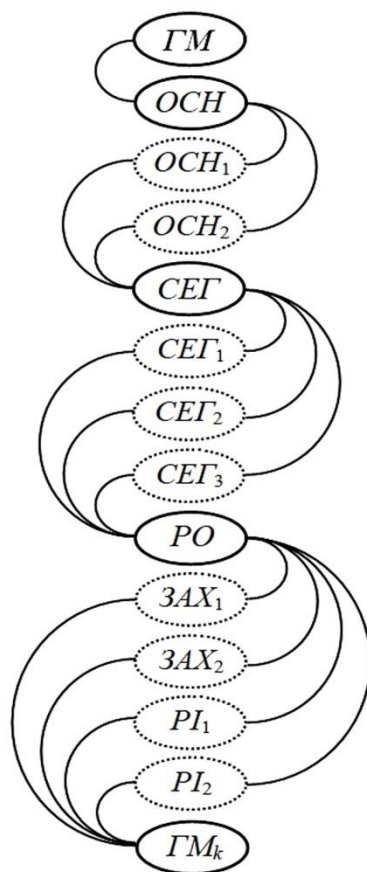


Рис. 5. Структурно-параметрична модель маніпулятора $ГМ$

Отже, нами подано методику застосування структурно-параметричного підходу до геометричного моделювання гнучкого маніпулятора з дистанційним керуванням. Цей пристрій може використовуватися не тільки у стаціонарних, а й у мобільних роботизованих комплексах. Останнє, наприклад, стосується знарядь для механічного обробітку ґрунту в сільському господарстві. Але це становить предмет окремої публікації.

Висновки. Статтю присвячено вирішенню важливої науково-прикладної проблеми подальшого вдосконалення автоматизованого конструювання гнучких маніпуляторів роботизованих систем на засадах структурно-параметричної методології. Окреслено перспективи їхнього впровадження в сільськогосподарському виробництві.

Література

1. Струтинський В. Б., Гуржій А. М. Наземні роботизовані комплекси. Житомир: ПП Рута, 2023. 497 с.
2. Strutynsky V., Kotsiuruba V., Dovhopoliy A., Husliakov O., Budianu R., Kolos O., Hrechka I. Substantiating the requirements to functional indicators for the manipulators of mobile robotic demining complexes. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2019. Vol. 5. № 7. P. 42–50. DOI: 10.15587/1729-4061.2019.178466
3. Strutynskyi S., Nochnichenko I. Design of parallel link mobile robot manipulator mechanisms based on function-oriented element base. *Eastern-*

European Journal of Enterprise Technologies, 2019. Vol. 4. № 7. P. 54–64. DOI: 10.15587/1729-4061.2019.174613

4. Павленко П. М., Філоненко С. Ф., Чередніков О. М., Трейтяк В. В. Основи математичного моделювання систем і процесів. Київ: НАУ, 2017. 392 с.

5. Кравець В. О., Кравець О. М., Фролов В. К., Лапковський С. В., Гладський М. М., Данилова Л. М. Використання морфологічних методів при проєктуванні захватних пристроїв. *Вісник Херсонського національного технічного університету*, 2024. № 4. С. 70–75. DOI: 10.35546/kntu2078-4481.2024.4.8

6. Ванін В. В., Вірченко Г. А., Яблонський П. М. Теоретичні основи структурно-параметричного геометричного моделювання виробів машинобудування. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. 223 с.

7. Ванін В. В., Воробйов О. М., Лазарчук-Воробйова Ю. В. та ін. Гнучкий маніпулятор з дистанційним керуванням. Патент на винахід № 129477. Бюл. № 19/2025. URL: <https://sis.nipo.gov.ua/uk/search/detail/1855235/>

References

1. Strutynsky V. B., Hurzhi A. M. Nazemni robotyzovani kompleksy. Zhytomyr: PP Ruta, 2023. 497 s. {in Ukrainian}

2. Strutynsky V., Kotsiuruba V., Dovhopoliy A., Husliakov O., Budianu R., Kolos O., Hrechka I. Substantiating the requirements to functional indicators for the manipulators of mobile robotic demining complexes. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2019. Vol. 5. № 7. P. 42–50. DOI: 10.15587/1729-4061.2019.178466 {in English}

3. Strutynskiy S., Nochnichenko I. Design of parallel link mobile robot manipulator mechanisms based on function-oriented element base. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2019. Vol. 4. № 7. P. 54–64. DOI: 10.15587/1729-4061.2019.174613 {in English}

4. Pavlenko P. M., Filonenko S. F., Cherednikov O. M., Treitiak V. V. Osnovy matematychnoho modeliuвання system i protsesiv. Kyiv: NAU, 2017. 392 s. {in Ukrainian}

5. Kravets V. O., Kravets O. M., Frolov V. K., Lapkovskiy S. V., Hladskiy M. M., Danylova L. M. Vykorystannia morfolohichnykh metodiv pry proiektuvanni zakhvatnykh prystroiv. *Visnyk Khersonskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu*, 2024. № 4. S. 70–75. DOI: 10.35546/kntu2078-4481.2024.4.8 {in Ukrainian}

6. Vanin V. V., Virchenko G. A., Yablonskyi P. M. Teoretychni osnovy strukturno-parametrychnoho heometrychnoho modeliuвання vyrobiv mashynobuduvannya. Kyiv: KPI im. Ihoria Sikorskoho, 2022. 223 s. {in Ukrainian}

7. Vanin V. V., Vorobiov O. M., Lazarchuk-Vorobiova Yu. V. ta in. Hnuchkyi manipulator z dystantsiinym keruvanniam. Patent na vynakhid № 129477. Biul. № 19/2025. URL: <https://sis.nipo.gov.ua/uk/search/detail/1855235/> {in Ukrainian}

Senior Teacher **Oleksii Vorobiov**,
vorobyov.kpi@gmail.com, ORCID: 0000-0001-5314-1075
Senior Teacher **Yulia Lazarchuk-Vorobiova**,
jullazarchuk@gmail.com, ORCID: 0000-0002-7866-3299
National Technical University of Ukraine
«Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»

APPLICATION OF STRUCTURAL-PARAMETRIC APPROACH TO GEOMETRICAL MODELING OF FLEXIBLE MANIPULATOR AS A COMPONENT OF ROBOTIC SYSTEMS

Nowadays, various robotic systems are increasingly used in many areas of human activity. This applies to industry, the military, agriculture, medicine, rescue operations, everyday life, entertainment, etc. These tools allow to significantly increase labor productivity, perform high-precision and dangerous work, effectively carry out assembly technological operations, control product quality, etc.

Important components of robotic systems are manipulators designed to implement direct interaction with processed objects. At present, corresponding electromechanical devices of the articulated type are quite popular. Their kinematic structure has an electric drive and consists of links connected in series by hinges. This publication presents such a proposed universal flexible manipulator with remotely independently controlled elements.

Its design includes a base, a certain number of identical dielectric links (segments) and the necessary working element. These components are connected to each other by an electrically conductive cable. The orientation of the segments in space is carried out using remote control. Working bodies are usually of various purposes, adapted for selecting and holding the necessary objects, their movement, desired positioning, performing the appropriate technological operations, etc. The structure of these devices is also quite diverse. The systems under consideration can be components not only of stationary but also of mobile robotic complexes, the power sources of which are located on the corresponding mobile platforms.

It is known that computer modeling allows you to analyze a significant number of design options for industrial products being created and choose the best one. In this regard, the structural-parametric methodology is quite productive. Its application for processing the proposed flexible manipulator is presented in the article. The prospects for its use in agriculture are also highlighted on the example of tools for mechanical tillage. This is especially relevant for our country now, when, as a result of military actions on its territory, a large number of agricultural fields are littered with dangerous explosives. Robotic complexes, in this case, successfully contribute to maintaining safe working conditions for people.

Key words: geometric modeling; flexible manipulator; remote control; robotic systems; structural-parametric shaping.