

---

## **Аналіз та синтез класифікаційних ознак засобів взаємодії із зовнішніми об'єктами та середовищем багатоцільових роботизованих платформ для подальшої їх трансформації**

**Василь Залипка**

Кафедра автомобілів та автомобільного господарства /факультет бойового застосування військ, Національна академія сухопутних військ імені гетьмана П. Сагайдачного, Львів, Україна

ORCID 0000-0002-5189-8370

### **Для цитування цієї статті:**

Залипка Василь. Аналіз та синтез класифікаційних ознак засобів взаємодії із зовнішніми об'єктами та середовищем багатоцільових роботизованих платформ для подальшої їх трансформації. International Science Journal of Engineering & Agriculture Vol. 2, No. 2, 2023, pp. 21-33. doi:10.46299/j.isjea.20230202.03.

**Надійшла до редакції:** 11 березня 2023 р.; **Схвалено:** 16 березня 2023 р.;

**Опубліковано:** 01 квітня 2023 р.

---

**Анотація:** У статті проаналізовано керівні документи США та України щодо особливостей створення та застосування наземних роботизованих комплексів (НРК) та з'ясовано як військово-політичне керівництво інтегруватиме нові технології в майбутні проекти, щоб забезпечити собі перевагу над все більше підготовленим у технологічному плані противником. З'ясовано, що основою розвитку сучасних багатоцільових роботизованих платформ (БРП) та НРК в цілому провідних країн світу є застосування інноваційних технологій, зокрема штучного інтелекту (ШІ). Встановлено, що під час ведення бойових дій, а зокрема і в ході російсько-української війни, НРК, БРП відіграють важливу роль щодо збереження життя та здоров'я військовослужбовців. Тому для якісного виконання завдань згідно свого призначення, а отже і переваги над противником, їх необхідно мати в достатній кількості і вони повинні володіти покращеними експлуатаційними властивостями. З'ясовано, що трансформація засобів взаємодії із зовнішніми об'єктами та середовищем (ЗВЗОС) зумовлена необхідністю підвищення експлуатаційних властивостей БРП таких як: прохідність, стійкість, маневреність та ін. Запропоновано підхід (ідею) щодо надання подвійної функції ЗВЗОС БРП за рахунок їх трансформації. Встановлено, що трансформація ЗВЗОС БРП відбувається за рахунок переміщення їх складових частин для набуття відповідної форми, яка передбачена для виконання визначеного завдання без втрати первинної кількості матеріалу (за винятком окремих випадків). Для набуття найоптимальнішої форми ЗВЗОС БРП можуть виготовлятися у комбінуванні різних матеріалів (твердих, гнучких, пластичних) та поєднувати у собі сучасні технології щодо використання новітніх матеріалів. Проаналізовано класифікаційні ознаки ЗВЗОС БРП та наведено відповідні класифікації, що дасть змогу належним чином продовжувати дослідження щодо їх трансформації з метою покращення експлуатаційних властивостей БРП.

**Ключові слова:** багатоцільова роботизована платформа, рушій, маніпулятор, кінцевий ефектор, трансформація

---

## **1. Вступ**

Сьогодні цілком очевидним є те, що застосування на полі бою різноманітних роботизованих систем, це важливий чинник, який дозволяє зберегти життя та здоров'я військовослужбовцям. Аналізуючи хід російсько-української війни, ми можемо зробити висновок, що це дійсно так, однак враховуючи низький рівень технологічного оснащення в даному сегменті (мають місце застосування в основному радіокеровані літальні апарати) Збройних Сил України (ЗСУ) - ми платимо велику ціну !

Зрозумілим є те, що перевагу над противником будуть мати ті роботизовані системи, зокрема БРП, як вид НРК, в яких застосовуються сучасні технології із використанням ШІ і які матимуть покращені експлуатаційні властивості такі як: прохідність, стійкість, маневреність, гальмівні та тягово-швидкісні. Одним із шляхів покращення експлуатаційних властивостей є трансформація ЗВЗОС БРП для виконання ними традиційних і взаємозамінних функцій. Таким чином дослідження, що дозволять покращити експлуатаційні властивості БРП за рахунок використання ШІ та трансформації ЗВЗОС є актуальними та важливими у науково-технічному аспекті.

## **2. Об'єкт і предмет дослідження**

БРП – це безпілотний наземний апарат, який входить до складу НРК та здатний швидко змінювати свій функціонал за рахунок встановлення різного модульного обладнання. У відповідності до концепції розвитку та застосування НРК (платформ) у підрозділах сухопутних військ (СВ) ЗСУ розрізняють наступні БРП: тилового; технічного та медичного забезпечення. Бойові та спеціальні НРК, з врахуванням подальших досліджень, не розглядаються, так як вони оснащені відповідним озброєнням та спеціальним обладнанням, яке враховуючи можливості трансформації їх ЗВЗОС потребуватиме додаткової стабілізації.

Під ЗВЗОС БРП будемо розуміти їх рушії та маніпулятори. Однак вони відрізняються функціональним призначенням: перші забезпечують переміщення БРП, а другі містять різноманітні конструкційні особливості для різних цілей маніпулювання об'єктом.

## **3. Мета та задачі дослідження**

Метою даного дослідження є проведення аналізу та синтезу класифікаційних ознак ЗВЗОС БРП для подальшої їх трансформації і як наслідок спроможності набувати подвійних функцій щодо покращення експлуатаційних властивостей БРП. Для досягнення мети необхідно виконати наступні завдання:

1. Провести аналіз керівних документів США (як передової в даній галузі країні) та України щодо створення і застосування роботизованих систем (БРП);
2. Синтезувати аналітичну інформацію щодо класифікаційних ознак ЗВЗОС БРП із розробкою відповідних класифікацій;
3. Окреслити перспективу подальших досліджень.

## **4. Аналіз літератури**

Усі провідні країни світу здійснюють роботи щодо дослідження, виробництва та широкого застосування роботизованих комплексів та бойових роботів для досягнення переваги у збройному конфлікті. Найбільших результатів у цій галузі досягли США. Аналізуючи Стратегію роботизованих та автономних систем армії США (як країни лідера в цьому сегменті) (RAS) до 2035 року, Операційну концепцію армії США до 2040 року та Інтегровану дорожню карту безпілотних систем на 2017-2042 роки [1-3] можна з'ясувати як їх військово-політичне керівництво інтегруватиме нові технології в майбутні проекти, щоб забезпечити собі перевагу над все більше підготовленим у технологічному плані противником: це розробки

повністю автономних роботизованих систем із широким застосуванням ШІ, які повинні взаємодіяти між собою та людьми незалежно від призначення та типуажу. З положень Концепції розвитку та застосування НРК (платформ) у підрозділах Сухопутних Військ (СВ) ЗСУ [4] констатуємо те, що НРК під час застосування у складі підрозділів СВ ЗС доповнюють (замінюють) традиційні види озброєння і військової техніки практично у всіх формах та способах застосування підрозділів. Потужними розробниками БРП (НРК) на сьогодні є такі науково-дослідницькі центри як: DARPA, Boston Dynamics, Northrop Grumman, RUAG, а також українські: Роботікс, Інфоком Лтд, Кузня на Рибальському, Спец Техно Експорт, Ей-Дронс, основні відкриті результати досліджень можемо знайти на їх офіційних сайтах. Проте досліджень щодо комплексного аналізу ЗВЗОС БРП та поєднання (надання окремих функцій) за рахунок трансформації – немає.

## 5. Методи досліджень

В ході дослідження проведено аналіз Концепції розвитку та застосування НРК (платформ) у підрозділах СВ ЗСУ, Інтегрованої дорожньої карти США та Стратегії роботизованих та автономних систем армії США. Також проаналізовано конструкційні особливості ЗВЗОС, які використовуються або можуть бути використані на БРП. За підсумками аналізу синтезовано отримані результати та наведено відповідні класифікації.

Для подальшого математичного опису та розробки математичних моделей, які відображатимуть кінематику та динаміку руху ЗВЗОС БРП, з використанням можливостей їх трансформації, доцільним буде опертися на методи теорії диференціальних рівнянь, основні положення теоретичної механіки і теорії руху автомобіля. Дослідження процесу трансформації ЗВЗОС БРП також передбачає використання: технологій ШІ, фрактальної геометрії для опису перетворень об'єктів, методу кінцевих елементів, гомології, афінних перетворень; функцій комплексних змінних, нових принципів приводних механізмів.

## 6. Результати досліджень

Аналіз сучасних БРП (рис. 1) та та їх ЗВЗОС показує, що вони мають системні недоліки, які суттєво знижують їх ефективність при виконанні складних бойових завдань. Серед основних з них – втрата поперечної стійкості щодо перекидання під час виконання поворотів, недостатня прохідність і маневреність в умовах бездоріжжя та за різних кліматичних умов.



Рис. 1. Приклади БРП провідних країн світу.

Отже, існує об'єктивне протиріччя між необхідністю щодо підвищення боєздатності СВ ЗСУ забезпечивши суттєво кращу прохідність, стійкість та маневреність БРП і неможливістю цього досягти шляхом застосування відомих традиційних рушіїв та маніпуляторів, а також відсутністю науково-методичного апарату для створення таких БРП та обмеженими можливостями використання для цих цілей існуючого науково-методичного апарату.

Внаслідок особливого призначення БРП, вимоги до них являють собою ряд критеріїв конструкційного, технологічного, ергономічного й експлуатаційного характеру, яким повинні

задовольняти БРП. Адже у порівнянні з транспортними засобами для цивільного застосування експлуатаційні властивості та тактико-технічні характеристики БРП повинні бути значно кращими, щоб забезпечити успіх підрозділів на полі бою. Нижче наведені вимоги на підставі яких здійснюється розробка технічного завдання й визначаються основні параметри при проектуванні БРП.

В цілому загальні вимоги на основі яких сьогодні здійснюється розробка технічного завдання і визначаються основні параметри проектування БРП можна об'єднати в наступні групи [5-7]:

- забезпечення оптимальної комбінації тягово-швидкісних, гальмівних властивостей, плавності ходу, маневреності й прохідності, стійкості руху й керуваності;
- забезпечення високої надійності конструкції при низькій собівартості виробництва й експлуатації;
- мінімізація обсягів робіт з технічної експлуатації;
- створення простих і компактних конструкцій БРП, забезпечення мінімальної маси й габаритів при порівняно великому коефіцієнті вантажопідйомності;
- забезпечення комфортабельності БРП для особового складу, легкості керування;
- забезпечення можливості експлуатації БРП в різних або заданих кліматичних і дорожніх умовах.

Для підвищення експлуатаційних властивостей БРП шляхом їх модернізації або створення нових взірців необхідно керуватися сучасними науково-технічними підходами, які суттєво відрізняються від традиційних рішень неспроможних суттєво вплинути на розвиток БРП та НРК в цілому. Тільки запровадження нових технологічних ідей та підходів, невідомих потенційному противнику, забезпечить перевагу підрозділів ЗСУ в ході виконання бойових завдань.

Одним із підходів, що пропонується автором, є використання трансформації ЗВЗОС БРП щодо надання їм нових взаємозамінних функцій, а саме надання маніпулятору функцій рушія та навпаки, або ж підвищення прохідності, стійкості, маневреності БРП шляхом зміни, за рахунок трансформації, з одного рушія на інший: з гусеничного на колісний або крокуючий, з крокуючого на колісний або гусеничний, з колісного на гусеничний або крокуючий та ін. На сьогодні відомі деякі підходи з використанням так званих коліс-трансформерів (рис. 2) [8,9], однак відкрите їх використання поки не має належної широти, а концепти для військової сфери (якщо такі є) з обмеженим доступом та по причинах таємності – закриті.

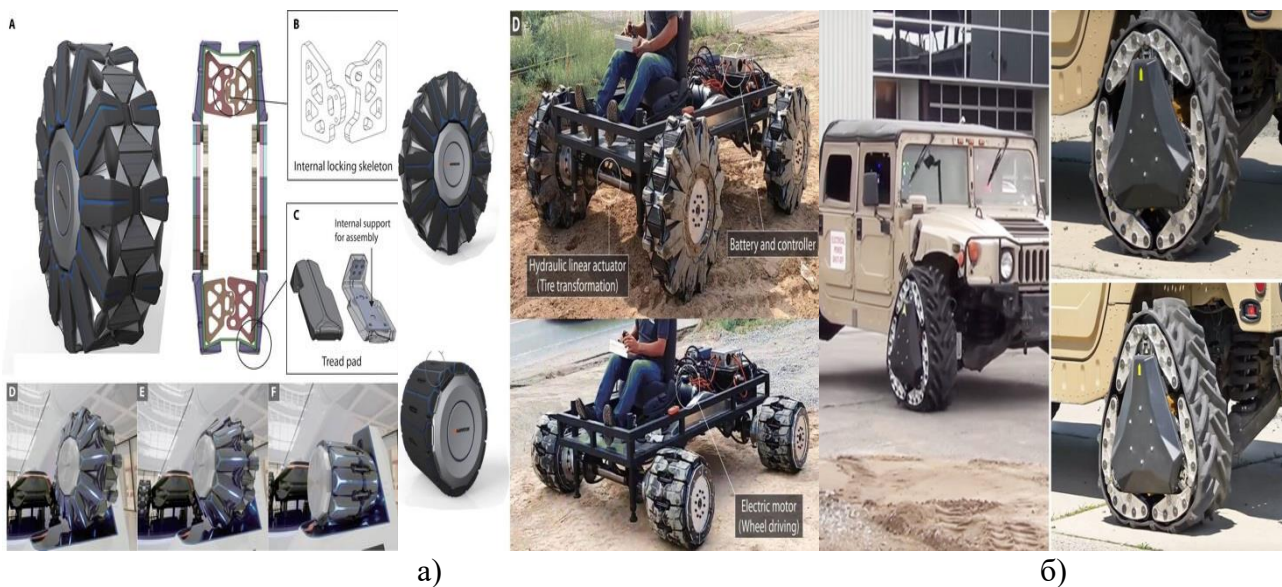


Рис. 2. Колеса-трансформери: а) – HANKOOK; б) – DARPA.

Таким чином для реалізації даного підходу (ідеї) для отримання належного уявлення і постановки подальших завдань, необхідно в першу чергу, на підставі аналітичної інформації розробити відповідні класифікації: видів трансформації, рушіїв, маніпуляторів, кінцевих ефекторів (КЕ).

Для початку необхідно з'ясувати, що собою являє трансформація і який вона має вплив на об'єкти. Трансформація - це зміна, перетворення виду, форми, істотних властивостей чогось-небудь. До неї відносяться так звані жорсткі (переміщення, відбиття, обертання), нежорсткі (розширення, зсув) перетворення (рис. 3). Слід зазначити, що окремим випадком жорстких перетворень є афінні (самоподібні) перетворення, а також і те, що при даних перетвореннях на відміну від жорстких не змінюється розмір чи форма твердого тіла (фігури). Безумовно, що коли ми говоримо про нежорстку трансформацію треба розуміти, що деякі властивості об'єктів можуть змінюватися і вони можуть мати як позитивний так і негативний вплив на них в цілому, тому під час розробок нових технологічних рішень це слід враховувати.



**Рис. 3.** Класифікація видів трансформації.

Можна прогнозувати, що трансформація ЗВЗОС БРП відбуватиметься за рахунок переміщення їх складових частин для набуття відповідної форми, яка передбачена для виконання визначеного завдання без втрати первинної кількості матеріалу (за винятком окремих випадків). Для набуття найоптимальнішої форми ЗВЗОС БРП можуть виготовлятися у комбінуванні різних матеріалів (твердих, гнучких, пластичних) та поєднувати у собі новітні технології щодо використання нітрид-галієвих транзисторів, м'яких кристалів та графеної нитки.

Зовнішній вигляд БРП в першу чергу визначається типом і конструкцією рушіїв (рис. 4), що служить для перетворення в процесі взаємодії із зовнішнім середовищем зусилля, одержуваного від двигуна, в тягове зусилля. Вибір типу рушіїв і його розмірів є дуже складним завданням. Практично неможливо створити універсальну конструкцію рушіїв, що дає можливість однаково впевнено пересуватися в різноманітних умовах навколишнього середовища: безліч видів і властивостей основ, складні перетини рельєфу місцевості,

необхідність переміщення по елементах споруд і всередині будівель є причиною створення великого числа конструювальних схем роботів з різними типами рушіїв. Сьогодні основна увага розробників приділяється різним варіантам колісного і гусеничного рушіїв. Деяку меншу увагу приділено крокуючим рушіям. І істотно меншу іншим типам (наприклад, роторно-гвинтовому, апаратам на повітряній подушці та ін., призначеним для руху по поверхні зі специфічними фізико-механічними властивостями (заболочених місцях, мілководдю, глибокому снігу).

Для кожного типу рушія існує своя область застосування. Так, в якості рушія БРП, призначеної для використання в умовах важкопрохідної місцевості, вибирають гусеничний рушія як найбільш універсальний. При переважному використанні БРП на дорогах, більш привабливим є колісний варіант. Застосування крокуючих машин перспективно лише в середовищі, де швидкість колісного або гусеничного рушія поступається швидкості крокуючого рушія (наприклад, в гірській місцевості, в осередках руйнувань). При конструюванні звичайних транспортних засобів параметри рушія оптимізуються для найбільш характерних умов застосування і поверхонь руху.



Рис. 4. БРП з 1-колісним; 2-гусеничним; 3-крокуючим рушіями та 4-маніпуляторами.

Однак, для БРП така оптимізація неможлива в силу невизначеності умов руху. Тому в даний час рушії БРП конструюються з можливістю адаптації до поверхні руху. У першу чергу це відноситься до малогабаритних мобільних роботів, призначених для ведення робіт всередині будівель і споруд, у вогнищах руйнувань, а також бойових і розвідувальних роботів.

Адаптивні рушії таких роботів володіють можливістю зміни своїх параметрів і структури самостійно або по команді системи керування на основі поточної інформації про умови руху з метою досягнення певного, зазвичай оптимального, стану при початковій невизначеності і змінюються в умовах руху. Всі існуючі типи рушіїв наведено на рисунку 5.

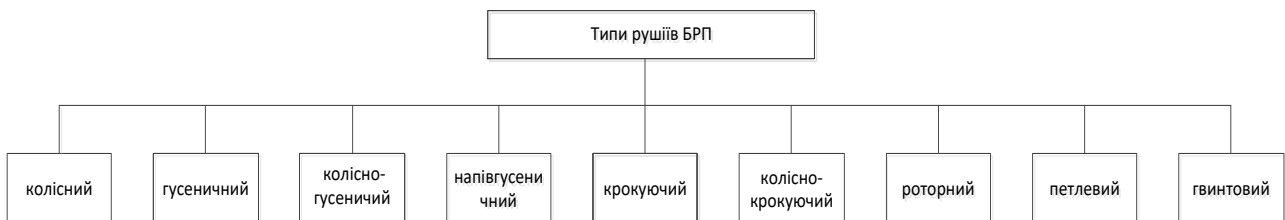


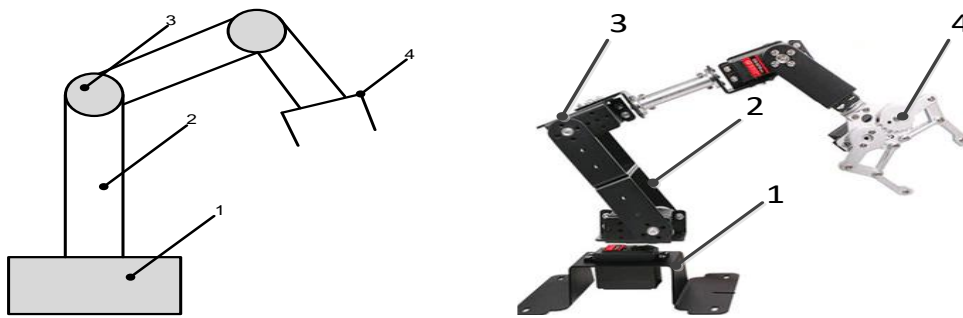
Рис. 5. Класифікація типів рушіїв БРП.

Очевидним є те, що передумовою для БРП, що зумовлює потребу переходу від колісного до альтернативного (гусеничного, крокуючого) рушія є в першу чергу дорожні умови (місцевість), адже в умовах бездоріжжя чи внаслідок ракетних та артилерійських руйнувань, настають такі граничні умови коли рух на колісному рушії стає неможливим і доцільно

використовувати гусеничний, або крокуючий, а також враховуючи можливості трансформації можна залучити і маніпулятор, в цілому можливі різні комбінації.

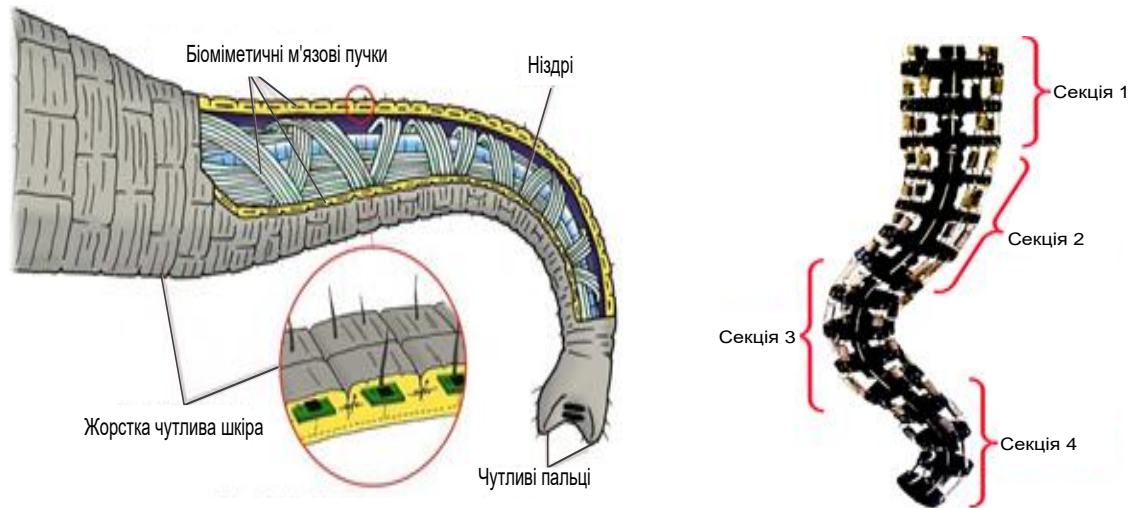
Якщо випадки трансформації рухів зустрічаються в інженерних рішеннях сьогодення, то з маніпуляторами не все так просто і в цілому для наукової спільноти це нова ділянка для дослідження.

Отже маніпулятор [10] - це механізм з електронним керуванням, що складається з кількох сегментів і виконує завдання, взаємодіючи з навколишнім середовищем (рис. 6). Їх також зазвичай називають роботами, або роботами-маніпуляторами, вони широко використовуються в промисловому виробництві і у небезпечних сферах людської життєдіяльності, якою безумовно є і військова. Складаються вони з набору ланок і з'єднань (шарнірів) та використовують як правило гідравлічний, пневматичний та електричний приводи. Ланки визначаються як жорсткі секції, які утворюють механізм, а з'єднання визначаються як з'єднання між двома ланками. Пристрій, приєднаний до маніпулятора, який взаємодіє з навколишнім середовищем для виконання завдань, називається КЕ (захватом) (рис. 5).



**Рис. 6.** Схематичне та натуральне зображення маніпулятора:  
1-база; 2-ланка; 3-шарнір; 4-кінцевий ефектор (захват).

Як відомо [11] для належної реалізації трансформації ЗВЗОС БРП необхідно враховувати можливості кінематичних пар щодо забезпечення ступеня вільності, а саме оберտальна пара клас 5, допускає лише відносний обертальний рух ланок навколо осі. Ланки пари стикаються по циліндричній поверхні, отже, це нижча пара, замкнута геометрично. Роль такої кінематичної пари виконує і складніша конструкція - підшипник кочення. Поступальна пара - клас 5, з геометричним замиканням, нижча, допускає лише прямолінійний поступальний відносний рух ланок. Циліндрична пара - клас 4, з геометричним замиканням, нижча, допускає незалежний обертальний і поступальний відносний рух ланок. Сферична пара - клас 3, з геометричним замиканням, нижча, допускає три незалежні відносні обертання ланок навколо осей  $x$ ,  $y$ ,  $z$ . Сферична пара з пальцем - клас 4, з геометричним замиканням, нижча, допускає два незалежні відносні обертання ланок навколо осей, що визначаються прорізом і пальцем (доданим до сферичної пари). Гвинтова пара - клас 5, з геометричним замиканням, нижча, допускає відносний гвинтовий рух ланок з постійним кроком. Кутові і лінійні переміщення ланок гвинтової пари мають однозначну відповідність, внаслідок чого залишається тільки один ступінь свободи. Плоска пара - клас 3, циліндр-площина - 2 клас і сфера-площина - 1 клас, пари використовують силове замикання, причому перша з них нижча, а дві інші вищі. Також враховуючи розвиток сучасних технологій, ведуться дослідження щодо застосування кінематичних пар на основі структур схожих на м'язову тканину живих організмів [12] (рис. 7).



**Рис. 7.** Концепт структур схожих на м'язову тканину живих організмів на прикладі хобота.

Ці пари поки що практично не застосовуються в реальних механізмах і описані в цьому огляді для повноти представлення класифікації кінематичних пар (рис. 8).



**Рис. 8.** Класифікація типів зєднань ланок маніпулятора

Зв'язана система кінематичних пар утворює кінематичний ланцюг, на основі якого реалізуються механізми.

Маніпулятори [13] можна класифікувати (Рис. 9) за кількома критеріями, наприклад за джерелом живлення або способом приведення в дію з'єднань, за їхньою геометрією чи кінематичною структурою, за призначеною сферою застосування або за способом керування. Така класифікація корисна насамперед для того, щоб визначити, який робот підходить для певного завдання. Наприклад, гідравлічний робот не підійде для роботи з продуктами харчування або для чистих приміщень.

За джерелом живлення розрізняють:

- маніпулятори, що керуються серводвигунами постійного або змінного струму;
- маніпулятори з гідравлічними приводами;



- маніпулятори з пневматичним приводом.

За способами керування поділяються на:

- маніпулятори без сервоприводу;
- сервоманіпулятори.

Маніпулятори за кінематичною структурою поділяються на:

- послідовні маніпулятори: ланки та суглоби з'єднані, щоб утворити відкритий кінематичний ланцюг.
- паралельні маніпулятори: ланки та суглоби з'єднані, щоб утворити замкнений кінематичний ланцюг.
- гібридні маніпулятори: поєднання послідовних і паралельних маніпуляторів;
- серійні маніпулятори (шарнірні, сферичні, декартові, циліндричні, вибіркові сумісні шарнірні для складання).

За галуззю застосування: машинобудування; приладобудування; гірничодобувна; нафтохімічна; металургійна; атомна; аерокосмічна; військова; медична.

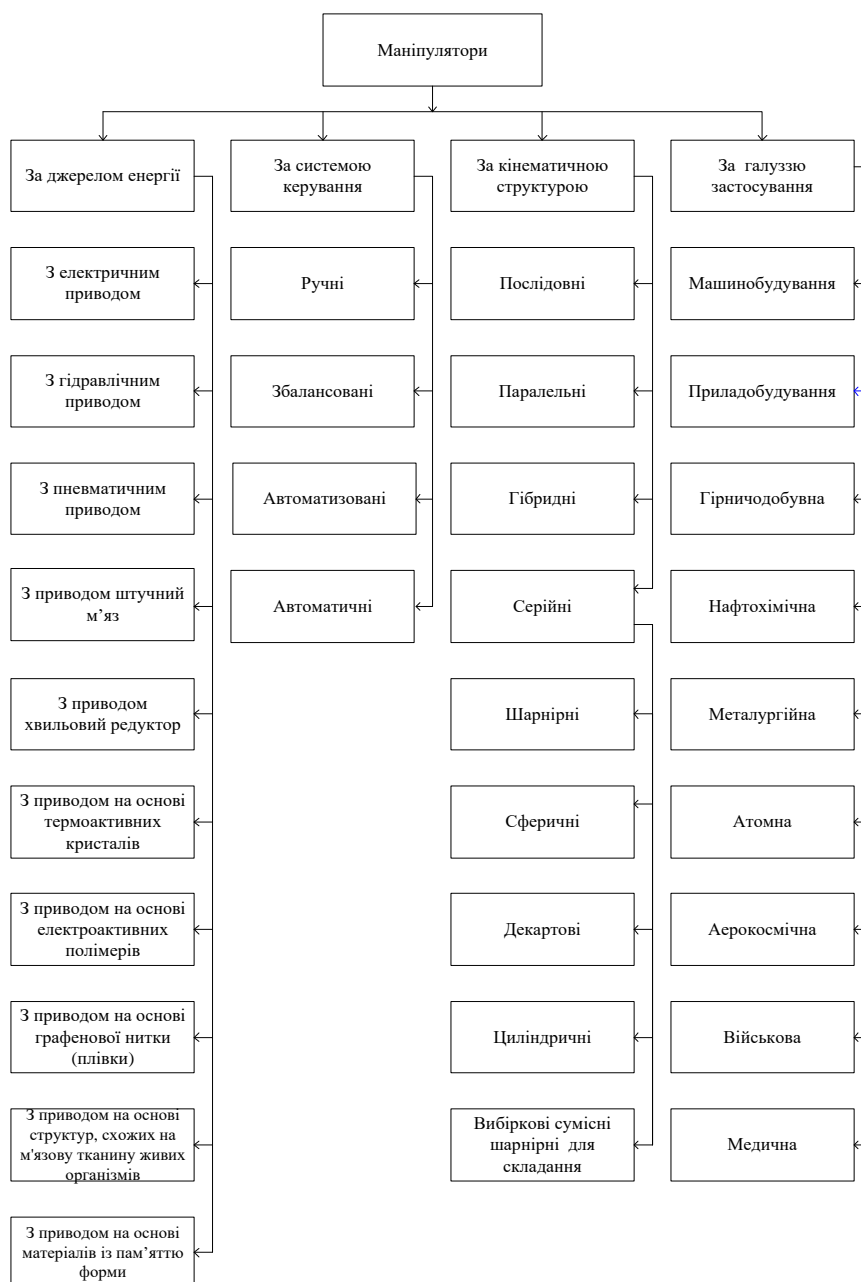


Рис. 9. Класифікація маніпуляторів.

Для взаємодії будь-якої роботизованої системи з об'єктами та навколишнім середовищем в маніпуляторах застосовують КЕ (або робототехнічний захват). КЕ - це механічна частина, прикріплена до кінця апаратної частини "руки" робота, яка призначена для прямої взаємодії з навколишнім середовищем та суміжними елементами. Призначення цієї механічної частини залежить від застосування такої системи. У випадку серійного маніпулятора КЕ зазвичай знаходиться в останній ланці обладнання. КЕ аналогічний долоні людини.

Таким чином, маніпуляції з об'єктом відбуваються через захоплення відповідно до програми робота. Вони часто створюються на замовлення відповідно до вимог спеціальних процесів, відмінних від тих, які зазвичай використовуються. КЕ класифікується (рис. 10) на чотири загальні типи на основі використання фізичного ефекту для досягнення стабільного захоплення між захопленням і об'єктом, який потрібно захопити.

1. Імпактивний КЕ: це щелепи або кігті, які демонструють фізичне захоплення, безпосередньо впливаючи на об'єкт.

2. Інгресивний КЕ: це поверхні з гострими кінчиками, як шпильки, голки чи зубці, які демонструють фізичне проникнення всередину поверхні об'єкта. Застосування можна побачити в роботі з текстилем, вуглецем і скловолокном.

3. Астриктивний КЕ: застосовують силу тяжіння до поверхні об'єкта за допомогою вакууму, магніто- або електроадгезії.

4. Суміжні КЕ: потребують прямого контакту для демонстрації адгезії, наприклад клею, поверхневого натягу або замерзання.

5. Деякі КЕ поділяються на категорії за принципом дії. Деякі з них коротко розглянемо.

КЕ Бернуллі. Застосовує принцип Бернуллі, використовуючи повітряний потік між захватом і об'єктом, який потрібно схопити. Це створює підйомну силу, яка зближує захват і об'єкт, не дозволяючи їм вступати в прямий контакт один з одним. Отже, Bernoulli Gripper є безконтактним захватом. Застосування захвату Бернуллі можна побачити в роботі з фотоелектричними елементами, виробництві напівпровідників і в текстильній промисловості.

Електростатичний КЕ. Використовує характеристики електростатичного заряду, використовуючи різницю заряду між захватом і об'єктом. Сам захват зазвичай активує цю різницю зарядів.

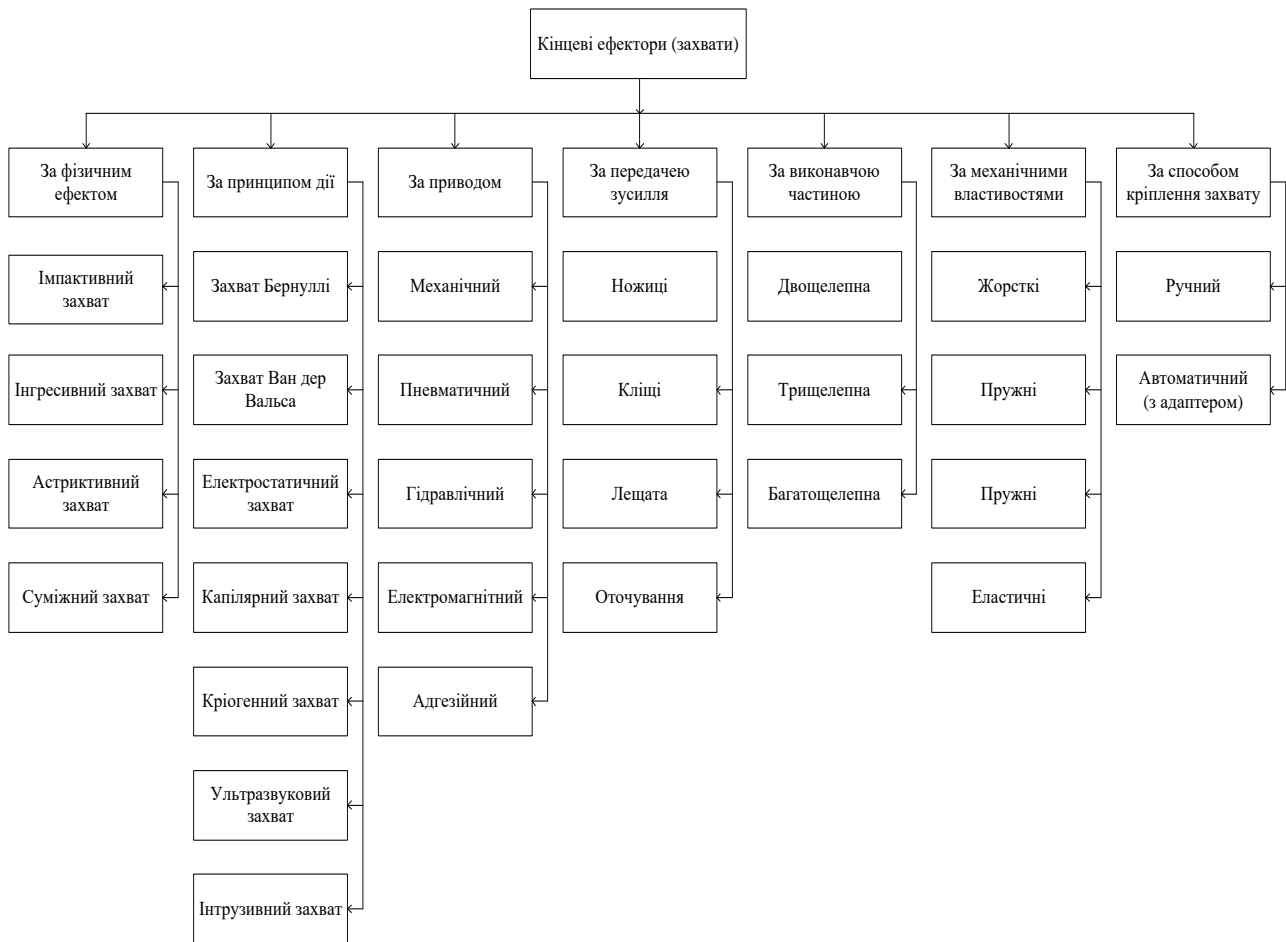
КЕ Ван дер Вальса. Використовує низьку електростатичну силу між захватом і елементарними об'єктами.

Капілярний КЕ. Використовує поверхневий натяг рідкого меніска між захватом і об'єктом для його орієнтації та захоплення.

Кріогенний КЕ. Створює лід, заморожуючи невелику кількість рідини, яка потім використовується для надання обов'язкової сили для підняття та захоплення об'єкта. Застосування кріогенного захвату можна побачити в роботі з харчовими продуктами та в захопленні текстилю.

Ультразвуковий КЕ. Складніший за своєю природою, ніж наведені вище категорії, які використовують стоячі хвилі тиску, щоб піднімати деталь і закривати її на певному рівні. Підйом можна побачити як на мікрорівні, так і на макрорівні. Левітація на мікрорівні очевидна в поводженні з гвинтами та прокладками. Навпаки, макромасштабний підйом можна спостерігати при роботі з фотоелектричним елементом або кремнієвою підкладкою та в лазерному джерелі.

Інтрузивний КЕ. Це особлива категорія захватів, які використовують силу тертя для захоплення предметів. Одним із прикладів інтрузивного захвату є голчастий захват. Вони називаються інтрузивними захватами, тому що вони використовують як тертя, так і характеристики охоплення, як і стандартні механічні захвати. Найбільш типовим видом механічних захватів є багато пальцеві КЕ, які містять два, три або навіть п'ять пальців. КЕ складаються з приводу, приводної передачі та захватних наконечників. Форма та параметри окремих вузлів залежать від матеріалу, форми деталі, середовища та застосування.



**Рис. 10.** Класифікація кінцевих ефекторів.

Завдання КЕ [14] наступні: захоплення об'єкта маніпуляції та забезпечення його правильної орієнтації; збереження об'єкта незважаючи на зовнішні сили та транспортні прискорення; залишити предмет у правильній орієнтації на місці призначення.

Основний компонент сили створюється в базовій ланці, яка створює рух. Потім цей рух передається ланка за ланкою до крайньої периферії маніпулятора, де прикріплено КЕ. Цей випадок дійсний, якщо маніпулятор бази живиться одним приводом. Але це також може призвести до несправності та структурної несправності навіть за найменшого відхилення від обмежень зусилля окремих з'єднань.

Удосконалення техніки з використанням місцевих приводів на кожному з'єднанні створило більшу гнучкість у використанні роботизованого маніпулятора. Кожна ланка може генерувати більше енергії окремо, а КЕ може використовувати повну потужність приводу, прикріпленого до зап'ястя. Це дозволяє КЕ піднімати важчі предмети та краще охоплювати неструктуроване середовище.

## 7. Перспективи подальшого розвитку досліджень

Подальші дослідження полягатимуть в розробці відповідних математичних моделей щодо опису процесу трансформації ЗВЗОС БРП із застосуванням традиційних кінематичних пар та новітніх технологій (зокрема Abenics [15]), а також моделювання їх в у програмному середовищі Solid Works [16] для обчислення ймовірних навантажень в ході імітації виконання завдань згідно призначення. Елементи моделювання будуть роздруковані на 3D-принтері. Також отримані результати дадуть змогу провести порівняльний аналіз експлуатаційних властивостей (прохідність, стійкість, маневреність та ін.) традиційних БРП та БРП із ЗВЗОС, які в ході трансформації матимуть подвійну функцію.

## 8. Висновки

Проаналізовано Стратегію роботизованих та автономних систем армії США (як країни лідера в цьому сегменті) до 2035 року, Операційну концепцію армії США до 2040 року та Інтегровану дорожню карту безпілотних систем на 2017-2042 роки можна з'ясувати як їх військово-політичне керівництво інтегруватиме нові технології в майбутні проекти, щоб забезпечити собі перевагу над все більше підготовленим у технологічному плані противником. З положень Концепції розвитку та застосування НРК (платформ) у підрозділах СВ ЗСУ констатуємо те, що НРК під час застосування у складі підрозділів СВ ЗС доповнюють (замінюють) традиційні види ОВТ практично у всіх формах та способах застосування підрозділів. З'ясовано, що основою розвитку сучасних БРП провідних країн світу є застосування інноваційних технологій, зокрема ШІ.

Встановлено, що під час ведення бойових дій, а зокрема і в ході російсько-української війни, БРП відіграють важливу роль щодо збереження життя та здоров'я військовослужбовців. Тому для якісного виконання завдань згідно свого призначення, а отже і переваги над противником, їх необхідно мати в достатній кількості і вони повинні володіти покращеними експлуатаційними властивостями. З'ясовано, що трансформація ЗВЗОС зумовлена необхідністю підвищення експлуатаційних властивостей БРП таких як: прохідність, стійкість, маневреність та ін.

Запропоновано підхід (ідею) щодо надання подвійної функції ЗВЗОС для БРП за рахунок їх трансформації.

Встановлено, що трансформація ЗВЗОС БРП відбувається за рахунок переміщення їх складових частин для набуття відповідної форми, яка передбачена для виконання визначеного завдання без втрати первинної кількості матеріалу (за винятком окремих випадків). Для набуття найоптимальнішої форми ЗВЗОС БРП можуть виготовлятися у комбінуванні різних матеріалів (твердих, гнучких, пластичних) та поєднувати у собі сучасні технології щодо використання новітніх матеріалів.

В цілому проаналізовано класифікаційні ознаки ЗВЗОС БРП та наведено відповідні класифікації.

---

### Список літератури:

- 1) The U.S. Army Robotic and Autonomous Systems Strategy. 2017. 31 p.
- 2) U.S. Department of the Army. The U.S. Army Operating Concept – Win a Complex World 2020 - 2040. Tradoc Pamphlet 525-3-1, October 7, 2014.
- 3) Unmanned Systems Integrated Roadmap FY2017-2042. 58 p.
- 4) Концепція розвитку та застосування наземних роботизованих комплексів (платформ) у підрозділах Сухопутних Військ Збройних Сил України// Командування Сухопутних Військ Збройних Сил України спільно з науковим центром Сухопутних Військ Національної академії сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного – грудень 2021 року.
- 5) Залипка В. Д. Особливості створення та застосування наземних роботизованих комплексів у провідних країнах світу і Україні / В. Д. Залипка // Науковий вісник НЛТУ України. - 2022. - Вип. 32(4). - С. 60-65. DOI: <https://doi.org/10.36930/40320410>.
- 6) 37. Армійські автомобілі. Основи руху, будова, характеристики / [Б.Д. Білоус, П.П. Ткачук, Я.Ф. Андрусик та ін.]; під ред. Б.Д. Білоуса. – Львів: НУ Львівська політехніка, 2007. – 536 с.
- 7) Волков В.П. Теорія руху автомобіля: підручник / В.П. Волков, Г.Б. Вільський. – Суми: Університетська книга, 2010. – 320 с.
- 8) Una rueda "transformer" inspirada en el origami: un loco proyecto de Hankook con posible aplicación para futuros rovers. URL: <https://www.xataka.com/otros/rueda-transformer-inspirada-origami-loco-proyecto-hankook-posible-aplicacion-para-futuros-rovers>.

9) Darpa Transforming Tank Tread Wheels. URL: <https://hiconsumption.com/darpa-reconfigurable-wheel-track/>.

10) 6DOF Aluminium mechanical robotic ARM. URL: <https://mikroelektron.com/Product/6DOF-Aluminium-Mechanical-Robotic-Arm>.

11) Кіницький Я. Т. Теорія механізмів і машин: підручник / Я. Т. Кіницький. — К.: Наукова думка, 2002. — 662 с.

12) A new concept of future robot manipulators will be developed from studying elephants URL: <https://www.eurekalert.org/news-releases/673735>.

13) What are End Effectors in Robotics? Types of End Effectors, Applications, Future. URL: <https://www.wevolver.com/article/what-are-end-effectors-in-robotics-types-of-end-effectors-applications-future>.

14) Robot Grippers and End Effectors: Uses, Benefits, and Cost Analysis URL: <https://howtorobot.com/expert-insight/robot-end-effectors>.

15) Kazuki Abe, Kenjiro Tadakuma, Riichiro Tadakuma. Abenics: Active Ball Joint Mechanism With Three-DoF Based on Spherical Gear Meshings. April 2021 IEEE Transactions on Robotics PP(99). DOI: <https://doi.org/10.1109/TRO.2021.3070124>.

16) Comm IT. Інформаційні системи управління. Solid Works Simulation (Cosmosworks) URL: <http://commit.name/index.php?MainShowID=105>.

---

## **Analysis and synthesis of classification signs of the means of interaction with external objects and the environment of multipurpose robotic platforms for their further transformation**

**Vasyl Zalyпка**

Department of Automobiles and Automobile Industry / Faculty of Combat Use of Troops, National Academy of Land Forces named after Hetman P. Sahaidachny, Lviv, Ukraine  
ORCID 0000-0002-5189-8370

---

**Abstract:** The article analyzed key documents from the United States and Ukraine about the specifics of the creation and deployment of ground-based robotic complexes of the (GBRC) and it was stated as a military-political key to the integration of new technologies in future projects to ensure the technological advancement of the planned enemy over everything. It is stated that the basis for the development of modern multipurpose robotic platforms (MRP) and GBRC in the whole world is the development of innovative technologies, the concept of piece intelligence (PI). It has been established that during the Russian-Ukrainian war, GBRC, MRP play an important role in protecting the life and health of military servicemen. Therefore, for the high-quality performance of tasks, the leader of his recognition, and also the victory over the enemy, it is necessary for the mother in a sufficient amount and the stench to be guilty of reducing the exploitative powers. It is clear that the transformation of the means of interaction with external objects and the environment (MIEOE) is based on the need to advance the operational powers of the MRP such as: agility, stability, maneuverability and other. Approved idea providing a dual function MIEOE MRP for transformations. It has been established that the transformation of the MIEOE MRP is taken for the shift of the warehouse parts for the production of a uniform form, as it is transferred for the vicination of the appointed plant without wasting the original amount of material (for a reason, except in certain cases). For the future, the most optimal form of MIEOE MRP can be developed using a combination of different materials (hard, flexible, plastic) and using their own modern technologies, using new materials. The classification signs of the MIEOE MRP were analyzed and a new classification was introduced, which will allow me to continue with a proper order to continue their transformation with the method of reducing the operational powers of the MRP.

**Keywords:** multipurpose robotic platform, mover, manipulator, end effector, transformation.

---