

DOI: <https://doi.org/10.32839/2304-5809/2019-5-69-2>

УДК 62-529

Янчевський І.В., Сарибога Г.В., Похилько Б.С.,  
Скопюк М.І., Хижняк Є.Є.  
Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського

## АНАЛІЗ ОСНОВНИХ ТИПОРОЗМІРІВ ТА КОНСТРУКЦІЙ НАЗЕМНИХ РОБОТИЗОВАНИХ КОМПЛЕКСІВ

**Анотація.** При проектуванні наземних роботизованих комплексів враховуються підвищені вимоги до габаритів, прохідності, автономності функціонування (мобільності) та переліку виконуваних завдань. Тому науково-прикладні дослідження, які пов'язані з вдосконаленням існуючих роботизованих комплексів чи розробкою нових є актуальними і мають очевидне прикладне значення. Особливий інтерес при цьому представляють питання вдосконалення їх структурних схем, оскільки саме через використання допоміжних ланок з пасивними чи активними кінематичними парами (механізмами адаптації) можна забезпечити зростаючі вимоги до прохідності мобільних роботів з одночасним зменшенням їх розмірів та маси. В даній статті розглянуто різні типорозміри та конструкції існуючих наземних роботизованих комплексів з метою визначення та обґрунтування необхідних характеристик для розробки наземного роботизованого комплексу з підвищеною прохідністю, малими габаритами та використанням в екстремальних умовах.

**Ключові слова:** наземний роботизований комплекс, шасі, конструкція, типорозмір.

Yanchevskii Igor, Saryboha Hanna, Pokhilko Boris,  
Skopyuk Maxim, Khizhnyak Evgeny  
Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute

## ANALYSIS OF MAIN STANDART SIZES AND STRUCTURES OF GROUND-BASED ROBOTIC COMPLEXES

**Summary.** During designing ground-based robotic complex, the increased requirements for dimensions, permeability, autonomy of functioning (mobility) and the list of tasks performed are taken into account. Therefore, applied and applied research, which is related to the improvement of existing robotic complexes or the development of new ones, is relevant and has an obvious application significance. Of particular interest are the issues of improving their structural schemes, because it is through the use of auxiliary units with passive or active kinematic pairs (adaptation mechanisms) to provide increased requirements for the passability of mobile robots, while reducing their size and mass. In this article various types and designs of existing ground-based robotic complexes are considered in order to determine and justify the required characteristics for the development of a ground-based robotic complex with increased passableness, small dimensions and use in extreme conditions. Due to the fact that the surface on which the ground-based robotic complex moves is very heterogeneous and can change dynamically, for example, one and the same area can be suitable for movement at a certain time, but after some time to be completely impassable after rain or As a result of a projectile explosion at this point, an important characteristic is the size and design of the ground-based robotic complex. According to the results of the analysis of the main standard sizes and constructions of the ground-based robotic complex with increased passableness, it was determined that the most optimal parameters are the 8-wheel hinged-articulated construction of the type Black Cayman, weighing 45-50 kg and chassis of the 1st type with a diameter of 160 mm.

**Keywords:** ground-based robotic complex, chassis, design, standard size.

**Вступ.** Сучасний рівень науково-технічного прогресу визначає широке розповсюдження роботів і роботизованих комплексів практично в усіх галузях діяльності людини – від сфери розваг до промисловості. Складні роботизовані комплекси використовуються у будівництві, геологічній розвідці, при ремонті інженерних мереж, для планетарних досліджень. Робототехніка відіграє також важливу роль при виконанні спеціальних завдань, зокрема тих, які є небезпечними для життя чи здоров'я людини (ліквідація різноманітних аварій, наслідків надзвичайних ситуацій, робота в небезпечних середовищах). Також різні уніфіковані типорозміри шасі можуть бути використані як малогабаритна будівельна техніка для реставрації чи ремонту інженерних мереж, геологічній розвідці, видобувній промисловості, в комунальному господарстві, для ремонтних та сервісних операцій при локалізації надзвичайних ситуацій, при створенні рухомих мереж зв'язку. При цьому саме шасі

має здійснювати складні маневри на стіснених територіях (всередині будівель, споруд, каналів, тунелів, тощо), мати широкий потенціал функціональних можливостей, зокрема для інспекції та роботи у підвалах, трубопроводах та у інших важкодоступних та/чи небезпечних місцях, долаючи перешкоди із співмірними з габаритами робота розмірами [1].

**Постановка проблеми.** Провести аналіз основних типорозмірів та конструкцій наземних роботизованих комплексів з метою визначення необхідних характеристик для розробки наземного роботизованого комплексу з підвищеною прохідністю, малими габаритами та використанням в екстремальних умовах.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** При проектуванні наземних роботизованих комплексів (НРК) враховуються підвищені вимоги до габаритів, прохідності, автономності функціонування (мобільності) та номенклатури виконуваних завдань. Тому науково-прикладні

дослідження, які пов'язані з вдосконаленням існуючих НРК чи розробкою нових є актуальними і мають очевидне прикладне значення. Особливий інтерес при цьому представляють питання вдосконалення їх структурних схем, оскільки саме через використання допоміжних ланок з пасивними чи активними кінематичними парами (механізмами адаптації) можна забезпечити зростаючі вимоги до прохідності мобільних роботів з одночасним зменшенням їх розмірів та маси [2].

Тенденція розвитку робототехнічних систем призводить до необхідності розробки нових математичних моделей та розв'язання на їх основі прикладних задач, зокрема задач кінематичного та динамічного аналізу.

В теперішній час досить розповсюдженим є підхід до розв'язання таких задач, що припускає залучення однієї або декількох комп'ютерних систем автоматизованого проектування. Такий підхід, очевидно, дозволяє суттєво скоротити строки проектування розроблювальних шасі й отримати прийнятної точності дані про їх основні експлуатаційні показники.

Разом з тим теоретичні дослідження кінематики й динаміки розроблювальних шасі на підставі винятково математичних моделей зберігають свою актуальність, оскільки саме при такому підході можна одержати якісну й кількісну оцінку прохідності створюваного шасі, у т.ч. при його русі по специфічних профілях, виконати порівняння із численними напрацюваннями, урахувати особливі властивості опорної поверхні та режими руху шасі, урахувати специфічні фактори й обмеження.

**Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми.** На поточний час існує багато принципово різних НРК за конструктивним виконанням та схемою руху для мобільних

роботів підвищеної прохідності: з колісним рушієм, гусеничним, крокуючим, стрибаючим та комбінованим. Кожен з цих типів має свої переваги та недоліки [3].

Для більш чіткого визначення необхідної конструкції та типорозміру необхідно проводити аналіз характеристик як конструкції так і сфери застосування НРК.

**Виклад основного матеріалу.** За найкращими експлуатаційними показниками за прохідністю характеризуються шасі з крокуючим рушієм (педипулятори, рис. 1) через можливість «переступати» перешкоди не торкаючись їх. Однак для таких шасі залишаються відкритими питання балансування та ефективного енергозабезпечення приводів, тому такі рушії не отримали широкого розповсюдження.

Стосовно шасі з гусеничним рушієм, то найпростіша його реалізація представляє собою несучу раму, що включає в себе два повздовжніх лонжерона, які з'єднані між собою передніми і проміжними брусами (рис. 2). Гусеничні шасі також мають високу прохідність, однак потребують великих енергозатрат на рух.

Тому найбільше поширення отримали шасі з колісним рушієм (рис. 3 та 4), зокрема на базі 4 та 6-ти та 8-ми колісних моделей. 4-колісна модель, зазвичай, проста у виготовленні і найкраще підходить для простих завдань, які не потребують надзвичайної прохідності чи маневреності. 6-ти колісні моделі забезпечують більшу стійкість, прохідність і вантажо-підйомність. Найбільш популярною серед 6-ти колісних шасі підвищеної прохідності є модель, яка побудована за схемою Rocker-bogie механізму (рис. 3). До недоліків даної схеми слід віднести необхідність високого кліренсу шасі для долання перешкод і різні показники за прохідністю у двох напрямках його руху (уперед і назад). Також при доланні перешкоди має місце таке положення шасі, коли одна пара коліс знаходиться у повітрі і вся вага розподіляється між 4-ма колесами, що дещо зменшує прохідність шасі.

Вирішення зазначених недоліків можливе за допомогою 8-ми колісної схеми для шасі підвищеної прохідності. Про що свідчать численні наявні у відкритому доступі розробки [4].



Рис. 1. Модель крокуючого шасі



Рис. 2. Прототип гусеничного шасі

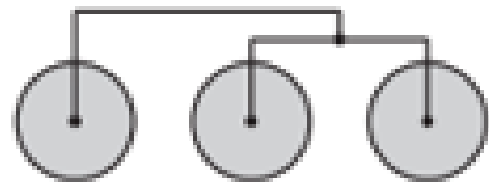


Рис. 3. Структурна схема Rocker-Bogie

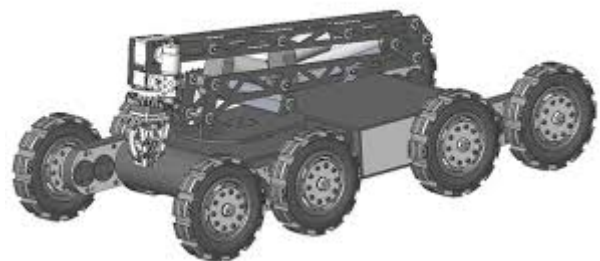


Рис. 4. Прототип Black Canyon

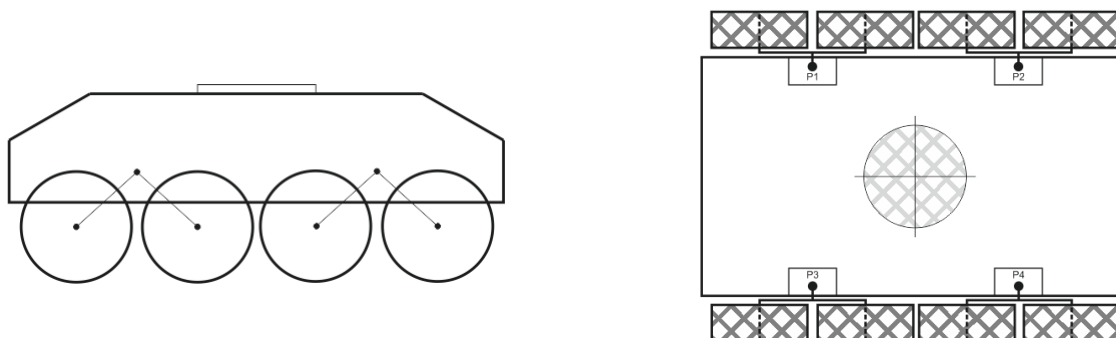


Рис. 5. Структурна схема проектної 8-ми колісної моделі

У даній роботі зроблено акцент на проектуванні саме 8-колісної мобільної системи Black Cauman (рис. 4), з врахуванням переваг та недоліків існуючої схеми Rocker-Bogie (рис. 3). Така кінематична модель, на відміну від Rocker-Bogie, не має диференціалу між двома колісними парами, тому корпус шасі не центрується і його положення у просторі чутливе до профілю поверхні. Разом з тим при такому конструктивному рішенні основні елементи приводу коліс розташовані у корпусі шасі, що забезпечує значно нижче розрашування центру ваги шасі, тим самим суттєво зменшуючи ймовірність його перекидання.

Інша відмінність від схеми Rocker-Bogie полягає у тім, що «коромисла» (колісні блоки) кінематично не пов'язані між собою. Це дає змогу колісним парам долати перешкоди незалежно одна від одної. Крім того збільшена кількість коліс зменшує навантаження на опорну поверхню, що розширює можливості шасі при використанні на заболоченій місцевості. Також така модель має однакові можливості на долаття перешкод у обох напрямках руху, що актуально при роботі

у вузьких приміщеннях, коридорах і в тих місцях, де немає місця для розвороту.

Зазначена 8-ми колісна 4-ри важільна конструкція шасі визначає унікальні параметри проєктованого робота за критеріями прохідності, функціональності, маневреності та живучості, завдяки яким цей робот і буде конкурентоспроможним на міжнародному рівні. Слід зауважити, що при проектуванні таких мобільних колісних роботів враховуються підвищені вимоги до габаритів, прохідності, автономності функціонування (мобільності) та номенклатури виконуваних завдань. Таким чином, враховуючи експлуатаційні показники за прохідністю, балансуванням, ефективним енергозабезпеченням приводів та іншими зазначеними показниками, розглядувана 8-ми колісна 4-ри важільна конструкція шасі є найбільш оптимальною для створення конкурентоспроможного мобільного роботизованого комплексу на базі колісного шасі високої прохідності.

Після аналізу вже існуючих колісних шасі мобільних роботів, їх основних сфер застосування,

Таблиця 1

Зведена таблиця технічних показників колісних роботів

Назва робота	Маса робота, кг	Вантажопідйомність, кг	Питома вантажопідйомність (відносно ваги робота)	Швидкість, м/с
<i>Шасі 1-го типорозміру (діам. коліс 120...180 мм)</i>				
Cobra Mk2	6,1	5	0,82	
EyeDrive	3,76	3,5	0,93	1,3
МРК «ВездеходТМЗ»	35			0,7
Еж3	5			0,3
МСЦ	2			1
Koala	4,5	3,5	0,78	0,6
<i>Шасі 2го типорозміру (діам. коліс 220...320 мм)</i>				
Starship		9		
Пластун	50	100	2	0,7
TeleMAX EOD/IEDD				1,1...2
Quator XL	260	500	1,92	4,16
<i>Шасі 3го типорозміру (діам. коліс 450...600 мм)</i>				
Трал Патруль	120			2,5
robuROC-6	160	100	0,625	3,61
Artemis Sr	530	300	0,57	4,16
AMSTAF	750	750	1	11
Jaeger6	730	250	0,34	
Jaeger8	1000	680	0,68	
Rex		200		

технічних показників, переваг і недоліків в задоволенні вимог до габаритів, прохідності, мобільності, а також враховуючи масо-габаритні характеристики навісного обладнання та іншого корисного навантаження було виділено три основних типорозміри шасі.

Деякі експлуатаційні характеристики мобільних комплексів зведені до таблиці 1.

З аналізу представлених у даній таблиці значень слідує, що зі збільшенням радіуса коліс робота може перевозити трохи меншу відносну масу.

Вибір оптимальних типорозмірів шасі мобільного робота пов'язаний з задачами, які він повинен виконувати. Так можна виділити лінійку з трьох типорозмірів за діаметром коліс шасі, а саме 120-180 мм, 200-270 мм та 450-550 мм.

**Висновки.** У зв'язку з тим, що поверхня, по якій рухається НРК, дуже неоднорідна та може динамічно змінюватися, наприклад, одна і та ж ділянка місцевості може бути придатна для руху в певний момент часу, але через деякий час бути абсолютно непрохідним після дощу або в результаті вибуху снаряда в цій точці, тому важливою характеристикою є типорозмір та конструкція НРК.

За результатами проведеного аналізу основних типорозмірів та конструкцій НРК з підвищеною прохідністю було визначено, що найбільш оптимальними параметрами є 8-колісна шарнірно-зчленована конструкція типу Black Canyon, масою 45-50 кг та шасі 1-го типорозміру з діаметром коліс 160 мм.

### Список літератури:

1. Павленко І.І. Промислові роботи: основи розрахунку та проектування. Кіровоград : КНТУ, 2007. 420 с.
2. Павленко І.І. Роботизовані технологічні комплекси. Кіровоград : КНТУ, 2010. 392 с.
3. Костюк Г.І., Баранов О.О., Левченко І.Г., Фадеев В.А. Роботизовані технологічні комплекси. Харків : Нац. аерокосмічний університет «ХАІ», 2003. 214 с.
4. Меткина Н.П., Лапін М.С., Клейменов С.А., Критський В.М. Гнучкі виробничі системи. Москва : Видавництво стандартів, 1989. 309 с.

### References:

1. Pavlenko I.I. (2007). Promyslovi roboty: osnovy rozrakhunku ta proektuvannia [Industrial robots: basics of calculation and design]. Kirovohrad : KNTU. (in Ukrainian)
2. Pavlenko I.I. (2010). Robotyzovani tekhnolohichni kompleksy [Robotic technological complexes]. Kirovohrad : KNTU. (in Ukrainian)
3. Kostyuk H.I., Baranov O.O., Levchenko I.H., Fadieiev V.A. (2003). Robotyzovani tekhnolohichni kompleksy [Robotic technological complexes]. Kharkiv : Nats. aerokosmichnyi universytet "KhAI". (in Ukrainian)
4. Metkina N.P., Lapin M.S., Kleimenov S.A., Kritskii V.M. (1989). Hnuchki vyrobnychi systemy [Flexible production systems]. Moscow : Vydavnytstvo standartiv. (in Russian)