

Напрями і проблеми розвитку робототехніки довільної орієнтації

Головною проблемою створення мобільних роботів довільної орієнтації (РДО) у просторі є необхідність подолати дестабілізуючу гравітаційну складову в сукупності робочих динамічних навантажень транспортних і технологічних операцій у таких сферах виробничої діяльності, як моніторинг промислових об'єктів, монтаж і демонтаж будівельних конструкцій, ремонт їх компонентів і профілактичне обслуговування висотних об'єктів промислового та господарського призначення [1].

Одним із шляхів вирішення означеної проблеми є створення методології синтезу мобільних РДО у технологічному просторі, спрямованої на розроблення теоретичних засад структурно-параметричного синтезу як автоматизованого процесу для наступного відтворення промислових зразків технологічних РДО.

Розглянемо перспективні сфери експлуатації мобільних РДО, викладемо рівень технічних підсистем цього класу роботів, проаналізуємо теоретичні та експериментальні дослідження й запропонуємо напрями методологічних підходів до побудови технологічних РДО.

1.1. Сфери експлуатації мобільних роботів

Сфери перспективного застосування мобільних РДО наведено у табл. 1.1, кожна з яких визначає не тільки технічні характеристики роботів, а насамперед системи зчеплення з поверхнею переміщення, по-перше, і тип трансмісії робота, по-друге. Порівнюючи у першому наближенні об'єкти обслуговування, зазначені в табл. 1.1, легко переконатися у взаємозв'язку характеристик об'єктів щодо їх топології, фізико-механічних властивостей поверхні переміщення й гіпотетичних перед-бачуваних до виконання технологічних операцій з характеристиками самих роботів – вибору підсистем протидії гравітаційному навантаженню в сукупності динамічних навантажень, обумовлених технологічним призначенням роботів [6].

Спрямованість і зміст технологічних операцій можуть мати принципові відмінності залежно від сфери експлуатації РДО: якщо під час моніторингу об'єктів обслуговування гравітаційна протидія визначається лише вагою робота, то в разі виконання силових технологічних операцій зазначена протидія доповнюється відповідно до зусиль технологічного оснащення на об'єкт обслуговування.

Таблиця 1.1

Сфери перспективного застосування мобільних роботів довільної орієнтації

№ з/п	Сфера застосування	Об'єкт обслуговування	Рекомендовані системи зчеплення	Припустима трансмісія
1	Обслуговування висотних будинків		Вакуумні	Колісна, крокуюча
2	Ремонт високовольтних ЛЕП		Механічні	Крокуюча
3	Демонтаж або відновлення мостів, віадуків і діагностика подібних споруд		Механічні	Крокуюча
4	Діагностика промислових трубопроводів, чищення, нанесення покриттів		Вакуумні, електромагнітні, на основі адгезії	Колісна, гусенична, крокуюча, черв'ячна
5	Технічне обслуговування міських, паркових і лісових деревних масивів		Механічні	Крокуюча
6	Деактивація об'єктів техногенних катастроф		Механічні	Колісна, гусенична, крокуюча

До змісту *моніторингу* об'єктів обслуговування можуть бути віднесені аналіз якості конструкцій промислових споруд, відеозйомка, автоматичний контроль стану середовища та інші операції експлуатаційного характеру. *Силові контактні* впливи на об'єкт обслуговування передбачають виконання технологічних операцій виробничого призначення, наприклад таких, як монтаж і механічне оброблення елементів конструкцій (різання, свердління та под.), клепання, установлення монтажних дюбелів, зварювання, очищення поверхонь і нанесення спеціальних захисних покриттів об'єктів обслуговування у різних галузях промисловості.

Також до перспективних сфер експлуатації РДО слід віднести й настільки різні за змістом технологічних операцій галузі, як сільське і міське комунальне господарство. Проблема роботизації сільського господарства особливо актуальна в умовах агропромислової революції, наслідком якої є зменшення чисельності зайнятого в ньому населення. Це притаманне не лише умовам агропромислових комплексів, де впроваджено класичні засоби автоматизації, але й сільському господарству в цілому, коли гостроактуальна проблема заміни ручної праці, особливо в період сезонних робіт (збирання врожаю, наприклад овочевих і плодово-ягідних культур), на сьогоднішній день практично нерозв'язна.

Щодо міських комунальних господарств перспективними сферами експлуатації РДО є технічна та профілактична обробка лісових і паркових масивів (обрізання дерев, видалення омели й под.), технічне обслуговування висотних будівель житлового й виробничого призначення, трубопроводів теплових і водних магістралей, висотних труб теплоелектростанцій, колон і стовпів високовольтних ліній електропередач. Роботи довільної орієнтації можуть мати й спеціальне застосування військово-тактичного призначення.

Слушні зауваження про сфери застосування РДО зробив В. С. Дищенко [2], зазначивши, що умови функціонування роботів, обумовлені типом середовища експлуатації та змістом технологічного процесу, можна розділити на дві категорії: *детерміновані* й *недетерміновані*. Відповідно, *детермінованим процесом* є кожний процес, протікання якого повністю залежить від цілеспрямованої діяльності людини. Визначеність середовища обумовлена апріорним знанням точного положення всіх об'єктів, з якими може взаємодіяти робот. Так, для умов експлуатації традиційних промислових роботів характерні точне місце розташування й орієнтація об'єктів обслуговування, розміщених у їх робочій зоні, принаймні у заводських умовах або інших умовах, сформованих людиною.

У *недетермінованих* середовищах практично неможливо забезпечити їх організацію, до них відносять гіпотетично можливі зони експлуатації РДО, створювані аварійними ситуаціями як у природних умовах, так і в разі руйнування промислових

середовищ, тобто сфер, створених людиною, наприклад зруйнованих будинків і споруд. Мобільні роботи і є новим видом техніки для провадження робіт у недетермінованих умовах, відмітною рисою яких є наявність здатності до просторових рухів системи.

До недетермінованих сфер експлуатації мобільних роботів можуть бути віднесені й уже згадані сфери лісового, паркового та сільського господарства, де діяльність людини організована, але довільна орієнтація, власне, об'єктів обслуговування – від дерев до плодово-ягідних культур – апіорі не визначена.

1.2. Структура, склад і рівень реалізації підсистем РДО

У загальному випадку структура мобільного робота (рис. 1.1) містить підсистему керування, підсистему втримання на поверхні та приводи переміщення, сенсори аналізу навколишнього середовища, систему живлення і технологічне оснащення. Сенсорна підсистема здійснює зв'язок робота з топологією технологічного простору, що може бути презентовано у прямокутній декартовій X, Y, Z або сферичній R, β, γ системах координат, точок яких можуть досягнути виконавчі органи робота радіусом R за кутів їх вигину β, γ в зоні сервісу, обумовленої кутом α . Апаратною реалізацією системи керування можуть бути спеціалізований контролер чи бортова ЕОМ.

Розглянемо структуру РДО з погляду впливу домінуючих підсистем на енергетичне споживання, оскільки саме цей фактор визначає потужність, а отже й масу, робота, тобто силу його гравітаційного навантаження.

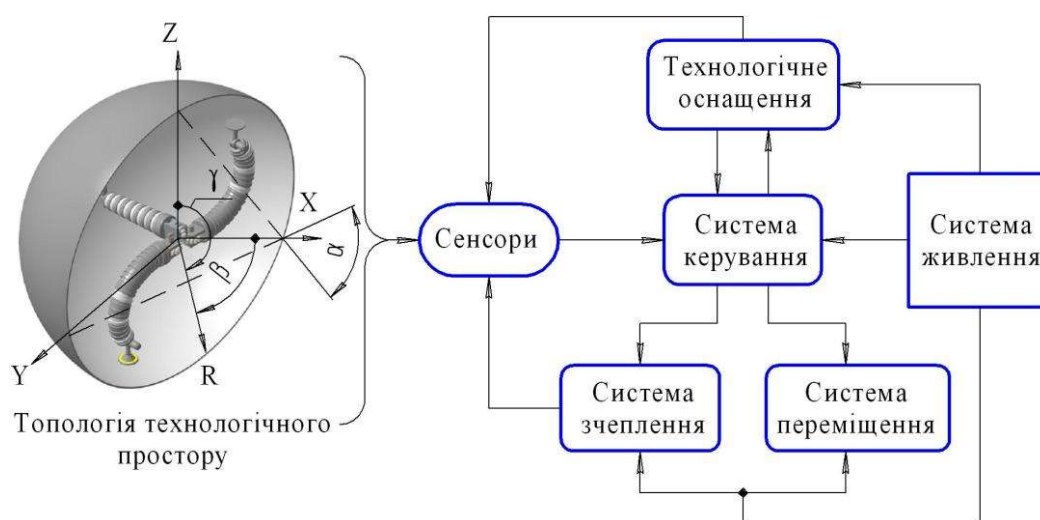


Рис. 1.1. Загальна структура підсистем мобільних РДО

Відомо, що найменший рівень енергетичних витрат властивий системі керування (особливо якщо використано мікроконтролери) і датчикам зовнішньої та внутрішньої інформації. Найбільших енергетичних витрат вимагає система втримання на поверхні й приводи переміщення, а також функціональні пристрої технологічного оснащення. Відмінність у витратах енергії між двома описаними групами може досягати декількох порядків. При цьому зі збільшенням загальної маси робота виникає необхідність підвищувати потужність приводів робота й потужність пристроїв, які втримують робота на поверхні переміщення довільної орієнтації. Зміна загальної маси робота не має прямого впливу на енергетичні витрати системи керування, датчиків і функціональних пристроїв, але суттєво впливає на загальну потужність його приводів. Зниженню сумарної потужності приводної підсистеми руху сприяє використання комбінованих приводів [3, 4], що позитивно впливає на підвищення питомої потужності (кВт/кг) та енергозбереження робота, оскільки саме мобільні роботи, на відміну від інших видів технологічного устаткування, характеризуються переважним використанням автономних джерел енергії – від традиційних акумуляторів з обмеженим ресурсом ємності (А·год.) до сонячних батарей, що вимагають великої ефективної площі приймачів.

Важливо підкреслити й те, що функціональні пристрої визначаються технологічним призначенням робота, тобто є змінною його частиною – якщо треба розширити технологічні можливості, така підсистема зажадає автоматичних стикувальних пристроїв й інструментальних накопичувачів [5]. Останнє стане фактором збільшення маси, а отже й гравітаційної сили, що впливає на робота.

Щоб встановити пріоритети впливу на енергетичні витрати, розглянемо у першому наближенні структуру підсистем руху робота і його зчеплення з поверхнею переміщення (рис. 1.2). Більш детальний аналіз з установленням функціональних залежностей між компонентами структури подано в підрозд. 1.3 та 1.4, а поки обмежимося визначенням функцій і характеристикою впливу зазначених підсистем на енергоспоживання мобільних РДО.

Підсистема приводів забезпечує рух елементів конструкції робота у просторі й безпосередньо визначає вид трансмісії робота, причому вибір сукупності приводів визначається видом системи координат: декартової прямокутної, сферичної, ангулярної (властивої людині) і циліндричної, тобто системою координат технологічного простору [6].

Як і в класичних промислових роботах (стаціонарних і транспортних), у РДО доцільно використовувати електроприводи, що мають вищу здатність до гнучкого програмування, ніж пневматичні приводи, і меншу масу, ніж гідроприводи, хоча й поступаються останнім у показниках точності позиціонування й питомої потужності.

Електроприводи можуть споживати енергію від того (одного) джерела живлення, що й система керування, датчики і функціональні пристрої. Однотипність приводів суттєво підвищує енергетичну ефективність мобільних роботів, як і оптимізація траєкторії руху робота за достатньої потужності для підтримання заданої швидкості руху робота по поверхні переміщення довільної орієнтації. Зазначені методи досить відомі й реалізовані на основі цифрових приводів і систем керування зі зворотним зв'язком, притаманних стаціонарним промисловим роботам різноманітних підприємств.

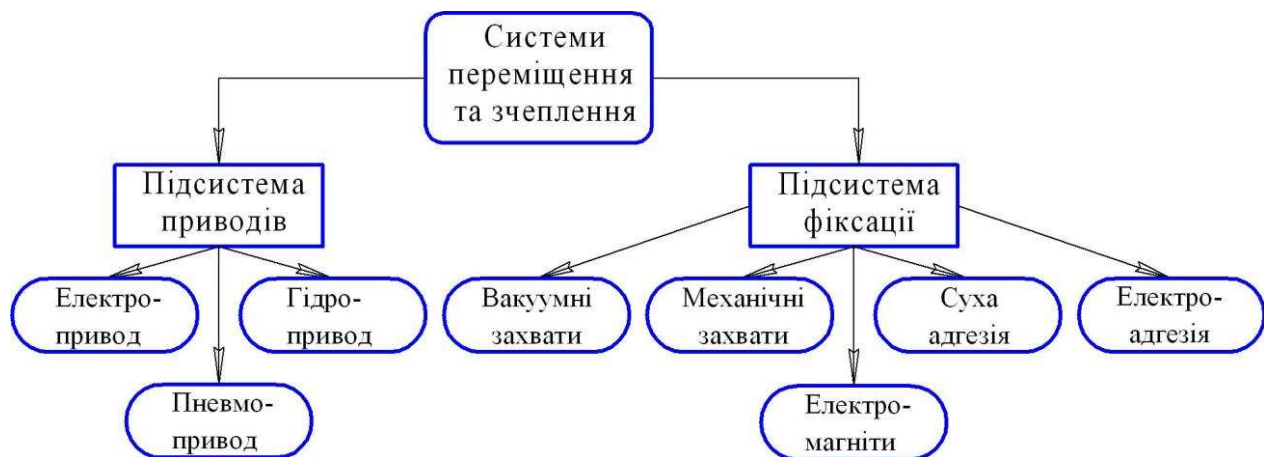


Рис. 1.2. Структура підсистем переміщення та зчеплення РДО

Щоб встановити додаткові резерви підвищення енергетичної ефективності РДО, розглянемо детальніше структуру підсистеми зчеплення з поверхнею руху (табл. 1.2), оскільки така підсистема визначає ступінь надійності втримання мобільного робота на поверхні переміщення. Підсистема зчеплення містить пристрої та приводи утримання робота на поверхні руху – вакуумні, механічні, електро-магнітні, електростатичні, на основі адгезії й інші типи захоплювачів [5].

Зусилля захоплювачів має перевищувати гравітаційну та технологічну складові динамічних навантажень. Така підсистема є однією із ключових елементів конструкції саме РДО у технологічному просторі.

Від обраного механізму втримання на поверхні переміщення залежить принципова конструкція мобільного робота, а зазначений вибір визначається типом і рельєфом поверхні довільної орієнтації, зокрема і вертикальної або стельової.

Конструктивні розв'язки підсистем зчеплення мобільних роботів із поверхнею переміщення передбачають також технології, основані на явищі «сухої» або електричної адгезії, однак сучасні реалізації цих технологій характеризуються надзвичайною повільністю процесу зчеплення, як і малим зусиллям відриву, що поки перешкоджає їх промисловому освоєнню.

Між тим підсистеми зчеплення на основі адгезії можна рекомендувати для виконання операцій діагностики або відеоспостереження, тобто таких, що не вимагають значних технологічних зусиль, окрім протидії гравітаційному навантаженню від ваги самого мобільного РДО у технологічному просторі.

Аналіз способів утримання робота на поверхнях довільної орієнтації [7, 8, 9] показує, що вибір типу фіксації на поверхні переміщення безпосередньо впливає і на енергетичну ефективність мобільного робота. Наприклад, механічні підсистеми [10, 11, 12, 13] найбільш ефективні, коли робот переміщується по пористих поверхнях (грунт, грубий бетон, дерева), однак це збільшує потужність споживання і через необхідність редукції приводів, відповідно, збільшує вагу робота, а отже і його гравітаційну силу ваги.

Найпоширенішою є підсистема з вакуумною фіксацією, оскільки вона універсальна, що обумовлене індиферентністю до матеріалу поверхні переміщення пневматичних захоплювачів. При цьому можливі два варіанти реалізації зазначеної підсистеми:

- 1) безпосереднє використання вакуумних захоплювачів [14, 15];
- 2) утримання робота без присосів за рахунок створення зони зниженого тиску між корпусом робота й поверхнею, якою він переміщається [16].

В обох випадках створення зони вакууму припускає наявність або вакуумного насоса, або компресора із пневматичними ежекторами для створення області розрідження, що, у свою чергу, приводить до збільшення маси робота. Тут найбільш ефективним технічним розв'язком може бути комбінація механічної та вакуумної підсистем [17, 18], об'єднаних зворотним зв'язком керування і засобами контролю глибини вакууму.

Інтеграція таких підсистем особливо ефективна в умовах переміщення робота по складному рельєфу, коли виникає погроза позаштатної (аварійної) ситуації, а саме втрати у певні моменти часу тісного контакту з поверхнею руху.

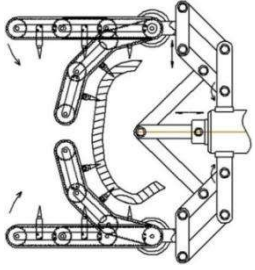
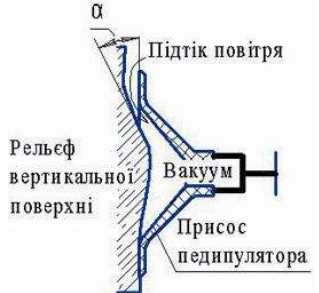
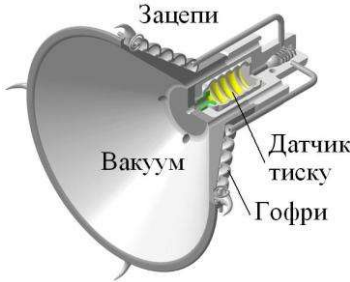
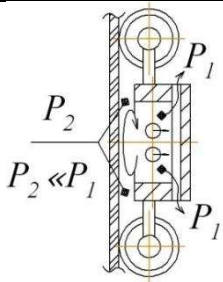
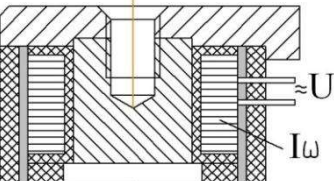
Електромагнітна підсистема [19, 20] утримання РДО на поверхні переміщення характеризується:

- високою швидкістю,
- простотою конструкції та відносно низьким енергоспоживанням,

але обмежена застосуванням матеріалу поверхні, а саме допускає переміщення робота тільки по поверхнях, що мають феромагнітні властивості. Така підсистема може мати досить ефективне застосування під час обслуговування металевих трубопроводів великого діаметра, наприклад газових і нафтових магістралей.

Таблиця 1.2

Типи підсистем утримання робота на поверхні переміщення

№ з/п	Тип підсистеми		Зразок проєктної реалізації	Переваги	Недоліки
1	Механічна			Висока надійність зчеплення з пористою поверхнею	Наявність редукції привода
2	Пневматичні підсистеми	Вакуумна		Індиферентність до матеріалу поверхні переміщення	Підтікання повітря, неприпустимість різких перепадів топології
3		Вакуумно-механічна		Компенсація підтікання повітря, підвищена надійність утримання робота	Нестабільність роботи через високу чутливість системи керування
4		Ежекційна турбовіхрова		Відсутність герметизації зони зниженого тиску	Неприпустимість різких перепадів топології
5		Електромагнітна		Стійкість системи керування, швидкодія	Тільки для феромагнітних поверхонь
6	Суха адгезія			Відсутність привода зчеплення	Низька швидкість переміщення

«Суха» адгезія [21], а також електрична адгезія [22; 23] є найбільш ефективними з погляду енергозбереження, але водночас новими досить дорогими технологіями. Сучасні реалізації такого виду зчеплення з поверхнею переміщення характеризуються вкрай низькою швидкістю переміщення робота унаслідок повільності процесу адгезії, що поки перешкоджає їх промисловому використанню.

Аналіз підсистем утримання робота на поверхні довільної орієнтації показує, що будь-якому раціональному технічному розв'язку об'єктивно властиві переваги й недоліки, однак у жодній із розглянутих технічних реалізацій таких підсистем не запропоновано способів підвищення їх енергетичної ефективності, що для такого виду технологічного устаткування, як мобільні роботи, має принципове значення.

Таким чином, можна зробити попередній *висновок*: головним напрямом підвищення енергетичної ефективності наявних дослідних зразків РДО є зменшення потужності приводів переміщення й удосконалення підсистеми утримання на поверхні для подолання протидії гравітаційної сили. Разом з тим ці напрями, попри їх раціональність, ще не дозволяють забезпечити радикальне підвищення надійності переміщення РДО.