

ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТІВ ВЕРТИКАЛЬНОГО ПЕРЕМІЩЕННЯ

Анотація: Запропоновані методи підвищення енергоефективності технологічних роботів вертикального переміщення, а саме за рахунок рекуперації енергії переміщення, зменшення енергозатрат шляхом вдосконалення їх системи автоматичного керування, інтеграції модулів утримання на поверхні переміщення та моніторингу її топології.

Ключові слова: мобільні роботи, керування роботами вертикального переміщення, генетичні алгоритми

Вступ

Роботи вертикального переміщення є новим різновидом мобільних роботів, що оснащені різноманітними захватами для утримання робота на вертикальній або іншій орієнтації поверхні. Вказані захвати розміщуються або на, так званих, педипуляторах — крокуючих механізмах, або безпосередньо на корпусі робота, якщо останній має колісну трансмісію. Головною особливістю керування роботів даного типу є необхідність врахування гравітаційної складової в сукупності динамічних навантажень. Це пояснюється тим, що відносно традиційних мобільних роботів гравітаційна сила сприяє стабілізації їх пересування, а у випадку роботів вертикального переміщення — навпаки, потребує її подолання з метою гарантованого утримання робота на поверхні переміщення.

Необхідність створення таких роботів обумовлюється виникаючими екстремальними ситуаціями, збільшеними вимогами до виконання технологічних операцій в умовах, небезпечних для перебування людини. Головними задачами розробки технологічних роботів вертикального переміщення (РВП) є вибір способів утримання та одночасного переміщення робота на вертикальній поверхні, розрахунок його конструктивно-технологічних параметрів, припустимого динамічного навантаження та сил, необхідних для утримання і руху.

Основним завданням синтезу системи керування РВП є знаходження умов оптимального співвідношення між силами зчеплення робота з вертикальною поверхнею, з одного боку, і швидкістю реакції системи керування як на позаштатні ситуації, так і на виконання технологічних операцій.

Конструкція та принцип дії робота

На рис. 1 наведено загальний вигляд крокуючого робота вертикального переміщення нового типу [1], а саме діючого за принципом рекуперації енергії

переміщення. Робот включає в себе корпус 1, на якому розміщено неповно поворотний пневматичний привід 2, з'єднаний через трансмісію з педипуляторами 3 — крокуючими механізмами. Останні оснащені пружними елементами 4, що виконують функцію накопичення потенційної енергії за період першої половини циклу переміщення — тобто першої половини кроку. Для здійснення пласко паралельного переміщення робот оснащено шарнірними паралелограмами 5, що з'єднують вакуумні захвати 6 з вказаними вище педипуляторами. Вакуумні захвати 6 утримують робот на вертикальній чи будь-якої довільної орієнтації поверхні і можуть бути замінені на інший тип захватів для утримання робота, наприклад, механічні, електромагнітні чи адгезійні, залежно від типу поверхні переміщення та технологічних функцій робота.

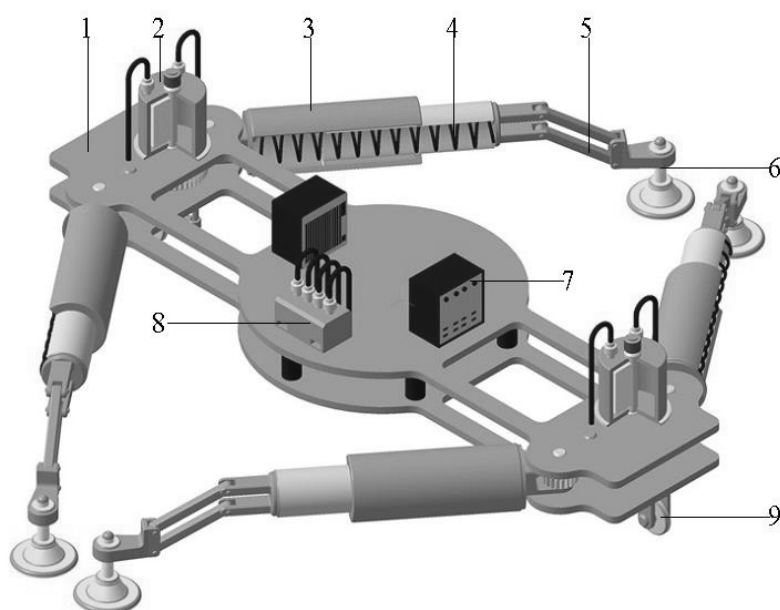


Рис 1. Робот вертикального переміщення з модулями рекуперації енергії

Також робот оснащено блоком керування 7 та модулем енергопостачання 8. Для подолання різноманітних перешкод на поверхні переміщення робот додатково оснащено опорами кочення 9, які завдяки кінематичному зв'язку через диференційну гвинтову передачу з переднім та заднім приводами 2 дозволяють здійснювати підйом корпусу 1 для подолання чергової перешкоди на шляху робота. Апаратною реалізацією системи керування може бути спеціалізований мікроконтролер чи ЕОМ.

Принцип дії робота вертикального переміщення з рекуперацією енергії руху полягає в наступному. На кожній половині кроку переміщення з поверхнею за командами системи керування зчіплюються тільки одна пара захватів — задніх або передніх. Інша пара захватів знаходиться у вільному стані. Після включення

приводу 2 педипулятори 3 обертаються навколо вісі зчеплених з поверхнею переміщення захватів 6, пересуваючи корпус 1 у напрямку руху. В наслідок чого пружні елементи 4 стискаються, накопичуючи таким чином потенційну енергію. На другій половині кроку переміщення привід вимикається, пружні елементи розтискаються, перетворюючи накопичену енергію в кінематичну енергію руху.

Таким чином, переміщення робота на кожній другій половині циклу (тобто половині кроку) відбувається за рахунок енергії, накопиченої на кожній першій половині кроку переміщення. Це дозволяє, що найменше, знизити на 40 ... 45% енергетичні витрати педипуляторів на їх рух, а значить суттєво підвищити енергетичну ефективність робота, що, в свою чергу, надає можливість спрямувати звільнену енергію на виконання технологічних операцій.

У загальному випадку, найменший рівень енергозатрат потребує система керування і датчики зовнішньої та внутрішньої інформації. Найбільш енергозатратними є система утримання на поверхні і переміщення та функціональні пристрої. Різниця у енергозатратах між двома описаними групами може досягати кількох порядків. При цьому зі збільшенням загальної маси робота, виникає необхідність у підвищенні потужності приводів робота та підвищення потужності пристроїв, що утримують робота на поверхні, а саме вакуумних, механічних, електромагнітних та адгезійних захватних пристроїв. Збільшення чи зменшення загальної маси робота не має прямого впливу на енергозатрати системи керування, датчиків і функціональних пристроїв, але суттєво впливає на загальну потужність його приводів. Таким чином, головним шляхом підвищення енергоефективності РВП є зменшення енергозатрат системи утримання на поверхні та переміщення з подоланням протидії гравітаційної сили.

Системи утримання, приводів та моніторингу поверхні переміщення

Система утримання на поверхні і переміщення за своїм складом містить підсистему приводів і підсистему фіксації на поверхні. Підсистема приводів включає в себе приводи РВП, будь якого типу, що відповідають за рух елементів конструкції робота у просторі, в тому числі і педипуляторів. Підсистема фіксації на поверхні включає в себе механізми утримання робота на поверхні, а саме: вакуумні, механічні, електромагнітні та інших типів захвати.

Підсистема приводів може мати різноманітну реалізацію. Здебільшого використовуються електроприводи, як такі, що мають більшу спроможність до гнучкого програмування ніж пневматичні приводи, та меншу масу ніж гідроприводи, хоча й поступаються останнім за такими показниками як точність позиціонування та питома потужність. Окрім того, електроприводи можуть споживати енергію від

одного джерела живлення, що й система керування, датчики та функціональні пристрої. Необхідна потужність приводів залежить від конструктивних особливостей робота і його маси. Таким чином, стає очевидним той факт, що підвищення енергоефективності підсистеми приводів має здійснюватись за рахунок зменшення часу роботи приводів, як це було викладено вище.

Ще одним перспективним напрямком зменшення енерговитрат є інтеграція приводів повздовжнього та вертикального переміщення, а також приводів зміни орієнтації робота за своїм маршрутом. Так, у вище наведеній конструкції РВП привід підйому та повороту робота здійснюється від того ж приводу повздовжнього руху. В першому випадку — за рахунок кінематичного зв'язку опор через диференційну гвинтову передачу з переднім та заднім приводами, а в другому — внаслідок почергового включення захватів зчеплення з поверхнею переміщення не попарно, а по діагоналі корпусу робота. Останні напрямки відносно роботів вертикального переміщення в світовій практиці їх побудови майже не досліджені.

Підсистема фіксації на поверхні відповідає за утримання педипуляторів чи корпусу робота на поверхні переміщення (наприклад через створення області низького тиску між роботом та вказаною поверхнею). Від обраного механізму закріплення на поверхні залежить принципова конструкція робота, а вказаний вибір визначається типом і рельєфом поверхні довільної орієнтації (в т.ч. і вертикальної), по якій можливе переміщення. Також вибір типу фіксації на поверхні впливає і на енергоефективність даної підсистеми. Так звана, "суха" адгезія, а також електроадгезія є найбільш ефективними з точки зору енергозбереження, але й одночасно новими і досить дорогими технологіями. Найбільш поширеними є РВП з вакуумною фіксацією [2]. При цьому можливі два варіанти. По-перше, можливе використання вакуумних присосів, що більш поширене, а по-друге можливе створення зони низького тиску між корпусом робота і поверхнею. Але в обох випадках створення зони вакууму потребує значних енергозатрат, особливо якщо робот має переміщуватися по складному рельєфу, що викликає загрозу нештатної (аварійної) ситуації, а саме втрачання в певні моменти часу тісного контакту з поверхнею.

Для запобігання вказаного явища, тобто у випадку, коли присос не зафіксований на поверхні, а знаходиться під кутом α , як це показано на рис. 2 (а), необхідно мінімізувати площу присосу, яка не має контакту з поверхнею, тобто здійснити адаптацію розташування присосу на поверхні переміщення.

Відомо, що крокуючи людина аналізує поверхню під ногами за рахунок чутливості стопи. Це дає змогу ефективніше з точки зору стабілізації руху розташовувати ногу на складному рельєфі. А так як, енергозатрати на датчики і сис-

тему керування є відносно мінімальними, то можна запропонувати рішення, що схематично зображене на рис. 2 (б). Згідно цього рішення педипулятор оснащується шарнірною ланкою 1, на якій розташовано присос 2 із сенсорами 3. При обробці системою керування аналогових сигналів останніх робот може корегувати своє положення у просторі для кращого контакту з поверхнею. Сенсори слугують для оцінки щільності контакту з поверхнею стопи педипулятора. Таким чином, система керування має змогу корегувати положення педипулятора, подібно до того, як людина корегує положення своєї стопи на похилій площині, і, як наслідок, це дає змогу забезпечити початковий тісний контакт педипулятора з поверхнею.

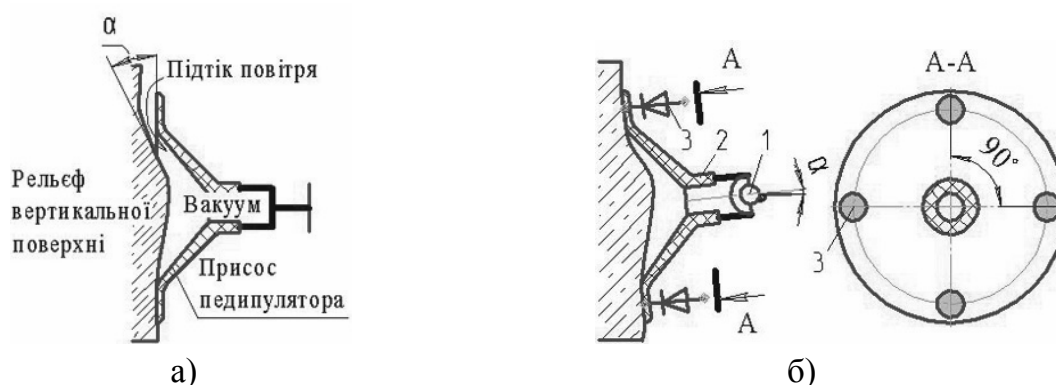


Рис. 2. Схема контакту присоса с поверхнею переміщення:

а) без адаптації та б) з адаптацією його розташування;

1 – шарнірна ланка; 2 – присос; 3 – сенсори; α – кут корекції.

Також, якщо використовувати не прості датчики факту дотику, а цифрові або аналогові сенсори, що можуть надати інформацію щодо сили притиснення частини педипулятора, виникає можливість регулювати роботу вакуумного генератора. Якщо зусилля утримання вистачає, то можливо збільшення потужності вакуумного генератора на величину необхідного безпечного запасу, і не більше. У випадку початку процесу втрати контакту з поверхнею, система керування зможе визначити початок даного процесу за даними сенсорів педипулятора, що в свою чергу надасть змогу прийняти необхідні заходи, наприклад, збільшити потужність вакуумного генератора, або перенести педипулятор, чи застосувати екстрені міри безпеки, в т.ч. й блокування системи фіксації.

Підсистема моніторингу здійснює аналіз рельєфу (топології) поверхні переміщення мобільного робота. Для цього пропонується додавання підсистеми керування лазерним дальноміром чи ехолокатором, що надасть змогу не тільки отримати інформацію про рельєф поверхні, але й здійснити її аналіз, до виконання чергового кроку переміщення. Таке рішення дозволить роботу обходити

перешкоди і мінімізувати час включення приводів. При цьому енергозатрати на роботу вказаних засобів навігації і обчислення траєкторії системою керування будуть на порядки нижчі ніж збережена в такий спосіб енергія, що була б витрачена приводами.

У випадку, коли моніторинг рельєфу поверхні ускладнено, пропонується застосування в системі керування генетичних алгоритмів чи нейромереж [3]. Таке рішення надає можливість перед виконанням технологічних операцій провести адаптацію робота до поверхні. За допомогою генетичних алгоритмів чи застосування нейромереж, робот навчається ефективнішому переміщенню по поверхні, а саме: змінюється довжина кроку, траєкторія руху структурних частин робота, кут нахилу педипулятору, и т.п. У випадках поверхонь з простою топологією, як, наприклад, звичайна стіна з цегли чи бетону, робот може бути навчений переміщуватися таким чином, що присоси педипулятора будуть контактувати з поверхнею стіни, а не в місцях стику елементів будівельних конструкцій, що значно зменшить швидкість зниження глибини вакууму в наслідок підтоку повітря, і, як наслідок, дозволить зменшити енергозатрати на формування вакуумної зони. Адаптація робота до поверхні переміщення запропонованим вище методом передбачає фазу його навчання при зміні топології поверхні.

Для адаптації робота до будь якої вертикальної поверхні керування роботом може здійснюватись шляхом "навчання" переміщенню по робочій поверхні. Тому на даній фазі його функціонування автоматична система керування повинна враховувати показники вакуумних сенсорів, що дозволять оцінити зниження глибини вакууму в наслідок підтоку повітря в камеру присоса педипулятора.

Нехай існує функція зниження глибини вакууму в захваті педипулятора:

$$f(x_1, x_2, \dots, x_n), \quad (1)$$

де x_1, x_2, \dots, x_n – фактори, від яких залежить зниження глибини вакууму, а саме: довжина кроку, кут корекції присосів педипулятору, сила, з якою педипулятор притискається до поверхні його приводами і т.п.; n – кількість факторів.

Очевидно, що мінімізація глибини вакууму призведе до підвищення енергоефективності, тому придатність того чи іншого індивіда буде оцінюватися по критерію мінімуму глибини вакууму, достатнього для утримання робота на вертикальній поверхні, а саме:

$$\min f(x_1, x_2, \dots, x_n). \quad (2)$$

Кожний індивід популяції представляє собою набір факторів

$$(x_{k1}, x_{k2}, \dots, x_{kn}), \quad (3)$$

де x – фактори, від яких залежить зниження вакууму, наприклад, величина перепаду рівнів горизонту поверхні переміщення, еластичність та ефективна площа

присосу окремого педипулятора, кількість одночасно працюючих присосів та інші фактори впливу; k – номер індивіда; n – кількість факторів. Звісно, що кожний фактор має свої обмеження, які необхідно враховувати під час керування роботом.

Першочергово формується випадковим чином початкова популяція. Розмір популяції (кількість індивідів) може бути довільний, але обмежений розмірами тестової поверхні через необхідність відпрацювання кроку робота для вимірювання глибини вакууму при заданих індивідом параметрів з міркувань надійного утримання мобільного робота на вертикальній поверхні переміщення.

Маючи початкову популяцію, робот вертикального переміщення здійснює один крок, який є відображенням конкретного індивіду, а саме використовує відповідні параметри індивіда (кут корекції присосів, довжина кроку, і т.п.). За допомогою сенсорів вимірюється глибина вакууму. Після здійснення кроків, що відповідають обраній популяції, необхідно обрати більш пристосовані індивіди для формування нової популяції, а саме ті індивіди, яким притаманно найменше зниження глибини вакууму між присосом та поверхнею переміщення.

Зазвичай при використанні генетичних алгоритмів таким чином відбирають половину більш пристосованої популяції, чи формують функцію вірогідності вибору індивіда, в нашому випадку можливе використання наступної функції:

$$P_{sel}(i) = 1 - \frac{f(i)}{\sum_{i=1}^k f(i)}, \quad (4)$$

де $f(i)$ – значення функції (1) індивіда i .

Обрані індивіди використовуються у схрещуванні. Існують різноманітні підходи до схрещування. Для даної задачі може бути використаний спосіб, при якому при схрещуванні обирається "точка" відносно якої обирається набір параметрів індивіду від батьківських індивідів. При цьому можливо залишити як обох потомків, так і одного, обрав випадковим чином.

Після схрещування відбувається процес мутації отриманих індивідів. При цьому обирається вірогідність мутації і сила мутації. Для нашої задачі може бути доцільним розглядати вірогідність мутації кожного параметру індивіду, і різну силу мутації для кожного параметру, але не виходячи за рамки обмеження конкретного параметру.

Таким чином, сформоване нове покоління (що містить в собі відібраних індивідів попереднього покоління і потомків), яке проходить тестування, після чого знову відбувається селекція і т.д. Головне питання, що виникає — коли зупинити цей процес? В даному випадку, враховуючи похибки показань датчиків,

похибки позиціонування, і т.п., доцільно обрати певну величину ε , що являє собою допустиму похибку відносно точки мінімуму обраної функції (1). Тоді умовою зупинки алгоритму буде наступна нерівність:

$$\Delta f_j^{\min} \leq \varepsilon, \quad (5)$$

де Δf_j^{\min} – різниця мінімальних значень між поколіннями.

Таким чином, по завершенню фази навчання, будуть отримані параметри переміщення робота, які забезпечать той мінімум глибини вакууму, що достатній для надійного утримання робота на вертикальній поверхні. Це дозволить зменшити необхідну потужність вакуумного генератора, що в свою чергу, надасть можливість або знизити енерговитрати робота, або використовувати резерв сумарної потужності робота для виконання технологічних операцій.

Висновки

Технологічні роботи вертикального переміщення є різновид мобільної робототехніки, що швидко розвивається і є перспективним для застосування в багатьох сферах людської діяльності, особливо в умовах небезпеки для людини та екстремальних умов виконання будь-яких технологічних операцій, а тому можна стверджувати наступне:

1. Вдосконалення системи автоматичного керування РВП за рахунок інтеграції модулів утримання на поверхні переміщення та моніторингу її топології надасть можливість не тільки підвищити енергоефективність роботів вказаного типу, а й забезпечити надійність функціонування системи їх утримання на поверхні руху.

2. Запропонований підхід оптимізації параметрів автоматичного керування роботом на основі методу генетичних алгоритмів надає можливість зменшення вірогідності нештатної (аварійної) ситуації, а саме втрачання в певні моменти часу щільного контакту робота з поверхнею під дією сил гравітації.

3. Побудова моделі керування із застосування генетичних алгоритмів для попереднього формування параметрів руху і фіксації робота (траєкторія руху, довжина кроку, і т.п.) на робочій поверхні, надає можливість покращити надійність функціонування систем руху та навігації при пошуку оптимальної траєкторії переміщення по вертикальним поверхням із різноманітною заздалегідь невизначеною топологією.

4. Інтеграція приводів повздовжнього та вертикального переміщення, а також приводів зміни орієнтації робота за своїм маршрутом з одночасним створенням засобів рекуперації енергії приводів в певні періоди переміщення робота,

Міжвідомчий науково-технічний збірник «Адаптивні системи автоматичного управління» № 2' (33) 2018 надасть можливість суттєво зменшити сумарну питому потужність, що має принципове значення для мобільних роботів означеного типу.

Список використаних джерел

1. Патент UA 111021 МПК В62D57/032. Спосіб переміщення педипуляторів крокуючого робота та пристрій для його здійснення / Л.С. Ямпольський, М.М.Поліщук, В. К. Персіков; опубл. 10.03.2016, Бюл. № 5. – 9 с.

2. Development of a Climbing Robot with Vacuum Attachment Cups / T.C. Apostolescu, C. Udrea, D. Duminica, G. Ionascu, L. Bogatu, Laurențiu Adrian Cartal, Titu Maiorescu // Mechanical Engineering And New High-Tech Products Development. – 2011. – С. 258–267

3. Гнучкі комп'ютеризовані системи: планування, моделювання, верифікація, управління: / Л.С. Ямпольський, П.П. Мельничук, К.Б. Остапченко, О.І. Лісовиченко. — Житомир : ЖДТУ, 2010. — 786 с.