

X міжнародної науково-практичної конференції «Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем» Том 1. – 29 - 30 квітня 2020 р. м. Чернігів. – С.35-37

УДК 621.865.8

**Струтинський В.Б., докт. техн. наук, професор,
Юрчишин О.Я., канд. техн. наук, доцент,
Парненко В.С., канд. техн. наук, ст. викладач,
Кравець В.О., аспірант**

Національний технічний університет України «КПІ ім. І.Сікорського», kvm_mmi@ukr.net

ОБґРУНТУВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ГВИНТОВОГО ЧИСЛЕННЯ ПРИ ДОСЛІДЖЕННІ СТАТИЧНИХ, КІНЕМАТИЧНИХ ТА ДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК МАНІПУЛЯТОРІВ МОБІЛЬНИХ РОБОТІВ

Дослідження характеристик маніпуляторів мобільних роботів є основою розроблення теорії проектування наземних роботизованих комплексів спеціального призначення. Традиційно. характеристики маніпуляторів досліджуються методами теоретичної механіки та динаміки машин. Однак специфіка маніпулятора, що розміщений на рухомому шасі суттєво ускладнює застосування традиційних методів. Основною причиною цього є відсутність фізичної основи для введення абсолютної нерухокої системи координат та методів оцінки точного просторового положення основних елементів маніпулятора.

Ефективність досліджень статичних, кінетичних та динамічних характеристик маніпулятора може бути суттєво підвищена застосуванням елементів теорії гвинтів (гвинтового числення). Теорія гвинтів узагальнює окремі положення статички та кінематики де використовується поняття динамічного гвинта (динами) та кінематичного гвинта (кінети) Узагальнений нормалізований математичний об'єкт у вигляді гвинта об'єднує два різнорідних векторних об'єкти або шість скалярних об'єктів.

Доцільність застосування математичних об'єктів типу нормалізованого гвинта для дослідження характеристик маніпуляторів мобільних роботів ґрунтується на тому, що кожен елемент маніпулятора (схват, важіль, оптичний пристрій, тощо) займає певне положення в просторі і може бути описаний шестивимірним вектором геометричних, кінематичних або динамічних параметрів, Якщо інтерпретувати шестивимірні вектори в термінах теорії гвинтів, то опис характеристик елементів маніпулятора буде являти собою набір взаємопов'язаних нормалізованих гвинтів, зв'язки між якими описують закономірності роботи маніпуляторів в статичних та динамічних режимах. Особливістю застосування методів гвинтового числення є можливість використання локальних систем координат, базиси яких також визначається в термінах теорії гвинтів. При цьому нівелюється необхідність введення і постійного використання базової основної системи координат.

Для опису характеристик маніпуляторів мобільних роботів та їх елементів застосовуються нормалізовані гвинти, які визначають геометричне просторове положення об'єкта, силові фактори, що діють на об'єкт, кінематичні параметри, що характеризують рух об'єкта, зокрема швидкість та пришвидшення. При цьому геометричні гвинти характеризують поточне положення деякої точки об'єкта (номусу) та просторове поперечно-кутове положення об'єкта при його повороті навколо вибраної точки. Силові гвинти є результатом об'єднання головного вектора сил, що діють на об'єкт та головного моменту. При дослідженні характеристик маніпуляторів розрізняють задачу статички, із введенням статичного силового гвинта, та задачу динаміки, де використовуються змінні в часі нормалізовані гвинти, що описують силове та моментне навантаження на об'єкт. Кінематичні гвинти в узагальненому вигляді описують зміни в часі положення об'єкту (швидкість) та похідну вказаних змін (пришвидшення). Нормалізований кінематичний

гвинт швидкості є результатом об'єднання векторної швидкості поступального переміщення номуса об'єкту та кутової швидкості сферичного руху об'єкта відносно номусу. Нормалізований кінематичний гвинт по пришвидженню об'єднує пришвидження поступального руху номусу та пришвидження сферичного руху навколо номуса.

Нормалізований гвинт в загальному випадку визначено об'єднанням по вертикалі двох векторних комплексів

$$G_r = \begin{bmatrix} \vec{e} \\ \vec{e} \times \vec{r} + h\vec{e} \end{bmatrix}$$

де \vec{e} - одиничний вектор, орієнтований по вісі гвинта G_r ;

\vec{r} - радіус вектор локальної системи координат XYZ;

h - скалярна величина, що являє собою параметр гвинта.

Параметр гвинта може набувати нульового або нескінченного значення. Зокрема при $h=0$ маємо нормалізований гвинт, відповідний застосованим в теоретичній механіці динамічному гвинту (динамі) та кінематичному гвинту (кінеті).

При дослідженні характеристик маніпуляторів застосовані групи гвинтів, зокрема, гвинти, напрямки яких паралельні деякій площині. Введення даної групи доцільно для спрощення опису маніпулятора, важелі якого переміщуються в паралельних площинах. При цьому використовується планарна модель для опису переміщень маніпулятора. Використані як двочленні групи гвинтів так і групи із вищою членністю.

Зв'язки між нормалізованими гвинтами які визначають геометричні, кінематичні та силові характеристики маніпуляторів мобільних роботів визначені певними співвідношеннями. Найбільш поширеним видом зв'язків гвинтових об'єктів є їх лінійна комбінація. Для задач статички лінійні співвідношення між гвинтами як правило відповідають правилам векторної алгебри. Виключенням є великі зміни конфігурації маніпуляторів. При цьому вводяться спеціальні обмеження на операції з гвинтами. Для дослідження статичних і динамічних характеристик маніпуляторів рекомендовано введення груп гвинтів, що утворюють базис в локальній системі координат. Базис із трьох нормалізованих гвинтів у своїй лінійній комбінації утворює довільний нормалізований гвинт для опису відповідних характеристик об'єкта.

Лінійні комбінації гвинтів встановлюють зв'язок між окремими характеристиками у вигляді векторно-матричних співвідношень, які є особливо ефективними для дослідження малих змін параметрів маніпуляторів. При цьому визначаються матриці якості для розв'язку прямої та інверсійної задачі кінематики маніпулятора та матриці жорсткості і деформативності, що характеризують статику маніпулятора як просторового механізму. Для дослідження динамічних процесів у маніпуляторах введені диференціальні операції над групами гвинтів. Вони встановлюють співвідношення між геометричними, кінематичними та динамічними характеристиками маніпуляторів описаними в термінах гвинтового числення. В лінійній постановці дані операції подаються в операторній формі шляхом застосування перетворення Лапласа для нормалізованих гвинтів, компоненти яких є функціями часу. Операторна форма суттєво спрощує розв'язок задач динаміки маніпулятора. Для невеликих змін параметри динамічного процесу в маніпуляторах описуються матрицями передавальних функцій, що пов'язують гвинтові об'єкти динамічних переміщень із динамічними навантаженнями на маніпуляторі.

В результаті проведених досліджень встановлено, що застосування методів гвинтового числення суттєвим чином підвищує ефективність методів дослідження характеристик маніпуляторів мобільних роботів. В першу чергу, це стосується задач динаміки роботів, які розв'язати класичними методами як правило неможливо.