

СХЕМОТЕХНІЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ КІНЕМАТИЧНИХ СХЕМ МАНІПУЛЯТОРІВ ПРОМИСЛОВИХ РОБОТІВ

Дворжак В. М., к.т.н., доц.,

Київський національний університет технологій та дизайну, м. Київ,
v_dvorjak@ukr.net

Повсюдна комп'ютеризація та поява різних САД-програм визначає провідне становище аналітичних методів дослідження механізмів машин. У технічній літературі описані різні методи математичного моделювання просторових механізмів та маніпуляторів, зокрема і векторний метод, описаний в роботі [1], який дозволяє представити ланки механізму у вигляді вільних векторів, а характерні точки механізму (кінематичні пари, центри мас ланок тощо) у вигляді радіус-векторів. Таке векторне представлення просторового механізму та маніпулятора дає змогу моделювати їхні кінематичні схеми, наприклад в Mathcad, з використанням матриць перетворення (повороту, зсуву, масштабування) [2], що значно спрощує процес моделювання. Застосування програми Mathcad дозволяє проводити паралельні розрахунки кінематичних параметрів, здійснювати візуалізацію та анімацію кінематичної схеми механізму тощо [2].

Як правило, кінематичний і динамічний аналіз маніпулятора включає складання математичної моделі маніпулятора, розробку програмного забезпечення, введення початкових умов та обмежень, математичне моделювання руху маніпулятора, аналіз отриманих результатів [3].

Розглянемо пряму (першу) задачу про положення маніпуляторів на початковому етапі кінематичного аналізу із застосуванням методу векторного перетворення координат.

Маніпулятор зазвичай виконується у вигляді відкритого кінематичного ланцюга з інваріантними геометричними параметрами рухомих ланок, які з'єднуються нижчими кінематичними парами. За відсутності у структурі маніпулятора замкнених контурів, кількість кінематичних пар дорівнює ступеню його рухомості. Положення рухомих ланок та характерних точок маніпулятора визначаються узагальненими координатами, які задають відносні рухи в кінематичних парах [3].

Для складання математичної моделі маніпулятора повинна бути задана його кінематична схема; метричні (геометричні) параметри ланок; закон зміни узагальнених координат; початкове положення.

Кінематична схема маніпулятора виконується у правій системі координат (ПСК) з ортами $e_X := (1 \ 0 \ 0)^T$, $e_Y := (0 \ 1 \ 0)^T$, $e_Z := (0 \ 0 \ 1)^T$. Кожна рухома ланка механізму має ПСК з початком відліку в центрі шарніру; одна координатна вісь направляєється уздовж осі симетрії ланки, друга – по осі

шарніра, третя – перпендикулярно двом першим так, щоб утворилася ПСК. Рух ланок визначається зміною узагальнених координат (обертальних та поступальних).

Для обертальних кінематичних пар запишемо матриці повороту вектора навколо координатних осей ПСК:

$$T_X(\alpha) := \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(\alpha) & \cos(90^\circ + \alpha) \\ 0 & \cos(90^\circ - \alpha) & \cos(\alpha) \end{pmatrix};$$

$$T_Y(\alpha) := \begin{pmatrix} \cos(\alpha) & 0 & \cos(90^\circ - \alpha) \\ 0 & 1 & 0 \\ \cos(90^\circ + \alpha) & 0 & \cos(\alpha) \end{pmatrix};$$

$$T_Z(\alpha) := \begin{pmatrix} \cos(\alpha) & \cos(90^\circ + \alpha) & 0 \\ \cos(90^\circ - \alpha) & \cos(\alpha) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}.$$

Для поступальних кінематичних пар запишемо матрицю перетворення координат:

$$R(r_1, r_2) := Ort(r_1) \cdot r_2, \text{ де } Ort(r_1) := \frac{r_1}{|r_1|},$$

де r_1 – вектор-ланка, що здійснює обертальний рух;

r_2 – скаляр узагальненої координати поступальної пари.

Розглянемо чотиричленний маніпулятор, структурна схема якого (рис. 1) містить три рухомі вектор-ланки $P_{1,2}, P_{2,3}, P_{3,4}$, та $P_{4,5}$, довжини (модулі) яких відповідно $l_{1,2}, l_{2,3}, l_{3,4}$, та $l_{4,5}$. Перші три ланки з'єднуються обертальними кінематичними парами п'ятого класу P_1, P_2, P_3 , четверта – поступальною парою п'ятого класу P_4 . Точка P_5 – робоча точка маніпулятора. Осі абсцис ПСК рухомих ланок маніпулятора спрямовуються уздовж осей симетрії ланок, осі аплікату шарнірів P_1 та P_3 – по осям цих шарнірів, вісь ординат шарніра P_2 – по його осі. Узагальненими координатами маніпулятора є три кути повороту ланок $\alpha_{Z1}, \alpha_{Y2}, \alpha_{Z3}$ та змінна s_5 , що характеризує зміну модуля $l_{4,5}$ уздовж осі $X5$.

Визначимо математичні моделі, що описують функції положення рухомих ланок маніпулятора:

$$P_{1,2}(\alpha_{Z1}) := T_Z(\alpha_{Z1}) \cdot e_X \cdot l_{1,2};$$

$$P_{2,3}(\alpha_{Z1}, \alpha_{Y2}) := T_Z(\alpha_{Z1}) \cdot T_Y(\alpha_{Y2}) \cdot e_X \cdot l_{2,3};$$

$$P_{3,4}(\alpha_{Z1}, \alpha_{Y2}, \alpha_{Z3}) := T_Z(\alpha_{Z1}) \cdot T_Y(\alpha_{Y2}) \cdot T_Z(\alpha_{Z3}) \cdot e_X \cdot l_{3,4};$$

$$P_{4,5}(\alpha_{Z1}, \alpha_{Y2}, \alpha_{Z3}, s_5) := P_{3,4}(\alpha_{Z1}, \alpha_{Y2}, \alpha_{Z3}) \cdot l_{4,5}(s_5).$$

Визначимо математичні моделі, що описують функції положення

характерних точок маніпулятора.

$$P_2(\alpha_{z1}) := P_1 + P_{1_2}(\alpha_{z1});$$

$$P_3(\alpha_{z1}, \alpha_{y2}) := P_2(\alpha_{z1}) + P_{2_3}(\alpha_{z1}, \alpha_{y2});$$

$$P_4(\alpha_{z1}, \alpha_{y2}, \alpha_{z3}) := P_3(\alpha_{z1}, \alpha_{y2}) + P_{3_4}(\alpha_{z1}, \alpha_{y2}, \alpha_{z3});$$

$$P_5(\alpha_{z1}, \alpha_{y2}, \alpha_{z3}, s_5) := P_4(\alpha_{z1}, \alpha_{y2}, \alpha_{z3}) + P_{4_5}(\alpha_{z1}, \alpha_{y2}, \alpha_{z3}, s_5).$$

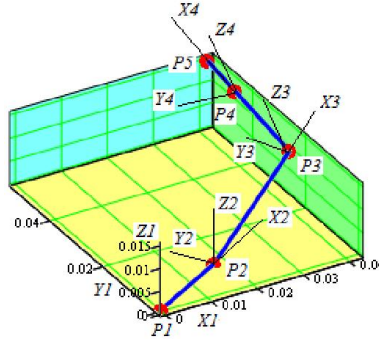


Рис. 1. Графік візуалізації в Mathcad кінематичної схеми маніпулятора

Подальші дослідження будуть направлені на кінематичний та динамічний аналіз структур маніпуляторів промислових роботів з використанням сучасних CAD-програм.

Список літератури

1. Артоболевский И. И. Теория механизмов и машин / И. И. Артоболевский – М. : Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1988. – 640 с.
2. Дворжак В. М. Схемотехнічне моделювання кінематичних схем просторових чотириланкових кривошипно-коромислових механізмів технологічних машин / В. М. Дворжак // Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. Технічні науки. – 2016. – № 2. – С. 18-26.
3. Ащепкова Н. С. Метод кинематического и динамического анализа манипулятора с использованием Mathcad / Н. С. Ащепкова // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2015. № 5/7 (77). – С. 54-63.

SCHEME-TECHNICAL MODELING OF CINEMATIC SCHEMES OF MANUFACTURERS OF INDUSTRIAL WORKS

The mathematical modeling of the manipulator of an industrial robot by the vector coordinate transformation method using CAD-programs is considered; mathematical models of the vector-links of the manipulator and its characteristic points are obtained; the circuit simulation in Mathcad is carried out.