

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І  
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ  
ІНСТИТУТ МЕХАНІКИ ТА АВТОМАТИКИ АПВ НААН  
ДЕРЖАВНИЙ БІОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ



**ЗБІРНИК  
ТЕЗ ДОПОВІДЕЙ**

*XI Міжнародної науково-технічної конференції з нагоди  
117-ї річниці від дня народження  
доктора технічних наук, професора,  
віцепрезидента УАСГН  
КРАМАРОВА  
Володимира Савовича  
(1906-1987)*

**«КРАМАРОВСЬКІ ЧИТАННЯ»**

*22-23 лютого 2024 року  
м. Київ*

УДК 631.17+62-52-631.3

Збірник тез доповідей XI Міжнародної науково-технічної конференції «Крамаровські читання» з нагоди 117-ї річниці від дня народження доктора технічних наук, професора, віцепрезидента УАСГН Крамарова Володимира Савовича (1906-1987) 22-23 лют. 2024 р., м. Київ / МОН України, Національний університет біоресурсів і природокористування України. К.: Видавничий центр НУБіП України, 2024. 505 с.

Proceedings of the XI International Scientific and Technical Conference dedicated to the 117th anniversary of the birth of Doctor of Technical Sciences, Professor, Vice President of the UAAS Kramarov Volodymyr Savovych (1906–1987), February 22–23, 2024, Kyiv / MES of Ukraine, National University of Life And Environmental Sciences of Ukraine. Kyiv: Publishing center of NULES of Ukraine, 2024. 505 p.

В збірнику представлені тези доповідей науково-педагогічних працівників, наукових співробітників, аспірантів та студентів НУБіП України, провідних вітчизняних і закордонних вищих навчальних закладів та наукових установ, в яких розглядаються завершені етапи розробок.

The Proceedings presents abstracts of reports of scientific and pedagogical workers, research staff, graduate students and students of the NULES of Ukraine, leading domestic and foreign higher educational institutions and scientific institutions, in which completed stages of development are considered.

УДК 621.9.048

## АНАЛІТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПОЛОЖЕННЯ РОБОЧОГО ОРГАНУ МАНІПУЛЯЦІЙНОЇ РОБОТОТЕХНІЧНОЇ СИСТЕМИ

**О. М. ЧЕРНИШ**, к.т.н., доцент

*Національний університет біоресурсів і природокористування України*

*E-mail: chernysh@nubip.edu.ua*

**Мета дослідження.** Обґрунтувати алгоритм розв'язку прямої задачі кінематики для моделі багатоланкової маніпуляційної робототехнічної системи на основі матричного методу приєднаних координат.

**Результати досліджень.** Питання розробки і створення прикладних методів розрахунку у тому або іншому програмному середовищі відповідно до конкретних поставлених умов на сьогоднішній день досить актуальні. Для створення алгоритму таких обрахунків можна залучити, як загальновідомі програмні пакети MathCAD, MATLAB, Maple, так і інші вузько-спеціалізовані програмні продукти.

У цілому вибір методів і засобів програмування і розрахунку кінематичних параметрів робототехнічних систем мають місце для більшості сучасних технологічних процесів. При цьому разом із задачами забезпечення точності і швидкості позиціювання і переміщення робочих органів руху робототехнічних систем, підвищення якісних показників існує також актуальна задача зменшення енергозатрат на його здійснення. Ці задачі можна розв'язати шляхом розробки і створення більш ефективних і точних алгоритмів керування маніпуляційними робототехнічними системами.

Доцільність та ефективність застосування матричного підходу в задачах створення алгоритмів розрахунку кінематичних параметрів багатоланкових маніпуляційних робототехнічних систем полягає в тому, що тут застосовується послідовне перетворення координат при переході від однієї ланки до наступної. При цьому процес переходу складається з послідовного набору матриць перетворення, які зв'язані з системами координат ланок кінематичного ланцюга механізму робототехнічної системи. Кожна система координат кінематичного ланцюга формується за методом Денавіта-Хартенберга послідовної побудови систем координат із формуванням однорідних матриць перетворення.

Використовуючи такі матриці перетворення, можна отримати зв'язок між координатами  $P_i$  будь-якої точки  $P$   $i$ -ї ланки маніпуляційної робототехнічної системи у системі відліку, що рухомо з'єднана із суміжною  $(i-1)$ -ю ланкою:

$$\bar{P}_{i-1} = {}^{i-1}A_i \cdot \bar{P}_i,$$

де  ${}^{i-1}A_i$  – матриця елементарного перетворення для суміжних систем координат;  $\bar{P}_{i-1}$ ,  $\bar{P}_i$  – вектори положення довільної точки  $P$  для суміжних систем координат.

Це дозволяє описати положення кожної ланки відносно положення попередньої ланки системи.

Добуток матриць утворює однорідну матрицю складного перетворення:

$${}^{i-1}A_i = T_{Z,d_i} \cdot T_{Z,\theta_i} \cdot T_{X,a_i} \cdot T_{X,\alpha_i},$$

де  ${}^{i-1}A_i$  – ДХ-матриця складного перетворення для суміжних систем координат,  $a_i, \alpha_i, d_i, \theta_i$  – чотири геометричні параметри кінематичного ланцюга, що описують зв'язок між суміжними системами координат.

При цьому матриця координат точки  $P$  в  $(i-1)$ -й системі відліку, зв'язаною з  $(i-1)$ -ю ланкою може бути представлена у вигляді  $P_{i-1} = (X_{i-1}, Y_{i-1}, Z_{i-1}, 1)^T$ , а матриця координат точки  $P$  в  $i$ -й системі відліку, зв'язаною з  $i$ -ю ланкою – у вигляді  $P_i = (X_i, Y_i, Z_i, 1)^T$ , а однорідна матриця  ${}^0T_i$ , що визначає положення  $i$ -ї системи координат відносно базової, являє собою добуток послідовності однорідних матриць перетворення:

$${}^0T_i = {}^0A_1 \cdot {}^1A_2 \cdot \dots \cdot {}^{i-1}A_i = \prod_{i=1}^n {}^{i-1}A_i = \begin{bmatrix} X_i & Y_i & Z_i & P_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} {}^0R_i & {}^0P_i \\ 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad i = 1, 2, \dots, n$$

де  ${}^0R_i$  – матриця, що визначає орієнтацію  $i$ -ї системи координат по відношенню до базової;  ${}^0P_i$  – величина вектора, що з'єднує початок базової і  $i$ -ї системи координат.

Пряма задача кінематики саме і полягає у визначенні положення і орієнтації робочого органу робототехнічної маніпуляційної системи щодо абсолютної системи координат, тобто параметрів матриці:

$$T = {}^0A_1 \cdot {}^1A_2 \cdot \dots \cdot {}^{n-1}A_n = \prod_{i=1}^n {}^{i-1}A_i, \quad i = 1, 2, \dots, n,$$

де  $n$  – число ланок кінематичного ланцюга маніпуляційної робототехнічної системи.

В результаті задані закони руху ланок робота можна визначити певним добутком однорідних матриць перетворення при переході від рухомих систем координат ланок до абсолютної. У своїй визначеній послідовності набір таких добутків складають алгоритм аналітичних розрахунків.

Аналітичні дослідження проводились на базі елементарної моделі механізму триланкового маніпулятора робота із застосуванням програмного пакету MathCAD.

**Висновки.** Проведені дослідження дають аналітичний розв'язок прямої задачі кінематики робототехнічної маніпуляційної системи та алгоритм визначення координат і орієнтації робочого органу відносно абсолютної системи координат. Перевірка алгоритму підтвердила правильність програмних розрахунків, які спрощують і прискорюють процес отримання даних та дають можливість їх застосування для подальшого динамічного аналізу і керування механізмом.