

В.А. Кирилович, к.т.н., доц.
І.Ю. Черепанська, к.т.н., доц.
А.Ю. Сазонов, аспір.

Житомирський державний технологічний університет

ТЕРМІНОЛОГІЧНИЙ ТА ЗМІСТОВНИЙ АСПЕКТИ ТОЧНОСТІ ПРОМИСЛОВИХ РОБОТІВ

Проведено аналіз існуючих на сьогодні напрацювань щодо точності промислових роботів. На основі аналізу розглянуто та узагальнено основні термінологічні особливості, що пов'язані з дослідженням точнісних параметрів сучасних промислових роботів.

Вступ. Точність промислових роботів (ПР) є комплексним поняттям, що включає в себе позиційні та траєкторні складові, кожна з яких характеризує особливості конструкції маніпуляційної системи (МС) ПР, особливості системи управління ПР тощо. Недостатня інформаційна наповненість технічної документації щодо точнісних параметрів ПР призводить до необхідності аналізу загальної сукупності існуючих характеристик та визначення відсутніх, але необхідних, на етапі проектування/синтезу роботизованих механоскладальних технологій (РМСТ) у гнучких виробничих комірках (ГВК), що розглядаються як “складові” гнучких комп’ютерно-інтегрованих систем [6].

Постановка завдання. Існуючі на сьогодні проблеми, що пов'язані з аналізом точності виконання технологічних операцій та виготовлення якісних виробів, породжують питання щодо узагальнення та систематизації точнісних характеристик ПР.

У доступних інформаційних джерелах [16, 25, 33–35, 37] основними є такі терміни щодо точності ПР: *точність позиціонування* (англ. *pose accuracy*), *позиційна повторюваність* (англ. *pose repeatability*), *траєкторна точність* (англ. *path accuracy*) та *траєкторна повторюваність* (англ. *path repeatability*) (рис. 1).

Більшість сучасних провідних виробників ПР у технічній документації вказують лише значення саме *позиційної повторюваності* (*repeatability*) як основної характеристики точності ПР за вимогою стандарту [33, 35], нехтуючи при цьому іншими, не менш важливими. В більшості випадків для вибору конкретної моделі ПР, при плануванні траєкторних переміщень його (ПР) робочого органу (РО), наприклад, схвата (Сх) та при розміщенні основного та допоміжного технологічного обладнання, що формують множину

робочих позицій $\mathbb{P}_t | t = \overline{1, T}$, де T – загальна кількість РП, в робочій зоні (РЗ) ПР, недостатньо знати лише величину позиційної повторюваності. Визначення апіорі невідомих характеристик та показників точності аналізованої моделі ПР призводить до зайвих втрат часових, енергетичних та інтелектуально-професійних ресурсів.

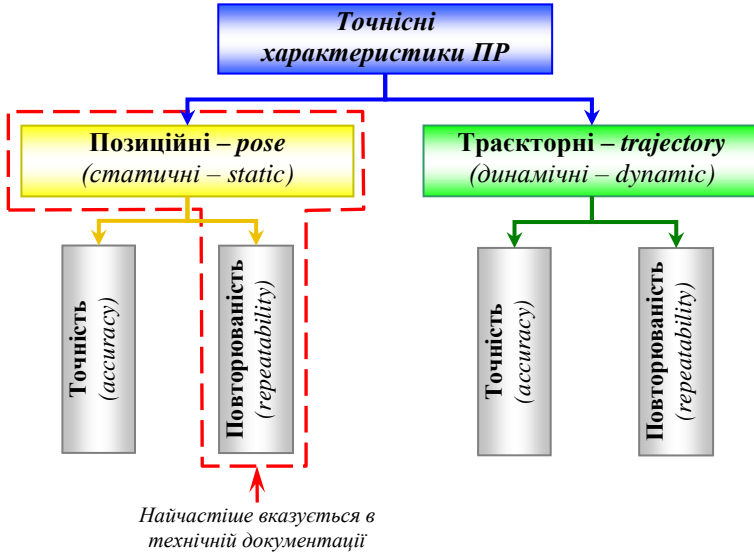


Рис. 1. Основні точнісні характеристики сучасних ПР

Метою даної роботи є узагальнення змісту термінологічних особливостей та аналізу існуючих напрацювань щодо досліджень точнісних характеристик сучасних ПР, що використовуються при технологічному обслуговуванні робочих позицій гнучких виробничих комірок для їх однозначного подальшого використання при автоматизованому синтезі РМСТ.

Викладення основного матеріалу. За тлумаченням інформаційних джерел [11, 31, 36, 37], що посилаються на стандарти ISO [33, 35], під загальним поняттям *позиційна повторюваність* розуміють величину близькості один до одного незалежних результатів вимірювань, що отримані одним і тим же методом, в однакових умовах в одній лабораторії. Для ПР це поняття набуває такого змісту: *повторюваність* – це відхилення характеристичної точки робочого органу ПР у процесі здійснення багаторазових

повторюваних рухів в одну і ту ж точку РЗ при однаковій конфігурації ланок МС ПР.

Характеристичною точкою РО ПР в загальному випадку можна розглядати полюс СхПР ($P_{Сх}$), або будь-яку іншу точку в тому випадку, коли замість СхПР до останньої ланки МС ПР кріпляться технологічні засоби, що безпосередньо виконують технологічні операції над ОМ та мають відповідні координати $\{X, Y, X\}$ в системі координат (СК), а значить у РЗ ПР. Вказуючи в технічній документації повторюваність, розробники ПР мають на увазі саме *позиційну повторюваність* у певній точці РЗ ПР, нехтуючи при цьому показниками *траєкторної повторюваності*, що є особливо важливою при виконанні багатьох технологічних операцій, наприклад, таких як зварювання та фарбування.

Точність (accuracy) – зворотна величина *похибки (error)*, яка характеризується величиною відхилення координати фактичного положення характеристичної точки ПР від ідеального положення, заданого системою управління ПР.

Отже *точність позиціонування (pose accuracy)* виражає відхилення положення, досягнутого робочим органом ПР, від положення, заданого системою управління.

Деякі автори для визначення точності позиціонування застосовують термін *статична точність (static accuracy)* [29, 39], під якою розуміють точність ПР в кінцевій точці траєкторного переміщення робочого органу ПР в 3D-просторі, та для визначення точності відпрацювання траєкторії – поняття *динамічна точність (dynamic accuracy)*, що визначає, наскільки точно ПР може переміщуватись вздовж заданої траєкторії [29]. Незважаючи на очевидну важливість інформації щодо статичної та динамічної точності, дані характеристики переважно більшістю виробників ПР не вказуються в технічній документації на ПР.

Точність позиціонування (pose accuracy або accuracy pose – AP) є узагальнюючим поняттям, оскільки містить величини похибок позиціонування та позиційної повторюваності, що, в свою чергу, породжені великою кількістю як випадкових, так і систематичних впливів (рис. 2), зокрема похибками, що діють з боку системи керування, механічної та привідної систем.

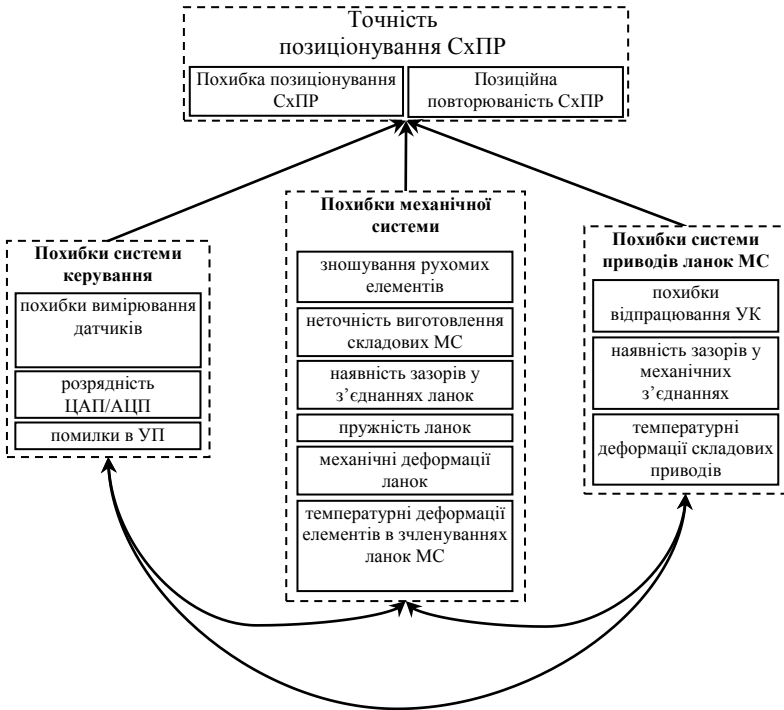


Рис. 2. Узагальнена схема формування точності ПР

Точність позиціонування, графічне представлення якої зображено на рисунку 3, також має назву *статична точність* (*static accuracy*) і визначається як середньоквадратична похибка переміщення робочого органу ПР у задану точку $P_c(x_c, y_c, z_c)$ та розраховується за виразом:

$$\Delta_{ПР_i} = AP = \sqrt{(x_i - x_{ic})^2 + (y_i - y_{ic})^2 + (z_i - z_{ic})^2}, \quad (1)$$

де x_{ic}, y_{ic}, z_{ic} – координати P_{Cx} в i -ій точці ПЗ, задані системою управління ПР; $\bar{x}_i, \bar{y}_i, \bar{z}_i$ – середні арифметичні значення координат фактичного положення РО ПР при K переміщеннях в i -ту точку ПЗ:

$$\bar{x}_i = \frac{1}{K} \cdot \sum_{k=1}^K x_{i_k}; \quad \bar{y}_i = \frac{1}{K} \cdot \sum_{k=1}^K y_{i_k}; \quad \bar{z}_i = \frac{1}{K} \cdot \sum_{k=1}^K z_{i_k}, \quad (2)$$

де $x_{i_k}, y_{i_k}, z_{i_k}$ – координати фактичного положення РО, отримані після k -го повторення однакового переміщення РО в i -ту точку [36, 37].

В тримірному просторі з врахуванням кутових складових розрізняють також *точність орієнтації (orientation accuracy)* (кутову точність позиціонування), що вказує максимальне відхилення фактичного кутового положення від заданого системою управління ПР та виражається за формулою:

$$\Delta_{\text{ПР}_o} = AP_o = \sqrt{(\bar{a}_i - a_{i_c})^2 + (\bar{b}_i - b_{i_c})^2 + (\bar{c}_i - c_{i_c})^2}, \quad (3)$$

де

$$\bar{a}_i = \frac{1}{K} \cdot \sum_{k=1}^K a_{i_k}; \quad \bar{b}_i = \frac{1}{K} \cdot \sum_{k=1}^K b_{i_k}; \quad \bar{c}_i = \frac{1}{K} \cdot \sum_{k=1}^K c_{i_k}, \quad (4)$$

$a_{i_c}, b_{i_c}, c_{i_c}$ – задані системою управління кутові переміщення РО ПР в i -ту точку навколо відповідних осей X, Y, Z в прийнятій системі координат; $\bar{a}_i, \bar{b}_i, \bar{c}_i$ – середні арифметичні значення фактичних кутових переміщень робочого органу ПР.

На рисунку 3 зображено загальну схему формування точності ПР [36].

Позиційна повторюваність (pose repeatability) виражає близькість між фактичними положеннями характеристичної точки ПР після k -ої кількості повторюваних рухів в одну і ту ж точку в однаковому напрямку з однаковим кінцевим конфігураційним станом ланок МС.

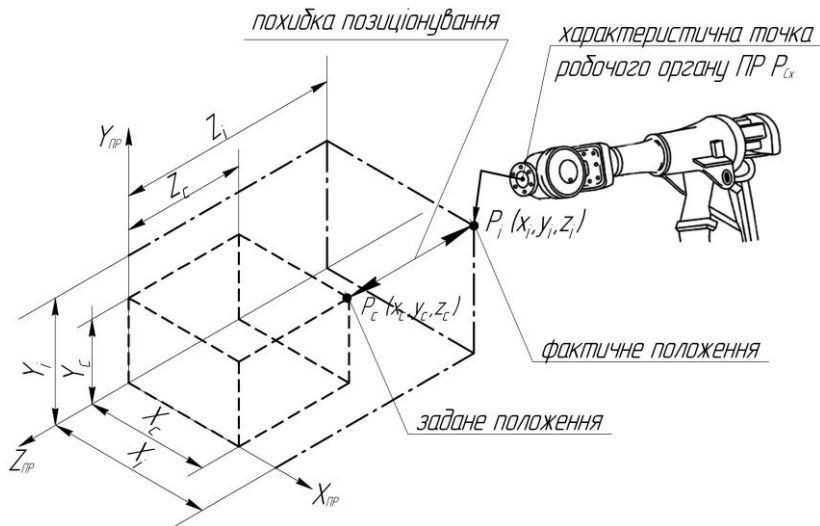


Рис. 3. Графічне представлення формування точності позиціонування ПР

Для заданого положення позиційна повторюваність виражена:

– значенням повторюваності s , що є радіусом сферичної поверхні (еліпсоїда розподілу похибок), центром якої є точка, сформована із середніх арифметичних координат фактичного переміщення ПР k -ої кількості раз в одну і ту ж саму точку (рис. 4, а);

– розкидання кутів (дисперсія) $\pm 3\sigma_a$, $\pm 3\sigma_b$, $\pm 3\sigma_c$ навколо середнього значення \bar{a}_i , \bar{b}_i , \bar{c}_i , де σ_a , σ_b , σ_c – це середня квадратична похибка орієнтації, що виражає позиційну повторюваність орієнтації навколо відповідних осей X, Y, Z (рис. 4, б).

Представлена на рисунку 4 схема ілюструє сутність похибки позиціонування Δ_{Cx_i} та позиційної повторюваності s . Точками P позначено точки центра $P_{i_{Cx}}$ (x_i, y_i, z_i) еліпсоїда розсіювання випадкової величини – похибки позиціонування P_{Cx} , координат, заданих системою управління (*command position*) $P_{c_{Cx}}$ ($x_{c_{Cx}}, y_{c_{Cx}}, z_{c_{Cx}}$) та координат фактичного $(i-k)$ -го $P_{(i-k)_{Cx}}$ ($x_{(i-k)}, y_{(i-k)}, z_{(i-k)}$) та $(i+k)$ -го $P_{(i+k)_{Cx}}$ ($x_{(i+k)}, y_{(i+k)}, z_{(i+k)}$) положення робочого органу ПР, де $k = \overline{1, K}$, K – загальна кількість послідовних переміщень полюса СхПР в i -ту точку РЗ ПР.

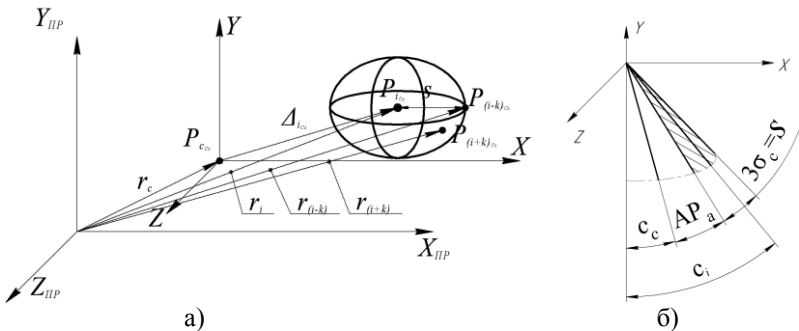


Рис. 4. Графічне представлення сутності похибки позиціонування та позиційної повторюваності з врахуванням: а – лінійних координат; б – кутів переміщень [11, 36]

Наведена в технічній документації величина позиційної повторюваності, що може сягати значень менших за десяти долі

міліметра, не надає достатньої інформації про точнісні характеристики конкретної моделі ПР, оскільки похибка позиціонування як правило є набагато більшою та може сягати десятків міліметрів [28, 32]. При високій точності позиціонування недостатня позиційна повторюваність може негативно впливати на точність виконання технологічних операцій, що особливо важливо при роботизованому складанні, зварюванні, технологічному обслуговуванні металорізальних верстатів (МРВ) тощо. В деяких англійських інформаційних джерелах в такому випадку використовується термін *machine tending* [34, 38].

На рисунку 5 графічно представлена сутність вказаних вище (рис. 1) точнісних характеристик, показано, що низьке значення позиційної повторюваності ще не вказує на високу точність позиціонування. Тому, знаючи лише один параметр позиційної повторюваності, неможливо зробити об'єктивний висновок щодо точнісних параметрів ПР. Аналіз ілюстрацій (рис. 4) вказує на те, що як при високому, так і при низькому значенні позиційної повторюваності можлива недостатня точність позиціонування та навпаки як при високій, так і при низькій точності позиціонування має місце недостатня величина позиційної повторюваності, що однаково негативно впливає на точність виконання технологічних операцій, а отже і на якість готових виробів. Для виробництв, що вимагають високої точності, особливо важливим є підвищення точності позиціонування та зменшення значення позиційної повторюваності одночасно.

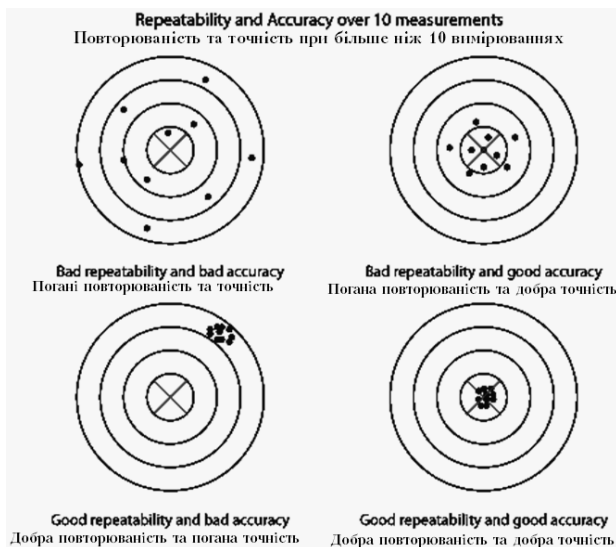


Рис. 5. Позиційна повторюваність та точність позиціонування, комбінація параметрів [37]

Недостатня інформаційна наповненість технічної документації часто призводить до неможливості однозначно визначити певні точнісні характеристики, що вимагає обов'язкового попереднього моделювання МС ПР. Існуючі на сьогодні підходи до аналізу та моделювання точності ПР формують два напрямки досліджень, а саме: імовірнісний [1, 2, 4–6, 11, 13, 26] та детермінований [2, 3, 7–10, 13–15, 17, 18, 20–24, 26, 27, 30, 31, 36, 38,]. Їх сутність та автори наведені в таблиці 1.

Таблиця 1

Підходи до аналізу моделювання точності ПР

Підхід до моделювання точності ПР		
	Детермінований	Імовірнісний
Сутність	Похибка ПР розглядається в межах певного абсолютного значення поля допуску $\pm\Delta$. Розрахунок похибок ведеться з врахуванням накопичення абсолютних максимальних значень похибок, що вказані в технічній	Похибка ПР розглядається за відомими дисперсіями розподілу похибок зчленувань МС ПР та нульовим математичним очікуванням. Вважається, що вони (похибки) розподіляються за певним законом

	документації	розподілу, наприклад, за законом Гауса
Автори	Аннабі М.Х., Корендяєв А.І., Кобринський А.А., Кобринський А.Е., Саламандра Б.Л., Тивес С.М., Челпанов І.Б., Колпашніков С.Н., Смольніков Б.А., Жавнер В.Л., Белаїді Абдеррахман, Бурдаков С.Ф., Д'яченко В.А., Тимофєєв А.Н.	Павленко І.І., Мархадаєв Б.Е., Нікіфоров С.О., Kurfess Thomas R., Siciliano B., Khatib O., Taslakova D.
Сутність	Комбінований	
	Загальна похибка ПР складається із суми елементарних похибок в зчленуваннях ланок МС ПР. Елементарні похибки в зчленуваннях ланок МС ПР представляються розподіленими за певним законом розподілу густини імовірності в межах певного “поля допуску”	
Автори	Мархадаєв Б.Е., Нікіфоров С.О. (фрагментарно)	

Для детермінованого підходу характерним є те, що похибки в зчленуваннях ланок приймають рівними певним абсолютним значенням в межах так званого “поля допуску” $\pm \Delta_{n-(n-1)}$, де n – загальна кількість УК МС ПР. При цьому розглядаються переважно максимальні або мінімальні значення похибок, що для реальних умов аналізу точнісних характеристик ПР при проектуванні/синтезі РМСТ в ГВК не завжди відповідає дійсності. Для визначення загальної похибки позиціонування СхПР даний підхід вимагає наявності повної інформації про номінальні параметри приводів у зчленуваннях та масо-інерційні характеристики ланок МС ПР, що, як правило, відсутні в технічній документації. Недоліком даного підходу є неможливість враховувати випадкові складові похибки позиціонування, оскільки в різні моменти часу похибка позиціонування ПР при переміщенні в одну і ту ж саму точку приймає різні значення та не завжди накопичується або компенсується.

Множина факторів, що визначають кінцеву точність позиціонування полюса СхПР, призводить до висновку про недоцільність або повну неможливість використання детермінованих підходів до дослідження, в тому числі моделювання точнісних параметрів ПР.

Імовірнісний підхід до аналізу похибок доцільно застосовувати в умовах дефіциту інформації щодо масо-інерційних характеристик

механічної системи ПР та системи управління ПР. Вказаний підхід полягає в розгляданні елементарних похибок у зчленуваннях МС ПР, які породжені множиною випадкових впливів різних факторів, а отже є випадковими величинами і розподіляються за певним законом розподілу імовірності з відомими дисперсіями або середніми квадратичними відхиленнями та нульовим математичним очікуванням. Незважаючи на те, що даний підхід дозволяє оцінити випадкову складову похибки позиціонування, проте він вимагає наявності в технічній документації даних щодо законів їх (похибок) розподілу, що, як правило, відсутня.

Враховуючи перераховані можливості вказаних підходів та з метою зменшення впливу їх недоліків на повноцінний аналіз похибок ПР доцільно розглядати комбінований підхід, що об'єднує їх переваги. Він полягає в оперуванні абсолютними значеннями похибок, що подаються в технічних характеристиках ПР, із застосуванням понять теорії імовірності та математичної статистики [8, 19]. Складові похибки в зчленуваннях МС ПР, які породжені різними випадковими факторами, розглядаються як випадкові величини, що приймають певне випадкове значення із вказаного “поля допуску” та розподіляються в межах цього поля за певним законом розподілу імовірності. Вказаний підхід дозволяє провести статистичний аналіз похибок, визначити параметри закону розподілу: математичне очікування, середнє квадратичне відхилення, кореляційні моменти та коефіцієнти кореляції [8, 19], що доцільно використовувати як кількісні оцінки для подальших точнісних досліджень ПР та відповідно сам закон розподілу (за умови попередньо отриманих експериментальним шляхом вибірок фактичних координат положення СхПР в РЗ ПР).

Серед існуючих на сьогодні напрацювань з точності ПР має сенс приділити особливу увагу працям таких вітчизняних авторів, як С.О. Нікіфоров, Б.Е. Мархадаєв [15, 20–22], І.І. Павленко [23, 24], А.І. Корендяєв [11, 12].

Зокрема С.О. Нікіфоров та Б.Е. Мархадаєв [20, 21] для аналізу точності ПР використовують представлення елементів МС ПР у вигляді радіус-векторів у плоскій системі координат ПР $X^{ПР}O^{ПР}Y^{ПР}$, представляючи залежність координат положення полюса СхПР від узагальнених координат векторною сумою матриць косинусів, що описують положення кожної ланки МС в системі координат ПР. При цьому стверджується, що величина дисперсії похибки позиціонування СхПР буде більшою на зовнішній границі РЗ при максимально видовжених ланках МС для випадку МС ПР з телескопічними ланками. Для плоского тришарнірного ПР оптимальною за точністю

позиціонування конфігурація буде МС тоді, коли перша ланка буде орієнтована якомога ближче до СхПР та буде забезпечуватись якомога менший кут C_3 (рис. 6) [20].

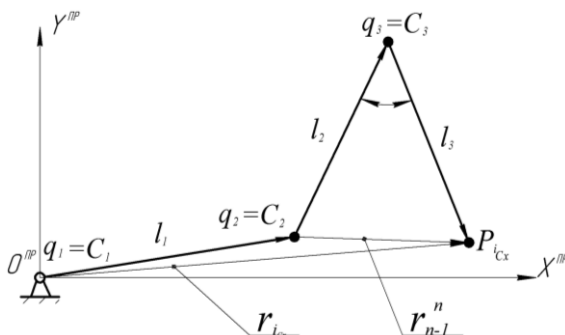


Рис. 6. Радіус-векторне представлення МС ПР

Таким чином, у проведених Б.Е. Мархадаєвим та С.О. Нікіфоровим дослідженнях виявляється залежність похибки позиціонування Сх від УК у зчленуваннях МС ПР [20, 22]. Крім того, вводиться поняття *головних ліній точності*, якими є лінії, в кожній точці яких напрямком дотичної до неї співпадає з напрямком зміщення СхПР, в якому похибка екстремально змінюється [15, 20, 21]. Через кожену точку РЗ ПР можливо провести дві головні лінії точності, що ортогональні одна одній в цій точці. Б.Е. Мархадаєв рекомендує включити в перелік технічних характеристик ПР опорну сітку головних ліній точності [15].

І.І. Павленко [23, 24] досліджує переважно ПР циліндричної СК з цикловою системою управління. Досить повно розкриває сутність конструктивних складових похибок позиціонування, що пов'язані з конструкцією конкретної моделі ПР циліндричної СК. Зокрема, розглядає похибки механічної системи, похибки системи управління приводів. Враховуючи особливості циклової системи, особливу увагу приділяє похибкам, що пов'язані зі зношуваністю упорів ланок МС ПР. Розглядає умови встановлення ОМ у пристосування технологічного обладнання на прикладі цангового патрона.

Висновок. Проведений аналіз існуючих на сьогодні точнісних характеристик ПР, що надаються виробниками ПР, та тих, які апріорі можуть бути використані для більш повноцінного аналізу конкретної моделі ПР, вказує на те, що наведеної інформації для її використання при автоматизованому синтезі РМСТ в ГВК, як правило, недостатньо. Розглянуто найбільш поширені на сьогодні методи досліджень

точнісних параметрів ПР. Даний аналіз є основою для подальшого моделювання та визначення параметрів точності сучасних ПР, що широко використовуються в приладо- та машинобудуванні при виконанні допоміжних технологічних операцій обслуговування РП механоскладальних ГВК.

Список використаної літератури:

1. *Аннаби М.Х.* Приближенный метод расчета погрешностей обработки роботами программных траекторий : дис. ... канд. техн. наук : 05.02.02 “Роботы, мехатроника и робототехнические системы” / *Аннаби Мохамед Хабиб.* – СПб. : 2003. – 126 с.
2. *Белаиди Абдеррахман.* Разработка и исследование методов компенсации систематических погрешностей промышленных роботов : автореф. дис. ... канд. техн. наук : спец. 05.02.05 “Роботы, манипуляторы и робототехнические системы” / *Абдеррахман Белаиди.* – Л., 1989. – 16 с.
3. *Бурдаков С.Ф.* Проектирование манипуляторов промышленных роботов и роботизированных комплексов : учебн. пособие для студ. вузов, обучающихся по спец. “Робототехнические системы” / *С.Ф. Бурдаков, В.А. Дьяченко, А.Н. Тимофеев.* – М. : Высш. шк., 1986, – 264 с.
4. *Волгарев А.Л.* Улучшение динамических и точностных характеристик промышленного робота с ЭВМ в контуре управления в режимах движения на малых скоростях : автореф. дис. ... канд. техн. наук : спец. 05.02.05 “Роботы, манипуляторы и робототехнические системы” / *А.Л. Волгарев.* – Л., 1989. – 16 с.
5. *Воробьев Е.И.* Матричный метод определения точностных характеристик механизмов роботов и манипуляторов / *Е.И. Воробьев* // Сборник научно-методических статей по теории машин и механизмов. – М. : Высшая школа. – 1979. – Вып. 9. – С. 45–48.
6. Гнучкі комп’ютерно-інтегровані системи: планування, моделювання, верифікація, управління : підручник / *Л.С. Ямпольський, П.П. Мельничук, К.Б. Остапченко, О.І. Лісовиченко.* – Житомир : ЖДТУ, 2010. – 786 с.
7. Динамика управления роботами / *А.В. Тимофеев, В.В. Козлов, В.П. Макарычев, Е.И. Юревич.* – М. : Наука, 1984. – 336 с.
8. *Елисеева И.И.* Общая теория статистики : учебник / *И.И. Елисеева, М.М. Юзбашев* ; под ред. *И.И. Елисеевой.* – М. : Финансы и статистика, 2004. – 656 с.

9. *Жавнер В.Л.* Сравнительный анализ кинематических схем промышленных роботов и манипуляторов по точности позиционирования / *В.Л. Жавнер, И.В. Трояновский* // Интенсификация процессов и оборудования пищевых производств. – Л., 1976. – С. 66–69.
10. *Ибрагим А.Р.* Повышение точности устройств автоматической смены зажимных элементов в токарном модуле : дис. ... канд. техн. наук : 05.03.01 “Процессы механической обработки, станки и инструменты” / *Ибрагим Фархан Салман Аль Рефо.* – К. : НТУУ “КПИ”, 2002. – 168 с.
11. *Корендясев А.И.* Теоретические основы робототехники / *А.И. Корендясев, Б.Л. Саламандра, С.М. Тывес* ; отв. ред. *С.М. Каплунов* ; Ин-т машиноведения им. А.А. Благонравова РАН. – М. : Наука, 2006. – 383 с. (Кн. 1).
12. *Корендясев А.И.* Теоретические основы робототехники / *А.И. Корендясев, Б.Л. Саламандра, С.М. Тывес* ; отв. ред. *С.М. Каплунов* ; Ин-т машиноведения им. А.А. Благонравова РАН. – М. : Наука, 2006. – 383 с. (Кн. 2).
13. *Кобринский А.А.* Мобильность и точность манипулятора / *А.А. Кобринский, Л.А. Кобринский* // *Машиноведение.* – 1976. – № 3. – С. 3–9.
14. *Лилов Л.* Анализ точности манипуляционных систем / *Л.Лилов, П.Парушев, Б.Бежаров* // *Теоретична и приложна механика.* – Болгария, 1981. – № 4. – С. 11–19.
15. *Мархадаев Б.Е.* Комбинированные математические модели при анализе точности манипуляционных роботов : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.02.05 – “Роботы, манипуляторы и робототехнические системы” / *Б.Е. Мархадаев.* – СПб, 1998. – 20 с.
16. ГОСТ 25686-85. Манипуляторы, автооператоры и промышленные роботы. Системы производственные гибкие. Термины и определения. – [Чинний від 1986-02-01]. – М. : Государственный комитет СССР по стандартам, 1986. – 6 с.
17. *Механика промышленных роботов : учеб. пособие для вузов : в 3 кн. / Е.И. Воробьев, О.Д. Егоров, С.А. Попов и др. ; под ред. К.В. Фролова, Е.И. Воробьева.* Кн. 2 : Расчет и проектирование механизмов. – М. : Высшая школа, 1989. – 368 с.
18. *Механика промышленных роботов : учеб. пособие для вузов : в 3 кн. / Е.И. Воробьев, А.В. Бабич, К.П. Жуков и др. ; под ред. К.В. Фролова, Е.И. Воробьева.* Кн. 3 : Основы конструирования. – М. : Высшая школа, 1989. – 383 с.

19. Михайленко В.В. Теорія ймовірностей, математична статистика та випадкові функції. Курс лекцій : навч. посібник / В.В. Михайленко. – Житомир : ЖІТІ, 2003. – 292 с.
20. Никифоров С.О. Вероятностная оптимизация конфигурации манипулятора для заданного конечного положения захватного устройства / С.О. Никифоров, Б.Е. Мархадаев // Вестник машиностроения. – 1988. – № 4. – С. 7–8.
21. Никифоров С.О. Точностные модели промышленных роботов / С.О. Никифоров, Б.Е. Мархадаев // Вестник машиностроения. – 1989. – № 9. – С. 22–25.
22. Никифоров С.О. Влияние метрики манипулятора на погрешности позиционирования промышленных роботов / С.О. Никифоров, Б.Е. Мархадаев // Вестник машиностроения. – 1991. – № 8. – С. 29.
23. Павленко І.І. Промислові роботи: основи розрахунку та проектування : навч. посібник / І.І. Павленко. – Кіровоград, 2007. – 418 с.
24. Павленко І.І. Роботизовані технологічні комплекси : навч. посібник / І.І. Павленко, В.А. Мажара. – Кіровоград : КНТУ, 2010. – 392 с.
25. ГОСТ 4.480-87. Система показателей качества продукции. Роботы промышленные. Номенклатура основных показателей. – [Чинний від 1989-01-01]. – М. : Государственный комитет СССР по стандартам, 1987. – 8 с.
26. Шисман В.Е. Точность роботов и робототехнических систем. – Х. : Вища шк. Изд-во при ХГУ, 1988. – 154 с.
27. Яглінський В.П. Моделювання динамічних процесів роботизованого виробництва / В.П. Яглінський, Д.В. Йоргачов. – Одеса : Астропринт, 2004. – 234 с.
28. Duysinx P. An introduction to robotics: mechanical aspects / P.Duysinx, M.Geradin. – University of Liège, 2004. – 247 p.
29. Kleinkes M. An automated quick accuracy and output signal check for industrial robots / M.Kleinkes, W.Neddermeyer, M.Schnell // Proceedings of the 6th WSEAS International Conference on Robotics, Control and Manufacturing Technology. – Hangzhou, China, April 16–18, 2006. – Pp. 232–237.
30. Kurfess T.R. A multivariate statistical approach to metrology / T.R. Kurfess, D.L. Banks, J.J. Wolfson // ASME J. Manuf. Sci. Eng. – 1996. – Vol. 118, № 1. – Pp. 652–657.
31. Kurfess T.R. Robotics and automation handbook / T.R. Kurfess. – CRC Press LLC, 2005. – 579 p.
32. Maas H-G. Dynamic Photogrammetric Calibration of Industrial Robots / H-G. Maas // Proc. SPIE Videometrics V. SPIE Proceedings Series. – Vol. 3174. – Switzerland, Zurich. – 1997 [Електронний ресурс]. –

- Режим доступу : http://www.tu-dresden.de/fhgipf/forschung/material/publ_maas/videometrics97_robotocal.pdf
33. Manipulating industrial robots. Performance criteria and related test methods: ISO 9283:1998. – [Чинний від 1998-08-05]. – Geneve : International Organization for Standartization, 1998. – 72 p.
 34. Mechanical Engineering Handbook / *L.F. Lewis, J.M. Fitzgerald, I.D. Walker and others* ; Ed. *Frank Kreith, Yogi Goswami*. – second edition. – Boca Raton : CRC Press LLC, 2005. – 2509 p.
 35. Statistics – Vocabulary and symbols – Part 1: General statistical terms and terms used in probability: ISO 3534-1:2006 [Чинний від 2006]. – Geneve : International Organization for Standartization, 2006. – 105 p.
 36. *Taslakova D.* Positioning accuracy and repeatability of a class of technological robots / *D.Taslakova* // Bulgarian academy of science. Problems of engineering cybernetics and robotics. – 1997. – № 46. – Pp. 99–105.
 37. Robotic Gripper Repeatability Definition and Measurement / *Samuel Bouchard*. – 08.07.2011 [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://blog.robotiq.com/bid/36551/Robotic-Gripper-Repeatability-Definition-and-Measurement>.
 38. *Siciliano B.* Handbook of robotics / *B.Siciliano, O.Khatib*. – Berlin : Springer-Verlag, 2008. – 1628 p.
 39. *Lenarcic J.* Advances in Robot Kinematics: Analysis and Design / *J.Lenarcic, P.Wenger*. – Berlin : Springer-Verlag, 2008. – 466 p.

КИРИЛОВИЧ Валерій Анатолійович – кандидат технічних наук, доцент, професор кафедри автоматизації і комп'ютеризованих технологій Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

– автоматизований синтез роботизованих механоскладальних технологій машино- та приладобудування.

Тел.: (093)770–30–77.

E-mail: kiril_va@yahoo.com

ЧЕРЕПАНСЬКА Ірина Юріївна – кандидат технічних наук, доцент Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

– математичне моделювання;

– автоматизовані виробництва.

E-mail: cheri2008@yandex.ru

САЗОНОВ Артем Юрійович – аспірант кафедри автоматизації і комп'ютеризованих технологій Житомирського державного технологічного університету, спеціаліст.

Наукові інтереси:

– проблеми адаптивності в роботизованих механоскладальних виробництвах.

Тел.: (моб.) (068)218–61–48.

E-mail: artyomsazonov@mail.com

Стаття надійшла до редакції 05.03.2012

Кирилович В.А., І.Ю. Черепанська, Сазонов А.Ю. Термінологічний та змістовний аспекти точності промислових роботів

Кирилович В.А., Черепанская И.Ю., Сазонов А.Ю. Терминологический и содержательный аспекты точности промышленных роботов

Kurylovych V.A., Черепанская И.Ю., Sazonov A.Y. Terminological and substantial aspect of industrial robots accuracy

УДК 62-503,57:62-229,34

Терминологический и содержательный аспекты точности промышленных роботов / В.А. Кирилович, И.Ю. Черепанская, А.Ю. Сазонов

Проведен анализ существующих на сегодня наработок относительно точности промышленных роботов. На основе анализа рассмотрены и обобщены основные терминологические особенности, связанные с исследованием точностных параметров современных промышленных роботов.

УДК 62-503,57:62-229,34

Terminological and substantial aspect of industrial robots accuracy / V.A. Kurylovych, И.Ю. Черепанская, А.Y. Sazonov

The analysis of the materials existing for today concerning industrial robots accuracy is provided. Based on the mentioned analysis considered and generalized basic terminological features connected to the accuracy research of the modern industrial robots.

41 42 43 44 45 46 47 48

49 50 51 52 53 54

55 56 57 58 59 60

61 62 63 64 65 66 67

68 69 70 71