REFERENCES

1. Aliev I.S. Radial extrusion processes. Soviet Forging and Metal Stamping Technology (English Translation of Kuznechno-Shtampovochnoe Proizvodstvo), 1988, Part 3, pp. 54–61. ISSN: 0891-334x.
2. Abhari Payman. Finite Element Simulation of Flashless Radial Extrusion Process / Payman Abhari, Igramotdin Aliiev // IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering (IOSR-JMCE), e-ISSN: 2278-1684, p-ISSN: 2320-334X, Volume 14, Issue 4 Ver. III (Jul. – Aug. 2017), PP 79 – 83, DOI: 10.9790/ 1684-1404037983.
3. Abhari Payman. Application of Numerical Simulation to Investigate Material Flow in Hollow Radial Extrusion/ Payman Abhari // International Journal of Scientific Research in Science, Engineering and Technology (IJSRSET). – July-August-2017. – Volume 3. – Issue 5. – p. 556–560.ISSN 2394-4099. DOI :10.32628/IJSRSET1734145.

УДК 62-192:004.896

ДО ПАРАМЕТРИЧНОЇ НАДІЙНОСТІ ПРОМИСЛОВИХ РОБОТІВ

Березін Л.М.
Київський національний університет технологій та дизайну

Надійність – властивість об’єкту зберігати за часом в установлених межах всі параметри, які забезпечують виконання необхідних функцій в заданих умовах експлуатації [1]. Враховуючи підвищення навантажень при одночасному зменшенні металоємкості промислових роботів, їх конструктивні ускладнення та необхідність об'єднання в гнучкі автоматизовані комплекси, питання надійності роботів є актуальними. За ознакою несправності відмови роботів поділяють на параметричні, коли ряд параметрів робота змінюються в недопустимих межах, та функціональні – при яких виконання призначених функцій роботом неможливе. У відповідності до [2] в залежності від призначення роботів до визначальних характеристик параметричної надійності відносять точність та повторюваність позиціонування роботів.

Під точністю позиціонування робота розуміємо його здатність досягати заданої точки в робочій зоні, яка характеризується відстанню між заданим та фактичним положення робочого органа. Відповідно повторюваність роботів характеризується здатністю відтворення повторних переміщень в задану точку, тобто визначається відстанню між кінцевими положеннями робочого органу при багатократному переміщенні в задану точку.

Оскільки більшість цих відхилень мають ймовірнісну складову, то введення в алгоритм керування відповідних математичних моделей фіксованих похибок не достатньо для їх повного усунення. Частково ці похибки усуваються при застосуванні датчиків в кінематичних парах роботів, які за каналами зворотного зв’язку надають в систему керування робота інформацію про фактичне положення його ланок. Але недостатня розрядна здатність датчиків обмежує практичне застосування цього напрямку. Тому для забезпечення параметричної надійності роботів доцільним є їх періодичне тестування з подальшим калібруванням за критеріями точності та повторюваності.

За точку виміру при тестуванні беруть центральну точку інструменту (TCP -Tool Center Point). Результати виміру положення та орієнтації (x_j, y_j, z_j, a_j, b_j, c_j) представляються в базовій системі координат або в системі координат, яка зв’язана з вимірювальним пристроєм. Точність позиціонування AP визначається різницею між

заданою позицією та середнім значенням фактичних позицій, які маємо при переміщенні робота в задане положення з однакових напрямків. Розрізняють точність розміщення (різницю між розміщенням заданої позиції та центром мас фактичної позиції) та точність орієнтації (різницю між орієнтацією в заданій позиції та середнім значенням фактичних орієнтацій). Положення та орієнтація промислових роботів задається впорядкованим набором узагальнених координат, який надходить в управляючий пристрій, що формує виконавчі сигнали стосовно приводів ланок роботів. Внаслідок можливих похибок на практиці маємо певні розбіжності між заданою за алгоритмом та реальною конфігурацією роботів. До основних похибок позиціонування передусім відносять [3,4] похибки округлення значень параметрів через розрядну здатність алгоритмів власної системи управління, помилки перетворення координат, виробничі похибки через задані проєктні допуски, систематичні похибки двигунів приводних пристроїв, похибки від деформацій ланок робота та його передаточних механізмів, зміни зазорів в підшипниках, тощо.

Повторюваність позиціонування характеризує наближеність між фактичними позиціями, які отримані після заданої кількості повторів переміщення в задану позицію з одного з напрямків. Для кожної з позицій повторюваність характеризується RP_i - радіусом сфери, центр якої розміщений в центрі тяжіння та розсіянням значень кутів $\pm 3S_a$, $\pm 3S_b$, $\pm 3S_c$ відносно середніх значень кутових складових $\bar{a}$, $\bar{b}$ та $\bar{c}$ відносно осей x, y та z, де S_a, S_b та S_c - середнє квадратичні відхилення при умові нормального розподілу значень кутів.

Точність розміщення в координатній формі визначається як

$$AP_P = \sqrt{\left(\bar{x} - x_C\right)^2 + \left(\bar{y} - y_C\right)^2 + \left(\bar{z} - z_C\right)^2},$$

де $\bar{x} = \frac{1}{n}\sum_{j=1}^{n} x_j$, $\bar{y} = \frac{1}{n}\sum_{j=1}^{n} y_j$, $\bar{z} = \frac{1}{n}\sum_{j=1}^{n} z_j$ - середні значення координат серії по виміру точок позицій при n випробуваннях, що відповідають координатам центру тяжіння кластера цих точок;

x_C, y_C, z_C - координати заданої позиції робота;

x_j, y_j, z_j - аналогічно координати фактичної $j-$ой позиції вимірювання, які реєструються вимірювальною системою при багаторазових повторних переміщеннях в автоматичному режимі роботи як відповідь на задану позицію.

При тестуванні інформацію про задані координати захватного пристрою робота в окремих позиціях отримували з контролера (використовують методи програмування навчанням, ручне введення числових даних або програмування в автономному режимі [5]), а фактичних – за результатами вимірів на основі координатно-вимірювальної машини. Тоді точність орієнтації характеризується наступними величинами

$$AP_a = \left(\bar{a} - a_c\right);\ AP_b = \left(\bar{b} - b_c\right);\ AP_c = \left(\bar{c} - c_c\right),$$

де $\bar{a} = \frac{1}{n}\sum_{j=1}^{n} a_j$, $\bar{b} = \frac{1}{n}\sum_{j=1}^{n} b_j$, $\bar{c} = \frac{1}{n}\sum_{j=1}^{n} c_j$ - відповідні середні значення кутів орієнтації відносно осей x, y та z; a_c, b_c, c_c та a_j, b_j, c_j - кути заданої та j-ої фактичної позиції.

Повторюваність розміщення визначається за формулою $RP_l = \bar{l} + 3S_l$ при

$$\bar{l} = \frac{1}{n}\sum_{j=1}^{n} l_j;\ \ l_j = \sqrt{\left(x_j - \bar{x}\right)^2 + \left(y_j - \bar{y}\right)^2 + \left(z_j - \bar{z}\right)^2};\ S_l = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^{n}\left(l_j - \bar{l}\right)^2}{n-1}},$$

де $\bar{l}$ - середня відстань; l_j - відстань між фактичною позицією та центром тяжіння фактичної позиції; S_l - середнє квадратичне відхилення.

Повторюваність орієнтації обчислюють через наступні складові

$$RP_a = \pm 3S_a - \pm 3\sqrt{\frac{\sum_{j=1}^{n}\left(a_j - \bar{a}\right)^2}{n-1}}\ ;\ RP_b = \pm 3S_b - \pm 3\sqrt{\frac{\sum_{j=1}^{n}\left(b_j - \bar{b}\right)^2}{n-1}}\ ;\ RP_c = \pm 3S_c - \pm 3\sqrt{\frac{\sum_{j=1}^{n}\left(c_j - c\right)^2}{n-1}}\ .$$

Для визначення точності та повторюваності позиціонування робота виконують вимірювання координат x_j, y_j, z_j та кутів a_j, b_j, c_j в п'яти фактичних позиціях $P_1 - P_5$ робота на площині, яка розміщується всередині куба в межах найбільш вживаної робочої зони. Чотири можливі положення площин в межах куба з вершинами $C_1 - C_8$ та тестові траєкторії переміщення регламентовані в [2], як і розміщення вимірювальної системи відносно базової системи координат.

Запис положень в фактичних позиціях при вимірюванні точності та повторюваності позиціонування робота переважно виконують дзеркальними вимірювальними зондами SMR, де використовують явище світлової інтерферометрії [6]. Центральним елементом інтерферометра є напівпрозора пластинка, яка призначена для розподілу світлового променя на два когерентні промені з подальшим об'єднанням їх, що забезпечує інтерференцію. Інтерференційна картина залежить від різниці оптичного шляху двох променів, що закладено в принцип дії координатно-вимірювальних машин, наприклад, трекера FARO Laser Vantage [7]. Координати точок розраховуються комп'ютером в системі координат трекера за рахунок відомих двох кутів повороту лазерної головки трекера відносно горизонтальної та вертикальної осей, та відомої відстані до відбивача. За допомогою сервоприводів, які встановлені в поворотній головці, трекер автоматично слідкує за переміщенням вимірювального відбивача та визначає координати його положення в режимі реального часу. Система виміру відстані TruADM в трекері FARO Laser Vantage забезпечує лінійну та кутову точності 16 мкм + 0,8 мкм/м та 20 мкм + 5 мкм/м відповідно, що значно менше допустимої інструментальної похибки, яка не повинна перевищувати 25% від значення характеристики тестування.

Відмінність значень заданих та фактичних координат ТСР передбачає внесення відповідних змін параметрів в алгоритмах обліку помилок позиціонування програмного забезпечення робота, які пов'язані з ефектами кінематичного та механічного характеру.

Обробка даних тестування показує [8], що точність та повторюваність робота варіюється в залежності від його руху в робочій зоні вимірювального куба. Тому доцільно окрім середніх значень названих технічних характеристик надавати інформацію по найкращим та найгіршим положенням в робочій зоні. Це дозволяє аналізувати вплив на параметричну надійність промислового робота програмно заданої послідовності операцій в робочому просторі, тобто у випадках, коли при реалізації завдання роботом є декілька конфігурацій, маємо можливість вибору найбільш наближеної до оптимальної. Поєднання параметричної надійності з апаратною та програмною надійністю є запорукою проектування промислових роботів майбутнього покоління.

ЛІТЕРАТУРА

1. Решетов Д.Н. Надежность машин / Д.Н. Решетов, А.С. Иванов, В.З. Фадеев. – М.: Высшая школа. – 1988. – 238 с.
2. ИСО 9283:1998. Роботы промышленные манипуляционные. Рабочие характеристики и соответствующие методы тестирования" (ISO 9283:1998, Manipulating industrial robots - Performance criteria and related test methods, IDT).

3. Петров Д.Ю. Надежность манипуляционных роботов // Вестник СГТУ. 2007. № 3 (26). Вып. 1. С. 71-83
4. Şirinterlikçi A, Tiryakioğlu M, Bird A, Harris A, Kweder K. Repeatability and accuracy of an industrial robot: laboratory experience for a design of experiments course. *The Technology Interface Journal.* 2009. Vol. 9(2). Pp.1-10.
5. Крахмалев О.Н., Петрешин Д.И., Крахмалев Г.Н. Математические модели систем управления для калибровки ориентации инструмента промышленных роботов. *Мехатроника, автоматизация, управление*. – 2017. - 18(10). - с.664-669.
6. Mooring, B. and Pack, T., "Aspects of Robot Repeatability," *Robotica,* Vol. 5, pt. 3, Jul/Sept 1987, Pp. 223-230.
7. Центр САПР - официальный представитель FARO Technologies Inc. в Украине. [Электронный ресурс]: Информация о трекере FARO Laser Vantage. – Режим доступа: http://www.faro.in.ua/tracker_vantage.html.
8. Płaczek M, Piszczek Ł. Testing of an industrial robot's accuracy and repeatability in off and online environment. *Eksploatacja i Niezawodnosc Maintenance and Reliability.* 2018; 20(3). Pp. 455–464.

УДК: 621.9.04

ВИРОБНИЦТВО ЗАСОБІВ ВИРОБНИЦТВА – УМОВА НЕЗАЛЕЖНОСТІ КРАЇНИ: АКСІОМА

Верба І. І., Даниленко О. В., Вегерук Р. В.
Національний технічний університет України
„Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського“

Як відомо, у 1990 р. СРСР був на другому місці в світі за споживанням металообробного обладнання і на третьому місці з його виробництва. Верстатний парк налічував понад 5,5 млн. одиниць обладнання, а річна потреба промисловості становила близько 200 тис. верстатів. Галузь розвивалася випереджаючими темпами (на 1-2 % щорічно) по відношенню до всієї вітчизняної промисловості. Розпад СРСР і наступна за ним економічна криза поставили верстатобудівну промисловість в важкі умови [1]. Верстатобудування, як і вся промисловість переживала в 1990-і роки період мінімального фінансування та відсутності замовлень. Верстатобудування виявилось не актуальним, бо почалося падіння промисловості, зокрема й машинобудування. З радянських часів залишився певний запас обладнання, що й дозволило якось триматися окремим підприємствам в умовах переходу до ринкової економіки. Про рентабельність виробництва та конкурентоздатність продукції мова переважно не йшла. Низка підприємств виявилися реструктурованими й поділились на кілька компаній. Деіндустріалізація країни продовжується і нині (за даними державної служби статистики, [2]).

Так це чи ні, але свого сучасного верстатобудування і своєї верстато-інструментальної промисловості в Україні фактично більше немає. Як немає (або майже немає) і тих, хто міг би ефективно працювати на цих сучасних верстатах. Висококваліфіковані робітники, насамперед оператори верстатів з ЧПК, – дефіцит. А інженерний склад? Де б їм набути досвід за відсутності працюючих заводів? Нехай не по конструюванню сучасного верстатного обладнання, а хоча б з його експлуатації. Про яке технічне переозброєння може йти мова: без досвідчених інженерів, без верстатів, без робітників?

Країна, яка не має власного розвинутого верстатобудування, приречена на роль другосортної держави. Верстатобудування є базою для виробництва засобів виробництва і