

УДК 621.86:62-83

DOI: 10.15276/pidtt.1.69.2025.01

Бойко А. О., Найдено О. В., Астапенко І. О., Малішевський С. А.

Національний університет «Одеська політехніка»

АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД СТРУКТУРНИХ ПАРАМЕТРІВ СУЧАСНИХ ПРОМИСЛОВИХ РОБОТІВ З ЗАСТОСУВАННЯМ СТАТИСТИЧНИХ МЕТОДІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

Анотація. Виконано статистичне дослідження структурних параметрів 135 промислових роботів та основних пріоритетів експертів і споживачів до їх діючих конструкцій загальнопромислового використання. Встановлено потрібну і достатню номенклатуру службових властивостей типових конструкцій маніпуляторів промислових роботів, якими є: надійність функціонування, навантажувальна і енергетична досконалість, швидкодія, технологічна адаптивність, точність позиціонування, сервіс. Встановлено, що найвищі значення вагових коефіцієнтів службових властивостей відповідають параметрам роботів «SCARA».

Ключові слова: промисловий робот, маніпулятор, електропривод, критерії якості, коефіцієнт сервісу, коефіцієнтом мобільності, статистичне дослідження

Вступ. Проблема підвищення якості складних автоматизованих машин і механізмів, наприклад промислових роботів (ПР), на основі використання наукових результатів являється перманентною і комплексною, що потребує постійних, узгоджених досліджень в багатьох напрямках теоретичної і прикладної механіки, машинознавства, математики, електромеханіки, електроніки, систем автоматичного керування і інженерної практики. ПР незамінні у складі сучасного автоматизованого виробництва. Ефективність використання робототехнічного обладнання значною мірою обумовлюється швидкістю, вантажопідйомністю, точністю позиціонування, універсальністю застосування та надійністю в експлуатації механізмів їх маніпуляторів [1].

Сучасні методи наукових досліджень дають можливість оцінювати якість майбутнього виробу на початкових стадіях проектування, водночас оптимізувати його структуру й параметри, використовуючи методи системної кваліметрії технічних об'єктів, на основі інтегрального критерію якості та типові алгоритми одно – і багатокритеріальної оптимізації. Під час вибору та при розробленні конкретної моделі насамперед аналізуються структури і параметри

складових частин ПР: виконавчої механічної системи, електроприводу, системи керування, типових об'єктів маніпулювання [1, 2].

Одною із головних вимог до моделей було зведення до мінімуму спрощень і обмежень і максимальне наближення до реального об'єкту.

Постановка завдання. При виконанні даної роботи вирішувались наступні задачі:

- оцінка існуючих структур механічної частини ПР і визначення типової структури ПР для подальших досліджень;
- встановлення потрібної номенклатури службових властивостей типових конструкцій ПР;
- визначення пріоритетних оцінок технічного рівня структурної побудови ПР.

Вибір оптимальних за певною множиною критеріїв якості структури і режиму функціонування конкретної конструкції ПР, як системи агрегатно-модульної будови, є, безумовно важливою умовою забезпечення подовженого життєвого циклу робота [3]. Проведені дослідження на підприємствах України та країн ЄС дали змогу встановити основні вимоги споживачів до конструкції ПР. Відомо, що точність позиціонування пов'язана з діапазоном витягування руки маніпулятора, вантажопідйомністю, просторовою конфігурацією у точці позиціонування та пружно-демпфувальними параметрами ланок [4]. З метою підвищення продуктивності та збереження певних вимог технологічного процесу доцільно збільшувати швидкість окремих рухів і суміщати їх за часом виконання [5]. Однак через податливість конструкції маніпулятора і потребу в обмеженні пришвидшень для забезпечення певного технічного ресурсу і точності позиціонування, на параметри руху накладають обмеження: шлях гальмування становить не менше ніж 10-15 % від повного діапазону переміщення, при цьому нормативні значення пришвидшень складають $4,0 - 9,0 \text{ c}^{-2}$ [6].

Матеріали дослідження. Технологічні можливості ПР характеризуються коефіцієнтом сервісу і коефіцієнтом мобільності. Для інтегральної оцінки геометричних властивостей маніпулятора в заданій точці робочої зони і виділення у робочому просторі робота найзручніших зон використовують коефіцієнт сервісу k_c , який визначається відношенням кута θ сервісу в цій точці до тілесного кута 4π . Для оцінки можливості маніпулятора до орієнтування об'єктів в робочій зоні (робочому об'ємі V) обчислюють середній k_c коефіцієнт сервісу [7].

$$k_c = \frac{1}{V} \int_V k_\theta dV = \frac{1}{V} \int_V \frac{\theta}{4\pi} dV; \in [0,1; \dots; 1,0] \quad (1)$$

Збільшення номенклатури деталей призводить до відносного зростання втрати часу на переналагодження роботизованої системи. Доцільність та швидкість переналагодження функціонального

пристрою ПР оцінюють коефіцієнтом мобільності (гнучкості) обладнання, який відображає ступінь використання балансу робочого часу і визначається за формулою [7]

$$k_{\text{м}} = \left[1 + \frac{\sum_{i=1}^n t_n^{(i)}}{Q} \cdot \Pi_{\text{ц}} \right]^{-1}, \quad (2)$$

де $t_n^{(i)}$ — середня тривалість переналагодження функціонального пристрою, с; n — кількість пристроїв чи механізмів, переналагодження яких не пов'язані в часі; $\Pi_{\text{ц}}$ — циклова продуктивність обладнання, с⁻¹, Q — кількісний обсяг партії деталей. Вважається, що автоматичне обладнання відповідає високим вимогам, якщо $k_{\text{м}} = 0,5 \dots 1,0$ [1].

Проведено статистичне дослідження параметрів 135 діючих конструкцій маніпуляторів ПР, результати якого наведені у табл. 1. На основі виконаного аналізу характерних параметрів і відповідних вимог споживачів до конструкцій підтверджено багатопараметричний, багатокритеріальний та багаторівневий зміст проблеми відображення й керування технічною досконалістю виробів системної складності. На основі аналізу номенклатури службових властивостей типових конструкцій маніпуляторів відповідні групові показники відображено у табл. 2. Отже, на кожному рівні моделювання можна враховувати не тільки службові властивості кожної з підсистем ПР, а також комплексні критерії якості, що висувають споживачі конструкції в цілому. Єдність і сталість розв'язку неоднорідної системи лінійних рівнянь [7]

$$\begin{bmatrix} q_{11} & q_{12} & q_{13} & q_{14} & q_{15} & q_{16} & -1 \\ 0 & q_{22} & q_{23} & q_{24} & q_{25} & q_{26} & -1 \\ 0 & 0 & q_{33} & q_{34} & q_{35} & q_{36} & -1 \\ 0 & 0 & 0 & q_{44} & q_{45} & q_{46} & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & q_{55} & q_{56} & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & q_{66} & -1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \lambda_1 \\ \lambda_2 \\ \lambda_3 \\ \lambda_4 \\ \lambda_5 \\ \lambda_6 \\ U \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}, \quad (3)$$

де: U — системний критерій якості; $\lambda = \{\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_6\}$ — стовпець невідомих вагових коефіцієнтів.

Таблиця 1– Статистичні дані про параметри діючих маніпуляторів ПР та відповідні пріоритети експертів щодо вимог споживачів

Параметр, характеристика	Дані обстеження			Пріоритети експертів	
	Кількість зразків	Відсоток вибірки	Діапазон визначення	Діапазон визначення	Відсоток вибірки
Робочий простір V_p , м ³	1	1,7	0,009	—	—
	9	15	0,01 ...0,09	—	—
	2	36,6	0,1 ...0,99	—	—
	2	45	1 ... 9,99	—	—
	1	1,7	10,0	—	—
Вертикальне переміщення h_v , см	—	—	—	<50	32,9
	—	—	—	50... 100	34,1
	—	—	—	100 ...200	15,9
	—	—	—	>200	18,3
Горизонтальне переміщення h_z , см	—	—	—	<50	18,3
	—	—	—	50...100	39,0
	—	—	—	100...200	23,2
	—	—	—	>200	20,7
Кут повороту φ , град	—	—	—	<90	13,4
	—	—	—	90... 180	45,1
	—	—	—	180 ...240	35,4
	—	—	—	>240	7,3
Швидкість лінійного переміщення V , м/с	23	26,1	0,10 ...0,49	<0,50	35,4
	45	51,1	0,50 ...0,99	0,50	48,8
	20	22,8	1,00 ...2,00	>1,00	13,4
Кутова швидкість ω , с ⁻¹	11	11,2	0,76	—	—
	13	13,3	0,78 ...1,55	—	—
	51	52,1	137...3,11	—	—
	23	23,4	3,13	—	—
Абсолютна похибка позиціонування Δ , мм	8	7,2	0,09	—	—
	19	17,1	0,1 ...0,49	—	—
	25	22,6	0,5 ... 0,99	—	—
	48	43,2	1 ...2,49	<1	41,5
	7	6,3	2,5 ... 4,00	1 ...5	51,2
	4	3,6	5,00	>5,0	7,3
Кількість циклів позиціонування n_{poz}	—	—	—	<100	51,2
	—	—	—	100	31,7
	—	—	—	>100	20,7
Кількість ступенів рухомості N	1	0,8	1	—	—
	13	10,8	2	<3	13,4
	23	19,2	3	—	—
	43	35,8	4	3...5	46,3
	24	20,5	5	—	—
	11	9,7	6	—	—
	2	1,6	7	5...7	26,8
	1	0,8	8	>7	6,1
Вантажопідйомність m_{ϕ} , кг	1	0,8	9	—	—
	16	12,3	0,99	—	—
	23	17,7	1 ... 4,99	<5	39,0
	31	23,8	5 ...14,99	5...30	40,2
	18	13,8	15 ...^9,99	—	—
	21	16,2	30... 49,99	30... 100	26,8
	21	16,2	50	>100	7,3

Стовпець невідомих вагових коефіцієнтів забезпечується умовою упорядкованості елементів матриці $[Q]$ у вигляді

$$1,0 > q_{k+1,j} > q_{k,j} > 0,1 \forall k = \overline{1, j} \wedge j = \overline{1, m}. \quad (4)$$

Адекватність застосування цієї умови підтверджується послідовністю формування таких властивостей ПР як сервісні

можливості, швидкодія, точність позиціонування тощо, інтенсивність яких зменшується у напрямі від рівня моделювання окремих деталей, складальних одиниць, підсистем тощо, до рівня ПР загалом [8].

Таблиця 2 – Систематизація і нормування показників якості ПР

Службова властивість ПР	Показник, розмірність	Діапазон y_i^-, y_i^+	Гradient функції корисності	Абсолютне/нормоване значення показника для моделі ПР		
				Універсал 20.02 (1980 р.в.)	ПУМА-600 (1991 р.в.)	«SCARA» (2002 р.в.)
Надійність функціонування	Напрацювання до першої відмови t^3 , год	000...500 0	+	1500/0,25	3500/0,75	4500/0,9
Навантажувальна і енергетична досконалість	Відносна вантажо-підйомність $\gamma_m = m_e/m_p$, (m_p — маса робота)	0,01 ...0,10	+	0,06/ 0,45	0,06/0,6 7	0,08/0,8 7
	Відносна енергомісткість $\gamma_m = m_e/N_d$, (N_d — сумарна потужність двигунів), кг/кВт	0,2... 1,0	+	0,5 / 0,52	0,7/0,75	0,9/0,93
Точність позиціонування	Абсолютна похибка позиціонування Δ , мм	0,1 ...2,5	-	1,5/0,31	1,5/0,31	0,5/0,72
	Динамічна похибка кутового переміщення $\Delta\phi$, рад	0,01 ...0,04	-	0,03/0,31	0,03/0,31	0,015/0, 8
	Динамічна похибка лінійного переміщення δ , мм	1,0 ...5,0	-	3,5/0,29	1,5/0,71	1,2/0,88
Технологічна адаптивність	Час розбігу до номінальної швидкості t^p , с	0,1 ...0,7		0,6/0,48	0,3/0,62	0,3 / 0,62
	Час заспокоєння коливаль полюса схопу t^3 , с	1 ...5,0		4/0,35	2,4/0,55	1,1/0,88
	Кількість позицій n_{poz} циклів позиціонування	100 ..300	+	150/0,39	250/0,84	280/0,94
	Коефіцієнт мобільності	0,5 .. 1,0	+	0,6/0,33	0,7/0,55	0,9/0,88
Швидкодія	Номінальна кутова швидкість ω , с ⁻¹	1,0 ...3,5	+	2,0/0,55	2,5/0,73	3,2/0,93
	Номінальна швидкість підйому V_m , м/с	0,4 ... 1,0	+	0,5/0,52	0,6/0,75	0,8 / 0,93
	Номінальна горизонтальна швидкість V_x , м/с	0,4... 1,0	+	0,5 /0,52	0,7/0,80	0,9/0,97

Таблиця 2 – Систематизація і нормування показників якості ПР (продовження)

Швидкодія	Максимальне кутове пришвидчення ε , с^{-2}	3 ... 30,0	+	15/0,51	15/0,51	22 / 0,64
	Максимальне пришвидчення поступального руху a_v , м/с^2	0,4 ... 2,0	+	1,0/0,38	1,2/0,45	1,5/0,56
Сервіс	Робочий простір V , м^3	0,1 ... 10	+	1,9/0,22	5,1/0,60	8,7/0,92
	Вертикальне переміщення h , м	0,3 ... 2,0	+	0,5/0,26	1,0/0,55	1,7/0,68
	Горизонтальне переміщення L , м	0,3 ... 2,0	+	0,5/0,26	1,2/0,58	1,8/0,86
	Кут повороту, град	90... 240	+	120/0,33	180/0,73	220/0,88
	Кількість ступенів рухомості, N	4...7	+	5/0,48	6/0,79	6/0,79
	Коефіцієнт сервісу k_c	0,1 ... 1,0	+	0,5/0,59	0,6/0,70	0,9/0,94

На основі гіперболічної функції $\text{th}(y)$, що відображає зменшення пріоритетності для споживача будь-якого показника якості $y_i \forall i = \overline{1, n}$ зі зростанням його значення, для нормування різноманітних фізичних шкал у діапазоні $[0, 1; 1, 0]$ запропоновано такі рівняння [9]:

— при відображенні без зміни градієнта

$$q_i = 0,1 + 1,18 \cdot \text{th}[(y_i - y_i^-)/(y_i^+ - y_i^-)] \quad (5)$$

— зі зміною градієнта на протилежний

$$q_i = 1 - 1,18 \cdot \text{th}[(y_i - y_i^-)/(y_i^+ - y_i^-)], \quad (6)$$

де y_i^- і y_i^+ — відповідно нижня і верхня межі діапазону зміни певного показника якості, що визначаються з урахуванням статистичних даних діючих роботів та пріоритетів експертів щодо вимог споживачів.

Потрібну повноту моделі і не надмірність бази даних $|Q|$ гарантовано квантифікацією цілей проектування до рівня відображення певними показниками якості, об'єктивним критерієм для відбору яких є кількість інформації [10].

Порівнянням за технічним рівнем (табл. 2) встановлено такі значення системного критерію якості: для ПР "UNIVERSAL 20.01" $U = 0,34$; для ПР "PUMA- 600" — $U = 0,55$; для ПР «SCARA» — $U = 0,71$.

Визначено, що для ПР типу «SCARA» найбільші значення вагових коефіцієнтів відповідають таким службовим властивостям як швидкодія, технологічна адаптивність і точність позиціонування.

Кінематична схема жорсткої моделі виконавчого механізму ПР (без урахування пружних властивостей його елементів) визначається за необхідними функціональними можливостями, виходячи із

призначення робототехнічного комплексу та технологічних умов обслуговування. Для того щоб заставити захоплювач (захват) маніпулятора переміститися із початкового положення (позиції) в цільову точку, необхідно розрахувати відповідні траєкторії руху для кожної ланки. Позитивне рішення не може бути знайдено простим інтуїтивним методом [11]. Математичні основи керування багатоланковим маніпулятором почнемо з вирішення найпростішої задачі: яке положення займає в даний момент часу полюс захвату, якщо поточні значення вектору $q(q_1, q_2, q_3, \dots, q_N)$ узагальнених координат степенів рухомості маніпулятора відомі (N - число степенів рухомості). Для цього звичайно використовують один із двох методів — матричний або векторний. В основі того і другого — принцип перетворення координат точок за допомогою матриць перетворення [12]. Матриці перетворення будуються послідовно при переході від однієї системи координат до іншої, тому перш за все необхідно визначитись з кількістю певних систем координат і їх розташуванням відносно ланок робота. Для формування необхідних систем координат приймаються такі технічні допущення:

- всі системи є праві Декартові, позначимо їх $O_k X_k Y_k Z_k$,
- при нульових значеннях вектору координат робота q осі всіх систем паралельні і відповідно однаково напрямлені;
- позитивний напрям відліку узагальнених координат q_k : обертання — проти руху годинникової стрілки, якщо дивитись назустріч осі обертання; поступального — вздовж позитивного напрямку осі;
- системи мають наскрізну нумерацію від 0 (нерухома базисна система відліку — стояк) до N (система відліку зв'язана з останньою рухомою ланкою — хватом);
- кінематична послідовність починається з кінематичної або пружної пари і закінчується хватом (не може закінчуватись кінематичною або пружною парою).

Введемо для кожної системи базисні вектори $(\bar{i}, \bar{j}, \bar{k})$ з номерами відповідно до номеру системи координат. Елементарне перетворення координат пов'язане з елементарними (простішими) рухами однієї системи відліку (ланки) відносно попередньої — поступально вздовж якої-небудь осі або обертанням навколо однієї осі.

Для кожного елементарного перетворення (однієї узагальненої координати q_k) необхідно мати (рис. 1) дві системи відліку — попередню (до перетворення) і наступну (після перетворення); для двох узагальнених координат в одній кінематичній парі — три системи відліку; для трьох чотири і т.д [7].

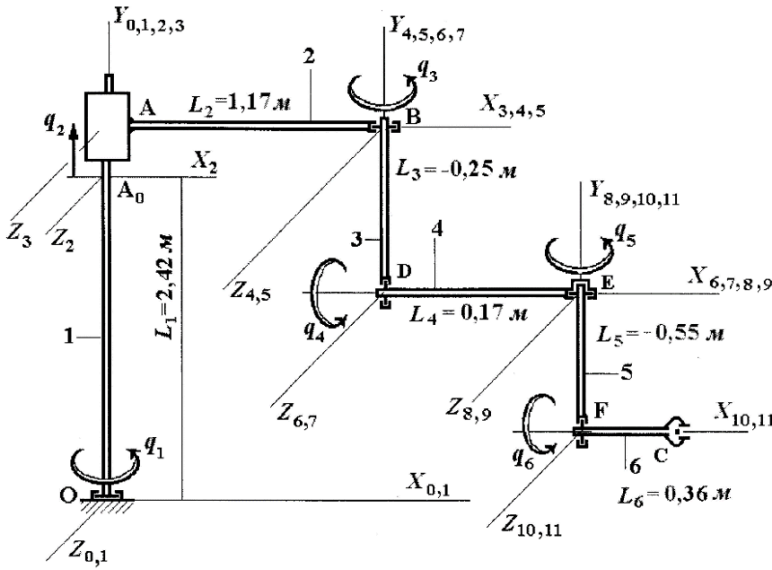


Рисунок 1 – Кінематична схема узагальненої моделі маніпулятора ПР

Довжини ланок можна розглядати як сталий паралельний перенос на величину L_k , який рівнозначний простому перетворенню координат і тому потребує також дві системи координат (до паралельного переносу і після). При цьому перша система зв'язана з початком даної ланки (кінематична або пружна пара, що з'єднує цю ланку з попередньою ланкою), а друга система координат зв'язана з кінцем даної ланки (кінематична або пружна пара, що з'єднує цю ланку з наступною ланкою) [7, 13].

Кінематична послідовність маніпулятора складається із простих структурних елементів: ланок (твердих тіл, що мають протяжність вздовж однієї з осей OX , OY , OZ), кінематичних пар (з'єднання двох ланок, що дає можливість взаємного обертання навколо осей OX , OY , OZ або взаємного поступального переміщення вздовж однієї з осей OX , OY , OZ). Для кінематичних пар позначимо: BX , BY , BZ — відповідно можливість взаємного обертання навколо осей OX , OY , OZ ; X , Y , Z — відповідно можливість взаємного поступального переміщення вздовж однієї із осей OX , OY , OZ . Для ланок позначимо: $X = L_k$ — протяжність ланки вздовж осі OX ; $Y = L_k$ — протяжність ланки вздовж осі OY ; $Z = L_k$ — протяжність ланки вздовж осі OZ .

Властивості структурних елементів можна виразити послідовністю символів, яка називається формалізованим записом кінематичної послідовності і для ПР «SCARA», наприклад, має наступний вигляд [11]:

$$\begin{aligned} &BY; Y = 2,42; Y; X = 1,17; BY; Y = -0,25; BX; \\ &X = 0,55; BY; Y = -0,17; BX; X = 0,36, \end{aligned} \quad (7)$$

Маючи формалізований запис кінематичної послідовності (7) можна відтворити на рисунку кінематичну схему, яка наведена на рис. 1, і навпаки. Формалізований запис дає можливість подати кінематичну схему узагальненої моделі робота для подальших розрахунків та аналізу [2, 14].

Послідовність (7) дозволяє прослідкувати за номерами відповідних систем координат, не дивлячись на рисунок: Так, кінематична пара $BУ$ пов’язана з 0-ю системою, ланка $У=2,42$ — з 1-ю, $У$ — з 2-ю, $Х=1,17$ — з 3-ю, $ВУ$ — з 4-ю, $У=-0,25$ — з 5-ю, $ВХ$ — з 6-ю, $Х=0,55$ — з 7-ю, $ВУ$ — з 8-ю, $У=-0$ і 7 — з 9-ю, $ВХ$ — з 10-ю, $Х=0,36$ — з 11-ю. Всього 11 систем координат. Таким чином, наприклад, з початком ланки 4 (ПЕ) пов’язана ($Х=-0,55$) система координат номер 7, що повністю відповідає нумерації систем координат на рис. 1. У якості об’єкта подальших досліджень обирається ПР компанії KUKA Industrial Robots KK-600, що є типом ПР «SCARA» (рис. 2). Визначені параметри електроприводу ПР KK-600 приведені в табл. 3.

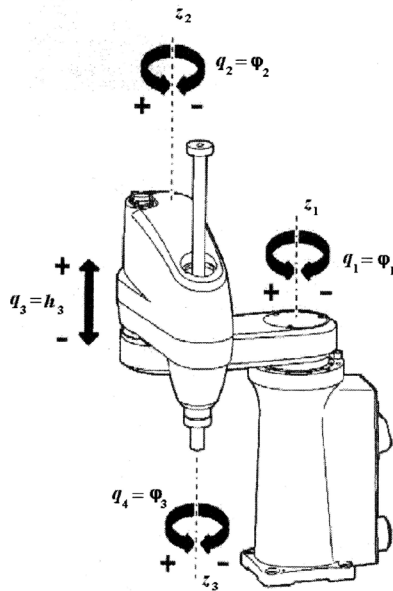


Рисунок 2 – Загальна схема промислового робота KK-600 KUKA Industrial Robots

Таблиця 3 1 – Параметри електроприводу ПР

Номер двигуна	Номінальна потужність $N^{об}$	Номінальна кутова швидкість $\omega_{ном}$	Індуктивність якоря $L_{я}$	Активний опір якоря $R_{я}$	Коефіцієнти приводу	
					електро-механічний c_m	швидкісний c_v
	Вт	c^{-1}	Гн	Ом	Н-м/А	В-с
1	2240	209.4	0.014	1.4	1.078	1.078
2	1990	209.4	0.016	1.57	1.0783	1.0783

Кінематичні параметри двигунів обмежені конструктивними і технологічними можливостями і для двигунів ПР «SCARA» (рис. 2) приймають наступні значення, зведені до осей ступенів рухомості робота: градієнти пришвидшень $\rho_1 = 12550 \text{ с}^{-3}$, $\rho_2 = 16410 \text{ с}^{-3}$; максимальні кутові пришвидження $\varepsilon_{1max} = 125.5 \text{ с}^{-2}$, $\varepsilon_{2max} = 164.1 \text{ с}^{-2}$; номінальні кутові швидкості: $\omega_{1ном} = 6.545 \text{ с}^{-1}$, $\omega_{2ном} = 9.6 \text{ с}^{-1}$.

Висновки

Виконано статистичне дослідження параметрів 135 діючих конструкцій маніпуляторів ПР та відповідних пріоритетів експертів на основі вимог споживачів до конструкцій роботів. Встановлено потрібну й достатню номенклатуру службових властивостей типових ПР, якими є: надійність функціонування, навантажувальна і енергетична досконалість, точність позиціонування, технологічна адаптивність, швидкодія, сервіс.

Порівнянням за технічним рівнем встановлено значення системного критерія якості для ПР: "UNIVERSAL 20.01" = 0,34; для ПР "PUMA-600" — $C = 0,55$; для ПР «SCARA» — $C = 0,71$.

Встановлено, що найвищі значення вагових коефіцієнтів таких службових властивостей, як швидкодія, технологічна адаптивність і точність позиціонування відповідають параметрам ПР «SCARA», одна з структур якого позначена, у якості, базового прототипу для подальших досліджень.

Список використаних джерел

1. Павленко І. І. Промислові роботи та РТК. Монографія – Кропивницький: Видавець Лисенко В.Ф, 2016. – 492с.
2. Ковальов Ю. А. Проектування промислових роботів та маніпуляторів : навч. посіб. / Ю. А. Ковальов, С. О. Кошель, О. П. Манойленко. — Київ : ЦУЛ, 2021. — 256 с.
3. Cardona M. Design and simulation of a mobile robot for pipeline inspection / M. Cardona, J. Cerrato, E. García // 2022 IEEE Central America and Panama Student Conference. — 2022. — P. 1-6.
4. Mochammad R. Integration of ABB Robot Manipulators and Robot Operating System for Industrial Automation. / R. Mochammad, S. Y. Diprasetya, M. Löppenbergs; A. Schwung // 2023 IEEE 21st International Conference on Industrial Informatics (INDIN). — 2023. — P. 568 – 579.
5. Shen H. Adaptive Manipulability-Based Path Planning Strategy for Industrial Robot Manipulators / H. Shen, W. F. Xie, J. Tang, T. Zhou // IEEE/ASME Transactions on Mechatronics (Volume: 28, Issue: 3, June 2023). — 2023. — P. 1742 – 1753.
6. Литвин О. В. Проектування роботів-маніпуляторів особливого призначення. / О. В. Литвин //Прогресивна техніка, технологія та

- інженерна освіта: матеріали XXI Міжнародної науково-технічної конференції, м. Київ, 6-9 жовтня 2020 р. – Київ. —2020. – С. 119–123.
7. Яглінський В. П. Моделювання динамічних процесів роботизованого виробництва / В. П. Яглінський, Д. В. Іоргачов; Одеса: Астропринт, 2014. — 232 с.
8. Семенюк В. Ф. Способы повышения энергоэффективности промышленных роботов / В. Ф. Семенюк, А. О. Бойко, О. Б. Кнюх, А. Н. Вудвуд // V Українсько-німецька конференція "Інформатика. Культура. Техніка", 22 - 26 травня 2017 р., м. Одеса. — Одеса, Політехперіодика. —2019. – С. 71 — 72.
9. Поліщук Л. К. Верстатні комплекси. Проектування роботів та маніпуляторів. Частина 1 : навчальний посібник – Вінниця : ВНТУ, 2018. – 132 с.
10. Проектування мобільних маніпуляційних роботів : монографія / І. Ш. Невлюдов [та ін.]; Демська ; М-во освіти і науки України, Харків. нац. ун-т радіоелектроніки. – Харків : ХНУРЕ, 2022. – 427 с.
11. Yamafuji K. Development of «SCARA» robots / Yamafuji K. // Journal of Robotics and Mechatronics, vol. 31, no. 1. — 2019. — P. 10- 15.
12. Angelo D. Design, construction and control of a «SCARA» robot prototype with 5 DOF. / D. Angelo, J. Nixon, M. Paredes-Sánchez, A. Reyes-Duke // 2022 IEEE International Conference on Machine Learning and Applied Network Technologies (ICMLANT). — 2022. — P. 114- 130.
13. Бойко А. А. Метод структурного синтеза асинхронного електропривода двухзвенного промышленного манипулятора / А. А. Бойко, А. В. Бібік, Н. В. Акчешаш, Н. А. Бойко // Електротехнічні та комп'ютерні системи. — № 21 (97). — К. : Техніка. —2016. – С. 9 — 16.
14. Boiko A., Naidenko E., Wang Y. Vibration Damping of Lifting Mechanisms. Grabchenko's International Conference on Advanced Manufacturing Processes. InterPartner 2022: Advanced Manufacturing Processes IV.— 2023. — P. 403 – 413.

ANALYTICAL REVIEW OF STRUCTURAL PARAMETERS OF MODERN INDUSTRIAL WORKS USING STATISTICAL RESEARCH METHODS

Boiko A. O., Naidenko O. V., Astapenko I. O, Malishevsky S. A.
Odessa Polytechnic National University

Abstract. *The problem of improving the quality of complex electromechanical systems of machines and mechanisms, such as industrial robots, based on the use of scientific results is a permanent and complex one that requires constant, coordinated research in many areas of theoretical and applied mechanics, mechanical engineering, mathematics, electromechanics, electronics, automatic control systems and engineering practice. Modern methods of scientific research make it possible to evaluate the quality of the*

future product at the initial stages of design, at the same time to optimize its structure and parameters, using the methods of system quality measurement of technical objects, based on the integral criterion of quality and typical algorithms of single- and multi-criteria optimization. During the selection and development of a specific model, the structures and parameters of the following constituent parts are first analyzed: executive mechanical system, electric drive, control system, typical objects of manipulation. One of the main requirements for the models was to minimize simplifications and restrictions and to be as close as possible to the real object. During the performance of the current work, the following tasks of evaluating the existing structures of the mechanical part of industrial robots and determining their typical structure were solved; establishment of the required nomenclature of service properties of typical designs of industrial robots; determination of priority assessments of the technical level of the structural construction of industrial robots. A statistical study of the parameters of 135 active designs of industrial robots and the corresponding priorities of experts based on consumer requirements for designs of industrial robots was performed. The necessary and sufficient nomenclature of service properties of typical designs of industrial robots has been established, which are: reliability of operation, loading and energy perfection, positioning accuracy, technological adaptability, speed of operation, service.

Keywords: industrial robot, manipulator, electric drive, quality criteria, service factor, mobility factor, statistical research