

УДК 519-8

DOI: 10.15276/pidtt.1.67.2022.01

Яглінський В. П., Гутиря С. С.

Національний університет «Одеська політехніка»

## ТЕОРІЯ РОЗМІРНОСТЕЙ У ВИЗНАЧЕННІ КРИТЕРІЇВ ПРОМИСЛОВИХ РОБОТІВ

***Анотація.** Для сукупності типового ряду промислових роботів проведено аналіз функціональних властивостей маніпуляційних систем та виявлено основні експлуатаційні та конструктивні параметри, які відображають технічний рівень продукції в умовах сталого зростання вимог споживачів та конкурентноспроможності машинобудівного виробництва. Визначено основні взаємозв'язки кінематичних та динамічних характеристик поступальних і обертальних кінематичних пар структурних послідовностей промислових роботів та встановлено їх відповідність признакам умов критеріальної подібності. На основі теорем і методів теорії розмірностей з використанням властивостей гомогенних функцій розроблено алгоритм створення критеріальних комплексів, які характеризують функціональні властивості швидкодії і навантажувальної здатності маніпуляційних систем промислових роботів.*

*Досліджено критеріальні показники для модельного ряду промислових роботів і виявлено що зі збільшенням зони досяжності промислових роботів критерій вантажопідйомності для всіх роботів знижується, а у випадку однакової зони досяжності значення критерія вантажопідйомності для роботів середньої і важкої вантажопідйомності у 6-8 разів перевищують аналогічні показники для роботів легкої вантажопідйомності. Запропоновані критеріальні комплекси швидкодії і навантажувальної здатності базуються на паспортних даних типових конструкцій промислових роботів і можуть слугувати для порівняння технічного рівня існуючих конструкцій і прогнозування створюваних під час проектування та доводки дослідних зразків.*

***Ключові слова:** маніпуляційні системи, критеріальні комплекси, гомогенні функції, технічний рівень.*

**Постановка проблеми.** Актуальність досліджень кінематичних і динамічних характеристик промислових роботів обумовлена усталеною необхідністю підвищення технічного рівня маніпуляційних систем з метою всебічного розвитку машинобудівного виробництва. Під час відпрацювання промисловим роботом функціональної

траєкторії в елементах маніпуляційної системи виникають динамічні навантаження, які впливають не тільки на точність позиціонування полюса схвата, але і на довговічність роботи всієї технологічної системи. Одними з основних функціональних властивостей промислових роботів є «швидкодія» і «динамічна навантаженість». Динамічні навантаження робота залежать від масоінерційних характеристик ланок та характерних змін кінематичних параметрів в шарнірах ступенів рухомості. Тому, для дослідження і порівняння технічного рівня існуючих і прогнозування створюваних конструкцій промислових роботів необхідні об'єктивні критеріальні показники основних функціональних властивостей.

**Аналіз публікацій по темі досліджень.** У відомих публікаціях для дослідження властивості «швидкодія» маніпуляційних систем використовувались такі характеристики як максимальні швидкості переміщень по окремим ступеням рухомості [1]. Швидкодія роботів розбивалась на три групи: мала – при лінійних швидкостях до 0,5 м/с; середня – при лінійних швидкостях від 0,5 до 1 м/с та висока – при лінійних швидкостях вище 1 м/с.

Крім того, у якості характеристики властивості «швидкодія» робота була також розглянута мінімальна тривалість циклу роботи робота – переміщення маніпуляційної системи робота із однієї заданої конфігурації в іншу. У такому випадку оптимізація за швидкодією виконувалась шляхом варіації моментів переключення двигунів ступенів рухомості робота і критерієм швидкодії вважалась мінімальна тривалість переключення двигунів [2].

Підвищення вимог до функціональних властивостей роботів і зростання технічного рівня складних нелінійних систем, до яких саме і відносяться промислові роботи, потребують розвитку не тільки методів конструктивної побудови, але й законів керування рухами таких систем та удосконалення існуючих методів оптимізації.

Заслуговують увагу відомі розроблені процедури методу усереднення відповідно до задач оптимального керування рухом за параметром швидкодії мінімальної тривалості переключення та побудовані на їх основі алгоритми наближених рішень задач керування [3]. Прикладом такого алгоритму є рішення задачі оптимального за швидкодією керування рухом електромеханічного маніпуляційного робота [4], а саме задачі оптимізації маневра робота за часом швидкодії з обмеженим впливом один на одного різних ступенів рухомості робота.

Оцінки ступеня нерівномірності (плавності) руху об'єкта були запропоновані в роботах І. І. Артоболевського [5, 6], і в подальшому розвинуті в роботі [7] у вигляді динамічного коефіцієнта нерівномірності. У якості міри нерівномірності швидкості на інтервалі

руху  $dt$  запропоновано відношення приросту швидкості руху до самої швидкості, а саме:

$$d\delta = \frac{dv}{v}. \quad (1)$$

Суть даного підходу заключається в тому, щоб визначити степінь нерівномірності руху на нескінченно малому інтервалі часу  $\Delta t$  і потім належним чином просумувати на усьому інтервалі спостереження. З формальної точки зору критерій динамічної нерівномірності (1) являє собою звичайне інтегрування на усьому інтервалі проведення досліджень руху.

$$\delta = \int_0^T d\delta = \int_0^T \frac{dV}{V} \quad (2)$$

Особливістю є те, що при безпосередньому інтегруванні прирощення протилежних знаків алгебраїчно складаються так, що загальний коефіцієнт нерівномірності може звернутися в нуль. Тому під час підсумовування нескінченно малих приростів коефіцієнта нерівномірності необхідно брати їх абсолютні значення. За такого «арифметичного» підсумовування абсолютних значень додавання проводиться за інтервалами монотонності динамічного коефіцієнта нерівномірності:

$$V_0^T \delta = \sum_{k=0}^n |\delta(t_k) - \delta(t_{k-1})|. \quad (3)$$

Відомо, що в граничному переході алгебраїчне підсумовування прирощень функції є повним інтегралом цієї функції, а підсумовування абсолютних значень прирощень функції є повною варіацією функції на інтервалі підсумовування:

$$\text{Var}_0^T \delta = \sup_T \sum_{k=0}^n |\delta(t_k) - \delta(t_{k-1})|. \quad (4)$$

Такий критерій недостатній для оцінки плавності роботи приводів, де необхідно обмежувати прискорення. Користуватися критеріями (1, 2) і (3, 4) безпосередньо не можна, тому що вони дають миттєві значення коефіцієнтів. Для отримання загальної оцінки плавності необхідно усереднювати або підсумовувати певної метрики: або вибираючи максимальне значення коефіцієнта на інтервалі спостереження, або, інтегруючи абсолютні значення. Крім того, тут не враховуються діапазони зміни значень циклічних переміщень по ступеням рухомості робота.

На відміну від вище згаданих критеріїв запропоновані відомі критерії динамічності машин у вигляді відношення максимальних прискорень до квадратів середніх швидкостей [8]. Для обертальних кінематичних пар це відношення кутових прискорень і кутових

швидкостей, а для поступальних це відношення лінійних параметрів. Відношення максимальних прискорень до квадратів середніх швидкостей були прийняті також як основні характеристики функціональної властивості швидкодії при розробленні системної методології підвищення технічного рівня промислових роботів і промислових платформ [9, 10].

Широке і універсальне використання отримали методи фізичної подібності процесів у сучасних технічних системах в наукових дослідженнях і проектних розробках на основі критеріїв технічного рівня, а саме, зубчастих передач, буксових підшипників, промислових роботів, тролейбусів і ін. [11, 12, 13].

Однак, слід зауважити, що розглянуті критерії швидкодії не повністю відображають кінематичні можливості маніпуляційних систем роботів, а саме: не враховують обмеження значень максимальних швидкостей і прискорень під час розгону і гальмування, не враховують тривалість циклів роботи механізмів, не враховують діапазони зміни значень циклічних переміщень по ступеням рухомості робота.

**Мета даного дослідження.** На основі основних теорем і методів теорії розмірностей створення необхідної сукупності критеріальних комплексів, що відображають основні функціональні властивості маніпуляційних систем, а саме: швидкодію і навантажувальну здатність, які є необхідними для визначення та прогноювання технічного рівня кожного складового елемента та всієї конструкції складної організаційної структури робота. Для досягнення мети необхідно вирішити такі завдання: 1) визначити одиночні кінематичні характеристики маніпуляційної системи за ступенями рухомості та встановити їх відповідність ознакам умов критеріальної подібності; 2) з використанням властивостей гомогенних функцій і основних методів теорії розмірності розробити алгоритм створення критеріальних комплексів для порівняння технічного рівня існуючих конструкцій і прогнозування створюваних під час проектування та доводки дослідних зразків; 3) виконати дослідження запропонованих критеріальних комплексів для конструктивного ряду серійних промислових роботів.

**Виклад основного матеріалу.** Рухи маніпуляційної системи є ключовим чинником для споживачів промислових роботів. Одними з основних функціональних властивостей, що відображають вимоги споживача та можливості виробника, є вантажопідйомність, швидкодія та динамічність. На відміну від існуючих загальних машин і механізмів маніпуляційні системи промислових роботів являють собою послідовно чи паралельно побудовану сукупність механізмів і тому функціональні властивості такої системи визначаються технічними показниками її складових рухомих елементів. Таким чином,

покращення кінематичних і динамічних показників будь-якого ступеня рухомості маніпуляційної системи сприяє зростанню технічного рівня її всієї системи робота загалом.

Елементами маніпуляційної системи (ланки) є тверді тіла, рухи яких можуть бути представлені сукупністю найпростіших рухів, а саме або поступальним рухом вздовж осі ступеня рухомості, або обертанням навколо цієї осі. Кожний із вказаних рухів окремо має такі кінематичні характеристики: обмеження максимальних швидкостей і прискорень, тривалість циклу руху, діапазон зміни відповідної координати (кута повороту чи лінійного переміщення). Такі кінематичні характеристики є розмірними величинами і для сукупності маніпуляційних систем різних конструкцій можуть бути різними, але перелік таких розмірних величин є обмеженим, не залежить від конструкції, призначення, типу чи сфери використання і для усіх промислових роботів повинен бути однаковим. Це свідчить про те, що розглянуті характеристики мають усі ознаки і відповідності умовам критеріальної подібності [14, 15].

Під час відпрацювання промисловим роботом функціональної траєкторії вищезгадані кінематичні характеристики взаємопов'язані і тому зміна навіть однієї з них призведе до зміни оцінки усього технічного процесу. Тому для оцінки і порівняння функціональних властивостей різноманітних конструкцій промислових роботів при відтворенні усіх можливих конфігурацій суттєве значення має не одна із кінематичних характеристик, а їх комбінація у відповідності до умов руху. Така комбінація створює критеріальний комплекс, який відображає взаємозв'язок декількох параметрів і за яким можна визначити об'єктивний характер подібних процесів. До того ж, під час руху маніпуляційних систем кінематичні і динамічні характеристики змінюються, а для створення порівняльних критеріальних комплексів необхідні величини, які у конкретному виробі, конкретній технологічній операції не змінюються. Тому, використовуються відомі нормативні тактико-технічні дані (паспортні характеристики) об'єктів, або їх усереднені значення.

Для поступальних ступеней рухомості слід виділити такий набір розмірних кінематичних і динамічних характеристик, які відображають сутність процесу перетворення і передачі руху та енергії між ланками маніпуляційної системи до схвату і його полюсу, а саме [16, 17]:

$F$  – осьова сила, напрямлена вздовж осі поступального ступеня рухомості;  $m$  – маса об'єкта маніпуляції;  $m_0$  – загальна маса промислового робота;  $V$  і  $a$  – обмежені значення швидкостей і прискорень поступального руху;  $S$  – встановлений інтервал лінійних переміщень;  $t_c$  – тривалість циклу технологічної операції. Отже, критеріальний комплекс кінематичних і динамічних властивостей

поступальних ступенів рухомості маніпуляційної системи робота характеризують сім незалежних розмірних параметрів ( $n_1=7$ ):

$$\pi = f(F, m, m_0, V, a, S, t_c). \quad (5)$$

Розмірності параметрів в (5) мають вид

$$\begin{aligned} [F] &= [MLT^{-2}]; & [m] &= [M]; & [m_0] &= [M]; & [V] &= [LT^{-1}]; \\ [a] &= [LT^{-2}]; & [S] &= [L]; & [t_c] &= [T], \end{aligned} \quad (6)$$

де  $[M]$  – означає одиницю виміру маси;  $[L]$  – одиницю виміру довжини;  $[T]$  – одиницю виміру часу.

Із усіх розмірностей у виразах (6) для семи незалежних ( $n_1=7$ ) розмірних величин  $(F, m, m_0, V, a, S, t_c)$  незалежних одиниць виміру всього три ( $n_2=3$ ), а саме  $(M, L, T)$ . Отже вираз (5) має  $(n_1 - n_2) = 4$  незалежних одиничних критеріальних комплекси, які визначаються з використанням гомогенних (ступеневих) функцій [18, 19]. У якості основних (утворюючих) незалежних розмірних величин із семи можливих  $(F, m, m_0, V, a, S, t_c)$  можна обрати будь-які три, наприклад,  $(m_0, V, S)$ . Тоді інші чотири розмірні величини  $(F, m, a, t_c)$  будуть похідними і їх можна визначити через безрозмірні числа (наприклад,  $\pi_1, \pi_2, \pi_3, \pi_4$ ) у відповідності до властивостей гомогенних функцій:

$$\begin{aligned} \pi_1 &= \frac{F}{m_0^{x_1} V^{y_1} S^{z_1}}; & \pi_2 &= \frac{m}{m_0^{x_2} V^{y_2} S^{z_2}}; \\ \pi_3 &= \frac{a}{m_0^{x_3} V^{y_3} S^{z_3}}; & \pi_4 &= \frac{t_c}{m_0^{x_4} V^{y_4} S^{z_4}}, \end{aligned} \quad (7)$$

де  $\pi_1, \pi_2, \pi_3, \pi_4$  – безрозмірні одиничні критеріальні комплекси;  $(x_i, y_i, z_i, i = \overline{1,4})$  – показники ступенів, які необхідно визначити із умов рівності розмірностей в чисельнику і знаменнику формул (7).

Переведемо вирази (7) в рівняння розмірностей:

$$\begin{aligned} [F] &= [m_0]^{x_1} [V]^{y_1} [S]^{z_1}; & [m] &= [m_0]^{x_2} [V]^{y_2} [S]^{z_2}; \\ [a] &= [m_0]^{x_3} [V]^{y_3} [S]^{z_3}; & [t_c] &= [m_0]^{x_4} [V]^{y_4} [S]^{z_4}. \end{aligned} \quad (8)$$

З урахуванням (6) із рівнянь (8) отримано відповідно:

$$[MLT^{-2}] = [M]^{x_1} [LT^{-1}]^{y_1} [L]^{z_1}; \quad [M] = [M]^{x_2} [LT^{-1}]^{y_2} [L]^{z_2};$$

$$[LT^{-2}] = [M]^{x_3} [LT^{-1}]^{y_3} [L]^{z_3}; [T] = [M]^{x_4} [LT^{-1}]^{y_4} [L]^{z_4}. \quad (9)$$

Прирівнюючи у виразах (9) показники ступенів розмірностей при  $M, L$  і  $T$ , сформуємо систему рівнянь відповідно:

$$\left. \begin{array}{l} [M]: \Rightarrow 1 = x_1; \\ [L]: \Rightarrow 1 = y_1 + z_1; \\ [T]: \Rightarrow -2 = -y_1 \end{array} \right\}, \quad \left. \begin{array}{l} [M]: \Rightarrow 1 = x_2; \\ [L]: \Rightarrow 0 = y_2 + z_2; \\ [T]: \Rightarrow 0 = -y_2 \end{array} \right\},$$

$$\left. \begin{array}{l} [M]: \Rightarrow 0 = x_3; \\ [L]: \Rightarrow 1 = y_3 + z_3; \\ [T]: \Rightarrow -2 = -y_3 \end{array} \right\}, \quad \left. \begin{array}{l} [M]: \Rightarrow 0 = x_4; \\ [L]: \Rightarrow 0 = y_4 + z_4; \\ [T]: \Rightarrow 1 = -y_4 \end{array} \right\}.$$

Розв'язуючи сумісно отримані рівняння, знаходимо значення невідомих показників:

$$\left. \begin{array}{l} x_1 = 1; \\ y_1 = 2; \\ z_1 = -1 \end{array} \right\}, \quad \left. \begin{array}{l} x_2 = 1; \\ y_2 = 0; \\ z_2 = 0 \end{array} \right\}, \quad \left. \begin{array}{l} x_3 = 0; \\ y_3 = 2; \\ z_3 = -1 \end{array} \right\}, \quad \left. \begin{array}{l} x_4 = 0; \\ y_4 = -1; \\ z_4 = 1 \end{array} \right\}. \quad (10)$$

З урахуванням (10) формули (7) для одиничних критеріальних комплексів приймають вид:

$$\pi_1 = \frac{FS}{m_0 V^2}; \quad \pi_2 = \frac{m}{m_0}; \quad \pi_3 = \frac{Sa}{V^2}; \quad \pi_4 = \frac{t_c V}{S}. \quad (11)$$

Перший критеріальний комплекс характеризує динамічну навантаженість і має назву критерій Ньютона

$$Ne_V = \frac{FS}{m_0 V^2}. \quad (12)$$

Другий критеріальний комплекс характеризує відносну вантажопідйомність

$$k_m = \frac{m}{m_0}. \quad (13)$$

Об'єднуючи третій і четвертий критерії в добуток, отримаємо критеріальний комплекс швидкодії у наступному вигляді:

$$k'_V = \frac{at_c}{V}. \quad (14)$$

В результаті добутку першого і четвертого одиничних комплексів отримаємо груповий критеріальний комплекс імпульсів сил за весь цикл руху:

$$k_t = \frac{Ft_c}{m_0 V}. \quad (15)$$

В залежності від маси транспортуемого об'єкта стандартами передбачено наступний розподіл промислових роботів на групи вантажопідйомності: надлегкі 0,08 – 1,0 кг; легкі 1,25 – 12 кг; середні 12,5 – 200 кг; важкі 250 – 1000 кг; надважкі 1250 кг і вище.

На рис. 1 наведено порівняння критеріїв вантажопідйомності для промислових роботів легкої, середньої та важкої груп вантажопідйомності, параметри яких представлені у табл. 1.

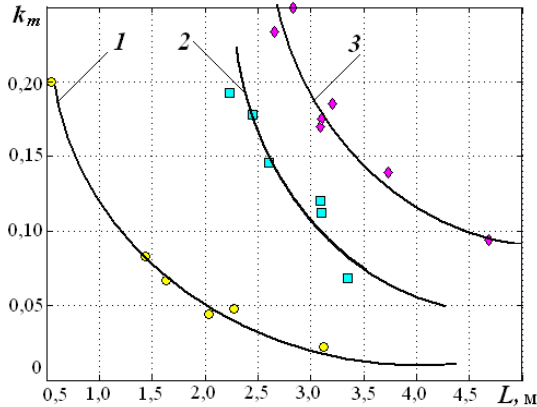


Рисунок 1 – Зміна критеріїв вантажопідйомності в залежності від зони досяжності роботів: 1 – легка група; 2 – середня група; 3 – важка група

Таблиця 1 – Параметри роботів PUMA фірми FANUC модельного ряду легкої, середньої та важкої груп вантажопідйомності [20]

№	Роботи легкої вантажопідйомності	Роботи легкої вантажопідйомності		Роботи середньої вантажопідйомності	Роботи середньої вантажопідйомності		Роботи важкої вантажопідйомності	Роботи важкої вантажопідйомності	
		$m$ , кг	$m_0$ , кг		$m$ , кг	$m_0$ , кг		$m$ , кг	$m_0$ , кг
1	LR MATE 200, iD, 4S	4	20	R1000, iA, 130F	130	675	M900, iB, 360	360	1540
2	M10, iD, 12	12	145	R2000, iC, 210WE	210	1180	M900, iB, 700	700	2800
3	M10, iD, 10L	10	150	R2000, iC, 165FH	165	1130	R2000, iC, 270R	270	1590
4	M10, iD, 8L	8	180	R2000, iC, 165R	165	1370	M900, iB, 280L	280	1600
5	M20, iD, 12L	12	250	R2000, iC, 125L	125	1115	M900, iB, 330L	330	1780
6	M710, iC, 12L	12	540	R2000, iC, 100P	100	1470	M900, iB, 400L	400	3150

Для роботів середньої і важкої груп вантажопідйомності виявлено більш круте зменшення критерія вантажопідйомності зі збільшенням зони досяжності робота. У випадку однакових зон досяжності значення критерія вантажопідйомності  $k_m$  для роботів середньої і важкої вантажопідйомності (2, 3 рис. 1) значно (у 6-8 разів) перевищують аналогічні показники для роботів легкої групи.

Для оберտальних ступеней рухомості аналогічно можна виділити такий же набір розмірних кінематичних і динамічних характеристик типу (5):  $M_i$  – момент діючих сил відносно  $i$ -ої осі обертання;  $J_i$  – осьовий момент інерції відповідної ланки відносно  $i$ -



ої осі обертання;  $\omega$  і  $\varepsilon$  – обмежені значення кутових швидкостей і кутових прискорень;  $\varphi$  – встановлений інтервал кутових переміщень. Таким чином, критеріальний комплекс кінематичних і динамічних властивостей обертальних ступенів рухомості маніпуляційної системи робота характеризують сім незалежних розмірних параметрів ( $n_1=8$ ):

$$\pi = f(M_i, J_i, m, m_0, \omega, \varepsilon, \varphi, t_c). \quad (16)$$

Для обертальних ступенів рухомості роботів (16) методом теорії розмірностей з використанням властивостей гомогенних функцій аналогічно (11) можна отримати наступні критеріальні комплекси:

$$Ne_\omega = \frac{M_i \varphi}{J_i \omega^2}; \quad k_\omega = \frac{\omega^2}{\varepsilon \varphi}; \quad k'_\omega = \frac{t_c \varepsilon}{\omega}; \quad k_t = \frac{M_i t_c \varphi}{J_i \omega}. \quad (17)$$

Для модулів і агрегатів роботів комплексні критерії визначаються усередненням відповідних критеріальних комплексів по всім ступеням рухомості. На рис. 2 наведені діаграми розподілення критеріїв швидкодії для роботів важкої групи вантажопідйомності.

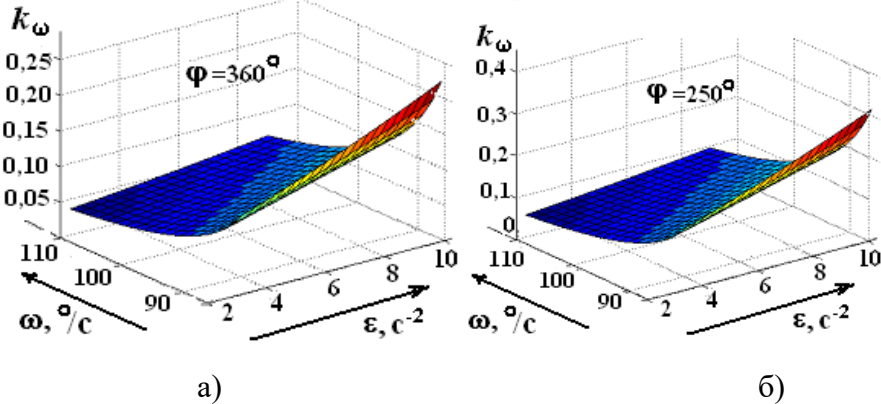


Рисунок 2 – Діаграми розподілення критерія швидкодії роботів важкої групи вантажопідйомності при різних інтервалах кутів повороту: а)  $\varphi = 360^\circ$ ; б)  $\varphi = 250^\circ$

Для збільшення швидкодії промислових роботів зменшують значення кутів повороту модулів ступенів рухливості. Так, при зменшенні кута повороту з  $360^\circ$  до  $250^\circ$  значення критеріїв швидкодії для роботів важкої групи вантажопідйомності зростають майже в два рази (див. рис. 2, б). На рис. 3 наведена діаграма розподілення критеріїв швидкодії по ступеням рухомості для роботів середньої і важкої груп вантажопідйомності. Порівняльна діаграма групових комплексних критеріїв швидкодії роботів наведена на рис. 4.

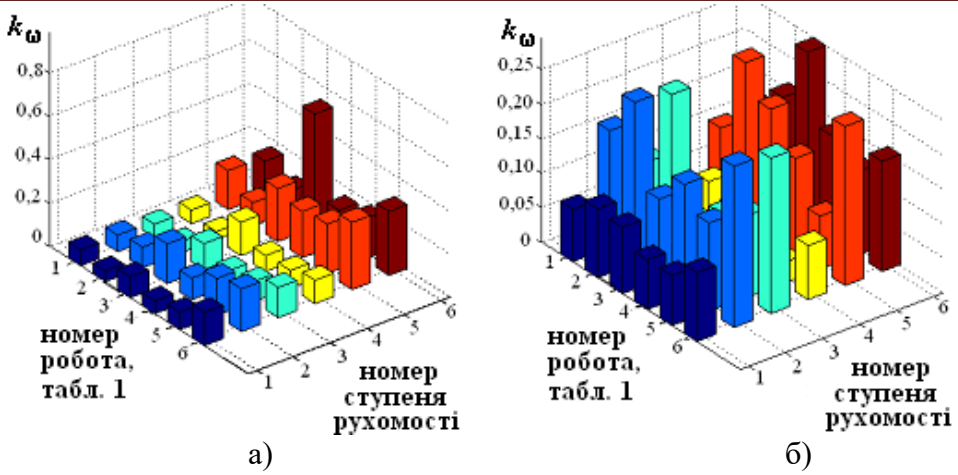


Рисунок 3 – Діаграма розподілення критеріїв швидкодії по ступеням рухомості роботів середньої (а) і важкої (б) груп вантажопідйомності

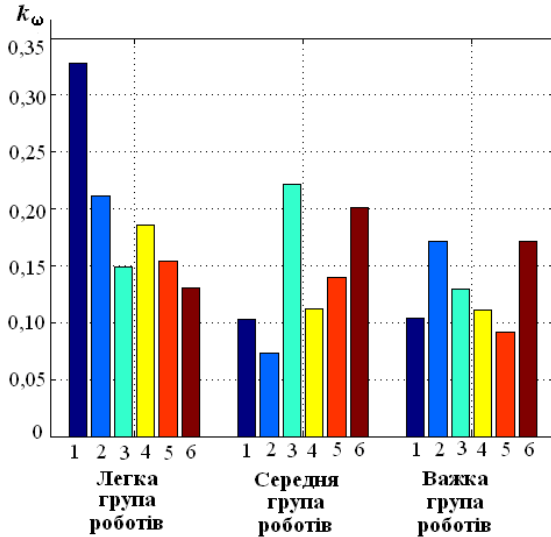


Рисунок 4 – Діаграма порівняльного розподілення комплексних критеріїв швидкодії роботів легкої, середньої і важкої груп вантажопідйомності: по горизонталі розміщені номери. роботів, табл 1

Значення критеріїв швидкодії за ступенями рухомості роботів розподілені нерівномірно і для транспортуючих ступенів рухомості (1, 2, 3) мають менші значення ніж для орієнтуючих (4, 5, 6). Для промислового робота типу R2000, iC, 165FH середньої вантажопідйомності (номер 3, рис. 4, а) критерій швидкодії для шостого ступеня рухомості різко виділяється серед інших. Промислові роботи легкої вантажопідйомності характеризуються більшими значеннями комплексних критеріїв швидкодії порівняно з роботами середньої і важкої вантажопідйомності.

## Висновки

Методами теорії розмірностей з використанням властивостей гомогенних функцій отримано сукупність одиночних критеріальних комплексів і створено групові критеріальні комплекси для порівняння технічного рівня існуючих конструкцій і прогнозування створюваних, що важливо під час проектування та доводки дослідних зразків.

Аналіз отриманих критеріальних комплексів для конструктивного ряду серійних промислових роботів дав змогу встановити значну нерівномірність розподілу критерія швидкодії за ступенями рухомості і визначити резерви його підвищення.

## Список використаних джерел

1. Воробьев Е. И., Промышленные роботы агрегатно-модульного типа / Е. И. Воробьев, Ю. Г. Козырев, В. И. Царенко. –М: Машиностроение. – 1988. – 237 с.
2. Черноусько Ф. Л. Методы управления нелинейными механическими системами / Ф. Л. Черноусько, И. М. Ананьевский, С. А. Решмин – М.: – Физматлит, 2006. – 328 с. – ISBN 5-9221-0678-3.
3. Акуленко Л. Д. Асимптотические методы оптимального управления. – М.: Наука. 1987. – 368 с..
4. Горнов А. Ю. Численные методы исследования задач оптимального управления в механических системах / Ж. Мехатроника, автоматизация, управление. № 8. – 2010. –С. 2-7.
5. Нахапетян Е. Г. Квалиметрия механизмов машин-автоматов и промышленных роботов // Квалиметрия и диагностирование механизмов. –М.: Наука. –1979. –С. 4-32.
6. Механика роботов и манипуляторов Т. 1. –М.: Высшая школа. – 1988. –304 с.
7. Новикова Е. А. Обоснование критериев плавности мехатронных приводов поступательного перемещения / Фундаментальные исследования. – 2012. – № 3. – С. 123-128; URL: <http://www.fundamental-research.ru/ru/article/view?id=29350>
8. Bezuglenko, A., Gutyria, S., Yaglinsky, V., 2004. Multi-Criterion Optimization Functional Trajectories of Industrial Robots. Annals of DAAAM International. Vienna: P. 037–038.
9. Гутыря С. С. 2014. Теория и практика моделирования технического уровня технологических машин. Моделирование технологических процессов механической обработки и сборки. / С. С. Гутыря, В.П. Яглинский // Т. 2, раздел 6 коллективной монографии –Specter, Moscow, pp. 224 – 272.
10. Gutyrya, S.,Zablonsky, K., Yaglinsky, V., 2005. System Modeling of Gears Design Quality. VDI-Berichte, 1904.1: 417–434.

11. Gutyrya, S., Yaglinskiy, V., Gaydamaka, A., 2016. System Model of Technical Level of Rolling Bearings. *British Journal of Applied Science & Technology*, 13(2): 1–9.
12. Hutyria S., Yaglinskiy V., Chanchin A., Khomiak Yu., Popov V., 2020. Evolution of Trolley-bus: Directions, Indicators, Trends. *Diagnostika*, Vol. 21, No. 1: 11–26.
13. M. Polishchuk, V. Yahlinskiy. Mobile Technology Module for Pipeline Maintenance: Design and Simulation. *FME Transactions*. Volume 50, No 2, 2022, pp. 360–368, doi:10.5937/fme2201360P. <https://www.mas.bg.ac.rs/istrazivanje/fme/start>
14. Ain A. Sonin. *The Physical Basis of Dimensional Analysis*. Department of Mechanical Engineering MIT Cambridge, MA 02139. 2001. – 50 p. [http://web.mit.edu/2.25/www/pdf/DA\\_unified.pdf](http://web.mit.edu/2.25/www/pdf/DA_unified.pdf)
15. Gibbings J. C. *Dimensional Analysis* / Springer, 2011. — 297 p. — ISBN 1849963169. <https://www.springer.com/gp/book/9781849963169>
16. Kunes J. *Similarity and modeling in science and engineering* / Cambridge International Science Publishing, 2012. – 449 pp. <https://www.springer.com/gp/book/9781907343773>
17. Zohuri Bahman. *Dimensional Analysis and Self-Similarity Methods for Engineers and Scientists* / Springer, N.-Y., 2015. – 372p. DOI 10.1007/978-3-319-13476-5\_3. <https://www.springer.com/gp/book/9783319134758>
18. Simon Volker, Weigand Bernhard, Goma Hassan. *Dimensional Analysis for Engineers* / Springer, 2017. — 144 p. — (Mathematical Engineering). — ISBN 978-3-319-52026-1. <https://www.springer.com/gp/book/9783319520261>
19. Mark C. Albrecht, Christopher J. Nachtsheim, Thomas A. Albrecht & R. Dennis Cook. *Experimental Design for Engineering Dimensional Analysis* / *Technometrics*. V. 55, Issue 3 (2013). –P. 257-270.
20. Интернет ресурс: [www.fanuc.eu](http://www.fanuc.eu)

## THEORY OF DIMENSIONS IN DETERMINING THE CRITERIA OF INDUSTRIAL ROBOTS

Yaglinsky V. P., Gutyrya S. S.  
*Odessa Polytechnic National University*

**Abstract.** *For a set of typical series of industrial robots, the analysis of functional properties of manipulation systems was performed and the main operational and design parameters were identified, which reflect the technical level of products in the conditions of steady growth of consumer requirements and competitiveness of machine-building production. The main relationships of kinematic and dynamic characteristics of translational and rotational kinematic pairs of structural sequences of industrial robots*

*are determined and their compliance with the criteria of criterion of similarity is established. Based on the theorems and methods of dimensional theory using the properties of homogeneous functions, an algorithm for creating criterion complexes that characterize the functional properties of speed and load capacity of manipulation systems of industrial robots has been developed. The criterion indicators for the model range of industrial robots were studied and it was found that with increasing range of industrial robots the load criterion for all robots decreases, and in the case of the same reach the value of the load criterion for medium and heavy robots is 6-8 times higher than for light robots. load capacity. The proposed criterion complexes of speed and load capacity are based on the passport data of typical structures of industrial robots and can be used to compare the technical level of existing structures and predict the prototypes created during the design and refinement.*

**Key words:** *manipulation systems, criterion complexes, homogeneous functions, technical level.*