

СТРУКТУРНО-ПАРАМЕТРИЧНИЙ СИНТЕЗ МЕТАЛОКОНСТРУКЦІЇ МОДУЛЯ ЛІНІЙНОГО ПЕРЕМІЩЕННЯ

Розроблено математичну оптимізаційну модель і здійснено структурно-параметричний синтез металокопструкції модуля лінійного переміщення руки маніпулятора промислового робота за чотирма критеріями якості з урахуванням конструктивних і функціональних обмежень. Отримано раціональну структуру й оптимальні конструктивні параметри модуля при заданих зовнішніх навантаженнях.

У модулях лінійного переміщення (МЛП), наприклад, руки маніпулятора промислового робота з пневмо- чи гідроприводом, для збільшення жорсткості конструкції на згин і кручення застосовують просторові металокопструкції – шток силового циліндра за допомогою шпангоута жорстко з'єднують з додатковими, рухомими в осьовому відносно корпусу силового циліндра напрямні, напрямними штангами, розміщеними на певній віддалі від його геометричної осі [1, 8]. Структура та розміри таких металокопструкцій істотно впливають на жорсткість, габарити, масу, вартість і динамічні характеристики модуля лінійного переміщення [4]. Для проектування МЛП структуру просторової металокопструкції вибирають на основі досвіду експлуатації, а параметри – з умови забезпечення потрібної жорсткості та міцності [1, 7]. Такий підхід не дає можливості комплексно оцінити альтернативні варіанти металокопструкції і обрати кращу з них для подальшого розрахунку. Тому проблема багатокритеріального структурно-параметричного оптимізаційного синтезу таких металокопструкцій є актуальною і важливою для забезпечення високої якості проектних робіт.

Мета статті – розроблення математичної моделі і проведення структурно-параметричного оптимізаційного синтезу металокопструкції МЛП за багатьма критеріями якості та обмеженнями.

Постановка задачі. Розглянемо п'ять найтипівіших з можливих [1] варіантів структури МЛП з основною і додатковими напрямними штангами (рис. 1). На рисунку зображені перерізи металокопструкцій модуля лінійного переміщення: **1** – без додаткової напрямної штанги; **2** – з однією напрямною штангою; **3** – з двома напрямними штангами; **4** – з трьома додатковими напрямними штангами, поздовжні осі яких розташовані на колі з однаковим кутовим кроком; **5** – трубчаста металокопструкція, що охоплює шток циліндра.

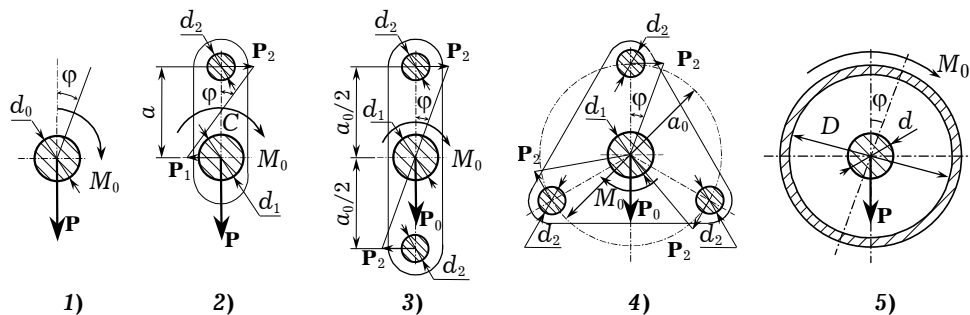


Рис. 1

Треба вибрати одну з п'яти запропонованих структур МЛП і її геометричні параметри d_1 , d_2 , a , a_0 , d і D так, щоб при заданому зовнішньому навантаженні $M_0 = 75 \text{ Н} \cdot \text{м}$ і $P = 5000 \text{ Н}$ модуль мав мінімальну масу, габарити, вартість і складність, а також задовольняв обмеження на напруження та деформації в елементах металокопструкції.

Оптимізаційний синтез МЛП. Виконаємо структурно-параметричний синтез МЛП відповідно до методу, розробленого в [5]. Виберемо за часткові критерії якості МЛП його масу та габарити, а за змінні проектні параметри – геометричні розміри d_1, d_2, a, a_0, d, D та кількість стрижнів n , які утворюють металокопструкцію модуля. Максимальні значення зовнішніх навантажень і виліт МЛП вважатимемо заданими. Тоді у розв'язуванні задачі структурно-параметричного синтезу металокопструкції МЛП можна виділити дві такі стадії: на першій сформувавши множину альтернативних варіантів модуля лінійного переміщення за критеріями маси й габаритів; на другій – вибрати кращий з них за цими й додатковими критеріями якості – вартістю і складністю копструкції, мінімізувавши їх.

Оскільки в такій постановці задачі копструкцію характеризують чотири критерії якості, які пов'язані з параметрами МЛП відповідними функціональними залежностями, то параметрична оптимізація МЛП у межах кожної зі структур зводиться до задачі векторної оптимізації з обмеженнями в умовах визначеності ситуації:

$$\begin{aligned} \min_{\mathbf{x} \in \mathbb{R}^n} \mathbf{F}(\mathbf{x}), \quad g_i(\mathbf{x}) = 0, \quad i = 1, 2, \dots, m_1, \\ g_i(\mathbf{x}) \leq 0, \quad i = m_1 + 1, \dots, m, \quad \mathbf{x}_{\min} \leq \mathbf{x} \leq \mathbf{x}_{\max}, \end{aligned} \quad (1)$$

де $\mathbf{F}(\mathbf{x}) = \{F_1(x), F_2(x), \dots, F_k(x)\}$ – векторна функція мети; $g_i(\mathbf{x})$ – скалярні функції векторного аргументу – обмеження; k – кількість часткових критеріїв якості; \mathbf{x} – вектор проектних параметрів; m, m_1 – кількість обмежень відповідно загальна і рівностей; $\mathbf{x}_{\min}, \mathbf{x}_{\max}$ – відповідно, нижня і верхня межі зміни параметрів.

На першій стадії оптимізації металокопструкції функцію мети запишемо у вигляді зваженої суми двох часткових критеріїв якості:

$$\Psi_0 = f_j(\mathbf{x}) = \zeta_1 \frac{m_j(\mathbf{x})}{m_0} + \zeta_2 \frac{V_j(\mathbf{x})}{V_0}, \quad j = \overline{2, 5}, \quad (2)$$

де $m_j(\mathbf{x})$ – маса металокопструкції модуля; $V_j(\mathbf{x})$ – об'єм простору, який займає металокопструкція; ζ_1, ζ_2 – вагові коефіцієнти часткових критеріїв якості; $m_0 = 0.25 \rho \ell \pi d_0^2$ і $V_0 = 0.25 \ell \pi d_0$ – маса й об'єм штока силового циліндра, геометричні параметри якого задовольняють обмеження на деформації та напруження за заданих зовнішніх навантажень.

Варіацією значень вагових коефіцієнтів досягається перегляд простору проектних параметрів і формування альтернативних варіантів МБК у межах однієї структури.

Масу металокопструкції МЛП з додатковими напрямними визначимо відповідно за такими формулами:

– для металокопструкцій з додатковими круглими стрижнями

$$m_j = \rho \ell \frac{\pi}{4} (d_1^2 + n d_2^2), \quad j = \overline{2, 4}; \quad (3)$$

– для трубчастої металокопструкції, яка охоплює шток силового циліндра

$$m_5 = \rho \ell \frac{\pi}{4} (D_1^2 - d^2 + d_1^2). \quad (4)$$

Об'єм простору, який займають металокопструкції, зображені на рис. 1, визначимо за формулами

$$\begin{aligned} V_2 = d_1 [a + 0.5(d_1 + d_2)] \ell, \quad V_3 = d_1 (2a + d_1) \ell, \\ V_4 = \frac{\pi(a + d_2)^2}{4} \ell, \quad V_5 = \frac{\pi D^2}{4} \ell, \end{aligned} \quad (5)$$

де V_2, \dots, V_5 – об'єми простору, який займають відповідно металоко́нструкції з одним, двома, трьома додатковими стрижнями та трубчаста металоко́нструкція; ρ – густина матеріалу стрижнів; n – кількість стрижнів; a – міжосьова віддаль між стрижнями; ℓ – довжина (виліт) металоко́нструкції.

Функціональні обмеження запишемо так:

– на напруження у стрижнях МЛП

$$\begin{aligned} \psi_1 \equiv \sigma_{e1} - [\sigma] \leq 0, & \quad \psi_2 \equiv \sigma_{e2} - [\sigma] \leq 0, \\ \psi_3 \equiv \sigma_{e3} - [\sigma] \leq 0, & \quad \psi_4 \equiv \sigma_{e4} - [\sigma] \leq 0, \end{aligned} \quad (6)$$

де σ_{ei} – еквівалентні напруження від деформації згину та кручення; $[\sigma]$ – допустиме напруження розтягу для матеріалу;

– на деформації кінця консолі металоко́нструкції

$$\begin{aligned} \psi_5 \equiv x - [x] \leq 0, & \quad \psi_6 \equiv y - [y] \leq 0, \\ \psi_7 \equiv \varphi - [\varphi] \leq 0, & \quad \psi_8 \equiv \theta - [\theta] \leq 0, \end{aligned} \quad (7)$$

де $[x]$, $[y]$, $[\varphi]$, $[\theta]$ – відповідно допустимі лінійні та кутові деформації кінця консолі металоко́нструкції.

Крім цього, треба врахувати, що площі поперечних перерізів елементів металоко́нструкції повинні бути додатними величинами. Такі обмеження на допустимі розміри стрижнів запишемо так:

$$\psi_9 \equiv -d_1 \leq 0, \quad \psi_{10} \equiv -d_2 \leq 0, \quad \psi_{11} \equiv -D \leq 0, \quad \psi_{12} \equiv -d \leq 0. \quad (8)$$

Розміри стрижнів повинні бути такими, щоб у площині поперечного перерізу вони не накладалися. Це дає ще два обмеження на співвідношення між діаметрами:

$$\psi_{13} \equiv d_1 - d \leq 0, \quad \psi_{14} \equiv d - D \leq -s, \quad (9)$$

де s – мінімально допустима з конструктивних міркувань товщина стінки трубчастої металоко́нструкції.

Отже, задачу оптимізаційного синтезу МЛП на цій стадії розглядатимемо як задачу визначення таких змінних конструктивних параметрів d_1 , d_2 , a , a_0 , d , D , які мінімізують функцію мети (2) і задовольняють обмеження (6)–(9).

Розрахунок деформацій і напружень в елементах металоко́нструкції МЛП. Оскільки в ПР, РТК і ГВС із пневматичним приводом суміщення рухів здебільшого не застосовують, то для визначення напружень і деформацій елементів металоко́нструкції МЛП можна здійснювати за умови їх навантаження окремо крутним моментом M_z і силою P , прикладеними до абсолютно жорсткого шпангоута, який з'єднує кінці стрижнів металоко́нструкції (див. рис. 1).

Для альтернативних варіантів металоко́нструкції МЛП, зображених на рис. 1, рівняння міцності й допустимих деформацій її консольного кінця запишемо так:

– для МЛП без додаткових напрямних

$$\varphi = \frac{M_0 \ell}{GJ_p} \leq [\varphi], \quad \tau_k = \frac{M_0}{W_p} \leq [\tau_k], \quad (10)$$

де φ – кут закручування жорсткого шпангоута у вертикальній площині; G – модуль пружності другого роду (зсуву); $J_p = \pi d_1^4 / 32$ – полярний момент інерції перерізу штока; τ_k – дотичні напруження у матеріалі штока при крученні; $W_p = \pi d_1^3 / 16$ – полярний момент опору поперечного перерізу штока при згині; $[\varphi]$, $[\tau_k]$ – допустимі кут повороту шпангоута і дотичні

напруження в матеріалі штока при крученні; d_1 – діаметр штока силового циліндра;

$$f = \frac{P\ell^3}{3EJ_x} \leq [f], \quad \sigma = \frac{32P\ell}{\pi d_3} \leq [\sigma], \quad (11)$$

де E – модуль пружності матеріалу; $J_x = \pi d_1^4/64$ – момент інерції поперечного перерізу кругової форми;

– для МЛП з однією додатковою штангою

$$\varphi = \frac{M_0}{(C_1 + C_2) + 4B_1a_1^2 + 4B_2a_2^2} \leq [\varphi], \quad \sigma_i = \frac{M_{Ei}}{W_i} \leq [\sigma_p], \quad (12)$$

де $M_{Ei} = \sqrt{M_i^2 + M_{ki}^2}$ – еквівалентний момент в i -му стрижні за третьою гіпотезою міцності; W_i – момент опору поперечного перерізу i -го стрижня; $C_i = GJ_{ki}/\ell^3$ – жорсткість i -го стрижня при крученні; $B_i = 3EJ_i/\ell^3$ – жорсткість i -го стрижня при згині; $M_{ki} = C_i\varphi$ – крутний момент, прикладений до i -го стрижня; $M_i = 2PB_ia_i\varphi$ – момент згину, прикладений до i -го стрижня;

$$f = \frac{P\ell^3}{3\pi E(d_1^4 - d_2^4)} \leq [f], \quad \sigma_i = \frac{P\ell d_i}{\pi(d_1^4 - d_2^4)} \leq [\sigma], \quad i = \overline{1, 2}; \quad (13)$$

– для МЛП з n додатковими напрямними, поздовжні осі яких розміщені на колі радіусом a_0 з однаковим кутовим кроком:

$$\varphi = \frac{M_0}{(C_1 + nC_2) + 4nB_2a_0^2} \leq [\varphi], \quad \sigma_2 = \frac{M_{E2}}{W_2} \leq [\sigma_p], \quad (14)$$

де $M_{E2} = \sqrt{M_{k2}^2 + M_2^2}$ – еквівалентний момент, прикладений до додаткових стрижнів; $M_{k2} = C_2\varphi$ – крутний момент, прикладений до додаткових стрижнів; $M_2 = 2B_2a_0\ell\varphi$ – момент згину, прикладений до додаткових стрижнів;

$$f = \frac{P\ell^3}{3\pi E \sum_{i=1}^N d_i^4} \leq [f], \quad \sigma = \frac{P\ell d_i}{\pi \sum_{i=1}^N d_i^4} \leq [\sigma_p]; \quad (15)$$

– для трубчастої конструкції

$$\varphi = \frac{M_0}{C_1 + C_2} \leq [\varphi], \quad \tau_i = \frac{M_{ki}}{W_{pi}} \leq [\tau_k], \quad i = \overline{1, 2}, \quad (16)$$

де $C_i = GJ_{pi}/\ell$ – жорсткість i -го стрижня на кручення; $J_{p1} = \pi d^4/32$ – полярний момент інерції центрального стрижня; $J_{p2} = \pi D^4(1 - \alpha^4)/32$ – полярний момент інерції трубчастого стрижня; $\alpha = d/D$ – відношення внутрішнього діаметра трубчастого стрижня до зовнішнього; $W_{p1} = \pi d^3/16$ – полярний момент опору поперечного перерізу суцільного стрижня; $W_{p2} = \pi D^3(1 - \alpha^4)/16$ – полярний момент опору трубчастого стрижня;

$$f_c = \frac{P\ell^3}{3EJ_c} \leq [f_c], \quad \sigma_i = \frac{M_{ki}}{W_{0i}} \leq [\sigma], \quad (17)$$

де $J_c = \pi d_1^4/64 + \pi D^4(1 - \alpha^4)/64$ – сумарний осьовий момент інерції трубчастої металокоплекції; $M_i = C_i f_c$ – момент згину, прикладений до i -го

стрижня; $W_{01} = \pi d^3/32$ – осьовий момент опору поперечного перерізу суцільного стрижня; $W_{02} = \pi D^3(1 - \alpha^4)/32$ – осьовий момент опору поперечного перерізу трубчастого стрижня.

Формування альтернативних парето-оптимальних варіантів МЛП.

Для формування множини альтернативних варіантів МЛП розв'яжемо оптимізаційну задачу (1) з обмеженнями, мінімізувавши функцію мети (2), за допомогою методу Куна – Такера [2], звівши вихідну оптимізаційну задачу (1) з обмеженнями (6)–(9) до безумовної оптимізації:

$$\begin{aligned} \nabla f(\mathbf{x}^*) + \sum \lambda_i \nabla g_i(\mathbf{x}^*) = 0, \quad \nabla g_i(\mathbf{x}^*) = 0, \quad i = \overline{1, m_1}, \\ \lambda_i^* = 0, \quad i = \overline{m_1 + 1, \dots, m}, \end{aligned} \quad (18)$$

де λ_i – множник Лагранжа.

Апроксимуємо функцію Лагранжа у (18) відповідно до методу послідовного квадратичного програмування (SQP) так, щоб вона враховувала обмеження:

$$L(\mathbf{x}, \lambda) = f(\mathbf{x}) + \sum_{i=1}^m \lambda_i \nabla g_i(\mathbf{x}).$$

Тоді на кожному кроці розв'язуватимемо таку задачу оптимізації:

$$\begin{aligned} \min_{\mathbf{d} \in \mathbb{R}^n} \frac{1}{2} \mathbf{d}^T \mathbf{H}_k \mathbf{d} + \nabla f^T(\mathbf{x}_k) \mathbf{d}, \\ \nabla g_i^T(\mathbf{x}_k) \mathbf{d} + g_i(\mathbf{x}_k) = 0, \quad i = \overline{1, m_1}, \\ \nabla g_i^T(\mathbf{x}_k) \mathbf{d} + g_i(\mathbf{x}_k) \leq 0, \quad i = \overline{m_1 + 1, \dots, m}. \end{aligned} \quad (19)$$

Для розв'язування оптимізаційної задачі у вигляді (19) була розроблена комп'ютерна програма, в якій для пошуку екстремуму функції мети використано програму *fmincon* пакету Toolbox MatLab-5.3.1, побудовану на комбінованому методі пошуку екстремуму функції мети, який об'єднує алгоритм DFGS і метод проекцій. Розрахунки виконано за таких сталих параметрів МЛП: $\rho = 7100 \cdot 10^{-9}$ кг/мм³, $E = 2.1 \cdot 10^5$ МПа, $G = 8 \cdot 10^4$ МПа, $\ell = 800$ мм, $[\tau_k] = 128$ МПа, $[\sigma] = 200$ МПа, $[f] = 2$ мм, $[\varphi] = 5$ град.

Фрагмент результатів комп'ютерного числового моделювання за допомогою згаданої програми для двох, діаметрально протилежних за величиною, значень вагових коефіцієнтів маси та габаритів МЛП подано в табл. 1 ($\zeta_1 = 0.1$, $\zeta_2 = 0.9$) і табл. 2 ($\zeta_1 = 0.9$, $\zeta_2 = 0.1$), де f – значення функції мети. Варіюючи значення вагових коефіцієнтів ζ_i у межах від 0.1 до 0.9 зі сталим кроком (наприклад, 0.1) отримаємо всю множину альтернативних варіантів МЛП, з яких у подальшому оберемо найраціональніший варіант, перспективний для подальшого конструктивного опрацювання.

Таблиця 1

Варіант МЛП	Параметри							
	d_1 , мм	d_2 , мм	a , мм	d , мм	D , мм	f	m , кг	V , мм ³
1	80.2	–	–	–	–	–	28.7	$2.0 \cdot 10^5$
2	27.5	16.3	21.9	–	–	0.213	4.57	$1.2 \cdot 10^3$
3	28.3	5.0	33.3	–	–	0.022	3.81	$2.0 \cdot 10^3$
4	15.6	6.5	11.1	–	–	0.008	1.65	$4.5 \cdot 10^2$
5	12.4	–	–	35.4	81.0	0.993	24.31	$2.0 \cdot 10^5$

Таблиця 2

Варіант МЛП	Параметри							
	d_1 , мм	d_2 , мм	a , мм	d , мм	D , мм	f	m , кг	V , мм ³
1	80.2	–	–	–	–	–	28.7	$2.0 \cdot 10^5$
2	27.5	16.3	21.9	–	–	0.144	4.57	$1.2 \cdot 10^3$
3	28.3	5.0	56.8	–	–	0.121	3.81	$3.4 \cdot 10^3$
4	15.8	5.0	11.2	–	–	0.046	1.45	$4.4 \cdot 10^2$
5	10.0	–	–	167	169	0.328	3.72	$4.3 \cdot 10^5$

Розрахунок функції сумарної корисності альтернативних варіантів МЛП. Для комплексної оцінки альтернативних варіантів МЛП введемо два додаткові часткові критерії якості: складність і вартість металоконострукції.

Складність МЛП оцінюватимемо за кількістю елементів, які утворюють металоконострукцію, оскільки силовий циліндр, що входить до складу МЛП, для всіх альтернативних варіантів буде однаковим. У процесі розв'язування задачі експертні рішення приймалися однією особою — експертом («індивідуальне рішення»). Відповідно до цього МЛП були проранговані за складністю так: найпростішій конструкції, МЛП у вигляді силового циліндра без додаткових напрямних стрижнів, було присвоєно значення функції корисності, що дорівнює 1; найскладнішій конструкції – 6; інші конструкції МЛП з додатковими напрямними стрижнями отримали такі значення: з одним додатковим стрижнем – 2; з двома додатковими напрямними стрижнями – 3; з трьома додатковими напрямними стрижнями – 4. Ці значення функції корисності наведено в табл. 3 у стовпчику «складність».

Для кожного з альтернативних варіантів МЛП сформуємо матрицю критеріїв якості $A_{j_0} = \|x_{qi}^{j_0}\|$, де $i = \overline{1,3}$ – кількість критеріїв якості; $j_0 = \overline{1,9}$ – кількість альтернативних варіантів МЛП; $q = \overline{1,2}$ – кількість режимів роботи (варіантів співвідношення вагових коефіцієнтів часткових критеріїв якості) МЛП (див. табл. 3).

Кожній матриці A_{j_0} поставимо у відповідність матрицю корисності критеріїв $W_{j_0} = \|w_{qi}^{j_0}\|$, $i = \overline{1,3}$, $j_0 = \overline{1,5}$, $q = \overline{1,2}$. Для побудови матриці корисності критеріїв спочатку побудуємо залежності функцій корисності кожного з них від його значення. Для зручності виберемо максимальні значення функції корисності для всіх критеріїв, що дорівнюють одиниці.

У результаті опрацювання експертних оцінок за описаною у [9] методикою отримано такі залежності функції корисності чинників від їхніх значень:

$$y = 1.863x^2 - 2.7227x + 1.0045 \quad \text{– для оцінки маси МЛП;}$$

$$y = 0.4918x^2 - 1.2184x + 0.9778 \quad \text{– для оцінки габаритів МЛП;}$$

$$y = 0.0083x^2 - 0.1633x + 0.8692 \quad \text{– для оцінки складності конструкції МЛП.}$$

Після цього для кожного з альтернативних варіантів МЛП за формулою [6]

$$u(S_{j_0}) = \sum_{q=1}^k \sum_{i=1}^n r_q w_{qi}^{j_0} v_i, \quad (20)$$

де $r_q = 1$ – ваговий коефіцієнт q -го режиму роботи МЛП ($k = 2$); $w_{qi}^{j_0}$ – значення функції корисності МЛП ($m = 5$, $k = 2$, $n = 3$); v_i – ваговий коефіцієнт i -го чинника ($n = 3$), обчислено значення функції сумарної корисності при таких вагових коефіцієнтах часткових критеріїв якості: маси – 0.6, габаритів – 0.3 і складності конструкції – 0.1. Результати розрахунків подано в табл. 4.

Цілком очевидно, що за однакової структури металоконструкції МЛП її вартість C_m істотно не змінюватиметься зі зміною конструктивних параметрів. У випадку зміни структури вартість альтернативного варіанта металоконструкції істотно змінюватиметься і впливатиме на кінцевий вибір раціональної конструкції, особливо за умов обмеженого фінансування на розроблення МЛП.

Таблиця 3

№ з/п	Критерії якості		
	m , кг	V , мм ³	Складність
1	28.70	$2.0 \cdot 10^5$	1
2	4.57	$1.2 \cdot 10^3$	2
3	3.81	$2.0 \cdot 10^3$	3
4	1.65	$4.5 \cdot 10^2$	4
5	24.31	$2.0 \cdot 10^5$	6
6	4.57	$1.2 \cdot 10^3$	2
7	3.81	$3.4 \cdot 10^3$	3
8	1.45	$4.4 \cdot 10^2$	4
9	3.72	$4.3 \cdot 10^5$	6

Таблиця 4

№ з/п	m/m_0	V/V_0	Складність	u_m	u_V	$u_{скл}$	$u(S_j)$	C_m , грн
1	1.00	1.000	1	0.14	0.15	0.71	0.20	717.50
2	0.16	0.006	2	0.62	0.97	0.58	0.72	114.20
3	0.13	0.010	3	0.68	0.96	0.45	0.54	95.20
4	0.06	0.002	4	0.85	0.98	0.35	0.84	41.25
5	0.84	1.000	6	0.03	0.15	0.19	0.08	607.70
6	0.16	0.006	2	0.62	0.97	0.58	0.72	114.20
7	0.13	0.017	3	0.68	0.96	0.45	0.72	95.20
8	0.05	0.002	4	0.87	0.98	0.35	0.85	36.25
9	0.13	2.1500	6	0.68	0.17	0.19	0.48	93.00

Прогнозування вартості МЛП. Орієнтовну вартість C_m (без урахування технології виготовлення і витрат на обслуговування) альтернативних варіантів МЛП було обчислено за формулою [3]

$$C_{mi} = \frac{C_{bi} \times 100}{k_{bi}}, \quad (21)$$

де C_{bi} – собівартість базового вузла i -го варіанта МЛП; k_{bi} – питома вага собівартості базового вузла у собівартості аналогічного виробу.

Результати розрахунків при ціні сталі 25 грн. за 1 кг подано в табл. 4. Ці дані є підставою для побудови «поля вибору» раціональної структури й оптимальних конструктивних параметрів МЛП.

Вибір найкращого варіанта металоконструкції МЛП за інтегральним критерієм якості та компенсацією за корисність. Обчисливши значення функції сумарної корисності і вартість кожного з альтернативних варіантів МЛП, зобразимо у прямокутній системі координат (рис. 2) точки з координатами $(u(S_j), C_m)$. Цифри біля точок відповідають порядковому номеру альтернативних варіантів МЛП у табл. 4 (варіанти 1 і 5 на рисунку не зображені, оскільки істотно перевищують інші за вартістю).

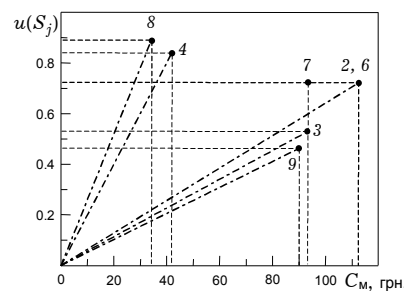


Рис. 2

Рис. 2 свідчить, що максимальне значення функції сумарної корисності за найменшої вартості має конструкція за номером 8 – МЛП з центральним і трьома додатковими напрямними стрижнями (див. рис. 1) з такими конструктивними параметрами: $n = 3$, $d_1 = 15.8$ мм, $d_2 = 5.0$ мм, $a = 11.2$ мм.

Висновки. 1. З використанням концепції та методу багатокритеріального структурно-параметричного синтезу машинобудівних конструкцій [5] розроблено математичну оптимізаційну модель і здійснено структурно-параметричний синтез металоконструкції МЛП руки маніпулятора за чотирма критеріями якості з урахуванням накладених конструктивних і функціональних обмежень.

2. Показано, що з п'яти альтернативних варіантів металоконструкцій МЛП з основною і додатковими напрямними стрижнями при навантаженні осью силою та крутним моментом найкращою (оптимальною) є конструкція з одним центральним і трьома додатковими стрижнями, розміщеними на колі заданого радіуса з однаковим кутовим кроком.

3. У результаті синтезу отримано оптимальні значення конструктивних параметрів металоконструкції МЛП при заданих зовнішніх навантаженнях.

4. Запропоновані метод і алгоритм структурно-параметричного синтезу є універсальними, їх можна застосовувати для проектування різноманітних машинобудівних конструкцій з оцінкою якості за багатьма (метричними та неметричними) частковими критеріями.

1. Бурдаков С. Ф., Дьяченко В. А., Тимофеев А. Н. Проектирование манипуляторов промышленных роботов и роботизированных комплексов. – М.: Высш. шк., 1986. – 264 с.
2. Дьяконов В., Круглов В. Математические пакеты расширения MATLAB: Специальный справочник. – С.-Пб.: Питер, 2001. – 480 с.
3. Житная И. П., Житный Е. П. Техничко-экономический анализ при проектировании и производстве машин. – Киев: Вища шк., 1990. – 229 с.
4. Кіндрацький Б. І. Вплив податливості ланок лінійного пневмоприводу з інерційним навантаженням на його динамічні характеристики // *Машинознавство*. – 1997. – № 4-6. – С. 37-40.
5. Кіндрацький Б. І. Концепція і алгоритм багатокритеріального структурно-параметричного синтезу машинобудівних конструкцій // *Вісн. Терноп. держ. техн. ун-ту ім. І. Пулюя*. – 2003. – 8, № 1. – С. 73-82.
6. Кіндрацький Б. І. Про параметричний синтез пневмопривідного модуля за критерієм сумарної корисності // *Вісн. держ. ун-ту «Львів. політехніка»*. Сер. Динаміка, міцність та проектування машин і приладів. – 1999. – № 376. – С. 17-20.
7. Козырев Ю. Г. Промышленные роботы: Справочник. – М.: Машиностроение, 1983. – 376 с.
8. *Промышленные роботы в машиностроении: Альбом схем и чертежей: Уч. пос. для техн. вузов* / Ю. М. Соломенцев, К. П. Жуков, Ю. А. Павлов и др. – М.: Машиностроение, 1986. – 140 с.
9. Fishburn P. C. Methods of estimating additive utilities // *Manag. Sci.* – 1967. – 13, No. 7. – P. 435-453.

СТРУКТУРНО-ПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИИ МОДУЛЯ ЛИНЕЙНОГО ПЕРЕМЕЩЕНИЯ

Разработана математическая оптимизационная модель и проведено структурно-параметрический синтез металоконструкции модуля линейного перемещения руки манипулятора промышленного робота по четырем критериям качества с учетом наложенных ограничений. Определена рациональная структура и оптимальные конструкционные параметры модуля при заданных внешних нагрузках.

STRUCTURAL-PARAMETRIC SYNTHESIS OF METAL WORK OF LINEAR MOTION MODULE

The mathematical optimization model is developed and structural-parametric synthesis of metal work of the linear motion module of manipulator hand of industrial robot is made by four criteria of quality with regard for restrictions. The rational structure and optimum design data of the module are determined with given external loadings.

¹ Нац. ун-т «Львів. політехніка», Львів

Одержано

² Львів. нац. ун-т ім. Івана Франка, Львів

21.10.03