

НАБЛИЖЕНІ МЕТОДИ ІНЖЕНЕРНОГО СИНТЕЗУ ЗРІВНОВАЖУВАЛЬНИХ КУЛАЧКОВИХ МЕХАНІЗМІВ З СИЛОВИМИ НАВАНТАЖУВАЧАМИ

Основним завданням при проектуванні кулачкових пристроїв програмного зрівноважування надлишкових моментів у циклових машинах є визначення закону руху штока навантажувача $s_y = f(t)$. Для силових навантажувачів інваріанти переміщень можуть бути визначені однозначно внаслідок аналітичного розв'язку рівняння, яким записується умова зрівноважування в критеріальному вигляді

$$q_n = -q_3 \quad (1)$$

де $q_n = \frac{A_n}{A_{nm}}$, $q_3 = \frac{A_3}{A_{3m}}$ — інваріанти зміни надлишкової енергії виконавчого механізму і навантажувача.

Отже, розрахунок зрівноважувальних кулачкових механізмів (ЗКМ) ведеться з врахуванням фізичних характеристик навантажувача, які визначають якісний характер зміни його потенціальної енергії q_3 .

Для пневматичного навантажувача, якому властивий політропічний процес зміни стану повітря в його камері ($p_0 V_0^n = p V^n$), умову зрівноваження надлишкових моментів у період віддачі енергії можна записати

$$q_n = 1 - \frac{\left[(1 - \lambda_n a_{ky})^{1-n} - \frac{\lambda_n}{p_0} (n-1) a_{ky} - 1 \right]}{(1 - \lambda_n)^{1-n} - \frac{\lambda_n}{p_0} (n-1)}, \quad (2)$$

де $a_{ky} = \frac{s_y}{S_y}$ — інваріант переміщень поршня; $\lambda_n = \frac{S_y}{l_n}$ — коефіцієнт зведеної довжини l_n камери стиску; p_0 — початковий тиск повітря в камері пневмонавантажувача $\left(\frac{\text{кгс}}{\text{см}^2} \right)$.

Показник політропи n — число дробове ($1 < n \leq 1,4$), внаслідок чого розв'язок рівняння (2) відносно a_{ky} в загальному вигляді пов'язаний з певними труднощами. Якщо врахувати $n = \frac{4}{3} = 1,33$ (3), яке близьке до значень n , що властиве багатьом пневматичним пристроям, які використовуються в техніці, то рівність (2), записана в неявному вигляді, може бути зведена до виразу поліноміального рівняння четвертого ступеня

$$Q_1 a_{ky} + Q_2 a_{ky}^2 + Q_3 a_{ky}^3 + Q_4 a_{ky}^4 - 1 = 0, \quad (3)$$

де Q_1, Q_2, Q_3, Q_4 — коефіцієнти полінома, які визначаються параметрами пневмонавантажувача $\lambda_n, p_0, n = 1,33(3)$ і біжучим значенням $q_n = f(k)$. Розв'язок (3) відносно a_{ky} можна дістати числовими методами з використанням ЕОМ.

Графоаналітичний метод синтезу законів руху силових навантажувачів, який наводиться нижче, в значній мірі є загальним для довільного випадку зрівноважування надлишкових моментів.

Надлишкові роботи виконавчого механізму можна цілком точно визначити залежно від кута повороту головного вала або в функції відносного часу $k = \frac{T}{t}$, а характер зміни потенціальної енергії силового навантажувача встановити залежно від положення його штока $s_y = S_y a_{ky}$.

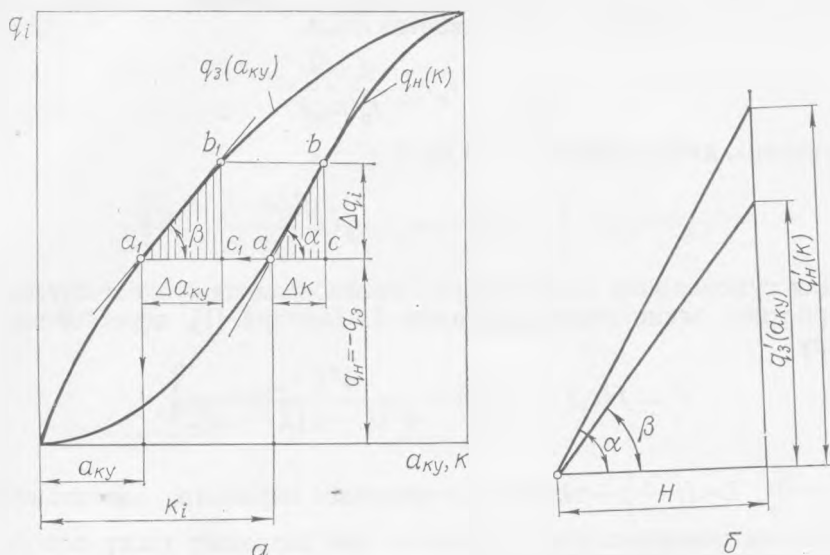


Рис. 1. Графічна інтерпретація розрахунку інваріантів переміщень (a_{ky}) та швидкостей (b_{ky}) силового навантажувача ЗКМ: а — суміщені критеріальні діаграми надлишкових робіт виконавчого механізму q_n і навантажувача q_z ; б — знаходження похідних $q'_n(k)$ і $q'_z(a_{ky})$ методом графічного диференціювання критеріальних діаграм.

Побудуємо суміщені критеріальні діаграми зміни надлишкових робіт $q_n = f(k)$ і потенціальної енергії навантажувача $q_z = f(a_{ky})$, починаючи з позиції, яка відповідає початку віддачі ним енергії (рис. 1, а). З умови (1) випливає, що рівнозначні інваріанти надлишкової q_n і потенціальної енергії навантажувача ЗКМ q_z лежать на одній горизонталі суміщених діаграм. Абсциси точок перетину довільної горизонталі з діаграмами $q_n(k)$ і $q_z(a_{ky})$ визначають взаємозв'язані значення a_{ky} і k . Повторюючи подібні відрахунки через певні інтервали Δk , можна побудувати діаграму зміни інваріантів руху штока, якою визначається закон профілювання зрівноважувального кулачка $s_y = S_y \cdot a_{ky}$.

Якщо розглядати два близькі рівні q_i , що віддалені один від одного на крок Δq_i , то з Δabc і $\Delta a_1 b_1 c_1$ (рис. 1, а) випливає очевидна рівність

$$\Delta k \cdot \operatorname{tg} \alpha = \Delta a_{ky} \cdot \operatorname{tg} \beta,$$

з якої при $\Delta q_i \rightarrow 0$ визначаються інваріанти швидкостей штока ЗКМ

$$b_{ky} = \frac{da_{ky}}{dk} = \frac{\operatorname{tg} \alpha}{\operatorname{tg} \beta} = \frac{q'_n(k)}{q'_z(a_{ky})}, \quad (4)$$

де $q'_n(k)$ і $q'_z(a_{ky})$ — похідні від виразів критеріальних діаграм у взаємозв'язаних точках k і a_{ky} . Метод графічного їх визначення ілюструється на рис. 1, б. В загальному випадку $q'_z(a_{ky})$ можна записати як

$$q'_z(a_{ky}) = \frac{d}{da_{ky}} \left(\frac{A_3}{A_{3m}} \right) = \frac{J_p(a_{ky})}{J_p \cdot \gamma_p},$$

де $j_p(a_{ky}) = \frac{P}{P_0}$, $J_p = \frac{P_m}{P_0}$ — біжуче і максимальне значення безрозмірної пружної характеристики силового навантажувача, $j_p = \frac{A_{ym}}{P_m \cdot S_y}$ — коефіцієнт заповнення для діаграми зусиль навантажувача $P = f(s_y)$. Від поєднання навантаження виконавчого механізму та пружної характеристики навантажувача можна одержати нескінченну кількість виразів для визначення інваріантів швидкостей ЗКМ

$$b_{ky} = J_p \cdot \gamma_p \frac{\dot{q}_n(k)}{j_p(a_{ky})} \quad (5)$$

і прискорень, диференціюючи (5) по k

$$c_{ky} = J_p \cdot \gamma_p \left[\frac{\ddot{q}_n(k)}{j_p(a_{ky})} - J_p \gamma_p \cdot \frac{\dot{q}_n(k) \cdot j'_p(a_{ky})}{j_p^3(a_{ky})} \right] \quad (6)$$

Для гумокордних діафрагмових пневмонавантажувачів пружна характеристика записується рівнянням І. Ліктана [1], перетвореним до вигляду

$$P = f(s_y) = P_m \left[1 - \frac{V L \cdot a_{ky}}{V(L+1)\chi_0^2 - a_{ky}^2} \right] \quad (7)$$

де $\chi_0 = \frac{x_0}{S_y}$, $L = f\left(\frac{r_2}{r_1}\right)$ — вільні конструктивні параметри навантажувача; x_0 — прогин ненавантаженої оболонки при заданому тиску повітря; r_1 , r_2 — відповідно радіуси діафрагми по місцю її затиснення і металевого центра.

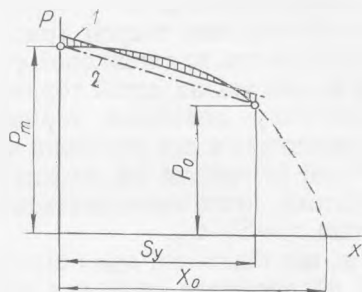


Рис. 2. Нелінійна пружна характеристика діафрагмового пневмонавантажувача та її кускова лінійна апроксимація.

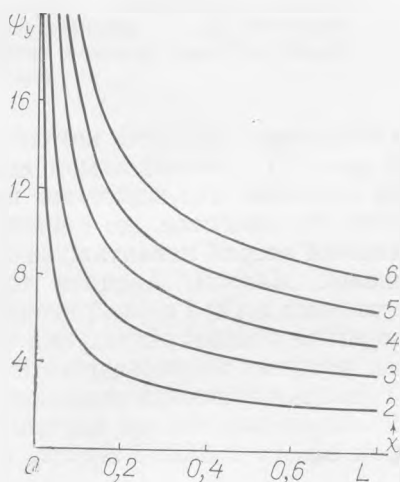


Рис. 3. Номограма для визначення коефіцієнта попереднього прогину діафрагми ψ_y .

Для випадку застосування таких навантажувачів вирази для прогинів діафрагми є надто громіздкими [2]. Метод лінійної апроксимації пружної характеристики діафрагмового пневмонавантажувача (ДПН) суттєво спрощує практичний розрахунок ЗКМ. Для значень $\chi_0 \geq 2$, що лежать в межах точності формули (7) [1, 2], апроксимуюча функція $\psi(s_y)$ може бути вибрана з ряду лінійних залежностей (рис. 2, лінія 1)

$$\psi(s_y) = P_m (e_0 - a a_{ky}). \quad (8)$$

Значення коефіцієнтів ε_0 і α знайдені за методом найменших квадратів, за якого інтеграл

$$\Delta A = \int_0^{s_y} [f(s_y) - \psi(s_y)]^2 ds_y$$

має найменше значення, наведені в таблиці.

Значення коефіцієнтів ε_0 і α , знайдені за методом найменших квадратів

L	$\chi_0 = 2$		$\chi_0 = 3$		$\chi_0 = 4$		$\chi_0 = 5$	
	ε_0	α	ε_0	α	ε_0	α	ε_0	α
0,05	1,0032	0,1229	1,0009	0,0763	1,0007	0,0566	1,0005	0,0487
0,1	1,0041	0,1687	1,0010	0,1044	1,0008	0,0784	1,0006	0,0698
0,15	1,0047	0,2010	1,0012	0,1248	1,0009	0,0916	1,0007	0,0813
0,2	1,0052	0,2262	1,0013	0,1414	1,0009	0,1057	1,0007	0,0926
0,3	1,0059	0,2632	1,0016	0,1666	1,0010	0,1193	1,0008	0,1002
0,4	1,0055	0,2914	1,0019	0,1837	1,0015	0,1343	1,0009	0,1222
0,5	1,0051	0,3131	1,0021	0,1995	1,0012	0,1498	1,0009	0,1311

Якщо виразити інваріанти q_3 зміни потенціальної енергії навантажувача через коефіцієнти апроксимації, то умова зрівноважування набере вигляду

$$q_n = \frac{(2\varepsilon_0 - \alpha a_{ky}) a_{ky}}{2\varepsilon_0 - \alpha}, \quad (9)$$

звідки інваріантна програма переміщень діафрагми порівняно з [2] записується набагато простіше

$$a_{ky} = \frac{\varepsilon_0}{\alpha} - \sqrt{\left(\frac{\varepsilon_0}{\alpha}\right)^2 - \left(\frac{2\varepsilon_0}{\alpha} - 1\right) q_n}. \quad (10)$$

Для спрощених інженерних розрахунків досить обмежитися наближенням функції $\psi(s_y)$ в граничних точках пружної характеристики ДПН $x_1=0$ ($a_{ky}=0$) і $x_2=s_y$ ($a_{ky}=1$) (лінія 2 на рис. 2). Після підстановки значень абсцис граничних точок в залежність (7) маємо

$$P_1 = P_m, \quad P_2 = P_0 = P_m \left(1 - \frac{V\bar{L}}{\sqrt{(L+1)\chi_0^2 - 1}}\right).$$

Вводячи умовний коефіцієнт попереднього прогину діафрагми

$$\phi_y = \frac{P_0}{P_m - P_0} = \sqrt{\frac{(L+1)\chi_0^2 - 1}{L}} - 1; \quad (11)$$

інваріанти переміщень можна визначити за аналогією з пружинним навантажувачем [3]

$$a_{ky} = 1 + \phi_y - \sqrt{(1 + \phi_y)^2 - (1 + 2\phi_y) q_n}. \quad (12)$$

На рис. 3 зображена номограма для визначення ϕ_y за заданими параметрами навантажувача χ_0 і L , коли наближення здійснено в граничних точках.

Розглянуті методи наближеного інженерного синтезу ЗКМ з силовими навантажувачами дозволяють суттєво спростити формули для практичного розрахунку і профілювання зрівноважувального кулачка при одночасному забезпеченні заданої ефективності процесу зрівноважування надлишкових моментів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Герц Е. В., Крейнин Г. В. Теория и расчет силовых пневматических устройств. М., Изд-во АН СССР, 1960.

2. Котолюз Є. І. До питання про розрахунок мембранних пневматичних навантажувачів зрівноважувальних кулачкових механізмів.—«Поліграфія і видавнича справа», 1969, № 5.

3. Полюдов А. Н. Уравновешивающие кулачковые механизмы с пружинными нагрузителями.—В сб.: Тезисы докладов на межвузовской научной конференции по методам расчета механизмов машин-автоматов. Львов, 1968.

E. I. KOTOLUS

THE APPROXIMATE METHODS OF ENGINEERING SYNTHESIS OF BALANCING CAM MECHANISMS WITH FORCE LOADERS

Summary

The graphic and analytic methods of approximate synthesis of balancing cam mechanisms having power loaders are elucidated. The analytical relationships substantially simplifying the practical design of such mechanisms are adduced.
