

УДК 62-85

Новік М.А.<sup>1</sup> к.т.н., доц., Дідовець В.С.<sup>2</sup>

1 – НТУУ «Київський політехнічний інститут», м. Київ, Україна; 2 – ВМУРоЛ «Україна», м. Київ, Україна

## ПОЛІПШЕННЯ СТАТИЧНИХ І ДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПНЕВМОЕЛЕКТРИЧНИХ БАГАТОПОЗИЦІЙНИХ ПРИВОДІВ З ЦИФРОВИМ КЕРУВАННЯМ

Novik M.<sup>1</sup>, Didovets V.<sup>1</sup>

1 - National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine

2 - Open International University of Human Development «Ukraine», Kyiv, Ukraine

### IMPROVE THE STATIC AND DYNAMIC CHARACTERISTICS OF PNEUMOELECTRIC MULTIPOSITIONAL DIGITAL CONTROL DRIVES

*Стаття присвячена актуальній технічній проблемі - розробці та дослідженню пневмоелектричних і пневмогідролічних багатопозиційних приводів з цифровим керуванням.*

*Розглянута конструкція пневмоелектричного цифрового привода, в структуру якого входять пневматичний цифровий двигун, електричний кроковий двигун, пристрій регулювання швидкості руху вихідного штока, гальмування розрядних поршнів і компенсації зусилля на гвинтову пару. Запропонована математична модель для розрахунку основних характеристик пневмоелектричного цифрового привода з гідравлічним способом регулювання швидкості руху вихідного штока.*

*Ключові слова:* електричний кроковий двигун, промислові роботи, дискретність, розрядність, цифровий двигун, ефективна площа.

#### Вступ

При створенні цифрових пневматичних приводів (у яких тиск живлення не перевищує 1 МПа) з малою подільною здатністю (малою дискретністю) і значною величиною переміщення вихідного штока необхідно враховувати те, що із збільшенням числа розрядів (поршнів) зменшується статичне зусилля і суттєво збільшується осьовий габаритний розмір пневматичного циліндра. Зменшення статичного зусилля обумовлюється втратами на тертя, яке пропорційне числу розрядних поршнів і кількості ущільнень на поршні [1]. Для компенсації втрат на тертя необхідно (при малій дискретності і значному переміщенні вихідного штока) збільшувати діаметр поршнів, що обумовлює як збільшення габаритних розмірів і металоемність, так і витрати стиснутого повітря при роботі привода. Проблемі створення і дослідження багатопозиційних пневматичних і комбінованих цифрових приводів з малою дискретністю і значним переміщенням вихідного штока присвячені роботи [2, 3, 4]. У цих роботах в основному розглядаються конструктивні варіанти різноманітних типів цифрових приводів і дається порівняльний аналіз їх статичних характеристик і габаритних розмірів.

У запропонованій роботі розглянута конструкція пневмоелектричного цифрового привода, структура якого містить пневматичний цифровий двигун, електричний кроковий двигун малої потужності, пристрій гальмування розрядних поршнів і регулювання швидкості руху вихідного штока.

#### Мета роботи

Метою даної статті є створення і дослідження пневмоелектричного багатопозиційного привода з цифровим керуванням. Поліпшення його статичних та динамічних характеристик за рахунок включення в його структуру пристроїв гальмування розрядних поршнів, регулювання швидкості руху вихідного штока та пристрою компенсації зусилля на гвинтову пару. Включення в структуру привода гальмівних поршнів дає можливість зменшити силу співударяння розрядних поршнів, що поліпшує динаміку і підвищує довговічність привода. Застосування гідравлічних пристроїв регулювання швидкості дає можливість плавно регулювати швидкість руху вихідного штока при зміні силового й масового навантаження. Застосування пристроїв компенсації навантаження на гвинтову пару дає можливість значно зменшити потужність електричного крокового двигуна.

#### Результати проведених досліджень

На рис.1 показана принципова схема пневмоелектричного багатопозиційного привода з цифровим керуванням [5].

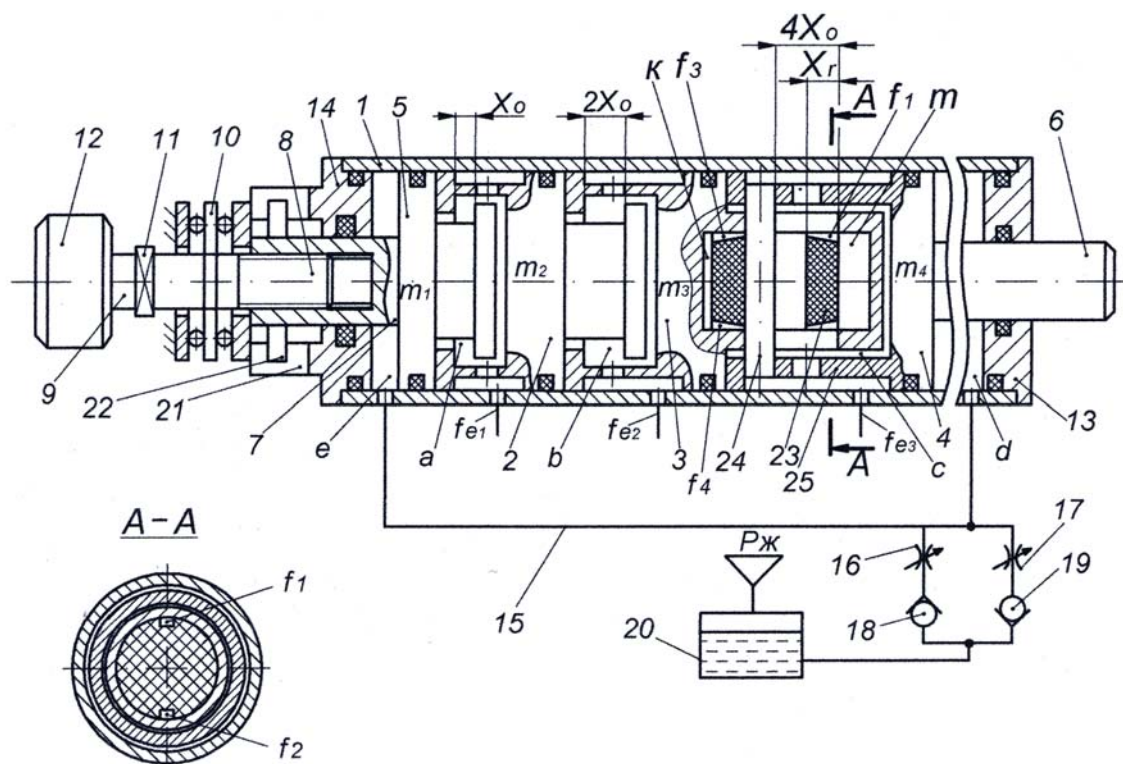


Рис. 1. Цифровий привод поворотно-поступального руху

Пневмоелектричний багатопозиційний привод складається з пневматичного цифрового двигуна, який виконаний у вигляді пневматичного циліндра 1, в якому послідовно розміщені з обмежувачами відносного переміщення розрядні поршні 2, 3, 4 і додатковий поршень 5. Поршень старшого розряду 4 з'єднаний з вихідним штоком 6, а шток 7 поршня 5 через гвинт 8, підшипник 10, муфту 11 кінематично сполучений з валом 9 електричного крокового двигуна 12. Циліндр 1, розрядні поршні 2, 3, 4, штоки 6 і 7, передня кришка 13 і задня кришка 14 утворюють розрядні порожнини  $a$ ,  $b$ ,  $c$ , порожнину зворотного руху  $d$  і компенсаційну порожнину  $e$ . Порожнини  $d$  і  $e$  сполучені каналом 15 через дроселі 16, 17 та зворотні клапани 18, 19 з гідравлічною ємністю (акумулятором) 20, до якої постійно підводиться тиск живлення  $P_{ж}$ . В задній кришці 14 виконані діаметрально розміщені пази 21, в яких рухомо розміщені шпонки 22, закріплені на штоку 7. В розточці поршня 3 розміщений гальмуючий поршень 23, який кінематично через палець 24 сполучений з хвостовиком 25 поршня 4. Гальмуючий поршень 23 утворює гальмівні порожнини  $k$  і  $m$ . Порожнина  $m$  сполучена з порожниною  $c$  через дросельючі щілини  $f_1$  і  $f_2$  (див. переріз  $A-A$ ), а порожнина  $k$  - через щілини  $f_3$  і  $f_4$ .

Величини переміщень розрядних поршнів 2, 3 і 4, відповідно дорівнюють  $X_0$ ,  $2X_0$  і  $4X_0$ .

У вихідному положенні кроковий електричний двигун 12 знеструмлений, розрядні порожнини  $a$ ,  $b$  і  $c$  з'єднані з атмосферою, а до акумулятора 20 підводиться тиск живлення  $P_{ж}$ . Під дією тиску в акумуляторі 20 всі поршні займають ліве (за кресленням) вихідне положення. При подачі тиску живлення, наприклад, в порожнину  $a$  (що відповідає кодовій комбінації керуючих сигналів 001) поршень 2 переміщується вправо на величину  $X_0$ , внаслідок чого і вихідний шток 6 також переміщується вправо на величину  $X_0$ . Комбінації керуючих сигналів 010 (тиск живлення підводиться тільки до порожнини  $b$ ) відповідає переміщення вихідного штока 6 на величину  $2X_0$ . Комбінації керуючих сигналів 011 відповідає переміщення вихідного штока 6 на величину  $3X_0$ .

При подачі тиску живлення в порожнину  $c$  старшого розряду (що відповідає кодовій комбінації 100) поршень 4 переміщується вправо на величину  $4X_0$ . В кінці переміщення палець 24 взаємодіє з гальмуючим поршнем 23, який входить в порожнину  $m$ . При цьому повітря з порожнини  $m$  витісняється в порожнину  $c$  через дросельні канали  $f_1$  і  $f_2$ , прохідний переріз яких по мірі переміщення поршня 23 зменшується від максимального до мінімального значення. Зменшення прохідного перерізу дроселів обумовлює збільшення тиску в порожнині  $m$  і зменшення швидкості руху поршня 4 з вихідним штоком 6. Аналогічно відбувається гальмування поршня 4 і при русі вліво. Таким чином оснащення розрядних поршнів гальмуючими поршнями дає можливість запобігти жорстким ударам між ними. Шляхова швидкість руху вихідного штока 6 як вправо, так і вліво регулюється, відповідно дроселем 16 і дроселем 17.

Кількість позицій вихідного штока 6 при опрацюванні кодових комбінацій керуючих сигналів пневматичним цифровим двигуном визначається залежністю

$$N_{ц} = 2^{n_{ц}}$$

де  $n_{\text{ц}}$  - число розрядів цифрового двигуна.

Максимальна величина переміщення вихідного штока цифрового двигуна

$$X_{\text{ц,max}} = X_0 \cdot (N_{\text{ц}} - 1) = X_0 \cdot (2^{n_{\text{ц}}} - 1),$$

де  $X_0$  - дискретність пневматичного цифрового двигуна.

При опрацюванні  $n_{\text{к}}$  імпульсів кроковим електричним двигуном 12, вихідний шток переміщується на величину

$$X_{\text{к}} = n_{\text{к}} \frac{\Delta\varphi}{360^\circ} \cdot t_{\text{Г}},$$

де  $\Delta\varphi$  - дискретність електричного крокового двигуна;  $t_{\text{Г}}$  - крок гвинта 9.

Дискретність приводу

$$\Delta X_{\text{п}} = \frac{\Delta\varphi}{360^\circ} \cdot t_{\text{Г}}.$$

Максимальна величина переміщення вихідного штока 6 пневмоелектричного багатопозиційного привода при одночасному опрацюванні як імпульсів електричним кроковим двигуном, так і комбінацій керуючих сигналів цифровим двигуном

$$X_{\text{п,max}} = X_{\text{ц,max}} + X_{\text{к,max}} = X_0(2^{n_{\text{ц}}} - 1) + n_{\text{к,max}} \frac{\Delta\varphi}{360^\circ} \cdot t_{\text{Г}},$$

де  $n_{\text{к,max}} = \frac{\Delta\varphi}{360^\circ} \cdot l \cdot t_{\text{Г}}$ ;  $l$  - хід гвинта 9.

При моделюванні (розрахунку) динамічних характеристик багатопозиційних приводів на комп'ютерній техніці і для складання програм обчислення необхідно знати кількість диференційних рівнянь, що описують динаміку привода при перемиканні кодових комбінацій керуючих сигналів. У загальному випадку для визначення параметрів пневмоелектричного багатопозиційного привода необхідно скласти рівняння руху розрядних поршнів, зміни тиску і температур в робочих порожнинах, рівняння руху додаткового поршня, рівняння зміни тиску і температур у гальмуючих порожнинах і рівняння витрати рідини. Загальна кількість рівнянь, що описують динаміку привода (за виключенням рівнянь тиску і температур в гальмуючих порожнинах та рівняння витрати рідини) визначається залежністю [6, 7]

$$M_{\Sigma} = M_p + M_t + M_{\text{п}} = (d + 1)(0,5d + 2),$$

де  $d$  - кодова відстань між двома кодовими комбінаціями;  $M_p = d + 1$  - кількість рівнянь зміни тиску в робочих порожнинах;  $M_t = d + 1$  - кількість рівнянь зміни температур;  $M_{\text{п}} = 0,5d(d + 1)$  - кількість рівнянь, що описують рух розрядних поршнів.

Максимальну кількість рівнянь необхідно скласти в тому випадку, коли перемикаються всі розрядні порожнини і вмикається електричний кроковий двигун, тобто коли  $d = n_{\text{ц}} + 1$ .

Розглянемо динаміку електропневматичного привода при перемиканні комбінації керуючих сигналів з 000 на 111 і вмиканні електричного крокового двигуна. У цьому випадку кодова відстань

$$d = n_{\text{ц}} + 1 = 3 + 1 = 4.$$

Для визначення параметрів підготовчого періоду, періоду руху та заключного періоду необхідно скласти:

а) кількість рівнянь, що описують зміну тиску в робочих порожнинах

$$M_p = d + 1 = n_{\text{ц}} + 2 = 3 + 2 = 5;$$

б) кількість рівнянь, що описують зміну температури в робочих порожнинах

$$M_t = d + 1 = 4 + 1 = 5;$$

в) кількість рівнянь, що описують рух розрядних і додаткового поршня

$$M_{\text{п}} = 0,5d(d + 1) = 0,5 \cdot 4(4 + 1) = 10.$$

Таким чином при перемиканні комбінації керуючих сигналів з 000 на 111 і вмиканні електричного крокового двигуна необхідно скласти п'ять рівнянь, що описують зміну тиску в розрядних і штоковій порожнинах, п'ять рівнянь зміни температур в робочих порожнинах і 10 рівнянь, що описують рух поршнів. В процесі опрацювання заданої кодової комбінації керуючих сигналів 111 розрядні поршні і додатковий поршень можуть рухатись як автономно, так і в зчепленні по два, по три і по чотири. Для спрощення системи рівнянь, що описують динаміку перехідного процесу вважаємо, що в процесі руху тиск у порожнинах  $d$  і  $e$  відрізняється на величину шляхових втрат напору в трубопроводі 15, тиск в акумуляторі  $P_{\text{ж}} = \text{const}$ , сили тертя розрядних поршнів приймаємо однаковими, початкові об'єми розрядних порожнин визначаються за геометричною прогресією, тобто  $V_n = V_0 \cdot 2^{i-1}$ , де  $V_0$  - початковий (мертвий) об'єм порожнини поршня молодшого розряду;  $i$  - порядковий номер розрядного поршня. Ефективні площі підвідних каналів до розрядних порожнин однакові, тобто  $f_{e1} = f_{e2} = f_{e3} = f_e$ . Втрати і перетікання повітря з однієї порожнини в іншу відсутні. Термодинамічні процеси приймаємо як квазістаціонарні, що протікають при сталих режимах течії. Внаслідок високої швидкості вважаємо процес адіабатним, тобто  $k = 1,4$ . Час вмикання пневматичних розподільників вважаємо миттєвим (розподільники на рис. 1 не показані). Температури в зовнішньому середовищі і робочих порожнинах приймаємо рівними.

З урахуванням прийнятих припущень система диференційних рівнянь, що описує динаміку привода при опрацюванні кодової комбінації керуючих сигналів 111 і вмиканні електричного крокового двигуна має вигляд:

а) рівняння, що описують автономний рух поршнів

$$m_5 \cdot \frac{d^2 x_5}{dt^2} = P_e \cdot F_e + \frac{2M_k}{d_r \cdot tg(\beta + \rho)} - P_a \cdot F - R_5; \quad (1)$$

$$m_2 \cdot \frac{d^2 x_2}{dt^2} = (P_a - P_b)F - R_2; \quad (2)$$

$$m_3 \cdot \frac{d^2 x_3}{dt^2} = (P_b - P_c)F - R_3; \quad (3)$$

$$m_4 \cdot \frac{d^2 x_4}{dt^2} = P_c \cdot F - P_d \cdot F_d - R_4 - R_6 - R_{гп} - P_r \cdot F_r; \quad (4)$$

де  $m_5, m_2, m_3$  і  $m_4$  - відповідно маси поршнів 5, 2, 3 і 4;  $P_e, P_a, P_b$  і  $P_c$  відповідно тиск в розрядних порожнинах  $e, a, b$  і  $c$ ;  $P_d$  - тиск у порожнині  $d$ ;  $F_e$  - ефективна площа поршня 5 зі сторони порожнини  $e$ ;  $F$  - ефективна площа поршнів зі сторони порожнин  $a, b$  і  $c$ ;  $F_d$  - ефективна площа поршня 4 зі сторони порожнини  $d$ ;  $R_2, R_3, R_4, R_5$  і  $R_6$  - відповідно сили тертя поршнів 2, 3, 4, 5 і штока 6;  $x_2, x_3, x_4$  і  $x_5$  відповідно переміщення поршнів 2, 3, 4 і 5;  $M_k$  - крутний момент електричного крокового двигуна;  $d_r$  - середній діаметр різьби гвинта 8;  $\beta$  - кут підйому гвинтової лінії;  $\rho$  - кут тертя;  $R_{гп}$  - сила тертя гальмуючого поршня 23;  $P_r$  - тиск у гальмівній порожнині  $m$ ;  $F_r$  - ефективна площа гальмівного поршня 23.

б) рівняння, що описують рух поршнів, як одне ціле по два, по три і по чотири:

$$(m_5 + m_2) \cdot \frac{d^2 x_{52}}{dt^2} = P_e \cdot F_e - P_b \cdot F + \frac{2M_k}{d_r \cdot tg(\beta + \rho)} - R_5 - R_2; \quad (5)$$

$$(m_2 + m_3) \cdot \frac{d^2 x_{23}}{dt^2} = (P_a - P_b)F - R_2 - R_3; \quad (6)$$

$$(m_3 + m_4) \cdot \frac{d^2 x_{34}}{dt^2} = (P_b - P_c)F - R_3 - R_4 - R_6 - R_{гп}; \quad (7)$$

$$(m_5 + m_2 + m_3) \cdot \frac{d^2 x_{523}}{dt^2} = P_e \cdot F_e - P_c \cdot F - R_2 - R_3 - R_5 + \frac{2M_k}{d_r \cdot tg(\beta + \rho)}; \quad (8)$$

$$(m_2 + m_3 + m_4) \cdot \frac{d^2 x_{234}}{dt^2} = P_a \cdot F - P_d \cdot F_d - R_2 - R_3 - R_4 - R_6; \quad (9)$$

$$(m_5 + m_2 + m_3 + m_4) \cdot \frac{d^2 x_{5234}}{dt^2} = P_e \cdot F_e - P_d \cdot F_d + \frac{2M_k}{d_r \cdot tg(\beta + \rho)} - R_5 - R_2 - R_3 - R_4 - R_6. \quad (10)$$

Зміна тиску у порожнинах  $a, b, c, d$  і  $e$  описуються наступними рівняннями:

$$K \cdot k \sqrt{R \cdot T_m} \cdot f_{e1} \cdot P_m \cdot \varphi(\sigma_a) \cdot dt = F(X_{0,2} + X_{2,5})dP_a + k \cdot F \cdot P_a \cdot dX_{2,5}; \quad (11)$$

$$K \cdot k \sqrt{R \cdot T_m} \cdot f_{e2} \cdot P_m \cdot \varphi(\sigma_b) \cdot dt = F(X_{0,3} + X_{3,2})dP_b + k \cdot F \cdot P_b \cdot dX_{3,2}; \quad (12)$$

$$K \cdot k \sqrt{R \cdot T_m} \cdot f_{e3} \cdot P_m \cdot \varphi(\sigma_c) \cdot dt = F(X_{0,4} + X_{4,3})dP_c + k \cdot F \cdot P_c \cdot dX_{4,3}; \quad (13)$$

$$P_d = \frac{(\vartheta_4 \cdot F_d - \vartheta_5 \cdot F_e)^2 \cdot \rho}{2 \cdot a^2 \cdot f_{др,16}^2} + P_{ж}; \quad (14)$$

$$P_e = P_d - \lambda \frac{l}{d_T} \cdot \frac{\vartheta_{15}^2}{2g}, \quad (15)$$

де  $\lambda$  - коефіцієнт опору;  $l$  - довжина трубопроводу 15;  $d_T$  - внутрішній діаметр трубопроводу 15;  $\vartheta_{15}$  - середня швидкість руху рідини у трубопроводі 15;  $g$  - прискорення земного тяжіння;  $\vartheta_4$  - швидкість руху поршня 4;  $\vartheta_5$  - швидкість руху поршня 5;  $a$  - коефіцієнт втрат;  $\rho$  - густина рідини;  $f_{др,16}$  - ефективна площа дроселя 16;  $k$  - показник адиабати;  $K = \sqrt{\frac{2gk}{k-1}}$  - коефіцієнт;  $R$  - газова стала повітря;  $T_m$  - абсолютна температура повітря в магістралі;  $\varphi(\sigma_a), \varphi(\sigma_b)$  і  $\varphi(\sigma_c)$  - функції витрат для порожнин наповнення, які визначаються по залежності  $\varphi(\sigma_i) = \sqrt{\sigma_i^{2/k} - \sigma_i^{k+1/k}}$ ;  $X_{0,2}, X_{0,3}, X_{0,4}$  - координати, які характеризують початковий об'єм порожнин  $a, b$  і  $c$ ;  $X_{2,5}$  - переміщення поршня 2 відносно поршня 5;  $X_{3,2}$  - переміщення поршня 3 відносно поршня 2;  $X_{4,3}$  - переміщення поршня 4 відносно поршня 3;  $dt$  - час;  $f_{e1}, f_{e2}$  і  $f_{e3}$  - відповідно ефективні площі магістралей підводу тиску живлення до порожнин  $a, b$  і  $c$ .

Рівняння зміни температур у порожнинах  $a, b$  і  $c$ :

$$\frac{dT_a}{T_a} = \frac{dX_2}{X_{0,2} + X_{2,5}} + \frac{dP_a}{P_a} - \frac{K \sqrt{R \cdot T_m} \cdot f_{e1}}{F_e(X_{0,2} + X_{2,5}) \cdot P_a} \cdot \frac{T_a}{T_m} \varphi(\sigma_a) \cdot dt; \quad (16)$$

$$\frac{dT_b}{T_b} = \frac{dX_2}{X_{0,3} + X_{3,2}} + \frac{dP_b}{P_b} - \frac{K \sqrt{R \cdot T_m} \cdot f_{e2}}{F_e(X_{0,3} + X_{3,2}) \cdot P_a} \cdot \frac{T_b}{T_m} \varphi(\sigma_b) \cdot dt; \quad (17)$$

$$\frac{dT_c}{T_c} = \frac{dX_2}{X_{0,4} + X_{4,2}} + \frac{dP_c}{P_c} - \frac{K \sqrt{R \cdot T_m} \cdot f_{e3}}{F_e(X_{0,4} + X_{4,2}) \cdot P_a} \cdot \frac{T_c}{T_m} \varphi(\sigma_c) \cdot dt; \quad (18)$$

В загальному вигляді система рівнянь (1) - (18) не може бути вирішена. Така система вирішується методами числового інтегрування.

## Висновки

Запропонована система диференціальних і лінійних рівнянь дає можливість визначити динамічні характеристики комбінованого привода з цифровим керуванням при опрацюванні будь-якої комбінації керуючих сигналів, що подаються як на цифровий двигун, так і на електричний кроковий двигун. Включення в структуру привода гідравлічних дроселів дає можливість в широкому діапазоні надійно регулювати швидкість руху вихідного штока 4, що особливо важливо коли в процесі роботи може змінюватися навантаження і приєднана

маса до вихідного штока. Дослідження показали, що найбільшу швидкість привод буде мати коли одночасно подається тиск живлення у всі розрядні камери цифрового двигуна і керуючі імпульси на електричний кроковий двигун при закритих дроселях 16, 17 і коли діаметр штока б дорівнює діаметру штока 7. При цьому гальмування вихідного штока б в кінці переміщення здійснюється гальмівним поршнем 23. Регулювання швидкості вихідного штока від мінімальної до максимальної величини як при прямому, так і при зворотному русі забезпечують дроселі 16 і 17.

Таким чином, поєднання швидкодії цифрового двигуна, малої дискретності електричного крокового двигуна і гідравлічного способу регулювання швидкості руху вихідного штока дає можливість створювати надійні з широкими функціональними можливостями приводи, які з успіхом можуть використовуватися як приводи промислових роботів, метало- та деревообробних верстатів, при зварювальних, монтажних та складальних роботах, в літальних апаратах, для перекриття заслінок нафтових та газових трубопроводів і в інших пристроях автоматичних систем з дискретним позиціонуванням вихідної ланки.

**Анотація.** Стаття посвячена актуальній технічній проблемі – розробці та дослідженню пневмоелектричних багатопозиційних приводів з цифровим управлінням.

Розглянуто конструкцію пневмоелектричного цифрового привода, в структуру якого входять пневматичний цифровий двигун, електричний шаговий двигун, пристрої регулювання швидкості руху вихідного штока, гальмування розрядних поршней і компенсації сили на винтову пару. Предложена математическая модель для расчёта основных характеристик пневмоэлектрического цифрового привода с гидравлическим способом регулирования скорости движения выходного штока.

**Ключевые слова:** электрический шаговый двигатель, промышленные роботы, дискретность, разрядность, цифровой двигатель, эффективная площадь.

**Abstract. Purpose.** The goal of this work is to research and development the pneumoelectric multipositional digital control drives.

**Design/methodology/approach.** At development of digital pneumatic actuators with small increment and enormity of moving of output rod it is necessary to take into account that with the increase of number of pistons static thrust is decreases and the axial overall size of pneumatic cylinder is increases. Decrease of static thrust is stipulated by losses on a friction, what proportional to the number of pistons and amount of seal on a piston. For equalizing of losses on a friction it is necessary to increase the diameter of pistons, that stipulates both the increase of overall sizes and metal consumption and air consumption during work of actuator. Proposed is an original pneumoelectric digital drive, that includes for itself a pneumatic digital engine, low-powered stepper motor, devices of braking of pistons and rate control of movement of output rod. A mathematical calculation model for the calculation of basic characteristics of pneumoelectric digital drive with the hydraulic method of rate control of movement of output rod.

**Findings.** Research has shown that the use of the proposed multiposition pneumoelectric digital drive allows to improve him static and dynamic characteristics. It extends functional possibilities of such actuators considerably.

**Originality/value.** The results of the research may be useful for specialists who engage in the design (to the calculation) of dynamic descriptions of multiposition actuators with digital control.

**Keywords:** electric stepper motor, industrial robots, increment, capacity, digital actuator, effective area.

#### Бібліографічний список використаної літератури

1. Новік М. А. Статичні характеристики електропневматичного багатопозиційного приводу / М. А. Новік // - Вісн. Нац. Техн. ун-ту України «Київ. Політехн.ін-т»: серія «Машинобудування». – 2010. - № 58. – С. 223-228.
2. Новік М. А. Комбінований цифровий привод з об'ємними дозаторами / М. А. Новік // - Промислова гідравліка і пневматика. – 2007. - № 2(16). – С. 79-81.
3. Пат. 90383 України, МПК F15B7/00. Багатопозиційний привод / Новік М. А., Кучерук Ю. М. Дорогань В. В. / Заявл. 04. 08. 2008, Опубл. 26. 04. 2010. Бюл.№ 8. – 3с.
4. Пат. 44656 України, МПК F15B11/00. Комбінований цифровий привод / Новік М. А., Кучерук Ю. М. / Заявл. 30. 04. 2009, Опубл. 12. 10. 2009. Бюл.№ 19. – 3с.
5. Пат. 63780 України, МПК F15B7/00. Багатопозиційний привід / Новік М. А., Дідовець В. Є. / Заявл. 17. 02. 2011, Опубл. 25. 10. 2011. Бюл.№ 20. – 3с.
6. Новік М. А. Пневмогідравлічний цифровий привод з направляючими та гальмувальними пристроями / М. А. Новік // - Вісн. Нац. Техн. ун-ту «Харків. політехн.ін-т»: зб. наук. праць. – Харків: НТУ «ХПІ», 2001. – Випуск 129. 4. 2. – С. 241-248.
7. Березюк Я. Т., Андрущенко А. Г., Мошицкий С. С. и др. Кодирование информации (двоичные коды). - Харьков. : Вища школа, 1978. – 252с.

#### References

1. Novik M.A. Statychny harakterystyky elektropnevmatychnogo bagatopzycyjnogo pryvodu [Static characteristics of pneumoelectric multiposition drives]. Journal of Mechanical Engineering of the National Technical University of Ukraine “Kyiv Polytechnic Institute”, 2010, no 58, pp. 223-228.
2. Novik M.A. Kombinovanyj cyfrovyj pryvod z objemnymy dozatoramy [Combined digital actuator with volume dosers]. Promyslova gidravlika i pnevmatyka, 2007, no 2(16), pp. 79-81.
3. Novik M.A., Kucheruk U.M., Dorogan V.V. Bagatopzitsyyniy pryvod [Multiposition actuator]. Patent Ukraine no 90383. 26.04.2010
4. Novik M.A., Kucheruk U.M. Kombinovanyj cyfrovyj pryvod [Combined digital actuator]. Patent Ukraine no 44656. 12.10.2009
5. Novik M.A., Didovets V.E. Bagatopzitsyyniy pryvod [Multiposition actuator]. Patent Ukraine no 63780. 25.10.2011
6. Novik M.A. Pnevmoгідравлічний cyfrovyj pryvod z napravlyajuchymy ta gal'muval'nymy prystrójamy [Pneumoghydraulic digital actuator with directional and brake assembly]. Journal of Mechanical Engineering of the National Technical University “Kharkiv Polytechnic Institute”, 2001, no 129. 4. 2, pp. 241-248.
7. Berezyuk J. T., Andruschenko A. G., Moschickiy S. S. i dr. Kodirovaniye informacii' (dvojichnyje kody) [Information encoding (binary codes)]. Kharkov: Vyscha shkola, 1978, 252p.

Подана до редакції 05.09.2013