

М.А. Новік, канд. техн. наук,

В.Є. Дідовець

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут», Київ, Україна

ПНЕВМОЕЛЕКТРИЧНІ БАГАТОПОЗИЦІЙНІ ПРИВОДИ З ОБ'ЄМНИМИ ГІДРАВЛІЧНИМИ ДОЗАТОРАМИ

Рассмотрены конструкции типовых пневмоэлектрических приводов с объёмными гидравлическими дозаторами. Проанализирована возможность модульной компоновки многопозиционных приводов с цифровым управлением. Приведены аналитические зависимости для расчёта основных параметров пневмоэлектрических приводов с объёмными гидравлическими дозаторами. Рассмотрен способ компенсации утечек рабочей жидкости из рабочих полостей цифрового привода.

The design of a typical pneumoelctric drives with volume hydraulic dosers are considered. In this article the possibility of modular assembly of multiposition drives with digital control are analysed. Analytical dependences for calculation of basic parameters of pneumoelctric drives with volume hydraulic dozers are specified. Ways of compensation of leakages of working liquid from working cavities of the drive are considered.

Вступ

Багатопозиційні пневматичні, гідравлічні, електричні та комбіновані приводи з цифровим керуванням знаходять широке застосування в якості виконавчих органів метало- і деревообробних верстатів, промислових роботів і маніпуляторів, літальних апаратів, в зварювальному виробництві, при виконанні складальних робіт, у перекриваючих пристроях нафтових і газових трубопроводів і т. д. Вони мають суттєві переваги перед дросельними приводами, але водночас і недоліки. Одним з таких недоліків є значний осьовий габаритний розмір, що звужує область їх застосування. Створення і дослідження багатопозиційних приводів з цифровим керуванням, які мають модульну побудову і незначні габаритні розміри є актуальною проблемою, вирішення якої дасть можливість значно розширити область їх застосування.

Аналіз попередніх досліджень і публікацій

Проблемі створення і дослідження різних типів цифрових приводів (ЦП) присвячено чимало праць, в яких розглядається як статика, так і динаміка опрацювання керуючих сигналів приводом [1, 2, 3, 4]. у роботі [5] виконано порівняльний аналіз основних статичних характеристик трьох типів цифрових приводів: цифрового привода з послідовно розміщеними поршнями в циліндрі, комбінованого привода з послідовно розміщеними поршнями в циліндрі і гідравлічними дозаторами та комбінованого електропневматичного цифрового привода з електричним кроковим двигуном.

Дослідженню комбінованих цифрових приводів, до структури яких входять цифровий об'ємний гідравлічний дозатор, виконавчий циліндр двобіч-

ної дії і електричний кроковий двигун у літературі приділено недостатньо уваги. У даній роботі розглянуті перспективні, недостатньо досліджені комбіновані електропневматичні цифрові приводи з об'ємними гідравлічними дозаторами.

Постановка завдання

Метою статті є аналіз конструкцій типових пневмоелектричних приводів з об'ємними гідравлічними дозаторами, який дає можливість показати, що поєднання переваг поворотного електричного крокового двигуна і швидкодії пневматичного циліндра, робоча порожнина якого сполучена трубопроводами живлення з гідравлічним дозатором, дозволяє створювати малогабаритні, швидкодіючі, з малою дискретністю (до долей мікрметра) і значним переміщенням вихідного штока (до 1000 мм і більше) багатопозиційні приводи з цифровим керуванням.

Результати проведених досліджень

На рисунку 1 показано схему пневмо-електричного цифрового привода з об'ємними гідравлічними дозаторами.

Привод складається з електричного крокового двигуна 1, вихідний вал 2 якого через муфту 3, упорний підшипник 4 і гвинт 5 кінематично з'єднано зі штоком 6 поршня 7. Шток спряжено рухомо з кришкою 8, закріпленою на торці пневматичного циліндра 9. На кришці 8 виконано поздовжні пази 10 і 11, в яких рухомо розміщено шпонки 12, 13, закріплені на штоку 6. Кришка 8 і поршень 7 утворюють порожнину g . В циліндрі 9 розміщено поршень 14 зі штоком 15, які утворюють порожнини e і f . До порожнин g і f постійно підводиться тиск живлення, а порожнина e через дроселі 16, 17 і зворотні клапа-

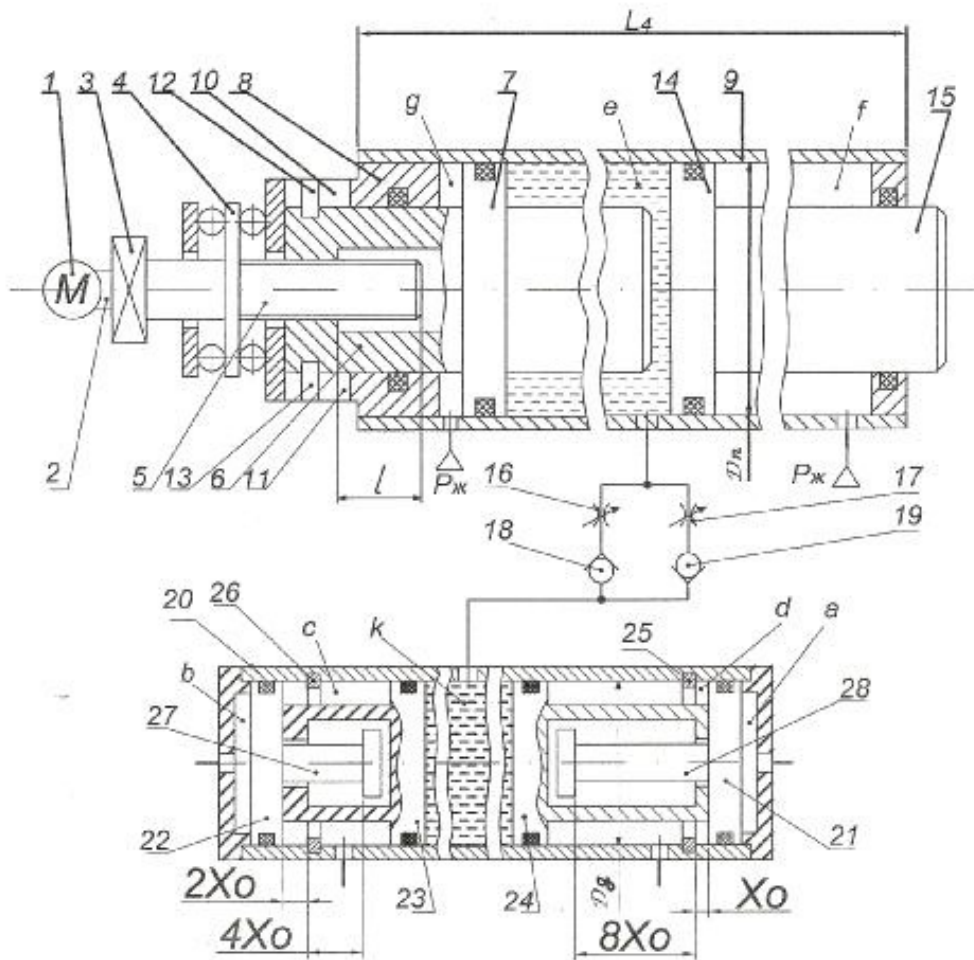


Рисунок 1 — Пневмоелектричний цифровий привод з гідравлічним дозатором

ни 18, 19 сполучена з порожниною *k* гідравлічного об'ємного дозатора 20. У його циліндрі розміщено розрядні поршні 21, 22, 23 і 24 з обмежувачами переміщень 25, 26, 27, 28 і величинами переміщення, які, відповідно, дорівнюють: X_0 ; $2X_0$; $4X_0$ і $8X_0$. Розрядні поршні 21, 22, 23 і 24 утворюють розрядні порожнини, відповідно *a*, *b*, *c*, і *d*.

Принцип дії пневмоелектричного цифрового привода з гідравлічним об'ємним дозатором полягає у наступному. У вихідному положенні електричний кроковий двигун 1 знеструмлено, тиск живлення водночас підведено до порожнин *g* і *f*. Під дією тиску в порожнині *f* поршень 14 з вихідним штоком 15 і розрядні поршні 21, 22, 23 і 24 займають вихідні положення.

При подачі тиску живлення, наприклад, до порожнини *a* дозатора 20, що відповідає кодовій комбінації керуючих сигналів 0001, поршень 21 переміщується ліворуч (рисунок 1) на величину X_0 . При цьому об'єм

рідини $V_0 = \frac{\pi D_g^2}{4} \cdot X_0$ із порожнини *k* через зворотний клапан 19, регульований дросель 17 надходить до порожнини *e* циліндра 9.

Внаслідок цього поршень 14 з вихідним штоком 15 переміщуються праворуч на величину

$$S_0 = \frac{V_0}{F_{\Pi}} = \frac{D_g^2}{D_n^2} \cdot X_0,$$

де F_{Π} — ефективна площа поршня 14 з боку порожнини *e*, D_g — діаметр поршня 24 дозатора 20, D_n — діаметр поршня 14 циліндра 9.

Комбінації керуючих сигналів 0010 (тиск живлення подається тільки до порожнини *b*) відповідає переміщенню вихідного штока 15 на величину

$$2S_0 = \frac{D_g^2}{D_n^2} \cdot 2X_0.$$

Комбінації керуючих сигналів 0011 (тиск живлення одночасно подається до порожнини *a* і *b*) відповідає переміщенню вихідного штока 15 на величину

$$3S_0 = \frac{D_g^2}{D_n^2} \cdot 3X_0.$$

Комбінації керуючих сигналів 1111 (тиск живлення одночасно подається до розрядних порожнин *a*, *b*,

c і d) відповідає переміщенню вихідного штока 15 на величину

$$15S_0 = \frac{D_g^2}{D_n^2} \cdot 15X_0 \quad \text{і т.д.}$$

При опрацюванні кодової комбінації керуючих сигналів 0000 (розрядні порожнини a, b, c і d дозатора 20 з'єднуються з атмосферою) під впливом постійно діючого тиску в порожнині f шток 15 і поршні 21, 22, 23 і 24 переміщуються у вихідні положення. При цьому швидкість руху поршня 14 зі штоком 15 регулюється дроселем 16. При переміщенні вихідного штока 15 праворуч швидкість руху регулюється дроселем 17. Таким чином, при опрацюванні кодових комбінацій керуючих сигналів гідравлічним дозатором забезпечується регулювання швидкості руху штока 15 як при прямому ході, так і у зворотному напрямку.

Максимальне число позицій вихідного штока 15 при опрацюванні комбінацій кодових сигналів дозатором 20 визначається залежністю

$$N_1 = 2^{n_g},$$

де n_g — число розрядних поршнів (порожнин) гідравлічного дозатора.

Максимальна величина переміщення вихідного штока 15 при опрацюванні кодової комбінації гідравлічним дозатором, нехтуючи втратами рідини у рухомих з'єднаннях привода, становить

$$S_{1,\max} = S_0(2^{n_g} - 1) = \frac{D_g^2}{D_n^2} \cdot X_0 \cdot (2^{n_g} - 1).$$

При подачі керуючих імпульсів на електричний кроковий двигун 1 вихідний шток 15 переміщується на величину

$$S_2 = \pm \frac{\Delta\varphi}{360^\circ} \cdot m \cdot t,$$

де $\Delta\varphi$ — дискретність електричного крокового двигуна; m — кількість опрацьованих імпульсів; t — крок гвинта 5, знаку “+” відповідає переміщення штока 15 праворуч, тобто коли гвинт 5 обертається за годинниковою стрілкою, а знаку “-” відповідає переміщення штока 15 ліворуч, тобто коли гвинт 5 обертається проти годинникової стрілки.

Максимальна величина переміщення вихідного штока 15 за рахунок опрацювання керуючих імпульсів кроковим двигуном становить

$$S_{2,\max} = l = \frac{\Delta\varphi}{360^\circ} \cdot m_{\max} \cdot t,$$

де l — довжина робочої частини ходового гвинта 5; m_{\max} — максимальна кількість імпульсів, опрацьованих електричним кроковим двигуном.

Максимальне число керуючих імпульсів, що подається на обмотки електричного крокового двигуна

$$\text{на розраховано як } m_{\max} = \frac{360^\circ \cdot l}{\Delta\varphi \cdot t}.$$

Довжина робочої частини ходового гвинта 5 має бути або такою, що дорівнюватиме дискретності X_0 , або більшою за неї, тобто $l \geq X_0$.

При $l = X_0$ отримаємо

$$m_{\max} = \frac{360^\circ \cdot l}{\Delta\varphi \cdot t} = \frac{360^\circ}{\Delta\varphi} \cdot \frac{D_g^2}{D_n^2} \cdot \frac{S_0}{t}.$$

При одночасному опрацюванні керуючих імпульсів електричним кроковим двигуном і комбінації керуючих сигналів, що подаються на гідравлічний дозатор, величина переміщення вихідного штока 15 визначатиметься за формулою

$$S = \sum_{i=1}^{i=n} S_{0,i} \pm S_2 = S_0 \sum_{i=1}^{i=n} b_i \cdot 2^{i-1} \pm S_2.$$

Підставивши значення S_0 і S_{20} , отримаємо

$$S = \frac{D_g^2}{D_n^2} \cdot X_0 \sum_{i=1}^{i=n} b_i \cdot 2^{i-1} \pm \frac{\Delta\varphi}{360^\circ} \cdot m \cdot t$$

де b_i — значуща цифра, яка приймає значення “1”, коли тиск живлення подається в i -ту порожнину дозатора, і значення “0”, коли i -та порожнина з'єднується з атмосферою.

Максимальна величина переміщення вихідного штока 15

$$S_{\max} = S_{1,\max} + S_{2,\max} = \frac{D_g^2}{D_n^2} \cdot X_0 \cdot (2^{n_g} - 1) + \frac{\Delta\varphi}{360^\circ} \cdot m_{\max} \cdot t = \frac{D_g^2}{D_n^2} \cdot X_0 \cdot (2^{n_g} - 1) + l \quad (1)$$

Із залежності (1) випливає, що при $D_g = D_n$ формула набуває спрощеного вигляду

$$S_{\max} = (2^{n_g} - 1) \cdot X_0 + l. \quad (2)$$

Аналіз залежності (2) дозволяє встановити, що величина переміщення вихідного штока 15 залежить як від числа розрядів дозатора і його дискретності, так і від довжини ходового гвинта l .

Дискретність пневмогідравлічного цифрового привода визначається залежністю

$$\Delta S = \frac{\Delta\varphi}{360^\circ} \cdot t.$$

Максимальна кількість позицій вихідного штока 15 цифрового привода

$$N_{\max} = \frac{S_{\max}}{\Delta S} = \frac{\left[\left(2^{ng} - 1 \right) \cdot X_0 + l \right] \cdot 360^\circ}{\Delta \varphi \cdot t}$$

Мінімальне статичне зусилля привода виникає тоді, коли тиск живлення $p_{ж}$ подається до порожнини a дозатора 20 (або до порожнини b). У цьому випадку статичне зусилля привода визначається залежністю

$$P_{ст} = P_{жс} \cdot \frac{\pi D_n^2}{4} - P_{жс} \cdot \frac{\pi d^2}{4} - P_{T,24} - P_{T,21} - P_{T,14} - P_{T,15} = P_{жс} \cdot \frac{\pi}{4} (D_n^2 - d^2) - P_{T,24} - P_{T,21} - P_{T,14} - P_{T,15}, \quad (3)$$

де $P_{T,24}$, $P_{T,21}$, $P_{T,14}$ і $P_{T,15}$ — відповідно сили тертя поршнів 24, 21, 14 і штока 15; d — діаметр штока 15; $P_{ж}$ — тиск живлення, який підводиться до порожнини a .

Для спрощення залежності (3) приймаємо

$$d^2 = \frac{1}{2} D_n^2, \quad P_{T,24} = P_{T,21} = P_{T,14} = P_{T,15}.$$

$$\text{Отже } P_{ст} = \frac{\pi}{8} \cdot D_n^2 \cdot P_{жс} - 3P_{T,II} - P_{T,15},$$

$$\text{де } P_{T,II} = \pi \cdot D_n \cdot S_{II} \cdot P_{жс} \cdot \mu_m \cdot K_{II};$$

$$P_{T,15} = \pi \cdot d_{III} \cdot S_{III} \cdot P_{жс} \cdot \mu_m \cdot K_{III};$$

μ_m — коефіцієнт тертя; S_{II} і S_{III} — ширина манжет ущільнень поршня і штока; K_{II} і K_{III} — відповідно кількість ущільнень поршня і штока.

Довжина циліндра 9 дорівнює

$$L_{ц} = S_{\max} + l + X_{II} + X_{III},$$

де X_{II} і X_{III} — відповідно довжини поршнів і кришок.

На рисунку 2 показано схему багатопозиційного пневмоелектричного привода [6]. Його конструкція відрізняється від конструкції цифрового привода, який зображено на рисунку 1, тим, що вал 2 електричного крокового двигуна 1 гвинтом 3 кінематично сполучено з додатковим поршнем 4, який розміщено у дозаторі 5. Розміщення додаткового поршня 4 безпосередньо у дозаторі дало можливість спростити конструкцію циліндра 6 і зменшити його осьовий габаритний розмір.

Крім того, такий привод можна компонувати без допрацювань із окремих модулів: циліндра, що випускається серійно, гідравлічного об'ємного дозатора і електричного крокового двигуна. За принципом дії багатопозиційний пневмоелектричний привод аналогічний цифровому привода, який показано на рисунку 1.

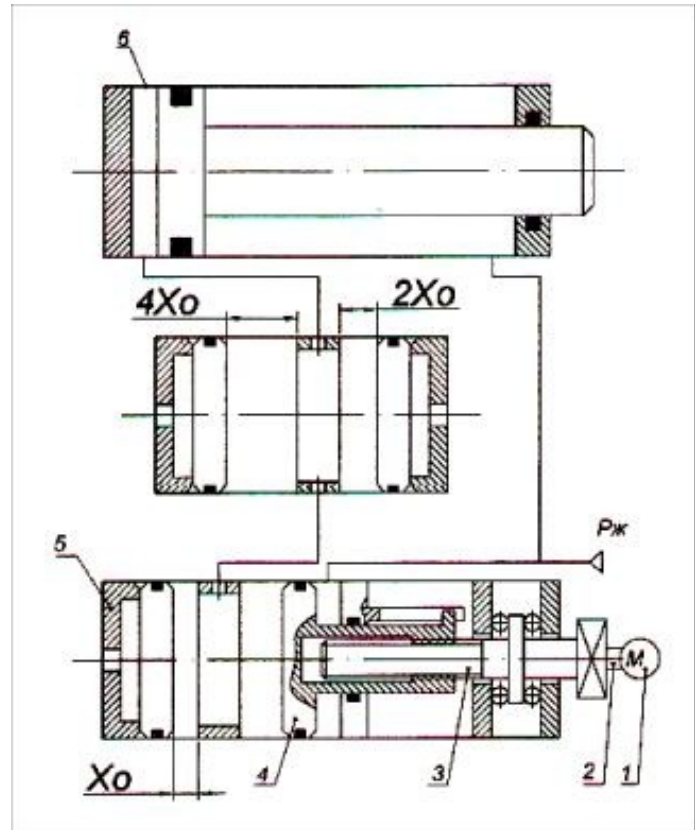


Рисунок 2 — Багатопозиційний пневмоелектричний привод

Висновки

Розглянуті електропневматичні цифрові приводи з гідравлічними об'ємними дозаторами при малій дискретності і значному переміщенні вихідного штока мають малий осьовий габаритний розмір циліндра, його довжина визначається тільки величиною переміщення вихідного штока. Застосування гідравлічного об'ємного дозатора значно спрощує конструкцію циліндра. Статичне зусилля таких приводів не залежить від числа розрядів.

Якщо протягом роботи привода виникають втрати робочої рідини із його камер, то їх можна компенсувати за рахунок опрацювання додаткових керуючих імпульсів електричним кроковим двигуном.

Так, наприклад, якщо похибка вихідного штока складає $l_n = 0,5 \text{ мм}$, для її компенсації необхідно електричним кроковим двигуном додатково опрацювати

$$n_{д.ім} = \frac{l_n \cdot 360^\circ}{\Delta \varphi \cdot t} = \frac{0,5 \cdot 360^\circ}{1,8^\circ \cdot 2} = 50 (\text{імпульсів}).$$

Температурна зміна об'єму рідини також може бути компенсована додатковим опрацюванням імпульсів кроковим електричним двигуном.

Таким чином, завдяки електричному кроковому двигунові значно підвищується точність позиціонування вихідного штока комбінованого багатопозиційного пневмоелектричного привода.

Література

1. Новік, М.А. Аналіз точності позиціонування цифрових приводів / М.А. Новік // Вісник НТУУ "КПІ": серія "Машинобудування". — 2008. — №54. — С. 124—131.

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. Патент України №90383. МПК F15B7/00. Багатопозиційний привод / Новік М.А., Кучерук Ю.М., Дорогань В.В.; заявник і патентовласник НТУУ "КПІ" №а200810063. — заявл. 26.04.2010; опубл. 10.02.2010 — Бюл. № 8.

4. Новік, М.А. Статичні характеристики електропневматичного багатопозиційного привода /

М.А. Новік // Вісн. Нац. Техн. Ун-ту України "КПІ": серія "Машинобудування". — 2010. — №58. — С. 223—228.

5. Новік М.А. Порівняння статичних характеристик багатопозиційних приводів з цифровим керуванням / М.А. Новік, В.Є. Дідовець // Збірник наукових праць "Технологія і техніка друкарства". — 2012. — №1(35). — С. 142—149.

6. Патент України №73494. МПК F15B11/02(2006.01). Багатопозиційний пневмоелектричний привод / Новік М.А., Дідовець В.Є.; заявник і патентовласник НТУУ "КПІ" №а201202955. — заявл. 13.03.2012; опубл. 25.09.2012 — Бюл. №18.

Надійшла 20.12.2012 року