

# Розробка і дослідження пневмогідравлічного цифрового приводу осьового переміщення шпинделя свердлильного верстата

М.А. Новік<sup>1</sup> • В.Є. Дідовець<sup>2</sup>

1 - КПІ ім. Ігоря Сікорського, м. Київ, Україна

2 - Відкритий міжнародний університет розвитку людини «Україна», м. Київ, Україна

Received: 04 April 2018 / Accepted: 23 November 2018

**Анотація.** Стаття присвячена актуальній проблемі створення і дослідження пневматичних, гідравлічних та комбінованих багатопозиційних приводів з цифровим керуванням для осьового переміщення шпинделя вертикально-свердлильного верстата, а також розробці математичної моделі і алгоритму розрахунку статичних та динамічних характеристик при опрацюванні комбінацій керуючих сигналів. Проведений аналіз різноманітних структурних схем існуючих свердлильних верстатів дозволив встановити, що оснащення свердлильних верстатів цифровими приводами для осьового переміщення шпинделя дає можливість значно розширити ступінь їх автоматизації та області застосування. Розроблена принципова схема багатопозиційного пневмогідравлічного цифрового приводу осьової подачі шпинделя, який в широкому діапазоні забезпечує як задану величину переміщення, так і подачу (швидкість) шпинделя (свердла). Приведений приклад розрахунку основних параметрів семирозрядного цифрового пневмогідравлічного приводу осьового переміщення шпинделя.

**Ключові слова:** шпиндель, верстат, цифровий привод, двійковий код, пневмогідравлічний, розрядні порині, свердло

## Постановка проблеми

Багатопозиційні пневматичні, гідравлічні, електричні та комбіновані приводи з цифровим керуванням призначені для перетворення керуючих сигналів двійкового коду в поступальне або обертове переміщення вихідної ланки. Такі приводи мають суттєві переваги перед дросельними: у них відсутній зворотній зв'язок, вони не потребують тонкої очистки повітря (рідини), позиціонування вихідної ланки здійснюється по жорсткому упору, що обумовлює високу точність і повторюваність виходу в задану позицію, вони можуть працювати в магнітних і радіаційних полях, при вібраціях а т.д.. Крім того, вони легко стикуються з керуючими пристроями, наприклад, з комп'ютерами та контролерами. Особливої уваги заслуговують пневматичні, гідравлічні та комбіновані цифрові приводи, які можуть бути використані в якості виконавчих пристроїв металорізальних та деревообробних верстатів. Це може значно розширити ступінь їх автоматизації та області застосування, спростити конструкцію, підвищити надійність. Створенню і дослідженню різноманітних типів пневматичних, гідравлічних та комбінованих багатопозиційних приводів з цифровим керуванням присвячено чимало наукових праць, в яких аналізується як конструктивні особливості, так і їх статичні і динамічні характеристики [1, 2]. В основному досліджені статичні та динамічні характеристики пневматичних, гідравлічних і комбінованих цифрових приводів без прив'язки до робочого органу. Отже, виникає потреба в розробці і дослідженні багатопозиційного пневмогідравлічного цифрового привода, який забезпечує як багатоточкове позиціонування шпинделя вертикально-свердлильного верстата, так і його подачу при виконанні свердлувальних робіт.

## Аналіз попередніх досліджень

На рис. 1 показані структурні схеми вертикально-свердлильних верстатів:

Принцип дії базового верстата 2Н135 (Рис. 1а) і інших моделей вертикально-свердлильних верстатів полягає в наступному. Обертовий рух  $O_1$  шпиндель 1 отримує від двигуна  $M$  по ланцюгу  $a_1-b_1-c_1-d_1$ . Від шпинделя обертовий рух через зубчасте колесо 5, коробку подач  $i_s$ , подається на рейкове колесо 4, яке зчеплене з рейкою 3, закріпленою на гільзі 2. При цьому шпиндель 1 одночасно отримує як поступальний рух  $P_1$ , так і

обертаний рух  $O_1$ . Таким чином, закріплений в шпинделі інструмент буде одночасно обертатися ( $O_1$ ) і переміщатися ( $\Pi_1$ ) [3, 4, 5].

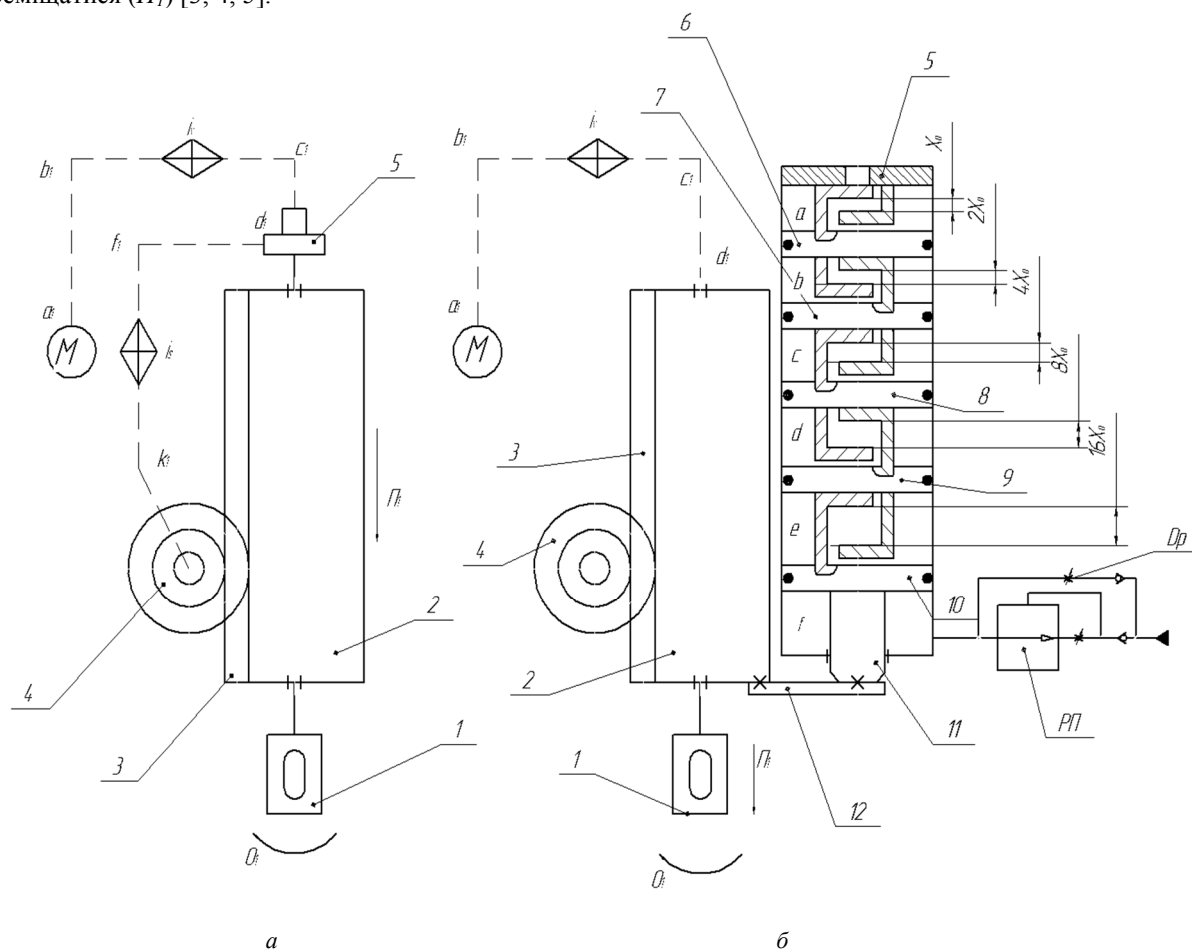


Рис. 1. Структурні схеми вертикально-свердильних верстатів: а - базового верстата мод.2Н135, б - з цифровим приводом осьової подачі шпинделя

Недоліком таких структур вертикально-свердильних верстатів є те, що осьова подача шпинделя (свердла) залежить від обертів шпинделя і передаточного відношення громіздкої коробки подач  $i_v$ . При цьому величина осьового переміщення шпинделя (свердла) визначається координатою розміщення упора. В структурній схемі (див. рис. 1б) модернізованого верстата величина подачі шпинделя (свердла) 1 не залежить від обертів шпинделя, вона налаштовується регулятором потоку  $PP$ , зворотна швидкість руху шпинделя регулюється дроселем  $Dp$ . Величина осьового переміщення шпинделя 1 (свердла) визначається опрацьованою комбінацією керуючих сигналів, що подаються на цифровий привід. Величина переміщення вихідного штока 11 (шпинделя 1) визначається по залежності.

$$Z = Z_0 \cdot \sum_{i=1}^n b_i \cdot 2^{i-1},$$

де  $Z_0$  - дискретність цифрового приводу;  $n$  - число розрядів (розрядних поршнів) цифрового приводу;  $i$  - порядковий номер розрядного поршня;  $b_i$  - значуща цифра, яка приймає значення – «1», коли тиск живлення підводиться до  $i$ -тої камери і значення – «0», якщо  $i$ -а камера з'єднується з атмосферою.

Число позицій шпинделя 1 (свердла) визначається по залежності

$$N = 2^n.$$

Аналіз структурних схем дозволяє визначити, що оснащення верстата цифровим приводом значно розширює його степінь автоматизації.

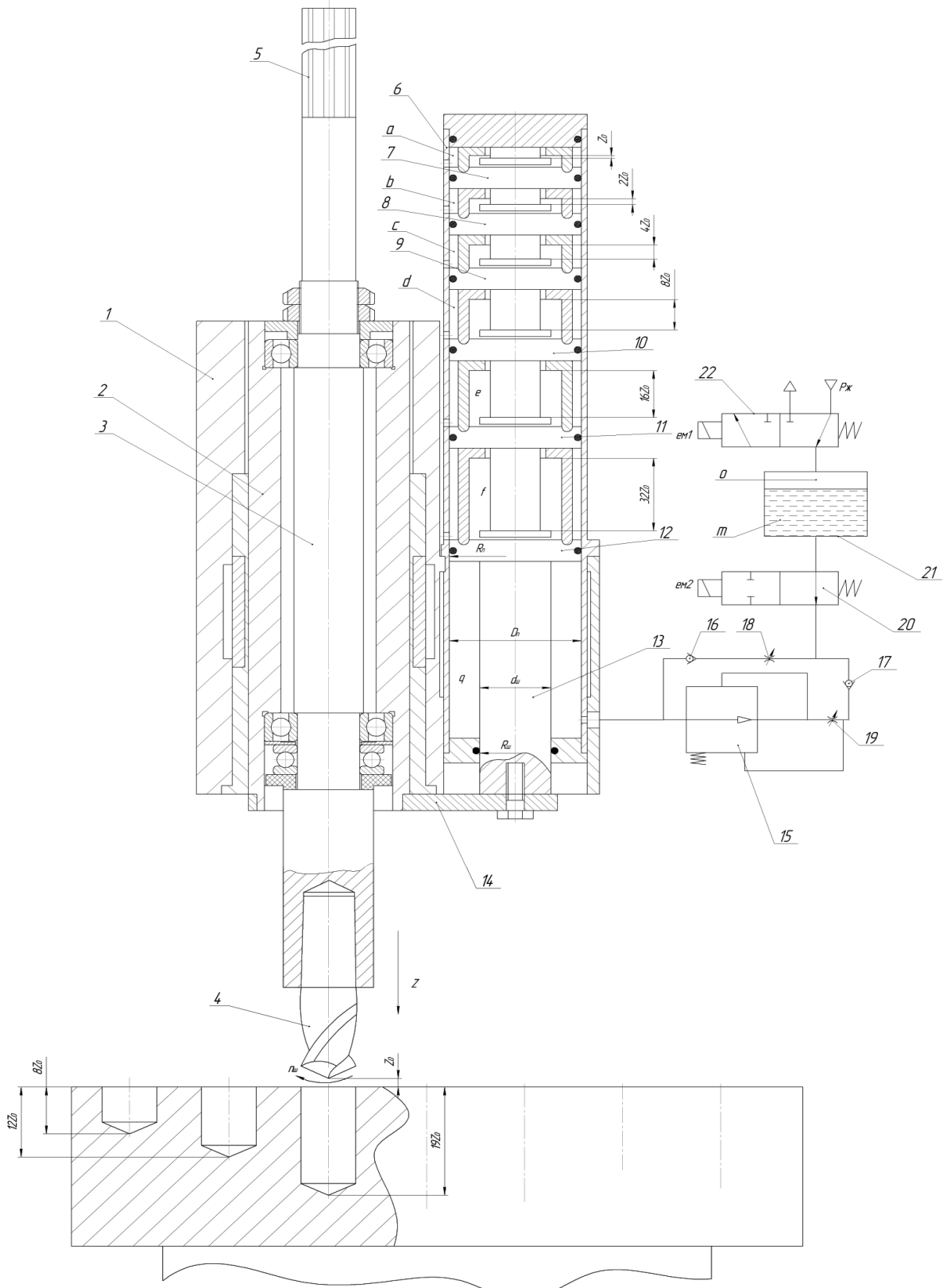
#### Мета роботи

Метою статті є розробка і дослідження багатопозиційного пневмогідралічного цифрового приводу осьової подачі шпинделя вертикально-свердильного верстата, а також розробка математичної моделі і алгоритму розрахунку його статичних та динамічних характеристик при опрацьованні комбінацій керуючих сигналів.

**Результати проведених досліджень**

Розглянемо статичні і динамічні характеристики пневмогідралічного цифрового приводу осевої подачі шпинделя вертикально-свердильного верстата.

На рис.2 показана принципова схема вертикально-свердильного верстата, оснащеного пневмогідралічним цифровим приводом [6].



**Рис. 2. Принципова схема вертикально-свердильного верстата, оснащеного пневмогідралічним цифровим приводом**

Пневмогідралічний цифровий привод осьової подачі шпинделя вертикально-свердлильного верстата складається із корпусу 1, в якому рухомо в осьовому напрямку розміщений шпindelний вузол, що в свою чергу складається із гільзи 2, в якій на підшипниках кочення встановлений шпindel 3 з шліцевим хвостовиком 5, який кінематично сполучений з вихідним валом коробки швидкості (на рис. коробка швидкості не показана). В патроні шпинделя закріплене свердло 4. В корпусі 1 розміщений виконавчий циліндр 6, і якому послідовно розміщені розрядні поршні 7, 8, 9, 10, 11, 12 з обмежувачами відносного переміщення. Переміщення розрядних поршнів визначаються по формулі геометричної прогресії

$$Z_i = Z_0 \cdot 2^{i-1},$$

де  $Z_0$ - дискретність цифрового приводу;  $i$ -порядковий номер розрядного поршня.

До поршня старшого розряду 12 жорстко прикріплений вихідний шток 13, який тягою 14 прикріплений до гільзи 2. Розрядні поршні, розміщені у виконавчому циліндрі 6 утворюють геометричні розрядні камери  $a, b, c, d, e$  і  $f$  з каналами живлення, по яким відводиться тиск живлення від двопозиційних трилінійних пневматичних розподільників з одностороннім електричним керуванням (на рис. пневморозподільники не показані). Штокова камера  $q$  через регулятор потоку 15, зворотні клапани 16, 17, дроселі 18, 19, запираючий розподільник 20 з'єднаний з гідравлічною камерою  $m$  акумулятора 21, до пневматичної камери  $o$  якого підводиться тиск живлення  $P_{ж}$  від пневматичного розподільника 22.

Принцип дії пневмогідралічного приводу осьової подачі шпинделя полягає в наступному. У вихідному положенні розрядні камери  $a, b, c, d, e$  і  $f$  з'єднані з атмосферою (що відповідає кодовій комбінації керуючих сигналів 000000), електромагніти  $em1$  і  $em2$  розподільників 22 і 20 знеструмлені. Під дією тиску повітря в камери  $o$  акумулятора 21 штокова камера  $q$  заповнена рідиною (мастилом), розрядні поршні 7 - 12 і шпindel 3 зі свердлом 4 займають верхні крайні положення (за кресленням). Переміщення вихідного штока 13 і з'єданого з ним шпинделя 3 із свердлом 4 в залежності опрацьованої кодової комбінації керуючих сигналів аналітично визначається по формулі:

$$Z = Z_0 \cdot \sum_{i=1}^n b_i \cdot 2^{i-1}.$$

Так, наприклад, опрацьованій кодовій комбінації керуючих сигналів 000001 (тиск живлення підводиться тільки до камери першого розряду  $a$ ) відповідає переміщення свердла 4 на величину

$$Z = Z_0 \cdot \sum_{i=1}^n b_i \cdot 2^{i-1} = Z_0 \cdot 1 \cdot 2^{1-1} = Z_0.$$

Кодовій комбінації керуючих сигналів, наприклад, 010101 відповідає переміщення свердла 4 на величину

$$Z = Z_0 \cdot (1 \cdot 2^{1-1} + 1 \cdot 2^{5-1}) = Z_0 \cdot (1 + 4 + 16) = 21 \cdot Z_0.$$

Максимальна величина переміщення свердла 4 визначається по залежності

$$Z_{\max} = Z_0 \cdot (2^n - 1),$$

Число позицій цифрового приводу (свердла 4)  $N = 2^n$

Швидкість руху шпинделя 3 із свердлом 4 вниз (за кресленням) регулюється регулятором потоку 15, а вгору - дроселем 18. Регулювання швидкості руху (подачі) регулятором потоку забезпечує постійність швидкості руху (подачі) свердла при зміні сил, що діють на нього при різанні. Таким чином, оснащення вертикально-свердлильного верстата з пневмогідралічним цифровим приводом дає можливість в широкому діапазоні в процесі роботи змінювати як величину переміщення, так і подачу шпинделя (свердла), що обумовлює значне підвищення ступеня автоматизації продуктивності верстата. При дослідженні динаміки пневмогідралічного цифрового приводу подачі шпинделя доцільно диференційні рівняння представляти у такому вигляді, що в залежності від значення логічної перемінної, наприклад,  $y_i$  вони можуть описувати як процес наповнення ( $y_i = 1$ ), так і процес спорожнення ( $y_i = -1$ )  $i$ -тої камери цифрового приводу [6]. Для спрощення математичної моделі, яка описує динамічні процеси приймаємо наступні припущення: перемикання розподільників миттєве; втрати в розподільниках і перетікання між розрядними камерами відсутні; об'єм повітря трубопроводів приєднані до об'ємів відповідних розрядних камер; вважаємо процес адиабатним і нехтуємо теплообміном з довкіллям; термодинамічні процеси розглядаємо як квазістаціонарні, що протікають при сталих режимах [7, 8].

З урахуванням прийнятих припущень, система диференційних рівнянь, що описують динаміку  $i$ -того розрядного поршня має наступний вигляд:

а) рівняння зміни тиску в  $i$ -тій розрядній камері

$$\frac{dP_i}{dt} = \frac{K \cdot k \cdot \sqrt{R} \cdot [\sqrt{T_M} \cdot f_{p,i} \cdot P_{жe} \cdot \varphi(\delta_i) - f_{0,i} \cdot P_i \cdot \sqrt{T_i} \cdot \varphi(\delta_{a,i})]}{(Z_{H,i} + Z_{i,i-1}) \cdot F_i} - \frac{k \cdot P_i}{Z_{H,i} + Z_{i,i-1}} - \frac{dZ_{i,i-1}}{dt},$$

б) рівняння зміни температури в  $i$ -тій розрядній камері

$$\frac{dT_i}{dt} = \frac{dZ_{i,i-1}}{dt} \cdot \frac{T_i}{Z_{H,i} + Z_{i,i-1}} + \frac{dP_i \cdot T_i}{dt} - \frac{K \cdot \sqrt{R \cdot T_M} \cdot f_{p,i} \cdot P_M \cdot \varphi(\delta_i) \cdot T_i^2}{F_i \cdot P_i \cdot (Z_{H,i} + Z_{i,i-1}) \cdot T_M} - \frac{K \cdot \sqrt{R \cdot T_i} \cdot f_{0,i} \cdot \varphi(\delta_{a,i}) \cdot T_i^2}{F_i \cdot (Z_{H,i} + Z_{i,i-1})},$$

в) диференціальне рівняння  $i$ -того поршня

$$\ddot{Z}_i \cdot \sum_{i=1}^{i+j} M_{i+j} = F_i \cdot P_i - F_{i+j+1} - \left( \sum_{i=1}^{i+j} R_{n,i+j+1} + R_{max} \right) \cdot \text{sign} \dot{Z}_i - (R_c + R_{mz} + R_{un}) \cdot \text{sign} \dot{x}_n,$$

$$\text{де } f_{p,i} = \frac{1}{2} [f_{H,ei} + f_{B,ei} + (f_{H,ei} - f_{B,ei}) \cdot \text{sign}(y_i)];$$

$$f_{0,i} = \frac{1}{2} [f_{an,ei} + f_{av,ei} + (f_{an,ei} - f_{av,ei}) \cdot \text{sign}(y_i)];$$

$$Z_{H,i} = \frac{1}{2} [Z_{0,i} + Z_{M,i} + (Z_{0,i} - Z_{M,i}) \cdot \text{sign}(y_i)];$$

$$Z_{i,i-1} = [Z_i \cdot \text{sign}(y_i) - Z_{i-1} \cdot \text{sign}(\dot{x}_{i-1})];$$

$$Z_{M,i} = Z_0 \cdot 2^{i-1} + Z_{0,i};$$

$$b_i = \frac{P_i}{P_M};$$

$$\delta_{a,i} = \frac{P_a}{P_i} - \text{безрозмірні тиски в камері наповнення і вихлопу};$$

$\varphi(\delta_i)$  і  $\varphi(\delta_{a,i})$  - функції витрат при наповненні і вихлопу;

$f_{n,ei}$ ,  $f_{b,ei}$  та  $f_{an,ei}$ ,  $f_{av,ei}$  - відповідно ефективні площі підводного і відводного трубопроводів при наповненні і спорожненні розрядної  $i$ -тої камери;  $Z_i$  - абсолютна координата  $i$ -того поршня;  $Z_{0,i}$  і  $Z_{M,i}$  - координати, які характеризують початкові об'єми  $i$ -тої камери;  $j$  - кількість розрядних поршнів приєднаних до  $i$ -того поршня;  $F_i$  і  $F_{i+j}$  - ефективні площі поршня зі сторони  $i$ -тої та  $i+j$ -тої камер;  $R_{n,i+j+1}$  і  $R_{mz}$  - зусилля тертя  $i+j+1$ -тих поршнів і гідروциліндра;  $m_{i+j}$  - маса  $i+j$ -тих поршнів;  $P_{i+j+1}$  - тиск  $i+j+1$ -тої камери;  $R_c$  - зусилля опору гідроциліндра;  $R_{max}$  - зусилля різання;  $\dot{Z}_n$  - швидкість поршня старшого розряду (вихідного штока);  $R_{un}$  - вага шпинделя.

Розглянута математична модель дає можливість синтезувати необхідну кількість диференціальних рівнянь при перемиканні однієї комбінації керуючих сигналів на іншу. У загальному випадку для визначення параметрів руху вихідного штока (шпинделя із свердлом) необхідно скласти рівняння руху розрядних поршнів, які рухаються як автоматично, так і в зчепленні (по двох, по три ... по  $n$ ), де  $n$  - число розрядних поршнів. Крім того, необхідно скласти рівняння зміни тиску і температури в розрядних камерах. Кількість рівнянь, що описують рух розрядних поршнів, зміну тиску і температури в розрядних камерах визначається по відповідним залежностям

а) кількість рівнянь руху поршнів, які рухаються як автономно, так і в зчепленні [9]

$$M_p = 0,5 \cdot d \cdot (d + 1);$$

б) кількість рівнянь, що описують зміну тиску

$$M_T = d + 1;$$

в) кількість рівнянь, що описують зміну температури

$$M_c = d + 1.$$

Загальна кількість рівнянь, що описують динаміку цифрового приводу при перемиканні розрядних камер визначається по формулі

$$M_{\Sigma} = M_p + M_T + M_c = (d + 1) \cdot (0,5 \cdot d + 2),$$

де  $d$  - кодова відстань між двома кодовими комбінаціями.

Кодова відстань  $d$  - це число однойменних розрядів з різноманітними символами. Кодова відстань виражається як вага суми по модулю двох кодових комбінацій [10].

Максимальна кількість рівнянь складається в тому випадку, коли перемикаються усі розрядні камери, тобто коли  $d = n$ . Так для приводу, що розглядається  $n = 6$ , тоді максимальна кількість рівнянь

$$M_{\Sigma} = (n+1) \cdot (0,5 \cdot n + 2) = (6+1) \cdot (0,5 \cdot 6 + 2) = 35$$

Тобто треба скласти:

$$M_p = 0,5 \cdot (6+1) = 21 \text{ рівняння руху};$$

$$M_T = 6+1 = 7 \text{ рівнянь зміни тиску};$$

$$M_c = 6+1 = 7 \text{ рівнянь зміни температури}.$$

Таким чином, для опису динаміки руху шести розрядного цифрового приводу шпинделя необхідно скласти 35 диференціальних рівнянь, які можуть бути вирішені тільки методами чисельного інтегрування, що дуже складно і трудомістко. Проведені дослідження роботи цифрового приводу при свердлінні дозволили встановити, що при свердлінні швидкість руху свердла підтримується постійно регулятором витрати рідини. По цій причині можна вважати, що тиск живлення у всіх розрядних камерах буде однаковим. Тому нехтуючи підготовчим процесом, при якому тиск в розрядних камерах росте від атмосферного до тиску руху можна розглядати рух вихідного штока (шпинделя зі свердлом) як рівномірний при постійному тиску в поршневих камерах, який при рівномірному русі визначається величиною опору тертя. Зусиллям різання і вагою рухомих частин. Тому для забезпечення заданого зусилля різання необхідно скласти рівняння руху і вирішити його або відносно тиску живлення, або діаметра поршня.

Для визначення діаметрів розрядних поршнів  $D_n$  складаємо рівняння руху вихідного штока, до якого прикріплена гільза з шпинделем.

$$m \cdot \ddot{Z} = \frac{\pi}{4} \left[ D_n^2 \cdot P_{ж} - (D_n^2 - d_{ш}^2) \cdot P_{ш} \right] - R_n \cdot K_n \cdot n + R_{ш} \cdot K_{ш} - R_{\max} \pm R_{шн} \pm R_{ин},$$

де  $m$  - маса рухомих частин, приєднаних до штока цифрового приводу;  $\ddot{Z}$  - прискорення;  $D_n$  - діаметр розподільних поршнів;  $P_{ж}$  - тиск живлення;  $d_{ш} = c_1 \cdot D_n$  - діаметр штока;  $P_{ш} = c \cdot P_{ж}$  - зусилля тертя розрядного поршня -  $R_n = R_{ш} = P_K \cdot \pi \cdot b_n \cdot D_n \cdot f_{тер}$ ;  $b_n = 0,1 \cdot D_n$  - ширина контактної поверхні ущільнень поршня і штока;  $P_K = 1,25 \cdot \varepsilon \cdot E \cdot 10^{-2}$  - контактний тиск ущільнення;  $\varepsilon$  - степінь стиснення гумових кілець ущільнень;  $f_{тер}$  - коефіцієнт тертя;  $K_n$  - число ущільнень розрядних поршня;  $R_{ш}$  - зусилля тертя штока;  $K_{ш}$  - число ущільнень штока;  $K_n = K_{ш} = 1$  - максимальне зусилля подачі;  $R_{шн}$  - вага рухомих частин, приєднаних до вихідного штока;  $R_{ин}$  - зусилля інерції [11].

Так як при обробці отвору рух шпинделя зі свердлом буде рівномірним і з урахуванням прийнятих припущень і значень параметрів та після нескладних перетворень дане рівняння приймає вигляд

$$\frac{\pi}{4} \left[ D_n^2 \cdot P_{ж} - (D_n^2 - c_1^2 \cdot D_n^2) \cdot c \cdot P_{ш} \right] - 1,25 \cdot \varepsilon \cdot E \cdot 10^{-2} \cdot \pi \cdot 0,1 \cdot D_n \cdot D_n \cdot f_{тер} \cdot (m+1) - R_{\max} \pm R_{шн} = 0$$

З цього рівняння знаходимо діаметр поршня  $D_n$

$$D_n = \sqrt{\frac{4 \cdot (R_{\max} - R_{шн})}{\pi \cdot \left[ P_{ж} \cdot (1 - c + c_1^2 \cdot c) - 5 \cdot \varepsilon \cdot E \cdot 10^{-3} - f_{тер} \cdot (n+1) \right]}}$$

Ця формула дає можливість в залежності від значень параметрів:  $R_{\max}$ ,  $R_{шн}$ ,  $R_{ж}$ ,  $c$ ,  $c_1$ ,  $\varepsilon$ ,  $E$ ,  $n$  визначити оптимальне значення діаметрів розрядних поршнів  $D_n$  і діаметра штока  $d_{ш}$  цифрового пневматичного приводу. Так, наприклад, для параметрів:

$$R_{\max} = 560H; R_{шн} = 100H; P_{ж} = 0,6MPa; c = \frac{1}{2}; c_1 = \frac{3}{4}; \varepsilon = 10\%; E = 45 \cdot 10^5; n=7 \text{ діаметр поршня } D_n = 73,38 \text{ мм}.$$

### Висновки

Таким чином, розглянутий в роботі пневмогідрравлічний цифровий привод осьової подачі шпинделя свердильного верстата забезпечує як задану величину осьового переміщення, так і величину подачі в автоматичному режимі, що дасть можливість значно розширити область застосування таких верстатів. Крім того, прийняті в роботі обґрунтування дозволили спростити математичну модель розрахунку основних параметрів приводу. Так замість рішення системи диференціальних рівнянь, число яких визначається по формулі  $M_{\Sigma} = (n+1) \cdot (0,5 \cdot n + 2)$ , де  $n$  - число розрядних поршнів, достатньо скласти диференціальне рівняння осьового руху шпинделя і вирішити його відносно діаметра розрядного поршня і діаметра вихідного штока.

## Разработка и исследование пневмогидравлического цифрового привода осевого перемещения шпинделя сверлильного станка

Н.А. Новик, В.Е. Дидовец

**Аннотация.** Статья посвящена актуальной проблеме создания и исследования пневматических, гидравлических, многопозиционных приводов с цифровым управлением для осевого перемещения шпинделя вертикально-сверлильного станка, а также разработке математической модели и алгоритма расчета статических и динамических характеристик при обработке комбинаций управляющих сигналов. Проведен анализ различных структурных схем существующих сверлильных станков. Проведенный анализ существующих сверлильных станков позволил установить, что оснащение сверлильных станков цифровыми приводами для осевого перемещения шпинделя даёт возможность значительно расширить степень их автоматизации и область применения. Разработана принципиальная схема многопозиционного пневмогидравлического цифрового привода осевой подачи шпинделя, который в широком диапазоне обеспечивает как заданную величину перемещения, так и подачу (скорость) шпинделя (сверла). Приведен пример расчета основных параметров семirazрядного цифрового пневмогидравлического привода осевого перемещения шпинделя.

**Ключевые слова:** шпиндель; станок; цифровой привод; двоичный код; пневмогидравлический; разрядные поршни; сверло

## Development and investigation of pneumatic digital adjustment of alternative transmission of spindle of drilling machine

M.A. Novik, V.Je. Didovec

**Abstract.** The article devoted to the issue of creation and research of pneumatic, hydraulic and combined multiposition drive with digital control for axial movement of the spindle vertical drilling machine. The development of the mathematical model and algorithm of static and dynamic characteristics in combination processing control signals. The analysis of the various structural schemes existing drilling machines revealed that the equipment drilling machines digital drives for axial movement of the spindle provides an opportunity to expand their power and automation applications. Developed schematic diagram multiposition Pneumatichydraulic digital drive spindle axis feed, which provides a wide range of value given movement and the flow (speed) of the spindle (drill). Examples of calculating the basic parameters of the seventh bit digital Pneumo-hydraulic drive axial movement of the spindle.

**Keywords:** spindle; machine; digital drive; binary code; pneumo-hydraulic; bit piston; drill

### References

1. Новик М.А. Анализ точности позиционирования цифровых приводов / М.А. Новик // Вісник НТУУ «КПІ». Серія Машинобудування. – 2008. - №54. - С. 124-131.
2. Новик М.А. Порівняння статичних характеристик багатопозиційних приводів з цифровим керуванням /М.А. Новик, В.Є. Дідовець / Збірник наукових праць «Технологія і техніка друкарства». - 2012. – Том. 35, №1. - С. 142-149.
3. Металлорежущие станки: Учебник для машиностроительных вузов/ под ред В.Э. Пуша. – М.: Машиностроение, 1985. - 576 с.
4. Металлорежущие станки: Учеб. пособие для вузов. Н.С. Колев, Л.В. Красниченко, Н.С.Никулин и др.-2-е изд., переб. и доп. М.: Машиностроение, 1980. - 500 с.
5. Станки с программным управлением: Учебное пособие для машиностроительных техникумов. Локтева С.Е. - М.: Машиностроение.
6. Патент України №110916. МПК (2016.01) B23B39/14 (2016.01) B23B41/00. Привод подачі шпинделя сверлильного верстата / Новик М.А., Дідовець В.Є., Назаренко Є.В.; Власник НТУУ «КПІ», опубл. 25.10.2016-Бюл. №20.
7. Герц Е.В. Пневматические приводы. М.: Машиностроение, 1969- 359 с.
8. Герц Е.В., Крейнин М.А. Расчет пневмоприводов. М.: Машиностроение, 1975. - 272 с.
9. Новик Н.А./ Анализ динамики переходов выходного штока пневматического цифрового привода из одного фиксированного положения в другое /Н.А. Новик// Технология и автоматизация машиностроения. Выпуск 34, Киев: Техніка - 1984. – С. 68-72.
10. Березюк Н.Т., Андрущенко А.Г., Мощинская С.С./ Кодирование информации (двоичные коды),-К.: Вища школа, 1978. – 252 с.
11. Абрамов Е.И., Колисниченко А.М., Маслов В.Т./ Элементы гидроприводов. Справочник. К.: «Техніка», 1977.