

УДК 621-85

**РОЗРАХУНОК ЕФЕКТИВНИХ ПЛОЩ  
ЖИВЛЯЧИХ ТРУБОПРОВІДІВ  
ПНЕВМАТИЧНИХ ЦИФРОВИХ ПРИВОДІВ  
У ПЕРІОД РУХУ**

© М. А. Новік, к.т.н., доцент, НТУУ «КПІ», Київ, Україна

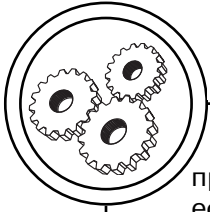
**Рассмотрена динамика пневматического цифрового привода. Приведена система дифференциальных уравнений, описывающих процесс движения разрядных поршней и выходного звена привода. Разработан алгоритм определения значений эффективных площадей подводящих трубопроводов из условия отсутствия выбросов и провалов выходного штока цифрового привода. Показано, что регулированием проходных сечений трубопроводов можно исключить выбросы и провалы выходного штока привода в период движения. При этом в структуру пневматического цифрового привода необходимо включать регулируемые от датчиков перемещения дроссели.**

**The dynamics of pneumatic digital drive has been considered. The system of differential equalizations, describing the process of motion of bit pistons and output link of drive is resulted. The algorithm of determination of values of effective areas of tricking into pipelines is developed from the condition of absence of the troop landings and failures of output rod of digital drive. It is shown that it is possible to eliminate the troop landings and failures of output rod of drive adjusting of communicating sections of pipelines in the period of motion. Thus in the structure of pneumatic digital drive it is necessary to include the throttles managed from the sensors of moving.**

**Аналіз попередніх досліджень**

В процесі відпрацювання кодівих комбінацій керуючих сигналів в русі вихідного штока цифрових приводів спостерігаються незапрограмовані рухи, так звані викиди і провали [1]. Проблемі запобігання виникнення «викидів» і «провалів» в русі вихідного штока цифрових пневматичних приводів присвячено чимало робіт. У роботі [2], присвяченій дослідженню унемож-

ливлення виникнення «викидів» і «провалів» вихідного штока методом підбору ефективних площ живлячих трубопроводів, немає обґрунтованих рекомендацій з підбору перерізів ефективних площ живлячих трубопроводів. Автор робить припущення, що зміна в певних межах ефективних площ трубопроводів, по яким підводиться тиск живлення до робочих камер поршнів молодших розрядів немає суттєвого впливу на роботу цифрового



## МАШИНИ І АВТОМАТИЗОВАНІ КОМПЛЕКСИ

приводу в цілому. При цьому ефективні площі трубопроводів, по яким підводиться тиск живлення до робочих камер старших і молодших розрядів, визначаються на підставі критеріїв плавності руху й величини викидів і провалів вихідного штока. В цьому випадку регульованими параметрами є ефективні площі і величини тиску, які регулюються не в процесі руху, а в статиці. Недоліком цього методу є і те, що процес відпрацювання керуючих сигналів не розбивається на періоди: підготовчий і період руху, а береться в цілому. Такий підхід не дає можливості повністю запобігти «викидам» і «провалам» в русі вихідного штока як у підготовчий період, так і в період руху.

В роботі [3] процес відпрацювання керуючих сигналів при перемиканні розрядних камер розбивається на підготовчий період і період руху. При цьому

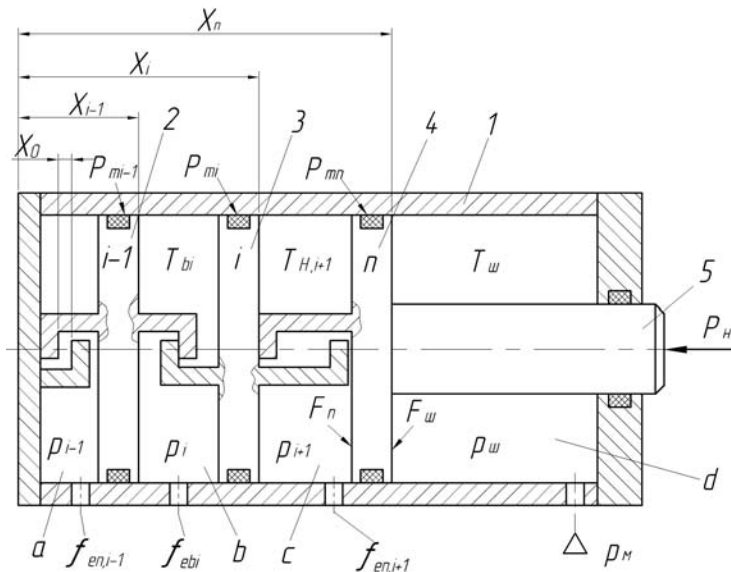
розглянуті способи унеможливлення виникнення «викидів» і «провалів» тільки у підготовчий період. Можливість виникнення «викидів і провалів» в період руху в цій роботі не розглядається.

### Мета роботи

Метою роботи є дослідження динаміки пневматичного цифрового приводу при перемиканні розрядних камер, причин виникнення «викидів» і «провалів» у кінці переміщення вихідного штока і розробка способів унеможливлення виникнення незапрограмованих переміщень.

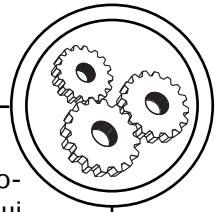
### Результати проведених досліджень

Для аналізу і дослідження розглянемо такий же трирозрядний пневматичний цифровий привод як і в роботі [3], так як матеріали цих робіт тісно пов'язані між собою.



Пневматичний цифровий привод

## МАШИНИ І АВТОМАТИЗОВАНІ КОМПЛЕКСИ



На рис. показаний трирозрядний пневматичний цифровий привод, до складу якого входить циліндр 1. В циліндрі 1 послідовно розміщені поршні 2, 3 і 4 з обмежувачами відносного переміщення. Поршень 4 з'єднаний жорстко з вихідним штоком 5. Розрядні поршні 2, 3, 4 утворюють розрядні камери а, b, с, і камеру зворотного руху d. До камери d підводиться постійно тиск живлення  $p_m$ .

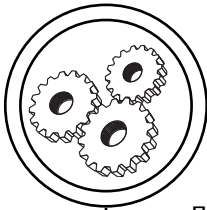
Принцип дії пневматичного цифрового приводу полягає в наступному. При переключенні, наприклад, комбінації керуючих сигналів з 010 на 101, тобто коли тиск живлення одночасно подається в камери а і с, а камера b з'єднується з атмосферою у русі вихідного штоку 5 можуть виникати незапрограмовані переміщення, так звані «викиди» і «провали». При опрацюванні кодової комбінації 101 вихідний шток 5 мусить переміститися вправо (по кресленню) на величину  $5X_0 - 2X_0 = 3X_0$ . У випадку коли камера с наповнюється до тиску зрушення поршня 3 вліво раніше чим наросте тиск в камері с до тиску зрушення поршня 4 вправо, шток 5 буде рухатися від вихідного положення вліво, тобто він «провалюється». При цьому величина «провалу» лежить в межах  $0 \leq \Delta X_n \leq 2X_0$ . Якщо до тиску руху раніше наповнюються камери а і с у русі вихідного штоку 5 спостерігається «викид», величина якого лежить в межах  $0 \leq \Delta X_B \leq 3X_0$  [4].

У процесі дослідження динаміки цифрового приводу (ЦП) встановлено, що між величинами ефективних площ трубопроводів розрядних порожнин ви-

никають протиріччя. Так у підготовчий період ефективні площі трубопроводів порожнин старших розрядів повинні бути більшими ніж ефективні площі молодших розрядів, що сприяє запобіганню викидів і провалів на початку переміщення вихідного штока [3]. У період руху навпаки ефективні площі трубопроводів порожнин старших розрядів мають бути меншими ефективних площ молодших розрядів, що сприяє запобіганню виникнення «викидів» і «провалів» наприкінці ходу вихідного штока. Отже, попереднім підбором ефективних площ ліній живлення повністю усунути «викиди» й «провали» вихідного штока неможливо.

Запропонований метод виключення викидів і провалів полягає в тому, що підбір ефективних площ розділений на два етапи. На першому етапі з умови одночасного зрушення розрядних поршнів у підготовчий період визначаються ефективні площі трубопроводів порожнин молодших розрядів [3]. На другому етапі встановлюється закон зміни ефективних площ молодших розрядів у залежності від параметрів руху поршня старшого розряду.

Період руху ЦП при перемиканні керуючих порожнин характеризується більш складними процесами, чим підготовчий період. При русі розрядних поршнів змінюються з часом всі параметри, що характеризують динаміку привода. При цьому узгодити ті або інші параметри, що описують динаміку різних поршнів і груп поршнів дуже складно.



## МАШИНИ І АВТОМАТИЗОВАНІ КОМПЛЕКСИ

При перемиканні керуючих порожнин у період руху розрядні поршні переміщуються на різні величини, які можна визначити по формулах:

$$X_{n\max} = X_0 \cdot \sum_{i=1}^{i=n} (r_i \cdot 2^{i-1} - C_i \cdot 2^{i-1}), \quad (1)$$

$$X_{n-1\max} = X_0 \cdot \sum_{i=1}^{i=n-1} (r_i \cdot 2^{i-1} - C_i \cdot 2^{i-1}), \quad (2)$$

$$X_{n-2\max} = X_0 \cdot \sum_{i=1}^{i=n-2} (r_i \cdot 2^{i-1} - C_i \cdot 2^{i-1}), \quad (3)$$

.....

$$X_{1\max} = X_0 \cdot \sum_{i=1}^{i=n-(n-1)} (r_i \cdot 2^{i-1} - C_i \cdot 2^{i-1}), \quad (4)$$

де  $r_i$  — логічна змінна, яка приймає значення «0» при спорожненні  $i$ -ої розрядної порожнини і «1» при її наповненні;  $n$  — кількість розрядів привода;  $C_i$  — приймає значення «1» при спорожненні й «0» при наповненні  $i$ -тої розрядної порожнини.

Аналіз рівностей (1)—(4) показує, що якщо за час руху  $t_{ij}$  вихідного штока величини переміщення поршнів визначаються рівняннями (1)—(4), то це є достатньою умовою для запобігання «викидів» і «провалів» вихідного штока привода в період руху. При цьому середні швидкості руху поршнів пропорційні величинам переміщення розрядних поршнів:

$$\begin{aligned} \dot{X}_1 : \dot{X}_2 : \dots : \dot{X}_i : \dots : \dot{X}_{n-1} : \dot{X}_n = \\ = X_1 : X_2 : \dots : X_i : \dots : X_{n-1} : X_n. \end{aligned}$$

Поточне переміщення  $i$ -го поршня виразимо через переміщення  $n$ -го поршня:

$$X_i = X_n \frac{X_{i\max}}{X_{n\max}}. \quad (5)$$

Продиференціювавши рівняння (5), знаходимо швидкість і прискорення  $i$ -го поршня залежно від швидкості й прискорення  $n$ -го поршня:

$$\dot{X}_i = \dot{X}_n \frac{X_{i\max}}{X_{n\max}}, \quad (6)$$

$$\ddot{X}_i = \ddot{X}_n \frac{X_{i\max}}{X_{n\max}}. \quad (7)$$

З рівнянь (5)—(7) випливає, що по відомим параметрам руху  $n$ -го поршня можна визначити параметри руху  $i$ -го поршня.

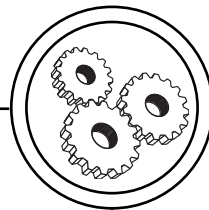
У загальному випадку характер і параметри руху  $n$ -го поршня визначаються рівнянням руху [5].

$$\begin{aligned} m_n \cdot \ddot{X}_n = p_n \cdot F - P_{mn} - \\ - F \cdot C_n \pm P_{in} - P_{tn} \pm P_n, \end{aligned} \quad (8)$$

де  $m_n$  — маса рухомих частин, приєднаних до поршня;  $F$  — площа поршня;  $P_n$  — навантаження на шток;  $P_{in}$  — інерційна сила;  $P_{tn}$  і  $P_{tn}$  — відповідно сили тертя поршня і штока;  $p_n$  — тиск живлення;  $\ddot{X}_n$  — прискорення рухомої маси;  $C_n = p_{ш}(1 - k_n) - k_n \cdot p_a$ ;  $k_n = \frac{F_{ш}}{F}$ ;  $p_a$  — атмосферний тиск;  $p_{ш}$  — тиск у штоковій порожнині;  $F_{ш}$  — площа перерізу штока.

Складемо рівняння для визначення тиску в  $n$ -ій робочій порожнині.

## МАШИНИ І АВТОМАТИЗОВАНІ КОМПЛЕКСИ



У загальному випадку наповнення робочої порожнини характеризується рівнянням енергетичного балансу [5].

$$\begin{aligned} & k \cdot \sqrt{R} \cdot [\sqrt{T_M} \cdot K \cdot f_{\text{енс}} \cdot P_M \cdot \varphi(\sigma_n) - \\ & - \sqrt{T_{\text{вп}}} \cdot K \cdot f_{\text{веп}} \cdot P_{\text{вп}} \cdot \varphi(\sigma_{\text{вп}}) - \sqrt{T_n} \cdot K \times \\ & \times f_{\text{аен}} \cdot p_n \cdot \varphi(\sigma_a) - \frac{\alpha_0 P_n \cdot (k-1)}{K \cdot A \cdot R \cdot R} \times \\ & \times (F'_k + \pi \cdot D \cdot x_n) \cdot (1 - \frac{T_c}{T_n})] \cdot dt = \\ & = V_n \cdot dp_n + k \cdot p_n \cdot dV_n, \end{aligned} \quad (9)$$

де  $f_{\text{енс}}$  — ефективна площа трубопроводу старшого розряду;  $K = \sqrt{\frac{2gk}{k-1}}$  — коефіцієнт;  $g$  — прискорення сили тяжіння;  $R$  — газова стала повітря;  $\sigma_n = \frac{P_n}{P_M}$

— безрозмірний тиск у порожнині наповнювання;  $\sigma_a = \frac{P_a}{P_n}$ ,

$\sigma_{\text{вп}} = \frac{P_{\text{вп}}}{P_n}$  — безрозмірний тиск у порожнині вихлопу через втрати в навколишнє середовище і перетікання у порожнину з меншим тиском відповідно;

$\varphi(\sigma_n) = \sqrt{\sigma_n^{\frac{2}{k}} - \sigma_n^{\frac{k+1}{k}}}$  — функції витрати для порожнини наповнення;  $\varphi(\sigma_a)$ ,  $\varphi(\sigma_{\text{вп}})$  — функції витрати для порожнини вихлопу, аналогічні функції  $\varphi(\sigma_n)$ ;  $\alpha_0$  — коефіцієнт пропорційності;  $\alpha' = \alpha_0 \cdot \gamma$  ( $\alpha'$  — коефіцієнт тепловіддачі);  $F'_k$  — площа тепловіддаючої поверхні кришки циліндра;  $A$  — термічний еквівалент роботи. Збільшення температури повітря в заповнюваній порожнині може бути знайдене з рівняння:

$$\begin{aligned} \frac{dT_n}{T_n} &= \frac{dV_n}{V_n} + \frac{dp_n}{P_n} - \frac{\sqrt{RT_M}}{V_n P_n} \times \\ & \times [f_{\text{енс}} \cdot P_M \cdot K \cdot \frac{T_n}{T_M} \cdot \varphi(\sigma_n) - \\ & - f_{\text{аен}} \cdot K \cdot P_n \cdot \sqrt{\frac{T_n}{T_M}} \cdot \varphi(\sigma_a) - \\ & - f_{\text{веп}} \cdot K \cdot P_n \cdot \sqrt{\frac{T_n}{T_M}} \cdot \varphi(\sigma_{\text{вп}})] dt. \end{aligned} \quad (10)$$

Процес витікання повітря з порожнини вихлопу описується рівнянням:

$$\begin{aligned} & k \cdot \sqrt{RT_M} \cdot K [P_M \cdot f_{\text{реп}} \cdot \varphi(\sigma_{\text{вп}}) - \\ & - P_{\text{ш}} \cdot f_{\text{веп}} \cdot \sqrt{\frac{T_{\text{ш}}}{T_M}} \cdot \varphi(\sigma_a) + P_n \cdot f_{\text{веп}} \times \\ & \times \sqrt{\frac{T_n}{T_M}} \cdot \varphi(\sigma_a) - \frac{\alpha_0 \cdot (k-1) P_{\text{ш}}}{K \cdot A \cdot R \cdot K \cdot \sqrt{RT_M}} \times \\ & \times (F'_{\text{кв}} + \pi \cdot D \cdot (1-x)) \cdot (1 - \frac{T_c}{T_{\text{ш}}})] \cdot dt = \\ & = -k \cdot p_{\text{ш}} \cdot dV_{\text{за}} + V_{\text{вп}} \cdot dp_{\text{вп}}, \end{aligned} \quad (11)$$

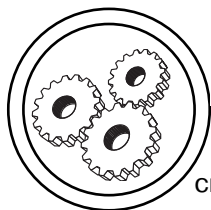
де  $f_{\text{реп}}$  — ефективна площа еквівалентного прохідного перетину, що характеризує перетікання в розподільнику;

$\sigma_{\text{вп}} = \frac{P_{\text{вп}}}{P_M}$  — безрозмірний тиск, що характеризує витрати при перетіканнях.

Процес зміни температури в порожнині вихлопу описується рівнянням:

$$\begin{aligned} \frac{dT_{\text{ш}}}{T_{\text{ш}}} &= \frac{dV_{\text{вп}}}{V_{\text{вп}}} + \frac{dp_{\text{вп}}}{P_{\text{вп}}} - \frac{\sqrt{RT_M}}{V_{\text{вп}} P_{\text{вп}}} \times \\ & \times [f_{\text{реп}} \cdot P_M \cdot K \cdot \frac{T_{\text{ш}}}{T_M} \cdot \varphi(\sigma_{\text{вп}}) - \\ & - f_{\text{веп}} \cdot K \cdot P_{\text{ш}} \cdot \sqrt{\frac{T_{\text{ш}}}{T_M}} \cdot \varphi(\sigma_a) - \\ & - f_{\text{веп}} \cdot K \cdot P_{\text{ш}} \cdot \frac{T_{\text{ш}}}{\sqrt{T_{\text{ш}} \cdot T_M}} \cdot \varphi(\sigma_{\text{вп}})] dt. \end{aligned} \quad (12)$$

Для визначення параметрів, що характеризують рух  $n$ -го поршня необхідно спільно вирішити рівняння (8)—(12). Для



## МАШИНИ І АВТОМАТИЗОВАНІ КОМПЛЕКСИ

спрощення завдання припустимо, що процес зміни стану повітря в порожнинах робочого циліндра відбувається при сталій температурі, рівній температурі навколишнього середовища. Це допущення дуже мало позначається на часі руху поршня, так як тиск у порожнинах циліндра під час руху поршня змінюється в невеликих межах.

Приймаємо також, що  $f_{веп} = 0$ ;  $f_{аеп} = 0$ .

Поточний об'єм  $n$ -ої порожнини і його диференціал визначимо за формулою:

$$V_n = F(x_{он} - x_{n-1}) + F \cdot x_n, \quad (13)$$

$$dV_n = Fdx_n - Fdx_{n-1}, \quad (14)$$

$$V_{вп} = F_B(x_{ов} - x_n), \quad (15)$$

$$dV_{вп} = -F_B \cdot dx_n, \quad (16)$$

де  $x_{он} = \frac{V_{он}}{F}$  — координата,

що характеризує початковий об'єм  $n$ -ої порожнини;  $x_{n-1}$  — переміщення  $n-1$  поршня;  $x_n$  — переміщення  $n$ -го поршня;  $x_{ов}$  — координата, що характеризує початковий об'єм штокової порожнини.

$$x_{ов} = l_{max} + \frac{V_{ов}}{F_B} - X_0 \cdot \sum_{i=1}^n r_i \cdot 2^{i-1}, \quad (17)$$

де  $l_{max} = X_0 \cdot (2^n - 1)$ ,  $\frac{V_{ов}}{F_B}$  —

координата, що характеризує шкідливий об'єм.

З урахуванням прийнятих допущень й, підставивши значення з рівнянь (13)—(17) у рівнян-

ня (9)—(11), отримуємо систему рівнянь, що описують динаміку поршня:

$$\frac{d^2 x_n}{dt^2} = \frac{1}{m_n} (P_n \cdot F - P_{mn} - F \cdot C_n \pm P_{пн} - P_{пш} \pm P_{пш}), \quad (18)$$

$$\frac{dp_n}{dt} = \frac{1}{x_{он} - x_{n-1} + x_n} \cdot \left[ \frac{f_{енс} \cdot K \cdot \sqrt{RT_M} \varphi(\sigma_n)}{F} - p_n \cdot \frac{dx_n - dx_{n-1}}{dt} \right], \quad (19)$$

$$\frac{dp_{пш}}{dt} = \frac{1}{x_{он} - x_n} \left[ p_{пш} \cdot \frac{dx_n}{dt} - \frac{f_{енс} \cdot K \cdot \sqrt{RT_M} \cdot p_{пш} \cdot \varphi(\sigma_a)}{F_{вп}} \right]. \quad (20)$$

Підставимо в рівняння (19)

$$x_{n-1} = X_n \cdot \frac{X_{n-1max}}{X_{nmax}} \text{ і перепише-$$

мо рівняння (18)—(20) у вигляді, зручному для чисельного інтегрування:

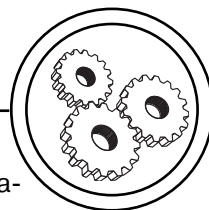
$$\ddot{X}_{nj+1} = \frac{1}{m_n} (p_{nj} \cdot F - P_{mn} - F \cdot C_n \pm P_{пн} - p_{пш} \pm P_{пш}); \quad (21)$$

$$\dot{X}_{nj+1} = \ddot{X}_{nj+1} \cdot \Delta t_1 + \dot{X}_{nj}; \quad (22)$$

$$X_{nj+1} = \frac{\ddot{X}_{nj+1} \cdot \Delta t_j^2}{2}; \quad (23)$$

$$P_{nj} = \frac{1}{x_{он} + X_{nj} (1 - X_{n-1max}/X_{nmax})} \times \left[ \frac{f_{енс} \cdot K \cdot \sqrt{RT_M} \varphi(\sigma_{nj-1})}{F} \times \Delta t_j - p_{nj-1} \cdot X_{nj-1} \left( 1 - \frac{X_{n-1max}}{X_{nmax}} \right) \right]; \quad (24)$$

## МАШИНИ І АВТОМАТИЗОВАНІ КОМПЛЕКСИ



$$P_{nj} = \frac{1}{X_{on} - X_n} (P_{ш} \cdot X_{nj-1} - \frac{f_{веп} \cdot K \cdot \sqrt{RT_M} \cdot P_{ш} \cdot \varphi(\sigma_{nj-1})}{F} \cdot \Delta t_j). \quad (25)$$

Вирішивши методом чисельного інтегрування систему рівнянь (21)—(25), визначаємо параметри руху n-го поршня.

Складемо систему диференціальних рівнянь, що описують динаміку n-1-го поршня, і представимо її у вигляді, зручному для чисельного інтегрування. При цьому враховуємо залежність параметрів руху n-1-го поршня від параметрів руху n-го й n-2-го поршнів по рівнянням (5)—(6).

З урахуванням цих залежностей система рівнянь, що описує динаміку n-1-го поршня, має вигляд:

$$\ddot{X}_{n-1,j-1} = \ddot{X}_{nj-1} \cdot \frac{X_{n-1max}}{X_{nmax}} = \frac{1}{m_{\Sigma n-1}} (P_{n-1,j} \cdot F - P_{nj} \cdot F - P_{\Sigma n-1}); \quad (26)$$

$$P_{n-1,j} = \frac{1}{X_{on-1} + X_{nj} (X_{n-1max} - X_{n-2max} / X_{nmax})} \times \left[ \frac{f_{веп-1,j} \cdot K \cdot \sqrt{RT_M} \cdot \varphi(\sigma_{nj-1,j-1})}{F} \cdot \Delta t_j - P_{n-1,j-1} \cdot X_{n,j-1} \left( \frac{X_{n-1max} - X_{n-2max}}{X_{nmax}} \right) \right]; \quad (27)$$

$$P_{nj} = \frac{1}{X_{on} + X_{nj} (1 - X_{n-1max} / X_{nmax})} \times \left[ \frac{f_{веп} \cdot K \cdot \sqrt{RT_M} \cdot \varphi(\sigma_{nj-1})}{F} \cdot \Delta t_j - P_{nj-1} \cdot X_{nj-1} \left( 1 - \frac{X_{n-1max}}{X_{nmax}} \right) \right]. \quad (28)$$

Підставивши в рівняння (26)  $P_{nj}$ , знайдене з рівняння (28)

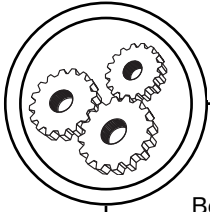
визначимо  $P_{n-1,j}$ . Отримане значення  $P_{n-1,j}$  підставляємо в рівняння (27) і з цього рівняння знаходимо  $f_{он-1,j}$  — миттєве значення ефективної площі підвідного трубопроводу до керуючої порожнини n-1-го поршня.

Аналогічно складаємо систему диференціальних рівнянь, що описують динаміку n-2-го поршня. Вирішуємо цю систему відносно  $f_{он-2,j}$ , знаходимо миттєве значення ефективної площі підвідного трубопроводу до керуючої порожнини n-2-го поршня і т.д.

### Висновки

Таким чином, для того, щоб унеможливити «викиди» й «провали» вихідного штока в період руху, необхідно визначити закон зміни ефективних площ підвідних і відвідних трубопроводів за час руху  $t_{ij}$  і в процесі відпрацювання керуючих сигналів змінювати ефективні площі відповідно до отриманого закону. При цьому трубопроводи повинні бути оснащені регулюючими пристроями, що дозволяють здійснювати задані закони регулювання ефективних площ у часі.

Розглянутий метод дозволяє регулюванням ефективних площ унеможливити виникнення викидів та провалів. При цьому структура привода повинна бути забезпечена керованими від датчика переміщення дроселями, що значно ускладнює систему керування. Крім того, зміна якого-небудь параметра привода веде до зміни закону руху, а отже і законів керування дроселями.



## МАШИНИ І АВТОМАТИЗОВАНІ КОМПЛЕКСИ

1. Новік М. А. Режими позиціонування пневматичних цифрових приводів. Вестник национального технического университета Украины «Киевский политехнический институт». Машиностроение. — К.: НТУУ «КПИ». — 2006. — № 49. — С. 125—130. 2. Лимонов Ю. М. Динамический синтез дискретных пневмоприводов автоматизированных объектов — Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук — Харьков, 1984. — 212 с. 3. Новік М. А. Способи розрахунку ефективних площ магістралей живлення пневматичних цифрових приводів у підготовчий період. Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету імені М. Остроградського. — 2008. — Вип. 2(49). — Частина 2. 4. Новик Н. А. Анализ пневматического ЦП. — В кн.: Технология и автоматизация машиностроения. — Киев: Техника, 1984. — № 34. — С. 72—78. 5. Герц Е. В. Пневматические приводы М.: Машиностроение, 1969. — 359 с.

Рецензент — В. С. Лисенко, к.т.н.,  
доцент, НТУУ «КПИ»

Надійшла до редакції 10.04.09