

УДК 621.05

Г.А. КРУТИКОВ, д-р техн. наук, проф. НТУ «ХП»*М.Г. СТРИЖАК*, асп. НТУ «ХП»

РОЗРОБКА ПНЕВМАТИЧНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ НА ОСНОВІ ЕЛЕКТРОПНЕВМАТИЧНОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА З ПРОПОРЦІЙНИМ ЕЛЕКТРОКЕРУВАННЯМ

Була здійснена заміна дискретної системи керування шліфувально-обдирочної машини на точну аналогову систему керування, що ґрунтується на використанні електропневматичного перетворювача – пневматичного редукційного клапана з пропорційним електрокеруванням. Це дозволило розширити діапазон надійної роботи і тримати струм електромотора в оптимальному режимі.

Ключові слова: пневматичний редукційний клапан з пропорційним електрокеруванням, шліфувально-обдирна машина, пневмопривод, математична модель, безрозмірні параметри

Вступ У цій статті досліджена пневматична система керування шліфувально-обдирної машини (ШОМ) фірми "CentroMaskin" (Швеція) на основі електропневматичного перетворювача з пропорційним електрокеруванням і дискретна система-прототип (рис. 1), реалізована на пневморозподільниках шведської фірми "Mecman".

Мета статті полягає у створенні аналогової пневматичної системи керування ШОМ, яка дасть змогу працювати у широкому діапазоні навантажень і, водночас, підтримувати струм електромотора в оптимальному режимі.

Постановка проблеми

Пневматична система керування рухом шліфувально - обдирної бабки (прототип) складається з пневмоциліндру діаметром 250 мм та комплексу розподільчої, регулюючої та запірної пневмоапаратури (рис. 1), що дозволяє виконувати наступні операції: швидке підймання бабки; – повільне опускання бабки; зависання бабки над заготовкою; робота в режимі зачистки (робочий режим), коли потрібне узгодження зусилля притиску з навантаженням на електродвигуні шліфувального кола.

Всі ці режими здійснюються шляхом дискретного перемикання 3/2 розподільника з діаметром умовного проходу 1" (3а, 3b, 3с, 3d, 3е) за допомогою пілотів керування (2а, 2b, 2с, 2d, 2е). Нижня порожнина циліндру 1, знаходиться під дією постійного підпору, який налаштовується редукційним клапаном 4d.

Одним з основних недоліків описаної системи керування (рис. 1) є надзвичайна складність для налаштування. Окрім налаштування електронних блоків керування, за допомогою якого встановлюються необхідні показники для релейного спрацювання ключів, сама пневматична система налаштовується за допомогою підбору тисків налаштування регуляторів

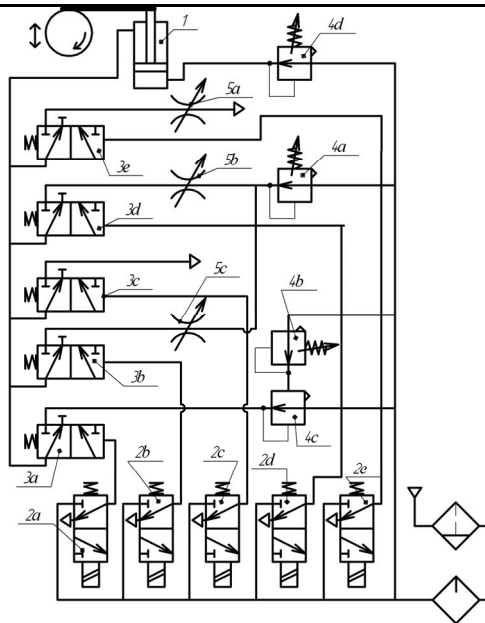


Рис. 1 – Пневматична схема керування пневмоциліндром шліфувальної бабки (прототип)

тиску 4а та 4d, а також налаштувань трьох дроселів 5а, 5b, 5с. Таким чином, тільки пневматична система керування має 5 параметрів налаштування. Крім того, система доволі грубо відпрацьовує процес слідкування зусилля притиску за струмом електродвигуна і має велику інерційність. Ще один недолік системи – достатньо висока чутливість до налаштування цих параметрів. Розбалансування пневматичної системи керування може статися в результаті сильного вібрування машини при зачистці заготовки.

Матеріали досліджень

Аналіз вимог до пневматичної системи керування ШОМ свідчить про те, що задача керування шліфувальною бабкою в усіх заданих режимах може бути вирішена на базі одного аналогового електропневматичного блоку – пневматичного регулятора тиску з пропорційним електрокеруванням.

Такі пневмоапарати входять в номенклатуру відомих фірм – виробників пневмоустаткування ("Norgren", "SMC", "Parker-Hannifin", "Festo", "Moog", "Hoerbiger" та інш.). У вітчизняних виробників пневмоустаткування аналогові електропневматичні перетворювачі з достатньо високими та надійними експлуатаційними показниками були розроблені в Сімферопольському ДСКТБ ПО "Пневматика". Основні характеристики аналогового електропневматичного перетворювача (регулятора тиску) наведені в табл. 1.

Таблиця – Технічні характеристики електропневматичного РК

Параметри	Значення
Номінальний тиск живлення (P_n), МПа	1
Напруга живлення (Упит), В	$24 \pm 20\%$
Діапазон зміни вхідного сигналу ($U_{вх}$), В	$0 \div 10$
Діапазон зміни вихідного сигналу (P_b), МПа	$0,02 \div 1$
Умовний прохід клапана (D_y), мм	6
Споживаємий струм (I), А	1
Основна похибка %, не більше	1,5
Додаткова похибка %/10 ° с	0,1
Зона нечутливості (ϵ), В	0,1

Пневматична система, що ґрунтується на використанні електропневматичного аналогового перетворювача наведена на рис. 3.

Підпір в нижній порожнині налаштовується вручну за допомогою редукційного клапана 2 з пружинним керуванням (тип 112-25 D_y 1"). Тиск у верхній порожнині регулюється за допомогою електропневматичного перетворювача 6, що виконаний у вигляді окремого вузла і складається з трьохлінійного редукційного клапана 4 і функціонального блоку 5. Електропневматичний РК 4 являє собою переливний клапан з плоским затвором, причому, налаштування клапана здійснюється за допомогою зміни струму керування пропорційного електромагніта, що надходить від електронного підсилювача 5.

При збільшенні вхідної напруги U_{Σ} тиск на виході електропневматичного перетворювача 6 буде збільшуватись пропорційно напрузі. Клапан швидкого вихлопу 3 перекриває зв'язок лінії живлення верхньої порожнини циліндру з атмосферою й відкриває зв'язок з виходом РК 6. При швидкому зменшенні напруги керування U_{Σ} тиск на виході РК 6 падає і клапан швидкого вихлопу з'єднує верхню порожнину циліндру з атмосферою, забезпечуючи швидке падіння тиску p_2 в верхній порожнині циліндра.

З усіх налаштувань пневматичної системи керування залишається тільки одне – налаштування тиску підпору p_1 за допомогою редукційного клапана 2. Всі режими роботи системи реалізуються тільки одним вузлом – електропневматичним перетворювачем й задаються блоком електронного регулятора, розташованим на відстані від машини в помешканні електронних систем керування, де підтримуються оптимальні умови роботи для електроніки.

Блок – схема системи автоматичного регулювання зусилля притиску шліфувального кола в режимі зачистки наведена на рис. 2 (k_{pd} – коефіцієнт передачі регулятора тиску з електрокеруванням; $k_{пц}$ – коефіцієнт передачі по

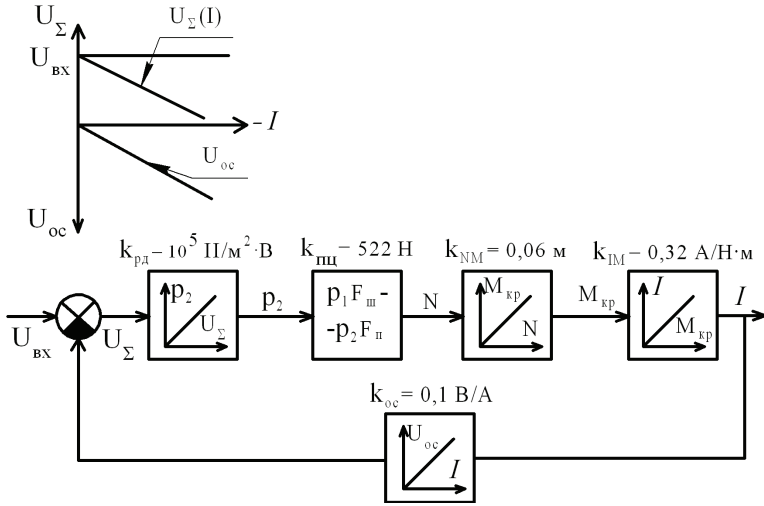


Рис. 2 – Блок-схема замкненої системи безперервного керування в режимі зачистки

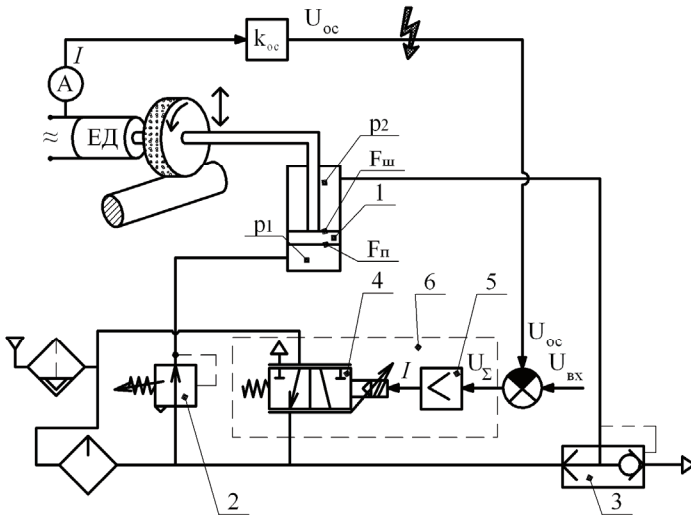


Рис. 3 – Пневматична система керування циліндром шліфувальної бабки з використанням аналогового електропневматичного перетворювача

підсиленню пневмоциліндра; $R_{кр}$ – радіус шліфувального кола; $k_{эД}$ – коефіцієнт передачі по навантаженню електромотора; $k_{оc}$ – коефіцієнт

підсилення зворотнього зв'язку). Система регулювання буде точно відстежувати навантаження на шліфувальному колі по струму електромотора і пропорційно цьому змінювати зусилля притиску кола до заготовки. За допомогою налаштування k_{oc} можна підібрати оптимальну чутливість системи при стійкій, надійній роботі. Причому, як демонструють розрахунки, діапазон надійної роботи системи можна значно розширити (від мінімального навантаження на електромоторі в 5 А до максимального в 200 А). Навіть за найменшого навантаження в 5 А шліфувальне коло завжди буде притиснуте до заготовки, чого не вдавалося досягти в прототипі.

Таким чином, переваги запропонованої системи керування шліфувальною бабкою над існуючою полягають в наступному:

- відмова від використання коштовної імпоротної пневмоапаратури;
- суттєве спрощення процедури налаштування пневматичної частини системи (1 параметр, замість 5 у попередній);
- значне скорочення кількості пневмоапаратів і їх габаритів;
- підвищення надійності за рахунок винесення всіх регулювань в електронний блок і перенесення його з цеху в спеціальне приміщення;
- значне покращення експлуатаційних показників машини за рахунок переходу від грубої релейної системи, що працює тільки по двом точкам характеристики навантаження мотора, до точної швидкодіючої аналогової системи, що дозволяє тримати струм електромотора в оптимальному режимі;
- розширення діапазону надійної роботи аж до найменших навантажень, які практично не вдавалося відпрацювати на старій системі.

Конструктивна схема електропневматичного перетворювача – РК з пропорційним електрокеруванням наведена на рис. 4. Вхідним сигналом є напруга U_{BX} з діапазоном зміни від 0 до 10 В. Електронний підсилювач 18 підсилює сигнал неузгодження $U_{\Sigma} = U_{BX} - U_{oc}$, отриманий на суматорі 17 і претворює його в струм I , що надходить на пропорційний електромагніт 1. Зусилля, що розвиває електромагніт 1, урівноважується тиском p_y , що діє на заслонку 8, яка закріплена на осерді електромагніту. Через те, що сила, яку розвиває електромагніт 1, пропорційна струму I , що проходить через катушку, то тиск у верхній надмембранній порожнині також стає пропорційним струму I , адже:

$$p_y = \frac{4F_{zm}}{\pi \cdot d^2} = \frac{4k_{FI}}{\pi \cdot d^2} I, \quad (1)$$

де k_{FI} - коефіцієнт тяги електромагніта; d - діаметр сопла 6.

Діаметр сопла 6 дорівнює 2,5 ÷ 2,7 мм, діаметр жиклера живлення 7

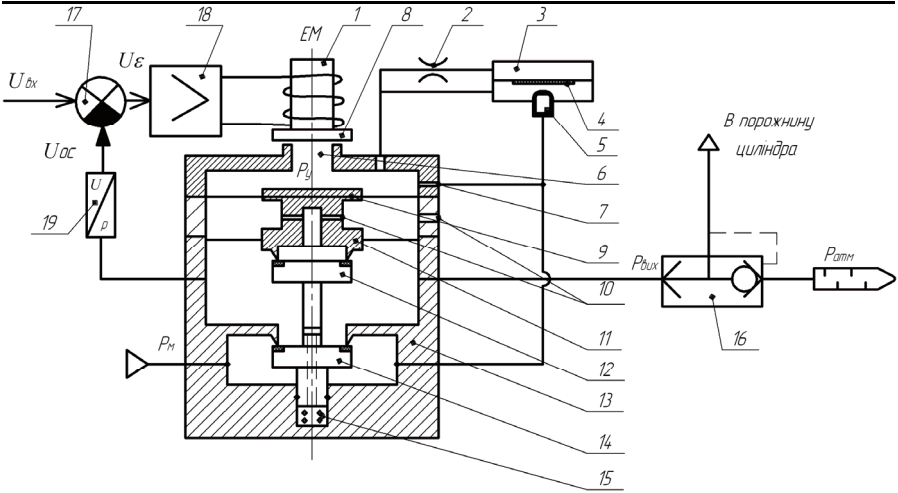


Рис. 4 – Конструктивна схема електропневматичного перетворювача

дорівнює $0,3 \div 0,5$ мм. Таке співвідношення діаметрів дозволяє звузити робочий діапазон переміщень заслонки й практично виключити нелінійність тягової характеристики електромагнита, пов'язану з переміщенням серцевини. Крім того, це дозволяє опустити нижню межу робочих тисків редукційного клапана з пропорційним електрокеруванням.

При збільшенні тиску p_y , мембранно-клапанний блок 11 зміщується донизу, відкриваючи нижній клапан 14, в результаті чого тиск на виході p також збільшується. При зменшенні тиску p_y нижній клапан 14 сідає в сідлище, а верхній клапан 12 відкривається, поєднуючи вихід РК з атмосферою через отвір 10. В результаті цього тиск p також знижується.

Результати досліджень

При побудові математичної моделі пневматичної системи керування шліфувально-обдирною машиною у безрозмірній формі за основу було взято роботи О.В. Герц, Г.В. Крейнїна, М.А. Мамонтова, Б.М. Подчуфарова [2, 5, 6, 7, 8, 9, 11].

Значення для базових змінних отримуємо за методикою нормування математичних рівнянь Вишнеградського-Воронова-Мамонтова:

$$P_{16} = P_{26} = P_{10}; T_{16} = T_{26} = T_m; x_6 = z_n; t_6 = \frac{F \cdot z_6}{f_3 \cdot \sqrt{k \cdot R \cdot T_m}} = \frac{F \cdot z_6}{f_3 \cdot a_0} \quad (2)$$

За базовий тиск прийнятий незбурений тиск налаштування (p_{10}); за базову температуру – температура оточуючого середовища (T_m); за базову одиницю довжини прийнята висота надмембранної камери при повністю

закритому клапані (z_n). За базову одиницю часу (t_0) – час заповнення об'єму підмембранної камери (W_0) нестискаємим середовищем, яке рухається зі швидкістю звуку ($a_0 = \sqrt{kRT_m}$) через отвір, рівний ефективній площі дроселюючої щілини повністю відкритого клапана ($\mu_k \pi d_k z_k$).

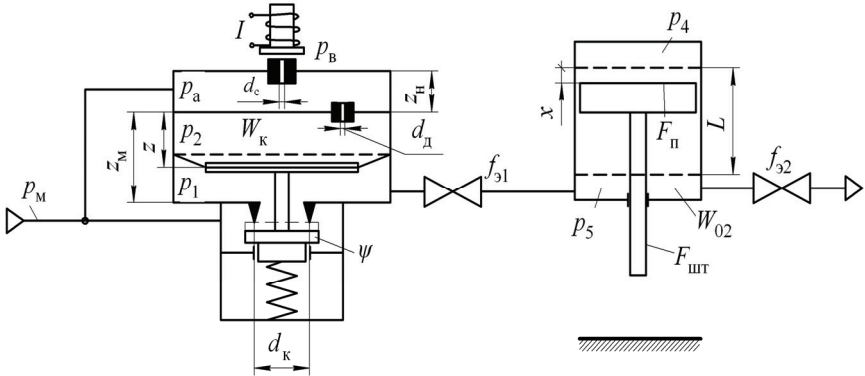


Рис. 5 – Розрахункова схема пневматичного привода з РК

Розрахункова схема пневмопривода шліфувально-обдирної машини, де встановлений РК з електрокеруванням, наведена на рис. 5. Математична модель у безрозмірному вигляді являє собою систему наступних нелінійних диференціальних рівнянь [4]:

1.
$$\frac{d\sigma_1}{d\tau} = \frac{k}{\rho_1} \left[(1-\gamma_1)\sigma_m \varphi(\sigma_m, \sigma_1) - \sigma_1 \eta_1 q_1 \varphi(\sigma_1, \sigma_s) + \eta_2 \sqrt{\theta_1} \sigma_1 \frac{d\gamma_1}{d\tau} \right];$$
2.
$$\frac{d\theta_1}{d\tau} = \frac{\theta_1}{\sigma_1} \frac{d\sigma_1}{d\tau} - \frac{\theta_1^2}{\sigma_1 \rho_1} \left[\sigma_1 (1-\gamma_1) \varphi(\sigma_m, \sigma_1) - \sigma_1 \eta_1 q_2 \varphi(\sigma_1, \sigma_m) - \eta_2 \frac{\sigma_1}{\sqrt{\theta_1}} \varphi(\sigma_1, \sigma_s) \right];$$
3.
$$\frac{d\sigma_2}{d\tau} = \frac{k}{\gamma_1} \left[\text{sign}(\sigma_a - \sigma_m) \sigma_m - \text{sign}(\sigma_a - \sigma_2) \eta_1 q_2 \varphi(\sigma_a, \sigma_2) - \sigma_2 \frac{d\gamma_1}{d\tau} \right];$$
4.
$$\frac{d\sigma_a}{d\tau} = \frac{k}{\delta + 1 - \gamma_1} \left[\sigma_m \varphi(\sigma_m, \sigma_a) - \sigma_a \sqrt{\theta_a} \eta_3 \varphi(\sigma_a, \sigma_s) - \text{sign}(\sigma_a - \sigma_s) \sigma_a \eta_2 q_1 \varphi(\sigma_a, \sigma_s) \right];$$
5.
$$\frac{d\gamma_1}{d\tau} = S_1;$$

$$6. \frac{dS_1}{d\tau} = \frac{1}{\beta} \left[\Pi_p (\sigma_m - \sigma_1) + \sigma_2 - \sigma_a + \chi_p \right] - 2\xi\omega S_1 + \omega^2 (1 - \gamma_1);$$

$$7. \frac{d\sigma_4}{d\tau} = \frac{k}{1 + \gamma_{20} - \gamma_2} \left[\sigma_4 \frac{d\gamma_2}{d\tau} - \frac{\sigma_5^{1,14}}{\Pi} \Omega \varphi(\sigma_4, \sigma_5) \right];$$

$$8. \frac{d\sigma_5}{d\tau} = \frac{k}{\gamma_{10} + \gamma_2} \left[\sqrt{\theta_1} \sigma_1 \varphi(\sigma_1, \sigma_5) - \sigma_5 \frac{d\gamma_2}{d\tau} \right];$$

$$9. \frac{d\gamma_2}{d\tau} = S_2;$$

$$10. \frac{dS_2}{d\tau} = \frac{1}{\beta} [\sigma_4 - \Pi \sigma_5 + \chi].$$

$$\text{де } \Pi = F_{\text{шт}} / F_n; \eta_1 = \frac{f_k^3}{\mu_k \pi d_k z_k}; \eta_2 = \frac{\mu_d f_d^3}{\mu_k \pi d_k z_k}; \eta_3 = \frac{\mu f^3}{\mu_k \pi d_k z_k}.$$

Ця система рівнянь записана при наступних припущеннях:

1. зовнішні і внутрішні витоки у пневмоциліндрі нехтовно малі [3, 12];
2. відсутній теплообмін з оточуючим середовищем [4];
3. процеси у порожнинах пневмоциліндра квазістаціонарні [1];
4. відсутні хвильові процеси у магістралях [3, 10];
5. процеси дроселювання вважаються адіабатичними, а втрати на тертя враховуються за допомогою коефіцієнта витрати [3, 1, 4];
6. застосовні закони ідеального газу;
7. сила тертя у рухомих частинах виконавчого механізму – величина постійна;
8. силою в'язкого тертя нехтуємо.

Рівняння (1 – 6) описують зміну безрозмірного тиску $\dot{\sigma}_7$ у проточній порожнині на виході РК, безрозмірної температури $\dot{\theta}_7$ у тій самій порожнині, безрозмірного тиску $\dot{\sigma}_8$ у підмембранній камері і $\dot{\sigma}_6$ надмембранній камері, безрозмірної висоти $\dot{\gamma}$ підмембранної камери, а також безрозмірної швидкості \dot{S}_1 клапанно-мембранного блока.

Рівняння (7 – 10) описують у безрозмірній формі роботу двостороннього пневмопривода.

У рівняннях (1 – 10) $\varphi(A, B)$ – витратна функція ($A = \sigma_1, \sigma_2, \dots, B = \sigma_2, \sigma_3, \dots$):

$$\varphi(A, B) = \sqrt{\frac{2 \left[(B/A)^{1,43} - (B/A)^{1,73} \right]}{k-1}}, \text{ якщо } A \geq B \text{ і } \frac{B}{A} \geq 0,528;$$

$$\varphi(A, B) = \sqrt{\frac{2 \left[(A/B)^{1,43} - (A/B)^{1,73} \right]}{k-1}}, \text{ якщо } A < B \text{ і } \frac{A}{B} \geq 0,528;$$

$$\varphi(A, B) = 0,258, \text{ якщо } \frac{B}{A} \text{ і } \frac{A}{B} < 0,528.$$

Введення витратної функції $\varphi(A, B)$ без розкриття її змісту у рівняннях дозволяє автоматизувати процес переходу від одного режиму течії газу (докритичного або надкритичного) до іншого з урахуванням можливої зміни знака витрати на усіх дроселюючих елементах.

Введення додаткових функцій q_1 , q'_1 і q_2 поряд з функціями Кронекера від різниці тисків $(\sigma_a - \sigma_2)$ і $(\sigma_a - \sigma_6)$ дозволяє моделювати суттєво нелінійну характеристику глухих камер РК з квадратичними дроселями:

$$q_1 = \sigma_1 \sqrt{\theta_1}, \text{ якщо } \sigma_1 \geq \sigma_2; q_1 = (\sigma_2^2 \sigma_{2m}^{-1})^{\frac{k-1}{2k}} \sqrt{\theta_{2m}}, \text{ якщо } \sigma_1 < \sigma_2;$$

$$q'_1 = \sigma_6 \sqrt{\theta_6}, \text{ якщо } \sigma_a < \sigma_6 \ (\theta_6 = 1); q'_1 = (\sigma_a^2 \sigma_{6m}^{-1})^{\frac{k-1}{2k}} \sqrt{\theta_{6m}}, \text{ якщо } \sigma_a < \sigma_6;$$

$$q_2 = \sigma_1 \sqrt{\theta_1}, \text{ якщо } \sigma_1 \geq \sigma_2; q_2 = (\sigma_2)^{\frac{k-1}{2k}} \sigma_{2m} (\theta_{2m})^{-0,5}, \text{ якщо } \sigma_1 < \sigma_2,$$

де σ_{2m} , σ_{6m} , θ_{2m} і θ_{6m} – безрозмірний тиск і температура відповідно у нижній і верхній надмембранних камерах у момент зміни знаку витрати через дросель.

При витіканні повітря з надмембранної і підмембранної камер прийнятий адіабатичний закон.

Після нормування в якості незалежних залишаються параметри χ , Ω , β , Π . Основними критеріями динамічної подоби є перші три параметра: $\chi = P / p_{16} \cdot F$ – відносне статичне навантаження; $\Omega = f_2^3 / f_1^3$ – відносна ефективна площа вихлопного тракта; $\beta = \frac{m \cdot x_6}{t_6^2 \cdot F \cdot p_{16}}$ – критерій інерційності

(безрозмірна маса), що чисельно дорівнює відношенню сили інерції при базовому прискоренні (x_6 / t_6^2) до максимальної сили, яку розвиває поршень.

Дослідження впливу РК на швидкодію притискного пневмопривода при умові неусталеного руху поршня можливе лише на основі чисельних рішень системи рівнянь (1 - 10) або на основі експериментальних досліджень.

При розрахунках задавалися параметри привода, притаманні для шліфувально-обдирної машини: діаметр поршня 0,16 м², довжина ходу 0,4 м.

На рис. 6 – 7 наведені результати числових рішень системи рівнянь (1 - 10) для привода, де встановлений РК з пропорційним електрокеруванням, дослідний зразок якого був виготовлений ДСКТБ "Пневматика"

(Симферополь). Числові рішення отримані методом Рунге-Куты 4-го ступеня точності.

Основні конструктивні параметри привода і РК (рис. 6 – 7) наступні:
 $F_{\Pi} = 0,02 \text{ м}^2$; $L = 0,4 \text{ м}$; $F_{\text{ш}} = 0,0187 \text{ м}^2$; $f_{31} = 0,39 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$;
 $f_{32} = 0,47 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$; $N_{\text{в}} = 450 \text{ Н}$; $N_{\text{м}} = 230 \text{ Н}$; $p_1 = 0,6 \text{ МПа}$; $p_2 = 0,3 \text{ МПа}$;
 $W_{01} = 0,27 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$; $W_{02} = 0,31 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$; $F = 0,18 \cdot 10^{-2} \text{ м}^2$; $N_0 = 10 \text{ Н}$;
 $f = 50 \text{ Н/м·сек}$; $z_{\text{м}} = 0,4 \cdot 10^{-2} \text{ м}$; $W_{\text{к}} = 0,1 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3$; $z_{\text{н}} = 0,24 \cdot 10^{-2} \text{ м}$;
 $d_{\text{о}} = 0,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}$; $d_{\text{с}} = 2,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}$; $k_{\text{рд}} = 10^5 \text{ Н/м}^2 \cdot \text{В}$; $k_{\text{пц}} = 522 \text{ Н}$; $k_{\text{NM}} = 0,06 \text{ м}$;
 $k_{\text{IM}} = 0,32 \text{ А/Н} \cdot \text{м}$; $k_{\text{ос}} = 0,1 \text{ В/А}$. Безрозмірні параметри привода дорівнюють: $\beta = 2,5$; $\Omega = 1$; $\chi \cong 0$.

З рис. 7 видно, що РК стійкий, перехідний процес має чотири зони, що відповідають чотирьом режимам роботи шліфувально-обдирної машини: зону пришвидшеного підводу шліфувальної бабки (холостий хід), коли струм електромотору залишається незмінним, швидкість поршня збільшується, а тиск у поршневій і штоковій порожнинах дуже швидко (час перехідного процесу становить близько 0,2 с) досягає заданого значення (0,3 Мпа).

Далі відбувається гальмування і зависання шліфувальної бабки, при цьому швидкість падає практично до нуля і утримується на цьому рівні (наявні незначні коливання швидкості відносно нульової позначки, викликані інерційністю системи). Тиск p_1 і p_2 і струм залишаються у цих режимах незмінними.

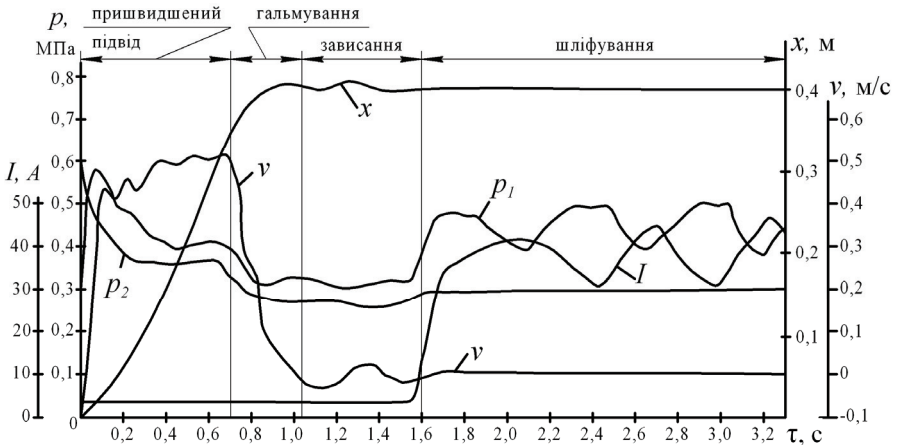


Рис. 6 – Результати чисельного вирішення системи рівнянь для привода з дискретним регулюванням

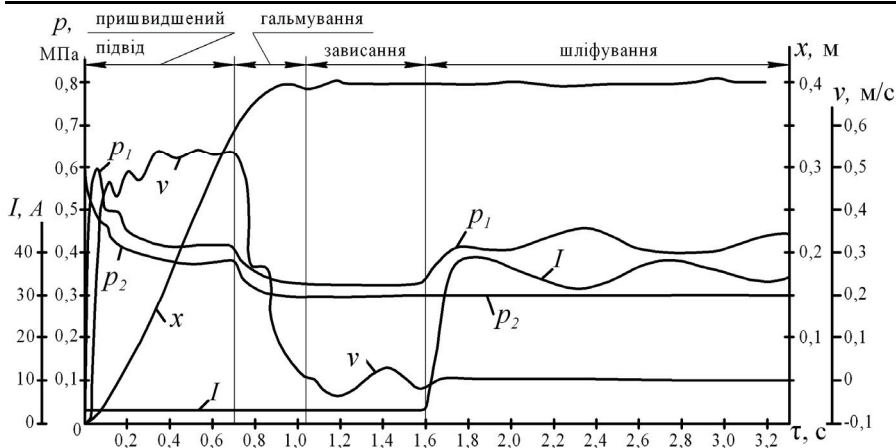


Рис. 7 – Результати чисельного вирішення системи рівнянь для привода з РК з пропорційним електрокеруванням

Наступний етап – шліфування, при цьому різко зростає струм електромотора, тиск підпору p_2 залишається незмінним, а тиск p_1 відслідковує зміни струму: збільшується зі зменшення струму і навпаки, тим самим забезпечуючи постійний притиск шліфувального кола до заготівки, при цьому струм електромотора завжди утримується в оптимальному режимі.

З перехідного процесу на рис. 7 видно, що система керування шліфувально-обдирною машиною, що ґрунтується на використанні електропневматичного РК з пропорційним електрокеруванням, забезпечує стійку і надійну роботу шліфувальної бабки.

В режимах підводу, гальмування і зависання перехідні процеси для дискретної системи керування (рис. 6) і аналогової системи (рис. 7) майже не мають відмінностей, але в режимі шліфування амплітуда коливань струму електромотора у дискретної системи досягає 13 А, а у аналогової системи – близько 5 А. Така амплітуда коливань струму призводить до того, що система керування грубо відпрацьовує процес слідкування зусилля притиску за струмом електродвигуна, не реагуючи на невеликі зміни струму. Велика амплітуда коливань свідчить про значну інерційність системи (за рахунок великої кількості пневморозподільників), що також є значним недоліком.

Висновки Використання у пневмоагрегатах шліфувально-обдирних машин РК з пропорційним електрокеруванням, у яких стабілізація динамічних характеристик пов'язана зі змінною жорсткістю пневмопругин, утворених надмембранною і підмембранною камерами, дозволяє створити систему стабілізації тиску, що має мінімальну жорсткість при відпрацюванні вимушених рухів. Механізм дії пневмопругин таких РК такий, що клапан з правильно підібраними конструктивними параметрами має значну

жорсткість при здійсненні власних високочастотних рухів, що сприяє швидкому затуханню цих рухів. При відпрацюванні низькочастотних збурень з боку виконавчого механізму цей РК має практично нульову жорсткість, що зумовлює його високу пропускну спроможність.

Отже, можна зробити висновок про значний позитивний вплив на процес керування шліфувально-обдирною машиною при використанні електропневматичного РК з пропорційним електрокеруванням з оптимально підібраними конструктивними розмірами і параметрами налаштування.

Список літератури: 1. Герц Е. В. Динамика пневматических приводов машин-автоматов / Е. В. Герц, Г. В. Крейнин. – М.: Машиностроение, 1964. – 234 с. 2. Герц Е. В. Расчет пневмоприводов. Справочное пособие. / Е. В. Герц, Г. В. Крейнин. – М.: Машиностроение, 1975. – 272 с. 3. Герц Е. В. Пневматические приводы. Теория и расчет / Е. В. Герц. – М.: Машиностроение, 1969. – 359 с. 4. Герц Е. В. Расчет пневмоприводов. Справочное пособие. / Е. В. Герц, Г. В. Крейнин. – М.: Машиностроение, 1975. – 272 с. 5. Гидравлические и пневматические приводы промышленных роботов и автоматических манипуляторов / Г.В. Крейнин, И.Л. Кривц, Е.Я. Винницкий, В.И. Ивлев; Под ред. Г.В. Крейнина. – М.: Машиностроение, 1993. – 304 с. 6. Мамонтов М. А. Вопросы термодинамики тела переменной массы / М. А. Мамонтов. М.: Оборонгиз, 1961. 183 с. 7. Мамонтов М. А. Метод аналогичности в анализе и синтезе пневматических двигателей / М. А. Мамонтов. – М.: Машиностроение, 1989. – С. 6. 8. Мамонтов М. А. Некоторые случаи течения газа / М. А. Мамонтов. – М.: Оборонгиз, 1951. – 490 с. 9. Пневматические устройства и системы в машиностроении: Справочник / Е.В. Герц, А.И. Кудрявцев, О.В. Ложкин и др. / Под общ. ред. Е. В. Герц. – М.: Машиностроение, 1981. – 408 с. 10. Погорелов В. И. Газодинамические расчёты пневматических приводов / В. И. Погорелов – Л.: Машиностроение, 1971. – 303 с. 11. Подчуфаров Б. М. Об энергетических возможностях пневматических приводов систем автоматики / Б. М. Подчуфаров. – М.: Машиностроение, 1974. – 146 с. 12. Полякова М. Л. Исследование динамики пневматического устройства с сообщающимися полостями / М. А. Полякова // В кн.: Теория машин-автоматов и пневмопривода. – М.: Машиностроение, 1970. – С. 213-219.

Надійшла в редколегію 04.09.2012

УДК 621.05

Розробка пневматичної системи керування на основі електропневматичного перетворювача з пропорційним електрокеруванням / Г.А. Крутіков, М.Г. Стрижак // Вісник НТУ «ХП». Серія: Технології в машинобудуванні. – Х. : НТУ «ХП», 2012. – № 53(959). – С.54-65. – Бібліогр.: 12 назв.

Была осуществлена замена дискретной системы управления шлифовально-обдирочной машины точную аналоговую систему управления, основанную на использовании электропневматического преобразователя – пневматического редукционного клапана с пропорциональным электроуправлением. Это позволило расширить диапазон надежной работы и держать ток электродвигателя в оптимальном режиме.

Ключевые слова: пневматический редукционный клапан с пропорциональным электроуправлением, шлифовально-обдирочная машина, пневмопривод, математическая модель, безразмерные параметры

Replacement was made discrete control system grinding and deburring machines precise analog control system based on the use of electro-pneumatic converter - pneumatic pressure reducing valve with proportional electric control. It is possible to expand the range of safe operation and to keep current motor optimally.

Keywords: pneumatic pressure reducing valve with proportional electric control, grinding and deburring machine, pneumatic actuator, the mathematical model, nondimensional parameters