

УДК 681.518.3

О.Ф. ЄНІКЄВ, Ф.М. ЄВСЮКОВА, О.Ю. ПРИХОДЬКО

АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ АПАРАТНИХ ЗАСОБІВ ПРОГРАМНОГО ЗАДАВАННЯ ШВИДКОСТІ ОБЕРТАННЯ ШЛІФУВАЛЬНОГО КРУГ

Проведене математичне моделювання блоків, які складають апаратні засоби програмного задавання швидкості обертання шліфувального круга, а також встановлено їхнє запізнення. У результаті перетворень структурної схеми апаратних засобів отримано передатну функцію. На основі мінімізації квадратичного критерію якості розроблено пристрій обробки сигналу швидкості. Складено схему комп'ютерного моделювання процесу перетворення вхідної інформації. Встановлено ефективність апаратних засобів, які розроблені.

Ключові слова: апаратні засоби, запізнення, комп'ютерне моделювання.

Проведено математическое моделирование устройств, которые образуют аппаратные средства программного задания скорости вращения шлифовального круга, и установлено их запаздывание. В результате преобразований структурной схемы аппаратных средств получена передаточная функция. На основе минимизации квадратичного критерия качества разработано устройство обработки сигнала скорости. Составлена схема компьютерного моделирования процесса преобразования аппаратными средствами входной информации. Установлена эффективность разработанных аппаратных средств.

Ключевые слова: аппаратные средства, запаздывание, компьютерное моделирование.

The mathematical design of devices that form vehicle facilities of programmatic task of speed of rotation of diamond-impregnated is conducted, and their delay is set. As a result of transformations of flow diagram of vehicle facilities a transmission function is got. On the basis of minimization of quadratic criterion of quality the device of the signal of speed processing is worked out. Diagrammatized computer design of process of transformation by vehicle facilities of entrance information. Efficiency of the worked out vehicle facilities is set.

Keywords: vehicle facilities, delay, computer design.

Вступ. Програмне керування інформаційно-вимірною системою (ІВС) рухами апаратних засобів верстату при виконанні процесу алмазного шліфування (АШ) скорочує час обробки деталі та забезпечує задану шорсткість поверхні [1]. Швидкість обертання шліфувального круга (ШК) є одним із технологічних параметрів процесу АШ, який суттєвим чином впливає на якість поверхні деталі. Сучасне машинобудівне виробництво характеризується підвищеним рівнем завад різноманітної фізичної природи, який визначає точність задавання апаратними засобами швидкість обертання ШК. Обмежена швидкодія перетворення вхідної інформації є також суттєвим недоліком відомих апаратних засобів.

Постановка проблеми. Створення апаратних засобів задавання швидкості обертання ШК, які мають потрібну завадостійкість та точність забезпечення вихідного сигналу. Це можливе шляхом побудови математичних моделей компонент апаратних засобів з урахуванням факторів невизначеності, які обумовлено дією завад та похибками вимірювань вхідних сигналів. Синтез пристрою обробки сигналу швидкості обертання ШК на основі еталонної математичної моделі апаратних засобів, а також складання схеми комп'ютерного моделювання процесу перетворення інформації. Встановлення ефективності розроблених

апаратних засобів у результаті аналізу вихідного сигналу процесу перетворення інформації.

Моделювання апаратних засобів. Виконаємо розробку математичних моделей компонент та аналіз структурної схеми (рис. 1) виконуючого механізму (ВМ) з метою отримання виразу для передатної функції.

Динамічні особливості широтно-імпульсного перетворювача (ШПІ) дозволяють подати його у вигляді аперіодичного ланцюга із запізненням [2]. Передатна функція такого ланцюга має вигляд

$$W_{\phi\tau}(p) = \frac{K_{\phi\tau} e^{-\tau_{\phi\tau} p}}{T_{\phi\tau} p + 1}, \quad (1)$$

де $K_{\phi\tau}$ – коефіцієнт підсилення, $T_{\phi\tau}$ – постійна часу, $\tau_{\phi\tau}$ – запізнення.

Динамічні особливості тиристорного випрямляча (ТВ) із імпульсно-фазовим керуванням дозволяють подати його аперіодичного ланцюга із запізненням [2]. Передатна функція такого ланцюга має вигляд

$$W_{\delta\alpha}(p) = \frac{K_{\delta\alpha} e^{-\tau_{\delta\alpha} p}}{T_{\delta\alpha} p + 1}, \quad (2)$$

де $K_{m\phi}$ – статичний коефіцієнт підсилення блоку ТВ, $\tau_{\delta\alpha}$ – запізнення, $T_{m\phi}$ – постійна часу фільтру нижніх частот, який встановлено для підвищення завадостійкості.

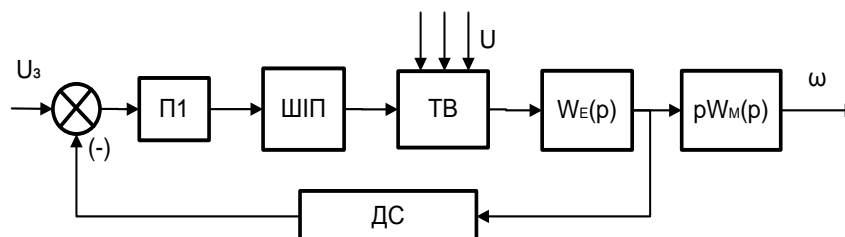


Рис. 1 – Структурна схема ВМ

© О.Ф. Єнікєв, Ф.М. Євсюкова, О.Ю. Приходько, 2016

Статичний коефіцієнт підсилення блоку ТВ визначимо за допомогою такого виразу [2]

$$K_{\delta\alpha} = \frac{\sqrt{2m}}{\pi} \sin \frac{\pi}{m} \cos \Theta, \quad (3)$$

де m – кількість фаз живлячої мережі, Θ – кут керування.

Блок підсилення сигналів (П1) у динамічному відношенні подаємо пропорційним ланцюгом із коефіцієнтом підсилення k_y . Задавач струму побудовано за принципом МДМ-підсилювача, який має передатну функцію аперіодичного ланцюга першого порядку зі частотою $\Omega_{\delta c}$ та коефіцієнтом підсилення $K_{\delta c}$ [2]

$$W_{\text{ан}}(p) = \frac{K_{\text{ан}}}{T_{\text{ан}}p + 1}, \quad (4)$$

де $K_{\text{ан}} = (K_{\delta\alpha} K_{\phi\gamma} k_A k_o)^{-1}$ – обчислюємо з умови нормування коефіцієнтів підсилення ланцюгів.

На основі виразів (1), (2), (3) та (4) після перетворень отримано передатну функцію замкненого контуру аналогової системи у такому вигляді

$$W_1(p) = \frac{k_o k_A K_{\phi\gamma} K_{\delta\alpha} (T_{\text{ан}}p + 1)}{e^{\tau_{\phi\gamma} p} e^{\tau_{\delta\alpha} p} (T_{\phi\gamma} p + 1)(T_{\delta\alpha} p + 1)(T_{\text{ан}}p + 1)(T_A p + 1) + 1}. \quad (5)$$

З урахуванням $W_A(p) = \frac{K_A}{T_A p + 1}$ та $W_I(p) = \frac{K_I}{T_I p + 1}$

передатна функція аналогової системи набуває такого вигляду

$$W_2(p) = \frac{k_o k_A K_{\phi\gamma} K_{\delta\alpha} (T_{\text{ан}}p + 1) k_I p}{\left[e^{\tau_{\phi\gamma} p} e^{\tau_{\delta\alpha} p} (T_{\phi\gamma} p + 1)(T_{\delta\alpha} p + 1)(T_{\text{ан}}p + 1)(T_A p + 1) + 1 \right] (T_I p + 1)}. \quad (6)$$

Виконаємо таку заміну експоненціальних функцій $e^{\tau p} \approx (1 + \tau p)$. Після перетворень отримали вираз для передатної функції у вигляді відношення ступеневих поліномів

$$W_3(p) = \frac{(b_1^* p + b_0^*) p}{a_7 p^7 + a_6 p^6 + a_5 p^5 + a_4 p^4 + a_3 p^3 + a_2 p^2 + a_1 p + a_0}, \quad (7)$$

де $b_1^* = k_o k_A K_{\phi\gamma} K_{\delta\alpha} T_{\text{ан}} k_I$, $b_0^* = k_o k_A K_{\phi\gamma} K_{\delta\alpha} k_I$,

$$a_7 = \tau_{\delta\alpha} \tau_{\phi\gamma} T_{\phi\gamma} T_{\delta\alpha} T_{\text{ан}} T_A T_I,$$

$$a_6 = \tau_{\delta\alpha} \tau_{\phi\gamma} T_{\phi\gamma} T_{\delta\alpha} T_{\text{ан}} T_A + T_I \left[\tau_{\delta\alpha} \tau_{\phi\gamma} T_{\phi\gamma} (T_{\delta\alpha} T_{\text{ан}} + T_{\delta\alpha} T_A + T_A T_{\text{ан}}) + T_{\delta\alpha} T_{\text{ан}} T_A (\tau_{\delta\alpha} \tau_{\phi\gamma} + \tau_{\delta\alpha} T_{\phi\gamma} + \tau_{\phi\gamma} T_{\delta\alpha}) \right],$$

$$a_5 = \tau_{\delta\alpha} \tau_{\phi\gamma} T_{\phi\gamma} (T_{\delta\alpha} T_{\text{ан}} + T_{\delta\alpha} T_A + T_A T_{\text{ан}}) + T_{\delta\alpha} T_{\text{ан}} T_A (\tau_{\delta\alpha} \tau_{\phi\gamma} + \tau_{\delta\alpha} T_{\phi\gamma} + \tau_{\phi\gamma} T_{\delta\alpha}) + T_I \left[\tau_{\delta\alpha} \tau_{\phi\gamma} T_{\phi\gamma} (T_{\delta\alpha} + T_{\text{ан}} + T_A) + T_{\delta\alpha} T_{\text{ан}} T_A (\tau_{\delta\alpha} + \tau_{\phi\gamma} + T_{\phi\gamma}) + (\tau_{\delta\alpha} \tau_{\phi\gamma} + \tau_{\delta\alpha} T_{\phi\gamma} + \tau_{\phi\gamma} T_{\delta\alpha}) (T_{\delta\alpha} T_{\text{ан}} + T_{\delta\alpha} T_A + T_A T_{\text{ан}}) \right],$$

$$a_4 = \tau_{\delta\alpha} \tau_{\phi\gamma} T_{\phi\gamma} (T_{\delta\alpha} + T_{\text{ан}} + T_A) + T_{\delta\alpha} T_{\text{ан}} T_A (\tau_{\delta\alpha} + \tau_{\phi\gamma} + T_{\phi\gamma}) + (\tau_{\delta\alpha} \tau_{\phi\gamma} + \tau_{\delta\alpha} T_{\phi\gamma} + \tau_{\phi\gamma} T_{\delta\alpha}) (T_{\delta\alpha} T_{\text{ан}} + T_{\text{ан}} T_A + T_{\delta\alpha} T_A) + T_I \left[\tau_{\delta\alpha} \tau_{\phi\gamma} T_{\phi\gamma} + T_{\delta\alpha} T_{\text{ан}} T_A + (T_{\delta\alpha} + T_A + T_{\text{ан}}) (\tau_{\delta\alpha} \tau_{\phi\gamma} + \tau_{\delta\alpha} T_{\phi\gamma} + \tau_{\phi\gamma} T_{\delta\alpha}) + (\tau_{\delta\alpha} + \tau_{\phi\gamma} + T_{\phi\gamma}) (T_{\delta\alpha} T_{\text{ан}} + T_{\text{ан}} T_A + T_{\delta\alpha} T_A) \right],$$

$$a_3 = \tau_{\delta\alpha} \tau_{\phi\gamma} T_{\phi\gamma} + T_{\delta\alpha} T_{\text{ан}} T_A + (T_{\delta\alpha} + T_A + T_{\text{ан}}) (\tau_{\delta\alpha} \tau_{\phi\gamma} + \tau_{\delta\alpha} T_{\phi\gamma} + \tau_{\phi\gamma} T_{\delta\alpha}) + (\tau_{\delta\alpha} + \tau_{\phi\gamma} + T_{\phi\gamma}) (T_{\delta\alpha} T_{\text{ан}} + T_{\text{ан}} T_A + T_{\delta\alpha} T_A) + T_I \left[\tau_{\delta\alpha} \tau_{\phi\gamma} + \tau_{\delta\alpha} T_{\phi\gamma} + \tau_{\phi\gamma} T_{\delta\alpha} + T_{\delta\alpha} T_{\text{ан}} + T_{\delta\alpha} T_A + T_{\text{ан}} T_A + (\tau_{\delta\alpha} + \tau_{\phi\gamma} + T_{\phi\gamma}) (T_{\delta\alpha} + T_{\text{ан}} + T_A) \right],$$

$$a_2 = \tau_{\delta\alpha} \tau_{\phi\gamma} + \tau_{\delta\alpha} T_{\phi\gamma} + \tau_{\phi\gamma} T_{\delta\alpha} + (\tau_{\delta\alpha} + \tau_{\phi\gamma} + T_{\phi\gamma}) (T_{\delta\alpha} + T_{\text{ан}} + T_A) + T_{\delta\alpha} T_{\text{ан}} + T_{\delta\alpha} T_A + T_{\text{ан}} T_A + T_I (\tau_{\delta\alpha} + \tau_{\phi\gamma} + T_{\phi\gamma} + T_{\delta\alpha} + T_{\text{ан}} + T_A),$$

$$a_1 = \tau_{\delta\alpha} + \tau_{\phi\gamma} + \tau_{\delta\alpha} + T_{\phi\gamma} + \tau_{\phi\gamma} + T_{\phi\gamma} + 2T_I, \quad a_0 = 2.$$

На рис.2 подано логарифмічні амплітудо та фазочастотні характеристики ВМ, які визначено за допомогою середовища *Matlab*.

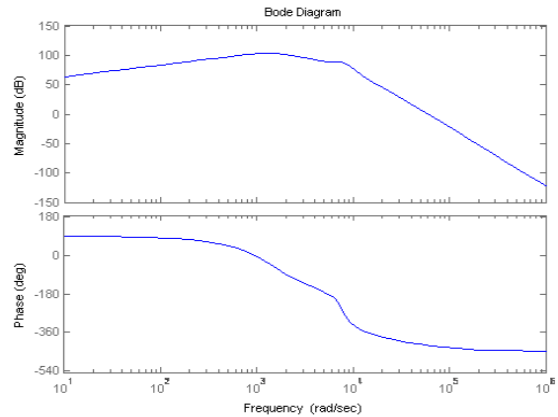


Рис. 2 – Частотні характеристики ВМ

У результаті пошуку полюсів передатної функції (7) отримали наступні данні:

```
ans = 1.0e+004 *
-2.3831
-0.0139 + 0.0771i
-0.0139 - 0.0771i
-0.1983
-0.0816 + 0.0105i
-0.0816 - 0.0105i
-0.122
```

Аналіз отриманої інформації дозволяє зробити наступні висновки:

- умові стійкості аналогової системи задовольняють усі корні характеристичного рівняння;
- корні два, три, п'ять та шість впливають на початок перехідного процесу оскільки малі за величиною;
- аналогова система без втрат точності подається такою передатною функцією

$$W_4(p) = \frac{b_0^* p}{(T_1 p + 1)(T_2 p + 1)}, \quad (8)$$

де постійні часу визначаються за допомогою першого та четвертого коренів характеристичного рівняння, а сьомий відповідає нулю передатної функції.

Швидкісна похибка аналогової системи встановлена у результаті статистичної обробки вимірів із багаторазовими спостереженнями. Відсутність навантаження подавалась холостим ходом ВМ. Сигнал швидкості вимірювався частотоміром ЧЗ-32 по вихідному сигналу перетворювача ROD-428. На рис. 3 подано гістограму коливань швидкості обертання ВМ. Обсяг вибірки склав 132 вимірів. Статистичні параметри цього розподілу такі

$$\bar{O} = 0, \quad \sigma = 0.0136, \quad A = 0, \quad E = -0.691. \quad (9)$$

Рівняння згладженої кривої розкиду вихідного коду має вигляд

$$f_1(x) = 36.762e^{-73.544|x|} \quad \text{при } x \in (-0.03, 0.03). \quad (10)$$

Скористуємось інформаційним підходом для визначення похибки проведених вимірювань з багатора-

зовими спостереженнями. Для отриманого закону розподілу похибки маємо

$$\ln f_1(x) = -\ln 2\sigma - \frac{|x|}{\sigma} \quad (11)$$

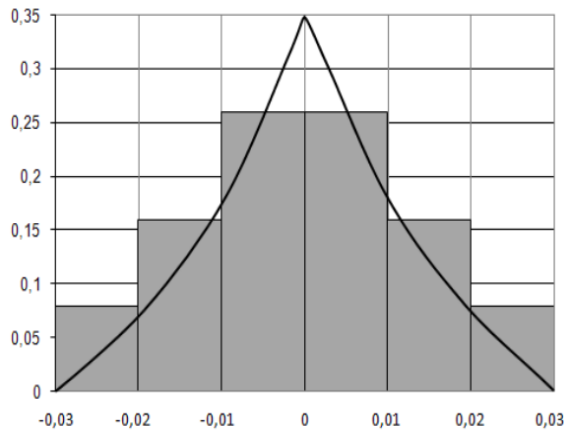


Рис. 3 – Гістограма флуктуацій ВМ
Звідси ентропія похибки вимірів

$$H\left(\frac{x}{x_r}\right) = \ln 0.0272 \quad (12)$$

Ентропійний інтервал невизначеності вимірів склав $\Delta_1 = 0.0136$. Величина швидкісної похибки доводить ефективність аналогової системи.

Структурна схема апаратних засобів обробки сигналу швидкості обертання ШК подано на рис. 4. На рисунку позначено заваду (η) у вигляді сили різання матеріалу заготівлі. Виконаємо моделювання компонент та аналіз структурної схеми з метою отримання виразу для передатної функції.

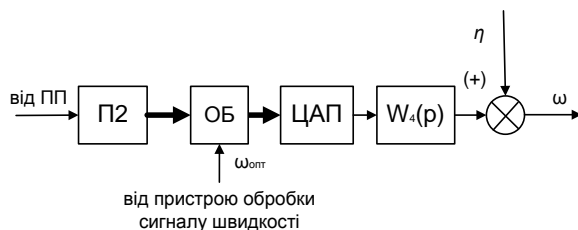


Рис. 4 – Архітектура апаратних засобів обробки сигналу швидкості

Цифро-аналоговий перетворювач (ЦАП) виконано на базі мікросхеми K572ПА2, яка має вмонтований 12-розрядний регістр для зберігання цифрової інформації. За принципом дії ЦАП належить до сімейства поліноміальних екстраполяторів. Вихідний сигнал екстраполятора нульового порядку є ступінчастим. Тоді імпульсна передатна функція такого пристрою є відклик на дельта-функцію при нульових початкових умовах [3]

$$W_5(p) = \frac{1 - e^{-p\tau_r}}{p} \quad (13)$$

Передатна функція пристрою цифрової обробки сигналу швидкості обертання ШК як деякого довільного цифрового фільтра подається у вигляді [3]

$$W_6(p) = \frac{1}{\tau_r} (1 - e^{-p\tau_r}) \quad (14)$$

Динамічні особливості П2 дозволяють подати його аперіодичним ланцюгом із запізненням [3]. Передатна функція такого ланцюга має вигляд

$$W_7(p) = \frac{K_3 e^{-\tau_3 p}}{T_3 p + 1} \quad (15)$$

де $K_3 = 1/b_0^*$ – коефіцієнт посилення, T_3 – постійна часу, $\tau_3 = T_0$ – запізнення.

На основі виразів (8) та (15) у результаті аналізу структурної схеми апаратних засобів обробки сигналу швидкості обертання ШК та математичних перетворень отримано передатну функцію в такому вигляді [3]

$$W_8(p) = \frac{b_0^* \tau_r p [T_3 \tau_3 p^2 + (T_3 + \tau_3) p + 1]}{a_4 p^4 + a_3 p^3 + a_2 p^2 + a_1 p + 1} \quad (16)$$

де $a_4 = T_1 T_2 T_3 \tau_3$, $a_3 = T_1 T_2 (T_3 + \tau_3) + (T_1 + T_2) T_3 \tau_3$, $a_2 = T_1 T_2 + T_3 \tau_3 + \tau_r + (T_1 + T_2)(T_3 + \tau_3)$, $a_1 = T_1 + T_2 + T_3 + \tau_3$.

Визначено z-перетворення передатних функцій. Z-перетворення передатної функції аналогової системи після відповідних перетворень набуло такого вигляду

$$\frac{W_4(p)}{p} = b_0^* \left[\frac{1}{p} - \frac{T_1^2}{(T_1 - T_2)(T_1 p + 1)} + \frac{T_2^2}{(T_1 - T_2)(T_2 p + 1)} \right] \quad (17)$$

Математичну модель завади, яка діє на виході апаратних засобів обробки сигналу швидкості, подано у вигляді гармонійного лінійного випадкового процесу. Визначено його характеристики та на основі їхнього аналізу встановлено коректність моделі. В основу розробки пристрою цифрової обробки сигналу швидкості обертання ШК покладено метод його синтезу з використанням еталонної моделі апаратних засобів та квадратичного критерію якості. Закон програмного завдання апаратними засобами швидкості обертання ШК сформульовано у такому вигляді [4]

$$A(z^{-1})y_t = z^{-3}B(z^{-1})u_t + C(z^{-1})G_t \quad (18)$$

де $A(z^{-1}) = 1 - a_1 z^{-1} + a_2 z^{-2}$, $B(z^{-1}) = b_0 + b_1 z^{-1}$, $C(z^{-1}) = c_0 + c_1 z^{-1}$ – ступеневі поліноми.

На основі виразу (18) процес обробки вхідного сигналу апаратними засобами набуває такого вигляду

$$C(z^{-1})y_t^* = F(z^{-1})y_t + D(z^{-1})u_t + H(z^{-1})G_t + \delta = 0 \quad (19)$$

де y_t^* – функція якості, δ – дрейф вихідного сигналу, $C(z^{-1})$, $F(z^{-1})$, $D(z^{-1})$, $H(z^{-1})$ – ступеневі поліноми.

Визначимо параметри узагальненої функції якості та ступеневих поліномів. Для нашого випадку маємо

$$F(z^{-1}) = \frac{C(z^{-1}) - E(z^{-1})A(z^{-1})}{z^{-3}} \quad (20)$$

Оберемо структуру ступеневого поліному $E(z^{-1})$, який має порядок $d-1=2$. Відповідно, маємо

$$E(z^{-1}) = 1 + e_1 z^{-1} + e_2 z^{-2}. \quad (21)$$

Параметри поліному $E(z^{-1})$ обираємо в такому вигляді

$$E(z^{-1}) = c_0 + (a_1 c_0 - c_1) z^{-1} - (a_1 c_1 - a_1^2 c_0 + a_2 c_0) z^{-2}. \quad (22)$$

Після перетворень маємо

$$F(z^{-1}) = (-a_1^2 c_1 + a_1^3 c_0 - a_2 c_1) - a_2 (a_1 c_1 - a_1^2 c_0 + a_2 c_0) z^{-1}. \quad (23)$$

Параметри ступеневого поліному $G(z^{-1})$ визначаються на підставі виразу

$$G(z^{-1}) = E(z^{-1}) B(z^{-1})$$

шляхом підстановки у нього рівнянь (18) та (22). Після перетворень маємо

$$G(z^{-1}) = b_0 c_0 + [b_1 c_0 + b_0 (a_1 c_0 - c_1)] z^{-1} + [b_1 (a_1 c_0 - c_1) - b_0 (a_1 c_1 - a_1^2 c_0 + a_2 c_0)] z^{-2} - b_1 (a_1 c_1 - a_1^2 c_0 + a_2 c_0) z^{-3}. \quad (24)$$

Для визначення параметрів поліномів F , D , H ступеневий поліном $F(z^{-1})$ подаємо у вигляді

$$F(z^{-1}) = P_2 F'(z^{-1}) = P_2 (-a_1^2 c_1 + a_1^3 c_0 - a_2 c_1) - a_2 P_2 (a_1 c_1 - a_1^2 c_0 + a_2 c_0) z^{-1} = f_0 + f_1 z^{-1}. \quad (25)$$

Для визначення параметрів поліному $D(z^{-1})$ застосовуємо вираз (4.98) роботи [5]. Після перетворень маємо

$$D(z^{-1}) = (b_0 c_0 P_2 + \lambda c_0) + [b_1 c_0 + b_0 (a_1 c_0 - c_1) - \lambda (c_0 + c_1)] z^{-1} + [b_1 (a_1 c_0 - c_1) - b_0 (a_1 c_1 - a_1^2 c_0 + a_2 c_0) + \lambda c_1] z^{-2} - b_1 (a_1 c_1 - a_1^2 c_0 + a_2 c_0) z^{-3} = g_0 + g_1 z^{-1} + g_2 z^{-2} + g_3 z^{-3}. \quad (26)$$

Ступеневий поліном $H(z^{-1})$ визначимо за допомогою (4.99) роботи [5] шляхом підстановки у нього рівняння (17)

$$H(z^{-1}) = -c_0 R_2 + c_1 R_2 z^{-1} = h_0 + h_1 z^{-1}. \quad (27)$$

Дрейф нуля вихідного сигналу пристрою обробки визначено за допомогою виразу (4.90) роботи [5]. Після підстановки у нього рівняння (18) маємо

$$\delta = (c_0 - c_1 + a_1 c_0 - a_1 c_1 + a_1^2 c_0 - a_2 c_0) \eta. \quad (28)$$

Таким чином, ми визначили вигляд та структуру ступеневих поліномів $E(z^{-1})$, $D(z^{-1})$, $H(z^{-1})$, а також можливу похибку обробки вхідного сигналу апаратними засобами обробки сигналу швидкості обертання ШК. У результаті перетворень встановлено параметри цих ступеневих поліномів

$$\begin{aligned} f_0 &= P_2 (-a_1^2 c_1 + a_1^3 c_0 - a_2 c_1), & f_1 &= a_2 P_2 (a_1^2 c_0 - a_1 c_1 - a_2 c_0), \\ g_0 &= b_0 c_0 P_2 + \lambda c_0, & g_1 &= b_1 c_0 + b_0 (a_1 c_0 - c_1) - \lambda (c_0 + c_1), \\ g_2 &= b_1 (a_1 c_0 - c_1) - b_0 (a_1 c_1 - a_1^2 c_0 + a_2 c_0) + \lambda c_1, \\ g_3 &= b_1 (a_1^2 c_0 - a_1 c_1 - a_2 c_0), & h_0 &= -c_0 R_2, & h_1 &= c_1 R_2; \\ \delta &= (c_0 - c_1 + a_1 c_0 - a_1 c_1 + a_1^2 c_0 - a_2 c_0) \eta. \end{aligned} \quad (29)$$

Процедуру обробки інформації апаратними засобами розроблено на основі принципу управління за відхиленням та подано в такому вигляді [2]

$$C(z^{-1}) y_t^* = f_0 y_t + f_1 y_{t-1} + g_0 u_t + g_1 u_{t-1} + g_2 u_{t-2} + g_3 u_{t-3} + h_0 G_t + h_1 G_{t-1} + \delta = 0, \quad (30)$$

де δ – припустиме значення похибки апаратних засобів.

У результаті математичних перетворень останнього виразу отримано сигнал, який формує пристрій обробки сигналу швидкості обертання ШК на ВМ в кожний період дискретизації [2]

$$u_t = -g_0^{-1} (f_0 y_t + f_1 y_{t-1} + g_1 u_{t-1} + g_2 u_{t-2} + g_3 u_{t-3} + h_0 G_t + h_1 G_{t-1} + \delta).$$

Мінімізацією квадратичного критерію якості з використанням еталонної моделі апаратних засобів отримана передатна функція пристрою обробки сигналу швидкості в такому вигляді [3]

$$W_9(z) = 1.206 \frac{z^2 - 0.1706z}{z^2 - 0.995z - 5.019 \cdot 10^{-3}}. \quad (31)$$

На основі виразів (17) та (32) розроблено схему комп'ютерного моделювання процесу обробки апаратними засобами ІВС сигналу швидкості обертання ШК (рис. 5). Отримано сигнали кугової швидкості обертання круга та струму обмотки збудження двигуна у функції часу.

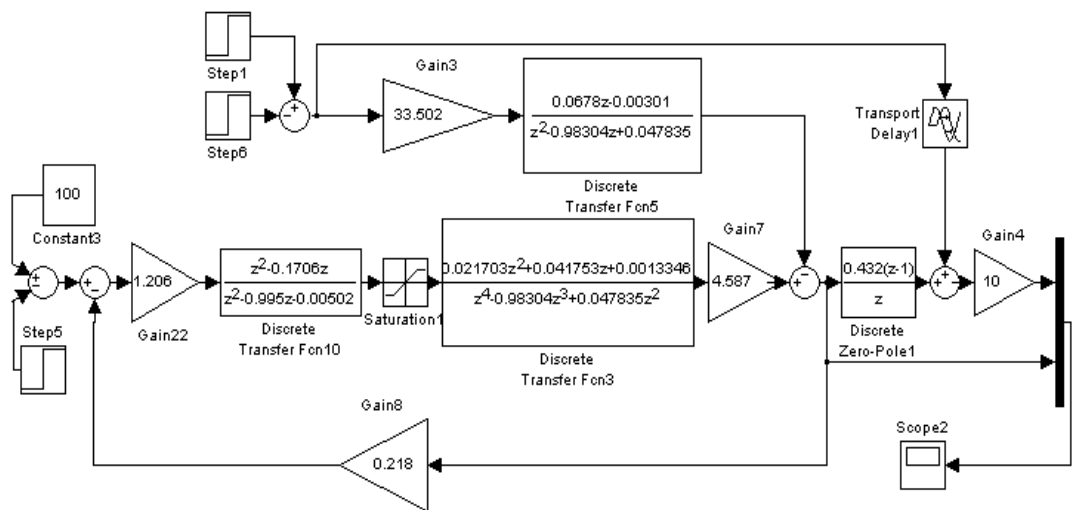


Рис. 5 – Схема комп'ютерного моделювання процесу обробки сигналу швидкості обертання ШК

Висновок. На основі математичної моделі виконуючого механізму розроблено аналогову систему та у результаті статистичної обробки дослідних даних з використанням інформаційного підходу встановлено її швидкісну похибку. При синтезі пристрою обробки сигналу швидкості обертання шліфувального круга використано дискретне з-перетворення, квадратичний критерій якості, запізнення апаратних засобів та завада у вигляді гармонійного лінійного випадкового процесу. Побудовано схему комп'ютерного моделювання процесу обробки сигналу швидкості обертання шліфувального круга. Встановлено, що точність та швидкодія апаратних засобів задовольняють встановленим вимогам.

Список литературы

1. Еникеев А.Ф. Оптимальное управление технологическим процессом алмазного шлифования. – Краматорск: ДГМА, 2001. – 160 с.
2. Єнікєєв О.Ф. Оптимальний цифровий регулятор привода обертання шліфувального круга / О.Ф.Єнікєєв, Ф.М. Євсюкова, І.С. Зиков, Л.О. Шищенко // Вестник национального технического университета «ХПИ». – 2007. – №17. – С. 91 – 98.
3. Еникеев А.Ф. Анализ эффективности аппаратных средств управления поперечной подачей шлифовального круга / А.Ф. Еникеев, Ф.М. Євсюкова, Л.А. Шищенко // Вестник национального технического университета «ХПИ». – 2015. – № 4. – С. 132 – 137.

4. Єнікєєв О.Ф. Синтез цифрового регулятора поперечної передачі шліфувального круга // Вестник Национального технического университета «ХПИ». – Харьков: №57, 2008. – С. 87–93.
5. Бутковский А.Г. Структурная теория распределенных систем. – М.: Наука, 1977. – 320 с.

Bibliography (transliterated)

1. Yenikieiev A.F. *Optimalnoe upravlenie tehnologicheskim processom almaznogo shlifovaniya*. [Optmal management by the technological process of the diamond polishing.] – Kramatorsk: DGMA, 2001. – 160 p.
2. Yenikieiev A.F., Yevsiukova F.M., Zikov I.S., Shushenko L.A. *Optymalniy tsyfrovyy regulator pryvoda obertannia shlifivalnoho kruga* [Optimal digital regulator of occasion of rotation of polishing of circle.] *Visnyk NTU "KhPI"* [Bulletin of the National Technical University "KhPI"]. Kharkov, NTU "KhPI" Publ., 2007, no. 17, pp. 91-98.
3. Yenikieiev A.F., Yevsiukova F.M., Shushenko L.A. *Analiz effektivnosti apparatnihs redstv upravleniyapoperechnopodachej shlifovalnogo kruga* [The analysis of the efficiency of hardware control of the longitudinal feed of the grinding wheel] *Visnyk NTU "KhPI"* [Bulletin of the National Technical University "KhPI"]. Kharkov, NTU "KhPI" Publ., 2015, no. 4, pp. 132-137.
4. Yenikieiev A.F., Zikov I.S. *Syntezy tsyfrovoho rehuliatora poperechnoi peredachi shlifivalnoho kruga* [Synthesis of digital regulator of transversal transmission of the grinding circle] *Visnyk NTU "KhPI"* [Bulletin of the National Technical University "KhPI"]. Kharkov, NTU "KhPI" Publ., 2008, no. 57, pp. 87-93.
5. Butkovskiy A.G. *Structural theories raspredelenukh system*. – Moscow, Nauka, 1977. – 320

Поступила (received) 21.11.2016

Бібліографічні описи /Библиографические описания /Bibliographic descriptions

Аналіз ефективності апаратних засобів програмного задавання швидкості обертання шліфувального круга / О.Ф. Єнікєєв, Ф.М. Євсюкова, О.Ю. Приходько // Вісник НТУ «ХПИ». Серія: Технології в машинобудуванні. – Харків : НТУ «ХПИ», 2016. – № 33 (1205). – С. 112–116. – Библиогр.: 5 назв. – ISSN 2079-004X.

Анализ эффективности аппаратных средств программного задания скорости вращения шлифовального круга / А.Ф. Еникеев, Ф.М. Евсюкова, О.Ю. Приходько // Вісник НТУ «ХПИ». Серія: Технології в машинобудуванні. – Харків : НТУ «ХПИ», 2016. – № 33 (1205). – С. 112–116. – Библиогр.: 5 назв. – ISSN 2079-004X.

Analysis of efficiency of vehicle facilities of programmatic task of speed of rotation of diamond-impregnated / A. Yenikieiev, F. Yevsiukova, O. Prihodko // Bulletin of NTU "KhPI". Series: Techniques in a machine industry. – Kharkov : NTU "KhPI", 2016. – No. 33 (1205). – P.112–116. – Bibliogr.: 5. – ISSN 2079-004X.

Відомості про авторів /Сведения об авторах /About the Authors

Єнікєєв Олександр Фанилович – док. техн. наук, доцент, УкрДУЗТ, м. Харків, тел.: (050)-194-33-57, (096)-245-32-83, (063)-205-93-97, e-mail: Al_enikeev@bigmir.net

Еникеев Александр Фанилович – док. техн. наук, доцент, УкрГУЖТ, г. Харьков, тел.: (050)-194-33-57, (096)-245-32-83, (063)-205-93-97, e-mail: Al_enikeev@bigmir.net

Yenikieiev Aleksandr – doctor of technical sciences, reader, reader Ukrainian State University of Railway Transport, tel.: (050)-194-33-57, (096)-245-32-83, (063)-205-93-97, e-mail: Al_enikeev@bigmir.net

Євсюкова Фатима Магомєтбїєвна - Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», старший викладач кафедри технології машинобудування та металорізальних верстатів; тел.: (057)-720-66-25, моб. +380979412299; e-mail: evsyukova_fatima@mail.ru; м. Харків.

Евсюкова Фатима Магомєтбїєвна - Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», старший преподаватель кафедры технологии машиностроения и металлорежущих станков; тел.: (057)-720-66-25, моб. +380979412299, e-mail: evsyukova_fatima@mail.ru; г. Харьков.

Yevsiukova Fatyma Magometbiyevna - National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute"; **Senior Lecturer** at the Department of engineering technology and machine tools; tel.: (057)-720-66-25, +380979412299, e-mail: evsyukova_fatima@mail.ru; Kharkov;

Приходько Ольга Юрьевна – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», доцент кафедри технології машинобудування та металорізальних верстатів, м. Харків; тел.: (057)-720-66-25, e-mail: olmurakami@mail.ru;

Приходько Ольга Юрьевна – кандидат технических наук, доцент, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», доцент кафедры технологии машиностроения и металлорежущих станков, г. Харьков; тел.: (057)-720-66-25, e-mail: olmurakami@mail.ru;

Prihodko Olga Yuriyevna - Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Docent, National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Associate Professor at the Department of engineering technology and machine tools; tel.: (057)-720-66-25, e-mail: olmurakami@mail.ru.