

УДК 681.518.3

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

АНАЛІЗ ХАРАКТЕРИСТИК ДВОХСТУПІНЧАСТОЇ ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ ПОКООРДИНАТНОГО ЗАДАВАННЯ ПАРАМЕТРІВ АЛМАЗНОГО ШЛІФУВАННЯ

На основі ієрархічного принципу, методів безпосереднього цифрового та покоординатного управління, непрямих вимірювань якості поверхні деталі з використанням сигналу девіацій швидкості обертання шліфувального круга розроблено тривимірну двохступінчасту інформаційно-вимірювальну систему покоординатного задавання параметрів алмазного шліфування. Побудовано математичні моделі апаратних засобів з використанням дискретного перетворення Лапласа. Мінімізацією квадратичного критерію якості з використанням еталонних моделей каналів інформаційно-вимірювальної системи отримано передатні функції пристроїв обробки вхідної інформації. Складено схеми комп'ютерного моделювання процесів перетворення апаратними засобами інформаційно-вимірювальної системи вхідних сигналів. Встановлено ефективність апаратних засобів, які розроблено.

Ключевые слова: апаратні засоби, інформаційно-вимірювальна система, непрямі вимірювання, комп'ютерне моделювання.

Вступ. Інформаційно-вимірювальні системи (ІВС) знайшли використання у машинобудівному виробництві України при упровадженні сучасних інформаційних та енергозберігаючих технологій для підвищення економічної ефективності технологічних процесів, зокрема алмазного шліфування (АШ). Застосування відомих апаратних засобів має мету скоротити час обробки деталі та отримати задану шорсткість поверхні [1]. Одновимірні системи реалізують традиційні технології автоматизації процесу АШ. Їхнє програмне забезпечення розв'язує задачі задавання оптимальних технологічних параметрів, які зберігає банк даних у вигляді програми обробки партії деталей. При цьому не використовується інформація про поточну якість поверхні деталі, оскільки отримати цей сигнал шляхом прямих вимірювань неможливо у зв'язку з відсутністю відповідних первинних перетворювачів. Ця обставина робить неефективним використання відомих ІВС.

Метою статті є розробка ефективних апаратних засобів ІВС покоординатного задавання параметрів АШ в умовах неповної інформації та дії завад. Для досягнення поставленої мети розв'язано такі завдання:

- розробка програмних рухів ІВС зі скорочення часу обробки деталі та забезпеченню потрібного «якості» чистоти поверхні;
- побудова на основі принципу децентралізації структурної схеми ІВС;
- математичне моделювання апаратних засобів з урахуванням факторів невизначеності, які обумовлено дією завад та похибками вимірювань вхідних сигналів;
- побудова пристроїв обробки сигналів.

Розробка архітектури інформаційно-вимірювальної системи. Інформаційне забезпечення системи подано в такому вигляді:

- $\bar{U} = (u_1, u_2, \dots, u_i)^T$ - вектор вихідних сигналів;
- $\bar{X} = (S_{\bar{w}}, S_{\bar{n}\bar{a}\bar{c}}, \omega_{\bar{e}\bar{d}})^T$ - вектор вхідних сигналів;
- $\bar{Q} = (\Delta_{\bar{a}\bar{d}}, S_{\bar{w}\bar{w}\bar{a}\bar{d}}, S_{\bar{n}\bar{a}\bar{c}\bar{w}\bar{d}}, \omega_{\bar{e}\bar{d}\bar{w}\bar{d}})^T$ - вектор уставок банку даних процесу АШ;

- $\bar{\xi} = (\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_k)^T$ - вектор завад;
- $F(\bar{U}, \bar{Q}, \bar{\xi}, \Delta\omega, P_{\bar{a}}, \omega_{\bar{e}\bar{d}}) = \bar{Y}$ - математична модель програмних рухів апаратних засобів ІВС в умовах неповної інформації та дії завад;
- $F_k = (u_k, \bar{Q}_k, \bar{\xi}_k) = 0$ - математична модель перетворення каналом вхідної інформації.

Сила різання матеріалу заготівлі утворює збурювання, яке є джерелом крутильних коливань. Вал зі встановленим на ньому шліфувальним кругом (ШК) подано механічною системою з одним ступенем волі. Рух маси цієї системи описано таким інтегродиференціальним рівнянням

$$J_{\bar{e}\bar{d}}\Delta\omega'(t) + \beta_1\Delta\omega(t) + \frac{\gamma_1}{t_1} \int_0^{t_1} \Delta\omega(t) dt = RF(t), \quad (1)$$

де $J_{\bar{e}\bar{d}}$ – момент інерції ШК, $\Delta\omega(t)$ – девіації, β_1 – коефіцієнт демпфування, γ_1 – крутильний опір валу, $\varphi(t)$ – кут закрутки, $F(t)$ – сила різання, R – радіус круга. Це рівняння встановлює інформаційний зв'язок між девіаціями швидкості обертання ШК та силою різання матеріалу заготівлі.

В основу розробки архітектури ІВС покладено: мікроконтролер MC68HC912B32, методи безпосереднього цифрового та покоординатного управління, ієрархічний принцип, непрямі вимірювання мікронерівностей та різальних властивостей ШК, а також принципи децентралізації та мультиплексування шин адреси та даних. Структурна схема двохвимірної триступеневої ІВС подана на рис. 1. На рисунку позначено так: П – перетворювач; ВМ – виконуючий механізм; ЕП – електричний привод; Д – датчик; ЦАП – цифро-аналоговий перетворювач.

Інформаційний зв'язок між ІВС та процесом АШ забезпечують сигнали подачі та швидкості обертання круга. Апаратні засоби першої ступені системи задають параметри АШ, які зберігає банк даних у вигляді відповідного вектора. Вихідні сигнали формуються ними під час прямої або зворотної ходи ШК.

Сигнал миттєвої швидкості обертання алмазного інструмента є вхідним для апаратних засобів другої ступені.

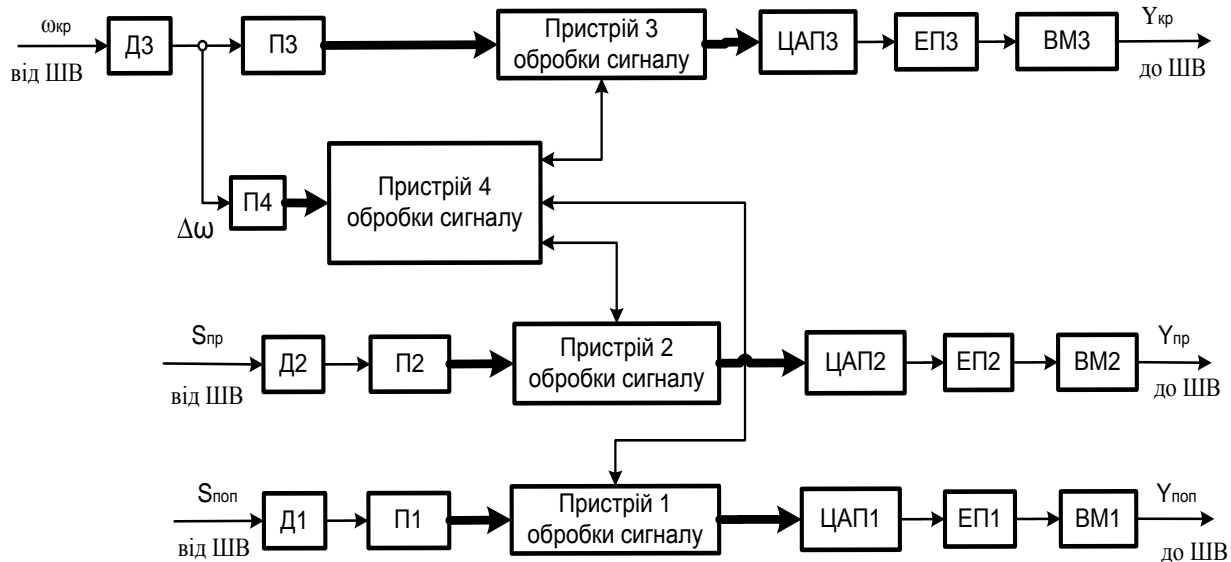


Рисунок 1 – Архітектура ІВС

Пристрій 4 на основі прямих вимірювань миттєвої швидкості та за допомогою інформаційної технології обробки цього сигналу визначає мікронерівності поверхні деталі, амплітуда яких прогнозується. Алгоритм обробки сигналу швидкості складається з таких обчислювальних процедур: виділення сигналу девіацій та подання його обмеженим рядом Фур'є; визначення діючого значення та його порівняння з еталонним рівнем, котрий встановлено програмою обробки партії деталей. Якщо амплітуда можливих мікронерівностей перевищує рівень, який задано прийнятим «квалітетом» чистоти поверхні деталі, то пристрій 4 аналізує банк даних та формує сигнали коригування подачі. Обробка цих сигналів виконується пристроями 1, 2 та 3 під час пауз між прямою та зворотною ходю алмазного інструменту. ВМ1-ВМ3 задають нові параметри АШ.

Моделювання каналів інформаційно-вимірювальної системи. У результаті аналізу структурної схеми блоку ЕПЗ разом із ВМ3 та математичних перетворень отримано передатну функцію [1]

$$W_1(p) = \frac{k_y k_z K_{uin} K_{ms} (T_{oc} p + 1) k_M p}{[e^{\tau_{uin} p} e^{\tau_{ms} p} (T_{uin} p + 1) (T_{ms} p + 1) (T_{oc} p + 1) (T_E p + 1) + 1] T_M p + 1}, \quad (2)$$

де K_i, T_i – відповідно коефіцієнти передачі та постійні часу елементарних ланок математичної моделі. Досліджено частотні характеристики блоків ЕПЗ та ВМ3 і в результаті обробки дослідних даних встановлено, що він задовольняє вимогам ІВС за величиною похибки.

У результаті аналізу структурної схеми апаратних засобів обробки сигналу швидкості та математичних перетворень отримано передатну функцію в такому вигляді [1]

$$W_2(p) = \frac{b_0^* \tau_r p [T_3 \tau_3 p^2 + (T_3 + \tau_3) p + 1]}{a_4 p^4 + a_3 p^3 + a_2 p^2 + a_1 p + 1}, \quad (3)$$

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

Визначено z-перетворення передатних функцій блоків ЕПЗ та ВМ3. Математичну модель завади, яка діє на виході каналу обробки сигналу швидкості, подано у вигляді гармонійного лінійного випадкового процесу. Визначено його характеристики та на основі їхнього аналізу встановлено коректність моделі. Процедuru обробки апаратними засобами вхідного сигналу розроблено на основі принципу управління за відхиленням та подано в такому вигляді

$$C(z^{-1}) \psi_i^* = f_0 y_i + f_1 y_{i-1} + g_0 u_i + g_1 u_{i-1} + g_2 u_{i-2} + g_3 u_{i-3} + h_0 G_i + h_1 G_{i-1} + \delta = 0, \quad (4)$$

де δ – припустиме значення похибки апаратних засобів.

У результаті математичних перетворень останнього виразу отримано сигнал, який формує пристрій 3 на ЕПЗ в кожний період дискретизації

$$u_i = -g_0^{-1} \left(f_0 y_i + f_1 y_{i-1} + g_1 u_{i-1} + g_2 u_{i-2} + g_3 u_{i-3} + h_0 G_i + h_1 G_{i-1} + \delta \right). \quad (5)$$

Мінімізацією квадратичного критерію якості з використанням еталонної моделі каналу отримана передатна функція пристрою 3 обробки сигналу швидкості в такому вигляді [1]

$$W_{f3}(z) = 1.206 \frac{z^2 - 0.1706z}{z^2 - 0.995z - 5.019 \cdot 10^{-3}}. \quad (6)$$

На основі виразів (3) та (6) розроблено схему комп'ютерного моделювання процесу обробки апаратними засобами сигналу швидкості обертання ШК (рис. 2).

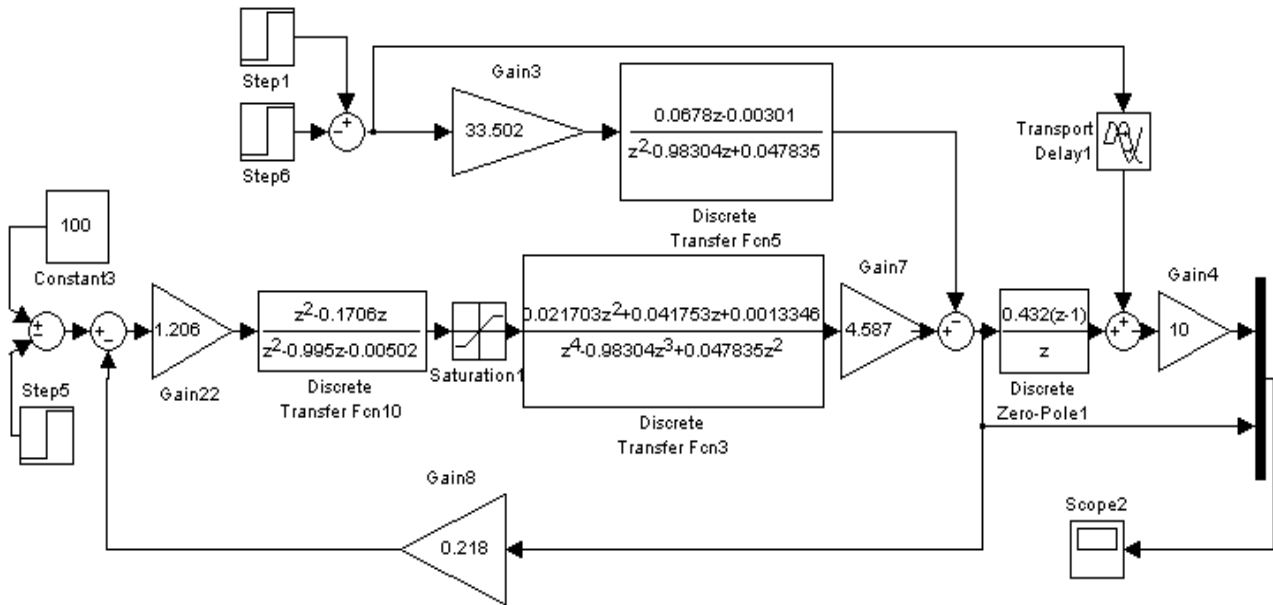


Рисунок 2 – Схема комп’ютерного моделювання процесу обробки сигналу швидкості обертання ШК

Отримано сигнали кутової швидкості обертання круга та струму обмотки збудження двигуна у функції часу.

З урахуванням смуги (Δ_1) нечутливості первинного перетворювача, яку визначено в результаті статистичної обробки дослідних даних, отримана передатна функція блоків Д1 та П1 в такому вигляді [2]

$$W_3(p) = \frac{\Delta_1 k_{i1} e^{-p\tau_{i1}}}{T_{i1} p + 1} \quad (7)$$

У результаті аналізу схеми побудови та математичних перетворень отримали таку передатну функцію ЕП1 разом з ВМ1 [2]

$$W_4(p) = \frac{k_y k_3 K_{uin} K_{me} (T_{oc} p + 1) k_M}{[e^{T_{uin} p} e^{T_{me} p} (T_{uin} p + 1)(T_{me} p + 1)(T_{oc} p + 1)(T_E p + 1) + 1](T_M p + 1)} \quad (8)$$

Аналіз нулів та полюсів передатної функції дозволив без суттєвих втрат точності подати його в такому вигляді

$$W_5(p) = \frac{b_0^*}{(c_1 T_4 p + 1) \left(\frac{T_4}{c_1} p + 1 \right) (T_5 p + 1)} \quad (9)$$

Вхідний сигнал каналу обробки сигналу поперечної подачі ШК подано у вигляді обмеженого ряду Фур’є

$$S_{iii}(t) = \sum_{k=1}^n A_{2k-1} \{ e^{j[(2k-1)\Omega t - 0.5\pi]} - e^{-j[(2k-1)\Omega t - 0.5\pi]} \}, \quad (10)$$

де $A_{2k-1} = \frac{4S_{iii}}{\pi(2k-1)} \cos\left[\frac{(2k-1)\Omega}{2}(t_1 - t_2)\right]$; Ω – кругова частота першої гармоніки.

На основі теореми про згортку з використанням передатної функції каналу отримано вираз, який описує його вихідний сигнал [2]

$$y_{non}(t) = \sum_{k=1}^4 B_k e^{-p_k t} \sum_{i=1}^n \frac{2A_{2i-1} T_k}{\sqrt{1 + T_k^2 (2i-1)^2 \Omega^2}} \times e^{j[0.5\pi - \arctg T_k (2i-1)\Omega]} \quad (11)$$

Визначено z-перетворення передатних функцій ЕП1 разом із ВМ1. Математичну модель випадкової завади, яка діє на виході каналу, подано у вигляді флікер-шуму. Виконано аналіз характеристик цього випадкового процесу та встановлено його придатність для подання. На основі принципу управління за відхиленням процедуру обробки сигналу поперечної подачі круга подано в такому вигляді

$$b_0^o U_t = R_1(z^{-1}) y_{m,t+d+1} - F(z^{-1}) y_t - [D(z^{-1}) - b_0^o] U_t \quad (12)$$

де $y_{m,t+d+1}$ – вихідний сигнал апаратних засобів обробки сигналу поперечної подачі ШК, який прогнозується; ступеневі поліноми

$$R_1(z^{-1}) = \frac{\Delta_2 k_i T_i (1 - l_4)}{\epsilon_{iii}} z^{-1},$$

$$D(z^{-1}) = g_0 + g_1 z^{-1} + g_2 z^{-2}, \quad F(z^{-1}) = f_0 + f_1 z^{-1} + f_2 z^{-2}.$$

Мінімізацією квадратичного критерію якості з використанням еталонної моделі каналу отримана передатна функція пристрою 1 обробки сигналу поперечної подачі ШК [2]

$$W_{i1}(z^{-1}) = 767.113 \frac{2.3 - 3.453z^{-1} + 1.33z^{-2}}{0.262 + 0.008z^{-1} + 0.2182z^{-2}} \quad (13)$$

На основі виразів (9) та (13) розроблено схему комп’ютерного моделювання процесу обробки сигналу поперечної подачі ШК (рис. 3).

У результаті аналізу структурної схеми апаратних засобів обробки сигналу поздовжньої подачі кру-

га із застосуванням комп'ютерного моделювання та математичного апарату z-перетворень отримано наступні вирази для передатних функцій [3]

$$W_6(z^{-1}) = z^{-2} \frac{b_1^{\circ} z^{-1} + b_2^{\circ} z^{-2} + b_3^{\circ} z^{-3}}{1 + a_1^{\circ} z^{-1} + a_2^{\circ} z^{-2} + a_3^{\circ} z^{-3}},$$

$$W_7(z^{-1}) = \frac{k_j z^{-1} [1 - T_j + (T_j - l_4) z^{-1}]}{1 - (1 + l_8) z^{-1} + l_8 z^{-2}}.$$

У цих виразах враховано запізнення, яке вносять блок П2, екстраполятор та ЕП2. Також враховано смугу нечутливості первинного перетворювача, яку визначено в результаті статистичної обробки дослідних даних.

Сигнал поздовжньої подачі ШК подано обмеженим рядом Фур'є. На основі теореми про згортку з використанням передатної функції каналу отримано вираз, який описує його вихідний сигнал [3]

$$y_{noo}(t) = \sum_{k=5}^8 B_k e^{-\rho_k t} \sum_{i=1}^n \frac{B_{2i-1} T_k}{\sqrt{1 + T_k^2 (2i-1)^2 \Omega^2}} [e^{j \arctg T_k (2i-1) \Omega} - e^{-j \arctg T_k (2i-1) \Omega}]. \quad (14)$$

Математичну модель випадкової завади апаратних засобів обробки сигналу поздовжньої подачі шліфувального круга подано у вигляді флікер-шуму, який діє на виході. Виконано аналіз характеристик цього випадкового процесу та встановлено його придатність для подання. Мінімізацією квадратичного критерію якості з використанням еталонної моделі апаратних засобів отримана передатна функція пристрою 2 обробки сигналу поздовжньої подачі ШК в такому вигляді [3]

$$W_{Y_2}(z^{-1}) = \frac{0.04752 + 0.862z^{-1} - 0.823z^{-2}}{0.374 - 0.374z^{-1}}. \quad (15)$$

На основі виразу (15) розроблено схему комп'ютерного моделювання процесу обробки сигналу поздовжньої подачі ШК (рис. 4).

У результаті аналізу структурної схеми апаратних засобів оцінювання прогнозованих мікронерівностей

стей із використанням моделей його компонентів та математичного апарату z-перетворень отримано вираз для передатної функції [3]

$$W_{33}(z^{-1}) = \frac{b_1^* z^{-1}}{1 + a_1^* z^{-1} + a_2^* z^{-2}}, \quad (16)$$

$$\text{де } b_1^* = \frac{\Delta_5 k_{a3} k_{j4}}{\tau_{j4} - T_{a3}} \left(e^{-\frac{T_0}{\tau_{j4}}} - e^{-\frac{T_0}{T_{a3}}} \right), \quad a_2^* = e^{-\left(\frac{T_0}{T_{a3}} + \frac{T_0}{\tau_{j4}} \right)},$$

$$a_1^* = - \left(e^{-\frac{T_0}{\tau_{j4}}} + e^{-\frac{T_0}{T_{a3}}} \right).$$

Враховано запізнення апаратних засобів та похибка вимірювань девіацій.

На основі теореми про згортку з використанням передатної функції апаратних засобів оцінювання мікронерівностей отримано вираз, який описує вихідний сигнал [3]

$$y_{p2}(t) = B_9 e^{-\frac{1}{T_{16}} t} \sum_{k=1}^{10} \frac{A_k T_{16}}{\sqrt{1 + T_{16}^2 k^2 \Omega^2}} \left[\frac{e^{j(\psi_k + 0.5\pi - \arctg T_{16} k \Omega)} - 1}{-e^{-j(\psi_k + 0.5\pi + \arctg T_{16} k \Omega)}} \right] +$$

$$+ B_{10} e^{-\frac{1}{T_{17}} t} \sum_{k=1}^n \frac{A_k T_{17}}{\sqrt{1 + T_{17}^2 k^2 \Omega^2}} \left[\frac{e^{j(\psi_k + 0.5\pi - \arctg T_{17} k \Omega)} - 1}{-e^{-j(\psi_k + 0.5\pi + \arctg T_{17} k \Omega)}} \right]. \quad (17)$$

Мінімізацією квадратичного критерію якості з використанням еталонної моделі апаратних засобів отримана передатна функція пристрою 4 обробки сигналу миттєвої швидкості в такому вигляді [3].

$$W_{Y_4}(z^{-1}) = \frac{1.54 - 2.096z^{-1} + 0.616z^{-2}}{2.574 + 0.083z^{-1} - 2.156z^{-2}}. \quad (18)$$

На основі виразів (16) та (18) розроблено схему комп'ютерного моделювання процесу перетворення інформації апаратними засобами оцінювання мікронерівностей (рис. 5).

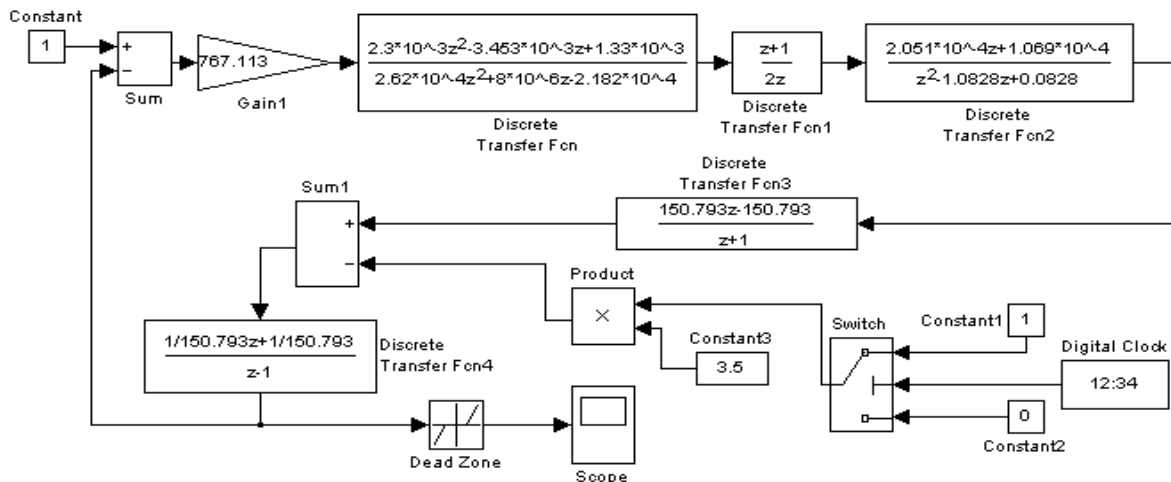


Рисунок 3 – Схема комп'ютерного моделювання процесу обробки сигналу поперечної подачі ШК

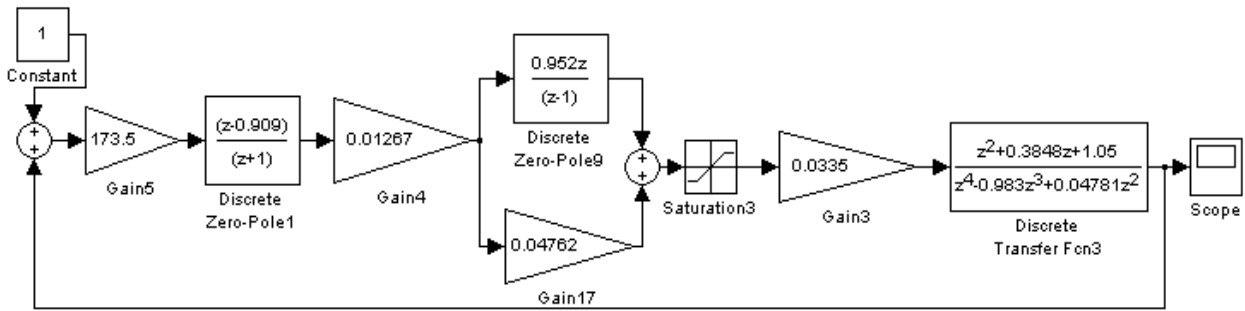


Рисунок 4 – Схема комп’ютерного моделювання процесу обробки сигналу поздовжньої подачі ШК

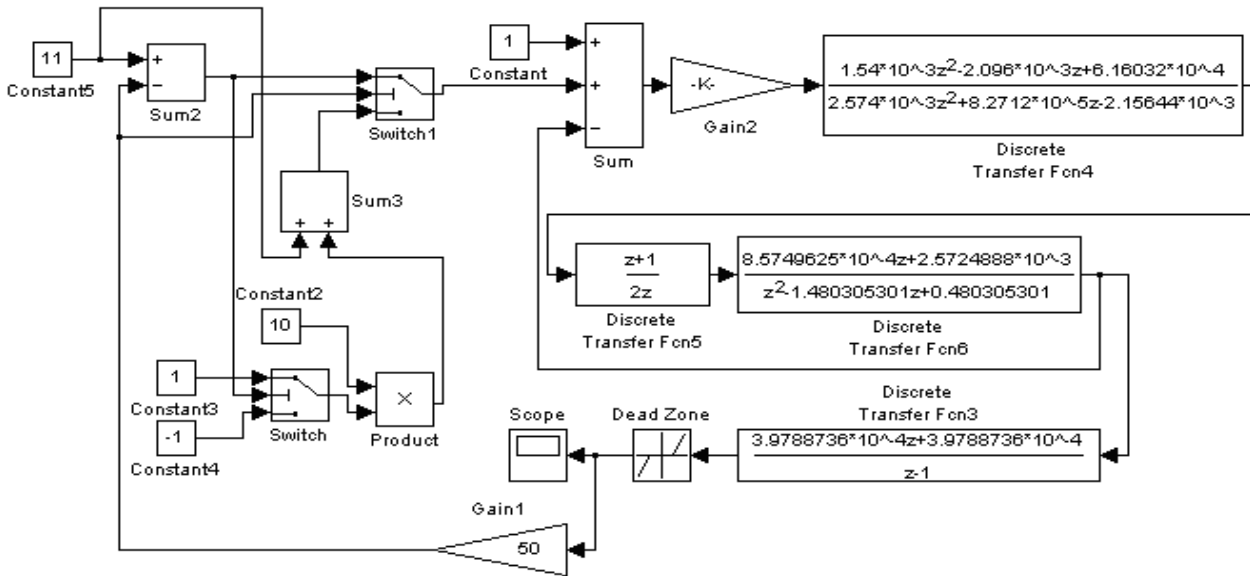


Рисунок 5 – Схема комп’ютерного моделювання процесу перетворення інформації апаратними засобами оцінювання мікронерівностей

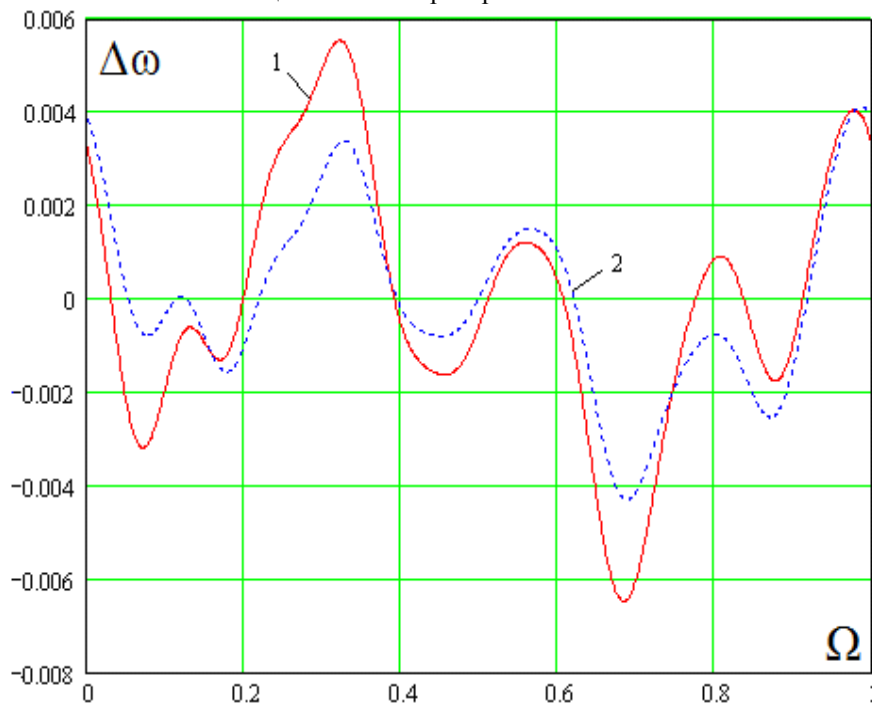


Рисунок 6 – Графіки внесків подач до сигналу девіацій:
1 – поперечної подачі, 2 – поздовжньої

Інформаційна технологія поділу внесків подач до вимірювальної часової реалізації девіацій швидкості обертання круга розроблено на основі частотного подання вказаних сигналів. Передатні функції внесків подач до сигналу девіацій отримано з аналізу математичної моделі процесу АШ в такому вигляді [1]

$$W_{\text{ш}}(p) = \frac{K_n T_{13} b_1 p^2}{(T_{11} p + 1)(T_{12} p + 1)(T_{14} p + 1)(T_{15} p + 1)},$$

$$W_{\text{шс}}(p) = \frac{K_n T_{13} b_0 p}{(a_1 p + a_0)(T_{14} p + 1)(T_{15} p + 1)}.$$

За допомогою цих виразів комп'ютерним моделюванням отримано графіки внесків подач до сигналу девіацій (рис. 6). Визначено вагові коефіцієнти поділу внесків подач.

На основі допускового контролю сигналу девіацій розроблено такий алгоритм формування пристроєм 4 уставок для пристроїв 1, 2 та 3 обробки сигналів:

- часову реалізацію сигналу девіацій після нормалізації його параметрів подаємо обмеженим рядом Фур'є;
- визначаємо діюче значення сигналу девіацій;
- нормовані значення подач одержуємо шляхом множення діючого значення сигналу девіацій на відповідний ваговий коефіцієнт;
- аналізуємо банк даних про еталонні рівні амплітуд девіацій і за потреби виконуємо коригування величин подач.

Розроблено прикладне програмне забезпечення та бази даних ІВС. **Висновок.** Програмні рухи апаратних засобів ІВС зі скорочення часу обробки деталі та отримання прогнозованих мікронерівностей використовує непрямі вимірювання шорсткості та

різальні властивості ШК. На основі методів безпосереднього цифрового та покоординатного управління, принципів децентралізації та розпаралелювання процесів обробки вхідної інформації розроблено тривимірну двохступеневу структуру ІВС. Встановлено структурно-алгоритмічні зв'язки між компонентами та принципами роботи апаратних засобів ІВС. На основі еталонних моделей каналів, які мають відоме запізнення, мінімізацією квадратичного критерію якості розроблено апаратні засоби обробки сигналів. З використанням математичного апарату дискретного перетворення Лапласа побудовано схеми комп'ютерного моделювання процесів обробки інформації апаратними засобами. У результаті комп'ютерного моделювання встановлено, що апаратні засоби відповідають вимогам ІВС з продуктивності.

Список літератури: 1. Енікеєв А.Ф. Оптимальное управление технологическим процессом алмазного шлифования. – Краматорск: ДГМА, 2001. – 160 с. 2. Синтез цифрового регулятора поперечної передачі шліфувального круга / Енікеєв О.Ф., Зиков І.С. // Вестник Национального технического университета «ХПИ». – Харьков: №57, 2008. – С. 87–93. 3. Комп'ютерна система підвищення ефективності алмазного шліфування в умовах неповної інформації / О.Ф. Енікеєв // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. Міжнародний науково-технічний журнал ВНТУ. – Вінниця: № 2, 2014. – С. 40 – 49.

Bibliography (transliterated): 1. Enikeev A.F. Optimal'noe upravlenie tehnologicheskim processom almaznogo shlifovanija. – Kramatorsk: DGMA, 2001. – 160 p. 2. Sintez cifrovogo reguljatora poperečnoї peredachi shlifival'nogo kruga / Enikeev O.F., Zikov I.P. // Vestnik Nacional'nogo tehničeskogo universiteta «KhPI». – Kharkov. – No 57, 2008. – P. 87–93. 3. Komp'juterna sistema pidvishhennja efekтивnosti almaznogo shlifuvannja v umovah nepovnoї informacii / O.F. Enikeev // Informacijni tehnologii ta komp'juterna inzhenerija. Mizhnarodnij naukovo-tehnichnij zhurnal VNTU. – Vinnicja: No 2, 2014. – P. 40 – 49.

Подано до редколегії 25.10.2015

Енікеєв Олександр Фанилович – канд. техн. наук, доцент, Український державний університет залізничного транспорту (УкрДУЗТ), м. Харків, (050)-194-33-57, (096)-245-32-83, e-mail: Al_enikeev@bigmir.net;

Енікеєв Олександр Фанілович – Candidate of Technical Sciences, Docent, Kharkov State Academy of Railway Transport, Kharkov, tel.: (050)-194-33-57, (096)-245-32-83, e-mail: Al_enikeev@bigmir.net;

Євсюкова Фатима Магомедієвна – старший викладач НТУ «ХПИ», (097)-941-22-99, e-mail: evsyukova_fatima@mail.ru;

Євсюкова Фатима Магомедієвна – Senior Lecturer of National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», (097)-941-22-99, e-mail: evsyukova_fatima@mail.ru;

Приходько Ольга Юрївна – канд. техн. наук, доцент, НТУ «ХПИ», тел.: (057)-720-66-25;

Приходько Ольга Юрївна – Candidate of Technical Sciences, Docent, National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», tel.: (057)-720-66-25.