

УДК 681.518.3

О. Ф. ЄНІКЄВ, Ф. М. ЄВСЮКОВА, І. С. ЗИКОВ

ТРИВИМІРНА ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНА СИСТЕМА ЗАДАВАННЯ ПАРАМЕТРІВ АЛМАЗНОГО ШЛІФУВАННЯ В УМОВАХ НЕПОВНОЇ ІНФОРМАЦІЇ

На основі принципів децентралізації та розпаралелювання процесів обробки вхідних сигналів, методів безпосереднього цифрового та покоординатного управління, ієрархічного принципу, непрямих вимірювань мікронерівностей та різальної властивості круга розроблено тривимірну триступінчасту інформаційно-вимірювальну систему задавання параметрів алмазного шліфування. Побудовано математичні моделі апаратних засобів. На основі мінімізації квадратичного критерію якості з використанням еталонних математичних моделей апаратних засобів з відомим запізненням розроблено пристрої обробки сигналів. Складено схеми комп'ютерного моделювання процесів перетворення вхідних сигналів апаратними засобами інформаційно-вимірювальної системи. Встановлено ефективність апаратних засобів, які розроблено.

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

На основе принципов децентрализации и распараллеливания процессов обработки входных сигналов, методов непосредственного цифрового и по координатного управления иерархического принципа, косвенных измерений микронеровностей и режущей способности круга разработана трехмерная трехступенчатая информационно-измерительная система задания параметров алмазного шлифования. Построены математические модели аппаратных средств. На основе минимизации квадратичного критерия качества с применением эталонных моделей каналов получены передаточные функции устройств обработки сигналов. Составлены схемы компьютерного моделирования процессов преобразования аппаратными средствами информационно-измерительной системы входных сигналов. Установлена эффективность разработанных аппаратных средств.

Ключевые слова: аппаратные средства, информационно-измерительная система, косвенные измерения, компьютерное моделирование.

Devices of principles of decentralization and parallelization of incoming information processing, methods of coordinate and digital control, the hierarchical principle, indirect measurements of roughness and cutting properties of a circle developed of three-dimensional three-stage information-measuring system of setting parameters of diamond grinding. The mathematical models of interference of hardware means. Devices of signal processing means are designed on the basis of minimizing of a quadratic quality criterion with using standard mathematical models of hardware means with a known delay.

Keywords: hardware means, information-measuring system, indirect measurements, computer simulation.

Вступ. Застосування відомих інформаційно-вимірювальних систем (ІВС) для підвищення економічної ефективності технологічних процесів алмазного шліфування (АШ) орієнтовано на скорочення часу обробки деталі та отримання заданої шорсткості поверхні [1]. Програмне забезпечення одновимірних апаратних засобів автоматизації процесів АШ розв'язує задачі задавання відповідних 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 первинних перетворювачів. Ця обставина робить неефективним використання відомих ІВС.

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

- розробка концепції програмного керування ІВС рухами апаратних засобів шліфувальних верстатів (ШВ) зі скорочення часу обробки деталі та забезпеченню заданого «якості» чистоти поверхні;
- розробка архітектури ІВС на основі принципів децентралізації та розпаралелювання процесів обробки вхідних сигналів;
- математичне моделювання апаратних засобів з урахуванням факторів невизначеності, які обумовлено дією завад та похибками вимірювань вхідних сигналів;

- побудова пристроїв обробки сигналів та визначення продуктивності.

Концепція програмного керування ІВС рухами апаратних засобів ШВ. Інформаційне забезпечення системи подано в такому вигляді:

- $\bar{U} = (u_1, u_2, \dots, u_i)^T$ - вектор вихідних сигналів;
- $\bar{X} = (S_{\bar{m}}, S_{\bar{m}\hat{a}_c}, \omega_{\hat{e}\delta})^T$ - вектор вхідних сигналів;
- $\bar{Q} = (\Delta_{\hat{a}\delta}, S_{\bar{m}}, \hat{n}\delta, S_{\bar{m}\hat{a}_c}, \hat{n}\delta, \omega_{\hat{e}\delta}, \hat{n}\delta)^T$ - вектор уставок банку даних процесу АШ;
- $\bar{\xi} = (\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_k)^T$ - вектор завад;
- $F(\bar{U}, \bar{Q}, \bar{\xi}, \Delta\omega, P_{\hat{a}}, \omega_{\hat{e}\delta}) = \bar{Y}$ - математична модель програмного керування ІВС рухами апаратних засобів ШВ в умовах неповної інформації та дії випадкових завад;
- $F_k = (u_k, \bar{Q}_k, \bar{\xi}_k) = 0$ - математична модель перетворення вхідної інформації каналом ІВС.

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

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

де $J_{кр}$ – момент інерції ШК, $\Delta\omega(t)$ – девіації, β_1 – коефіцієнт демпфування, γ_1 – крутильний опір валу, $\phi(t)$ – кут закрутки, $F(t)$ – сила різання, R – радіус круга.

© О.Ф. Єнікєв, Ф.М. Євсюкова, І.С. Зиков, 2015

Це рівняння встановлює інформаційний зв'язок між девіаціями швидкості обертання ШК та силою різання матеріалу заготовлі.

Концепцію програмного керування IBC рухами апаратних засобів ШВ подано на рис. 1. На рисунку позначено: $\Delta\omega$, P_e – сигнали девіації та потужності; $q_{\text{під}}$ – сигнал задавання скважності; R_z – мікронерівності, які прогнозуються. Програмні рухи забезпечуються задаванням подач та швидкості обертання ШК, які зберігає банк даних IBC.

Архітектура IBC. В основу її розробки покладено: принципи децентралізації та розпаралелювання процесів обробки сигналів, мікроконтролер MC68HC912B32, методи безпосереднього цифрового та покоординатного управління, ієрархічний принцип, непрямі вимірювання мікронерівностей [2] та різальних властивостей ШК, а також принцип мультиплексування шин адреси та даних. Схема тривимірної триступеневої IBC подана на рис. 2. На рисунку позначено: ВМ – виконуючий механізм; П – перетворювач; Д

– датчик; ЕП – електричний привод; ЦАП – цифро-аналоговий перетворювач.

Інформаційний зв'язок між IBC та процесом АШ забезпечують сигнали подач та швидкості обертання круга. Апаратні засоби першого ступеня системи задають параметри АШ, які зберігає банк даних у вигляді відповідного вектора. Вихідні сигнали формуються ними під час прямої або зворотної ходи шліфувального круга.

Сигнал миттєвої швидкості обертання алмазного інструмента є вхідним для апаратних засобів другого ступеня. 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 девіації та подання його обмеженням рядом Фур'є; визначення діючого значення та його порівняння з еталонним рівнем, котрий встановлено програмою обробки партії деталей.

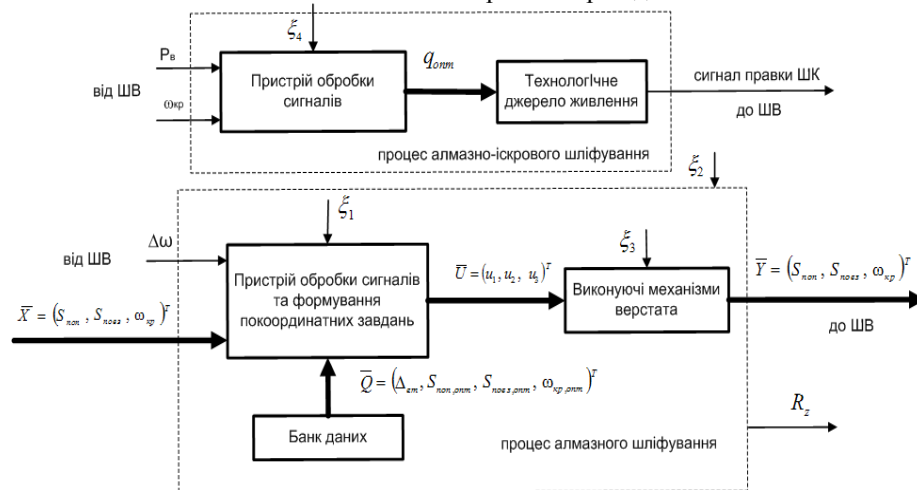


Рис. 1 – Концепція програмного керування IBC рухами апаратних засобів ШВ

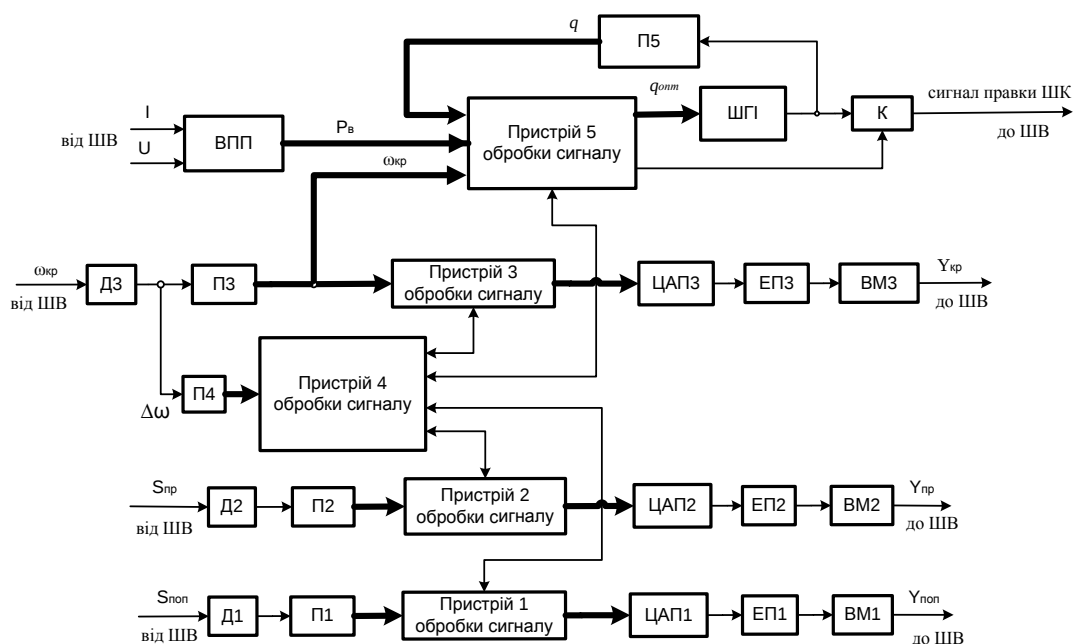


Рис. 2 – Архітектура тривимірної триступеневої IBC

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 ходою алмазного інструменту. ВМ1-ВМ3 задають нові параметри АПШ.

Інформаційний зв'язок між процесом АПШ та апаратними засобами третього ступеня ІВС забезпечують сигнали струму та напруги ВМ3, а також сигнал швидкості обертання. На основі допускового контролю та непрямих вимірювань різальної властивості круга вони реалізують нову технологію безперервної обробки поверхні деталі, яка поєднує процеси алмазного та алмазно-іскрового шліфування (АПШ). Інформаційний зв'язок між апаратними засобами третього ступеня та процесом АПШ забезпечує сигнал правки круга, електричні параметри якого вимірює П5. Паралельний інтерфейс забезпечує інформаційний зв'язок між блоками П1-П4, ВПП та пристроями 1-5, між пристроями 1-3 та ЦАП1-ЦАП3, а також пристроєм 5 та ШПІ. Процеси обміну даних між пристроями 1-5 забезпечує послідовний інтерфейс.

Моделювання апаратних засобів ІВС. У результаті аналізу структурної схеми блоку ЕПЗ разом із ВМ3 та математичних перетворювань отримано передатну функцію [3]

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

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 [3]

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

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 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

$$C(z^{-1}) u_t = f_0 y_t + f_1 y_{t-1} + g_0 u_t + g_1 u_{t-1} + g_2 u_{t-2} + g_3 u_{t-3} + h_0 G_t + h_1 G_{t-1} + \delta = 0, \quad (4)$$

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

$$u_t = g_0^{-1} (f_0 y_t + f_1 y_{t-1} + g_1 u_{t-1} + g_2 u_{t-2} + g_3 u_{t-3} + h_0 G_t + h_1 G_{t-1} + \delta). \quad (5)$$

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

$$W_{I3}(z) = 1.206 \frac{z^2 - 0.1706z}{z^2 - 0.995z - 5.019 \cdot 10^{-3}}. \quad (6)$$

На основі виразів (3) та (6) розроблено схему комп'ютерного моделювання процесу обробки апаратними засобами ІВС сигналу швидкості обертання ШК (рис. 3). 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 [4]

$$W_3(p) = \frac{\Delta_1 k_{I1} e^{-p \tau_{I1}}}{T_{I1} p + 1}. \quad (7)$$

У результаті аналізу схеми побудови та математичних перетворень отримали таку передатну функцію ЕП1 разом з ВМ1 [4]

$$W_4(p) = \frac{k_{\phi} k_{\gamma} K_{\phi \gamma} K_{\phi \delta} (T_{\phi \gamma} p + 1) k_I}{[e^{\tau_{\phi \gamma} p} e^{\tau_{\phi \delta} p} (T_{\phi \gamma} p + 1) (T_{\phi \delta} p + 1) (T_{\phi \gamma} p + 1) (T_A p + 1) + 1] T_I p + 1}. \quad (8)$$

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

$$W_5(p) = \frac{b_0^*}{(\zeta_1 T_4 p + 1) \left(\frac{T_4}{\zeta_1} p + 1 \right) (T_5 p + 1)}. \quad (9)$$

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

$$W_5(p) = \frac{b_0^*}{(\zeta_1 T_4 p + 1) \left(\frac{T_4}{\zeta_1} p + 1 \right) (T_5 p + 1)}. \quad (9)$$

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

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

$$\text{де } A_{2k-1} = \frac{4S_{\tilde{m}}}{\pi(2k-1)} \cos \left[\frac{(2k-1)\Omega}{2} (t_1 - t_2) \right];$$

Ω – кругова частота першої гармоніки.

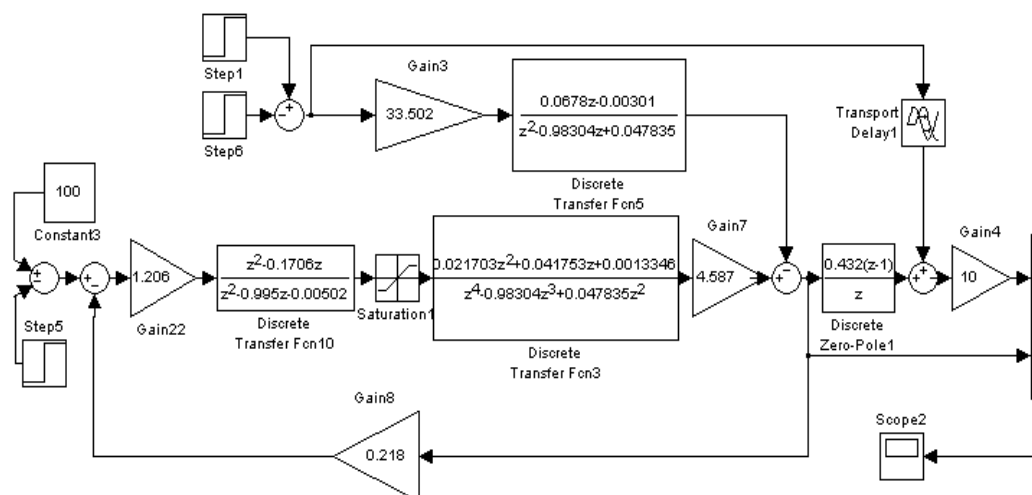


Рис. 3 – Схема комп'ютерного моделювання процесу обробки сигналу швидкості обертання ШК

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

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

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

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

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

$$R_1(z^{-1}) = \frac{\Delta_2 k_l T_l (1-l_4)}{\varepsilon_{\text{дн}}} z^{-1},$$

$$D(z^{-1}) = g_0 + g_1 z^{-1} + g_2 z^{-2},$$

$$F(z^{-1}) = f_0 + f_1 z^{-1} + f_2 z^{-2}.$$

Мінімізацією квадратичного критерію якості з використанням еталонної моделі каналу отримана передатна функція пристрою 1 обробки сигналу поперечної подачі ШК [5]

$$W_{I1}(z^{-1}) = 767.113 \frac{2.3 - 3.453z^{-1} + 1.33z^{-2}}{0.262 + 0.008z^{-1} + 0.2182z^{-2}}. \quad (13)$$

На основі виразів (9) та (13) розроблено схему комп'ютерного моделювання процесу обробки сигналу поперечної подачі ШК (рис. 4).

У результаті аналізу структурної схеми апаратних засобів обробки сигналу поздовжньої подачі ШК із застосуванням комп'ютерного моделювання та

математичного апарату z-перетворень отримано наступні вирази для передатних функцій [6]

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

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

У цих виразах враховано запізнювання, 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 обмеженням рядом Фур'є. На основі теореми про згортку з використанням передатної функції каналу отримано вираз, який описує його вихідний сигнал [3]

$$y_{n\text{ic}}(t) = \sum_{k=5}^8 B_k e^{-p_k t} \sum_{i=1}^n \frac{\hat{A}_{2i-1} T_k}{\sqrt{1+T_k^2(2i-1)^2\Omega^2}} [e^{j\arctg T_k(2i-1)\Omega} - e^{-j\arctg T_k(2i-1)\Omega}]. \quad (14)$$

Математичну модель випадкової завади апаратних засобів обробки сигналу поздовжньої подачі ШК подано у вигляді фліккер-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]

$$W_{I2}(z^{-1}) = \frac{0.04752 + 0.862z^{-1} - 0.823z^{-2}}{0.374 - 0.374z^{-1}}. \quad (15)$$

На основі виразу (15) розроблено схему комп'ютерного моделювання процесу обробки сигналу поздовжньої подачі ШК (рис. 5).

У результаті аналізу структурної схеми апаратних засобів оцінювання прогнозованих мікронерівностей із використанням моделей його компонентів та математичного апарату z-перетворень отримано вираз для передатної функції [3]

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

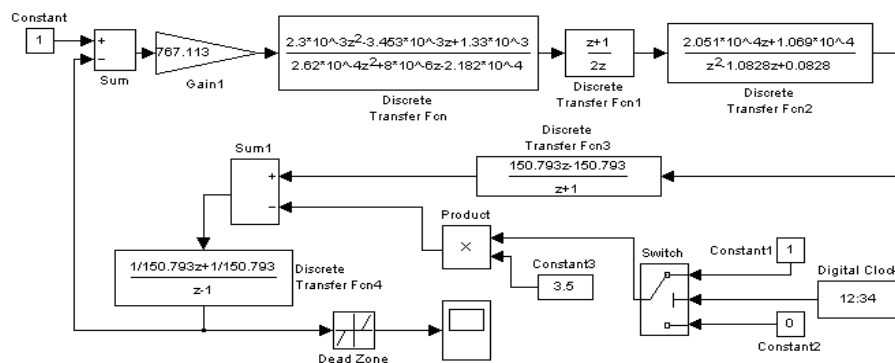


Рис. 4 – Схема комп'ютерного моделювання процесу обробки сигналу поперечної подачі ШК

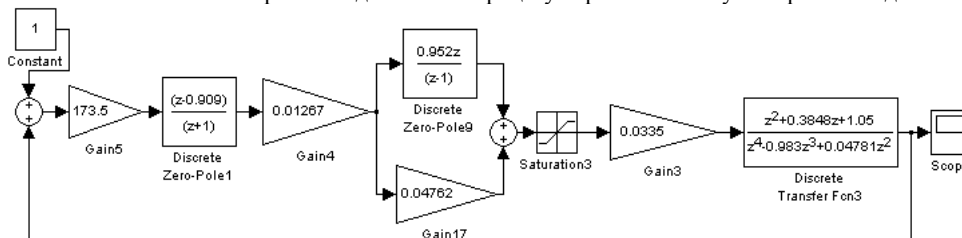


Рисунок 5 – Схема комп'ютерного моделювання процесу обробки сигналу поздовжньої подачі ШК

$$\text{де } b_1^* = \frac{\Delta_5 k_{\bar{a}3} k_{\bar{I}4}}{\tau_{\bar{I}4} - T_{\bar{a}3}} \left(e^{-\frac{T_0}{\tau_{\bar{I}4}}} - e^{-\frac{T_0}{T_{\bar{a}3}}} \right),$$

$$a_2^* = e^{-\left(\frac{T_0}{T_{\bar{a}3}} + \frac{T_0}{\tau_{\bar{I}4}} \right)},$$

$$a_1^* = - \left(e^{-\frac{T_0}{\tau_{\bar{I}4}}} + e^{-\frac{T_0}{T_{\bar{a}3}}} \right). \text{ Враховано запізнення}$$

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]

$$y_{D2}(t) = B_9 e^{-\frac{1}{T_{16}} t} \sum_{k=1}^{10} \frac{A_k T_{16}}{\sqrt{1 + T_{16}^2 k^2 \Omega^2}} \left[e^{j(\psi_k + 0.5\pi - \arctg T_{16} k \Omega)} - e^{-j(\psi_k + 0.5\pi + \arctg T_{16} k \Omega)} \right] +$$

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

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

$$W_{\bar{I}4}(z^{-1}) = \frac{1.54 - 2.096z^{-1} + 0.616z^{-2}}{2.574 + 0.083z^{-1} - 2.156z^{-2}}. \quad (18)$$

На основі виразів (16) та (18) розроблено схему комп'ютерного моделювання процесу перетворення інформації апаратними засобами оцінювання мікронерівностей (рис. 6).

Інформаційна технологія поділу внесків подач до виміральної 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 [6]

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

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

За допомогою цих виразів комп'ютерним моделюванням отримано графіки внесків подач до сигналу девіацій (рис. 7). Визначено вагові коефіцієнти поділу внесків подач.

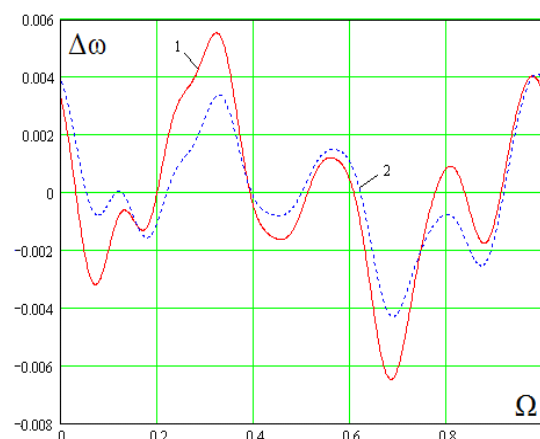


Рис. 7 – Графіки внесків подач до сигналу девіацій: 1 – поперечної подачі, 2 – поздовжньої

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

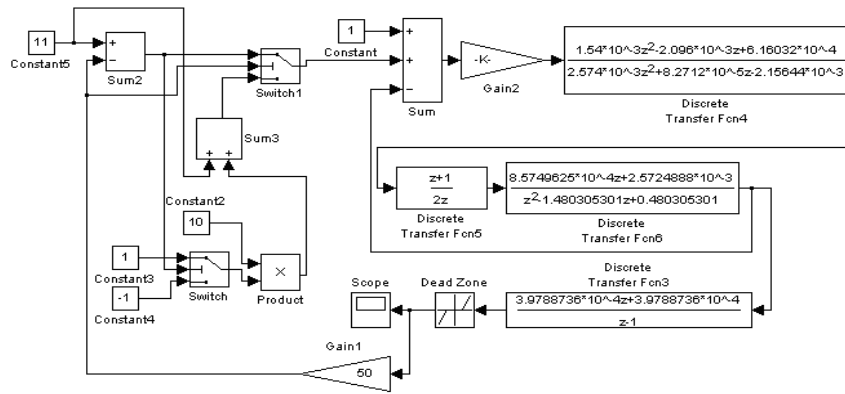


Рис. 6 – Схема комп'ютерного моделювання процесу перетворення інформації апаратними засобами оцінювання мікронерівностей

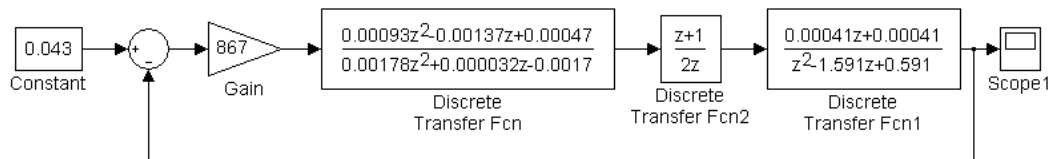


Рис. 8 – Схема комп'ютерного моделювання процесу задавання параметрів АПШ

- 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.

У результаті аналізу структурної схеми апаратних засобів задавання параметрів АПШ із застосуванням моделей компонент та апарату z-перетворень отримано вираз для передатної функції [7]

$$W_{P3}(z^{-1}) = \frac{k_{\dot{\theta} \ddot{\theta}} T_d (T_d + K_{I\dot{\theta}} T_{i\dot{\theta}}) \frac{T_{18}}{T_{17} - T_{16}} \left(e^{-\frac{T_0}{T_{17}}} + e^{-\frac{T_0}{T_{16}}} \right) z^{-1}}{1 - \left(e^{-\frac{T_0}{T_{16}}} + e^{-\frac{T_0}{T_{17}}} \right) z^{-1} + e^{-\frac{T_0}{T_{17}}} e^{-\frac{T_0}{T_{16}}} z^{-2}} \quad (19)$$

Поданням вхідного сигналу одиничною функцією Хевісайда та на основі теореми про згортку з використанням передатної функції апаратних засобів отримано вираз, який описує його вихідний сигнал, [7]

$$y_{\dot{\theta} \ddot{\theta}}(t) = 1(t) + \frac{B_{12} \dot{\theta}_{17}}{\dot{\theta}_{17} + 1} e^{-\frac{\dot{\theta}_{17}}{T_{17}+1} t} - \frac{B_{11} \dot{\theta}_{16}}{\dot{\theta}_{16} + 1} e^{-\frac{\dot{\theta}_{16}}{T_{16}+1} t} \quad (20)$$

Мінімізацію квадратичного критерію якості з використанням еталонної моделі каналу отримано передатну функцію пристрою 5 обробки сигналів у такому вигляді [7]

За допомогою виразів (19) та (21) розроблено схему комп'ютерного моделювання процесу перетворення інформації апаратними засобами задавання параметрів АПШ (рис. 8).

$$W_{I5}(z^{-1}) = \frac{k_{\dot{\theta} \ddot{\theta}} T_d (T_d + K_{I\dot{\theta}} T_{i\dot{\theta}}) \frac{T_{18}}{T_{17} - T_{16}} \left(e^{-\frac{T_0}{T_{17}}} + e^{-\frac{T_0}{T_{16}}} \right) z^{-1}}{1 - \left(e^{-\frac{T_0}{T_{16}}} + e^{-\frac{T_0}{T_{17}}} \right) z^{-1} + e^{-\frac{T_0}{T_{17}}} e^{-\frac{T_0}{T_{16}}} z^{-2}} \quad (21)$$

Розроблено прикладне програмне забезпечення та бази даних триступінчастої ІВС.

Висновок. Уперше запропоновано концепцію програмного керування ІВС рухами апаратних засобів ШВ щодо скорочення часу обробки деталі та отримання прогнозованих мікронерівностей із використанням непрямих вимірювань шорсткості та різальної властивості ШК. На основі методів безпосереднього цифрового та покоординатного управління, принципів децентралізації та розпаралелювання процесів обробки вхідної інформації розроблено тривимірну триступеневу структуру ІВС. Встановлено структурно-алгоритмічні зв'язки між компонентами та принципи роботи апаратних засобів ІВС. На основі еталонних моделей каналів, які мають відоме запізнення, у результаті мінімізації квадратичного критерію якості розроблено апаратні засоби тривимірної триступінчастої ІВС для обробки сигналів. З використанням математичного апарату дискретного перетворення Лапласа побудовано схеми комп'ютерного моделювання процесів обробки інформації апаратними засобами тривимірної триступеневої ІВС. У результаті комп'ютерного моделювання встановлено, що апаратні засоби відповідають вимогам ІВС за продуктивністю.

Список литературы

1. Еникеев А.Ф. Оптимальное управление технологическим процессом алмазного шлифования. – Краматорск: ДГМА, 2001. – 160с.
2. Еникеев А.Ф. Реализация непрямих вимірювань мікронерівностей деталей для підвищення ефективності алмазного шліфу-

- вання / О.Ф. Єнікєєв, Г.В. Соколовська, Т.Л. Щербак // Моделювання та інформаційні технології. – 2012. – Вип. 62. – С. 41 – 48.
3. Єнікєєв А.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.
 4. Єнікєєв А.Ф. Анализ эффективности аппаратных средств управления поперечной подачей шлифовального круга / А.Ф. Єнікєєв, Ф.М. Євсюкова, Л.А. Шищенко // Вестник национального технического университета «ХПИ». – 2015. – № 4. – С. 132 – 137.
 5. Єнікєєв А.Ф. Синтез цифрового регулятора поперечної передачі шліфувального круга / О.Ф. Єнікєєв, І.С. Зиков // Вестник Национального технического университета «ХПИ». – Харьков: №57, 2008. – С. 87 – 93.
 6. Єнікєєв А.Ф. Комп'ютерна система підвищення ефективності алмазного шліфування в умовах неповної інформації / О.Ф. Єнікєєв // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. – Вінниця: № 2, 2014. – С. 40 – 49.
 7. Єнікєєв А.Ф. Система управління процесом правки шліфувальних кругів на металевому зв'язуванні / О.Ф. Єнікєєв, Ф.М. Євсюкова, Л.О. Шищенко // Вестник национального технического университета «ХПИ». – 2008. – №23. – С. 109 – 113.

References (transliterated)

1. Ienikieiev A.F. *Optimalnoe upravlenie tehnologicheskim processom almaznogo shlifovaniya* [Optimum process control diamond grinding]. Kramatorsk, DGMA. 2001, 160 p.
2. Yenikyeyev O.F., Sokolovska G.V., Shherbak T.L. Realizatsiia nepriamykh vymiriuvan mikronerivnostei detalei dlia pidvyshchennia

efektyvnosti almaznogo shlifuvannia [Implementation indirect measurements of microscopic detail to improve the efficiency of diamond polishing]. *Modeliuvannia ta informatsiini tekhnologii*. 2012, No 62, pp. 41 – 48.

3. Ienikieiev A.F., Ievsiukova F.M., Zikov I.S., Shushenko L.A. Optymalnyi tsyfrovyy regulator pryvoda obertannia shlifovalnogo kruha [Optimal digital drive controller obertannya shlifovalnogo circle]. *Vestnik natsionalnogo tekhnicheskogo universiteta «KhPI»*. Kharkov. 2015, No 4, pp. 132 – 137.
4. Ienikieiev A.F., Ievsiukova F.M., Shushenko L.A. The analysis of the efficiency of hardware control of the longitudinal feed of the grinding wheel [Analysis of the effectiveness of hardware management in peppermint feed wheel]. *Vestnik natsionalnogo tekhnicheskogo universiteta «KhPI»*. Kharkov. 2007, No 17, pp. 91 – 98.
5. Ienikieiev A.F., Zikov I.S. Syntez tsyfrovoho rehulatora poperechnoi peredachi shlifovalnogo kruha [Synthesis of digital regulator traverse grinding wheel]. *Vestnik natsionalnogo tekhnicheskogo universiteta «KhPI»*. Kharkov, 2008, No 57, pp. 87 – 93.
6. Ienikieiev O.F. Komp'iuterna sistema pidvyshchennia efektyvnosti almaznogo shlifuvannia v umovakh nepovnoi informatsii [Computer system efficiency diamond grinding under incomplete information]. *Informatsiini tekhnologii ta kompiuterna inzheneriia. Mizhnarodnii nauko-tekhnichnii zhurnal VNTU*. Vinnitsa. 2014, No 2, pp. 40 – 49.
7. Ienikieiev O.F., Ievsiukova F.M., Shushenko L.O. Sistema upravlinnia protsesom pravky shlifovalnykh kruhiv na metalovomu zviazuванні [Process control system edits grinding wheels on a metal binding]. *Vestnik natsionalnogo tekhnicheskogo universiteta «KhPI»*, 2008, No 23, pp. 109 – 113.

Поступила (received) 10.04.2016

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Тривимірний інформаційно-вимірювальна система задавання параметрів алмазного шліфування в умовах неповної інформації / О.Ф. Єнікєєв, Ф.М. Євсюкова, І.С. Зиков // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Технології в машинобудуванні. – Х.: НТУ «ХПІ», 2016. – № 5 (1177). С. 41-47. – Бібліогр.: 7 назв. – ISSN 2079-004X.

Трёхмерная информационно-измерительная система задания параметров алмазного шлифования в условиях неполной информации / А.Ф. Еникеев, Ф.М. Евсюкова, И.С. Зыков // Вестник НТУ «ХПІ». Серія: Технологии в машиностроении. – Х.: НТУ «ХПІ», 2016. – № 5 (1177). С. 41-47. – Бібліогр.: 7 названий. – ISSN 2079-004X.

The three-stage information-measuring system of setting parameters of diamond grinding of incomplete information / A. Ienikieiev, F.M. Evsiukova, I.S. Zikov // Bulletin NTU «KhPI». Series: Technologies in mechanical engineering. – Kharkiv. : NTU «KhPI», 2016. – № 5 (1177). – P. 41-47. – Bibliogr.: 7. – ISSN 2079-004X.

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Єнікєєв Олександр Фанілович – 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;

Єнікєєв Олександр Фанілович - канд. техн. наук, доцент, Украинский государственный университет железнодорожного транспорта (УкрГУЖТ), г. Харьков, (050) -194-33-57, (096) -245-32-83, e-mail: Al_enikeev@bigmir.net;

Єнікєєв 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 Магометдієвна – старший викладач НТУ «ХПІ», (097)-941-22-99, e-mail: evsyukova_fatima@mail.ru;

Євсюкова Фатима Магометдієвна - старший преподаватель НТУ «ХПІ», (097) -941-22-99, e-mail: evsyukova_fatima@mail.ru;

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

Зиков Ігор Семенович – канд. техн. наук, доцент, професор НТУ «ХПІ», (093)-503-11-90, e-mail: agent_00@mail.ru;

Зыков Игорь Семенович - канд. техн. наук, доцент, профессор НТУ «ХПІ», (093) -503-11-90, e-mail: agent_00@mail.ru;

Zykov Ihor Semenovich – Candidate of Technical Sciences, Docent, Professor of National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute» (093) -503-11-90, e-mail: agent_00@mail.ru.