

## КОМП'ЮТЕРНА СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ АЛМАЗНИМ ШЛІФУВАННЯМ В УМОВАХ НЕПОВНОЇ ІНФОРМАЦІЇ

<sup>1</sup>Українська державна академія залізничного транспорту, м. Харків

*Запропоновано концепцію побудови проблемно-орієнтованої розподіленої комп'ютерної системи на основі обробки даних непрямих вимірювань. Побудовано імітаційні моделі каналів та встановлена ефективність системи.*

**Ключові слова:** концепція, непрямі вимірювання, структурно-логічна організація, імітаційне моделювання.

### Вступ

Впровадження у машинобудівне виробництво України сучасних інформаційних та енергоощадних технологій базується на розробці технічних засобів для автоматизації технологічних процесів й, зокрема, алмазного шліфування. Застосування відомих систем програмного задання режимів шліфування орієнтовано на скорочення тривалості технологічного циклу обробки заготовки деталі за умови отримання заданої якості її обробленої поверхні. Відсутність вхідної інформації про стан поточних мікронерівностей поверхні деталі, яку оброблює шліфувальний верстат, та стан різальної здатності алмазного інструменту є недоліком цих комп'ютерних систем.

*Метою статті є розробка в умовах дії випадкових завод концепції побудови розподіленої комп'ютерної системи для підвищення ефективності процесу алмазного шліфування на основі непрямих вимірювань мікронерівностей та різальної здатності алмазного інструменту. Досягнути поставлену мету можна розв'язанням таких задач:*

- розробка структурно-логічної організації та інформаційного забезпечення системи;
- математичне моделювання елементів розподіленої комп'ютерної системи та синтез пристроїв цифрової обробки сигналів;
- побудова імітаційних моделей каналів та аналіз ефективності комп'ютерної системи.

Автором пропонується ідея підвищення ефективності технологічного процесу алмазного шліфування на основі застосування непрямих вимірювань мікронерівностей для забезпечення комп'ютерною системою прогнозованої якості обробленої поверхні деталі та реалізації нею нової технології обробки, яка передбачає періодичну правку шліфувального круга з метою відновлення його різальної здатності. Вихідними сигналами проблемно-орієнтованої комп'ютерної системи є поперечна та поздовжня подачі шліфувального круга, кутова швидкість обертання алмазного інструмента. Вхідну інформацію система отримує в результаті прямих вимірювань миттєвої швидкості обертання шліфувального круга та потужності, яку споживає привод головного руху верстата.

Інформаційна технологія цифрової обробки сигналу швидкості полягає у такому: виділенні сигналу девіацій та подання його у вигляді обмеженого ряду Фур'є і розрахунку діючого значення та його порівняння з еталоном. Еталонні рівні девіацій визначено на основі можливих показників шорсткості [1] та внесено до банку даних комп'ютерної системи. У цьому випадку девіації є джерелом непрямой інформації про мікронерівності поверхні заготовки, що обробляється верстатом, та сигналом, який містить інформацію про відхилення прогнозованого показника шорсткості від встановленого програмою обробки партії деталей. За метод автоматичної правки алмазного інструмента на металевий зв'язці запропоновано процес алмазно-іскрового шліфування. Апаратні засоби системи на основі допускового контролю сигналу потужності реалізують нову технологію обробки деталі, яка поєднує процеси алмазного та алмазно-іскрового шліфування.

### Концепція побудови системи

В основу її розробки покладено: ієрархічний принцип, методи покоординатного та безпосереднього цифрового управління, а також непрямі вимірювання мікронерівностей та різальної здатності алмазного інструмента (рис. 1).

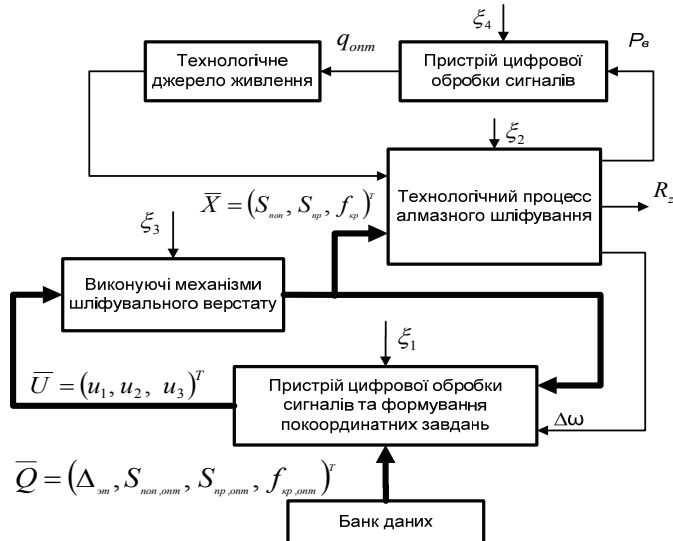


Рис. 1. Концепція побудови проблемно-орієнтованої комп'ютерної системи:  $\Delta\omega$  — вимірювальний сигнал,  $R_z$  — амплітуда мікронерівностей,  $\bar{U} = (u_1, u_2, \dots, u_i)^T$  — вектор параметрів процесу алмазного шліфування,  $\bar{X} = (S_{\text{ноп}}, S_{\text{пр}}, f_{\text{кр}})^T$  — вектор поточних параметрів шліфування,  $P_v$  — сигнал потужності,  $\bar{\xi} = (\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_k)^T$  — вектор випадкових завад,  $q_{\text{опт}}$  — розрахункова скважність сигналу ТДЖ,  $\bar{Q} = (\Delta_{\text{вт}}, S_{\text{ноп,опт}}, S_{\text{пр,опт}}, f_{\text{кр,опт}})^T$  — вектор уставок

Архітектура проблемно-орієнтованої розподіленої комп'ютерної системи показана на рис. 2.

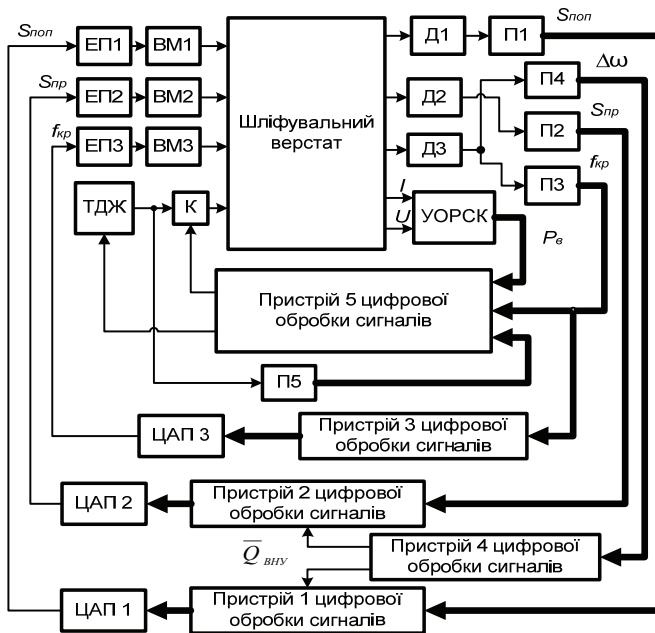


Рис. 2. Архітектура тривірневої проблемно-орієнтованої розподіленої комп'ютерної системи :  
 ЕП — електричний привод; ВМ — виконавчий механізм; Д — первинний перетворювач; П — перетворювач вихідного сигналу Д у цифровий код; ЦАП — цифро-аналоговий перетворювач; К — комутатор сигналів; ПОРСК — пристрій для статистичного оцінювання ріжучої спроможності круга; ТДЖ — технологічне джерело живлення для організації періодичної подачі круга; П5 — вимірювач параметрів вихідного сигналу ТДЖ;  $S_{\text{ноп}}$ ,  $S_{\text{пр}}$  — відповідно поперечна та поздовжня подачі круга;  $f_{\text{кр}}$  — середня швидкість обертання круга;  $I$ ,  $U$  — відповідно струм та напруга, яку споживає привод головного руху верстата;  $\bar{Q}_{\text{вну}}$  — вектор налаштувань пристроїв 1 та 2 за результатами вимірювань девіацій

Технічну реалізацію пристроїв цифрової обробки сигналів виконано на базі мікроконтролерів. Перший рівень комп'ютерної системи реалізує традиційну технологію програмного задання оптимальних режимів алмазного шліфування (подачі круга, а також середню частоту його обертання). Апаратні засоби другого рівня системи формують вектор налаштувань пристроїв 1 та 2 у результаті цифрової обробки даних непрямих вимірювань мікронерівностей. Апаратно-програмні

засоби третього рівня системи на основі допускового контролю сигналу потужності реалізують процес алмазного шліфування з періодичною правкою круга на металевому зв'язуванні. Встановлено, що у процесі алмазно-іскрового шліфування поверхні деталі відбувається підвищений знос інструмента і, отже, він економічно не вигідний. Наявність у складі апаратних засобів третього рівня мікроконтролера (пристрій 5 цифрової обробки сигналів) дозволяє задавати електричні параметри процесу алмазно-іскрового шліфування, метою якого є усунення можливих припикань обробленої поверхні та досягнення прогнозованих мікронерівностей.

Реалізацію каналів проблемно-орієнтованої розподіленої системи проведено на основі встановлених вимог до швидкодії обробки даних. Задання оптимальних режимів шліфування виконуються пристроями (1 і 2) під час пауз між прямим та зворотним ходом алмазного інструмента з урахуванням результату вимірювань девіацій. Якщо сигнал девіацій перевищує еталонний рівень, то пристрій 4 цифрової обробки сигналу миттєвої швидкості формує на пристрої 1 та 2 сигнали зміни величин подач.

### Вибір періоду дискретизації

Для розробки критерію задаємося значенням похибки відновлення аналогового сигналу за дискретними відліками. Сигнали розподіленої комп'ютерної системи подаємо у вигляді обмеженого ряду Фур'є. Втрати інформації при дискретизації за часом гармонічного сигналу оцінюються величиною динамічної похибки, отриманої у такому вигляді:

$$\delta_{\text{дин}} = 1 - \frac{\pi}{m} \sum_{k=0}^{0,5m-1} \sin\left(k \frac{2\pi}{m}\right), \quad (1)$$

де  $m$  — кількість інтервалів дискретизації.

Відносна похибка дискретизації визначена з урахуванням внесків гармонічних складових

$$\delta_{\text{сум}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n A_{2i-1}^2}{\sum_{i=1}^n A_{2i-1}^2}} \delta_{(2i-1)\text{дин}}^2. \quad (2)$$

За виразом (2) побудовано графік (рис. 3), який використано автором для визначення кількості інтервалів дискретизації сигналів розподіленої комп'ютерної системи.

Для вибраної похибки відновлення апаратно-програмними засобами вхідного сигналу період його дискретизації визначається шляхом поділу часу робочого ходу шліфувального круга на встановлену кількість інтервалів. Швидкодія апаратно-програмних засобів розподіленої комп'ютерної системи має перевищувати це значення періоду дискретизації.

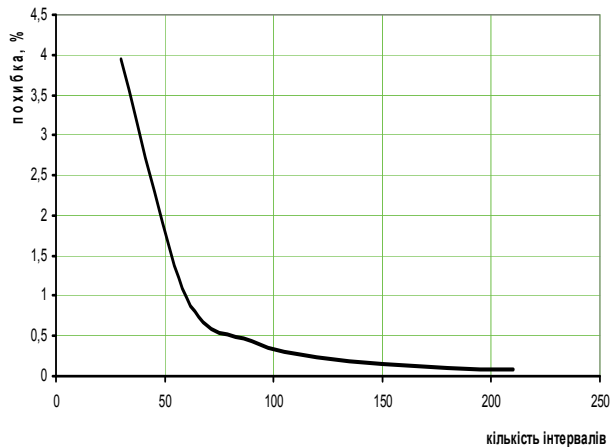


Рис. 3. Графік похибки дискретизації

### Моделювання елементів першого рівня

Функціональні модулі ЕПЗ та ВМЗ описуються передатною функцією [2]

$$W_1(p) = \frac{b_0^* p}{(T_1 p + 1)(T_2 p + 1)}, \quad (3)$$

де  $b_0^*$ ,  $T_i$  — відповідно, коефіцієнт передачі та постійні часу ланок моделі.

Z-перетворення виразу (3) отримано в такому вигляді:

$$W_2(z) = \frac{b_0^* (c_1 + c_2 z^{-1}) z^{-1}}{1 - \left( e^{-\frac{T_0}{T_1}} + e^{-\frac{T_0}{T_2}} \right) z^{-1} + e^{-\frac{T_0}{T_1}} e^{-\frac{T_0}{T_2}} z^{-2}}; \quad c_1 = 1 + \frac{T_2 e^{-\frac{T_0}{T_2}} - T_1 e^{-\frac{T_0}{T_1}}}{T_1 - T_2}; \quad c_2 = e^{-\frac{T_0}{T_1}} e^{-\frac{T_0}{T_2}} + \frac{T_2 e^{-\frac{T_0}{T_2}} - T_1 e^{-\frac{T_0}{T_1}}}{T_1 - T_2},$$

де  $T_0$  — період дискретизації вхідного сигналу.

Пристрій 3 цифрової обробки сигналів виконує порівняння поточної швидкості обертання шліфувального круга з оптимальним значенням банку даних. Загальний випадок подання його передатної функції має вигляд [2]

$$W_3(p) = \frac{1 - e^{-p\tau_r}}{\tau_r}, \quad (4)$$

де  $\tau_r$  — постійна часу.

Специфіка роботи блоків ДЗ та ПЗ дозволяє подати їх у вигляді аперіодичного ланцюга з запізненням, який має таку передатну функцію [2]:

$$W_4(p) = \frac{\Delta_1(1 - e^{-pT_0})}{p}, \quad (5)$$

де  $\Delta_1$  — довірчий інтервал вимірювань частоти обертання круга первинним перетворювачем, який отримано на основі інформаційного підходу у результаті статистичної обробки експериментальних даних.

Специфіка роботи блоку ЦАПЗ дозволяє подати його у вигляді

$$W_5(p) = \frac{1 - e^{-pT_0}}{p}. \quad (6)$$

Передатну функцію каналу задання швидкості отримано у такому вигляді:

$$W_6(p) = \frac{b_0^* \tau_r p [T_3 \tau_3 p^2 + (T_3 + \tau_3) p + 1]}{a_4 p^4 + a_3 p^3 + a_2 p^2 + a_1 p + 1}, \quad (7)$$

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

Мінімізацією квадратичного критерію якості з використанням еталонної моделі каналу отримано передатну функцію пристрою 3 [2]:

$$W_{ПЗ}(z) = 1,206 \frac{z^2 - 0,1706z}{z^2 - 0,995z - 5,019 \cdot 10^{-3}}. \quad (8)$$

На основі виразів (5) та (10) складено імітаційну модель апаратних засобів задання швидкості обертання круга (рис. 4).

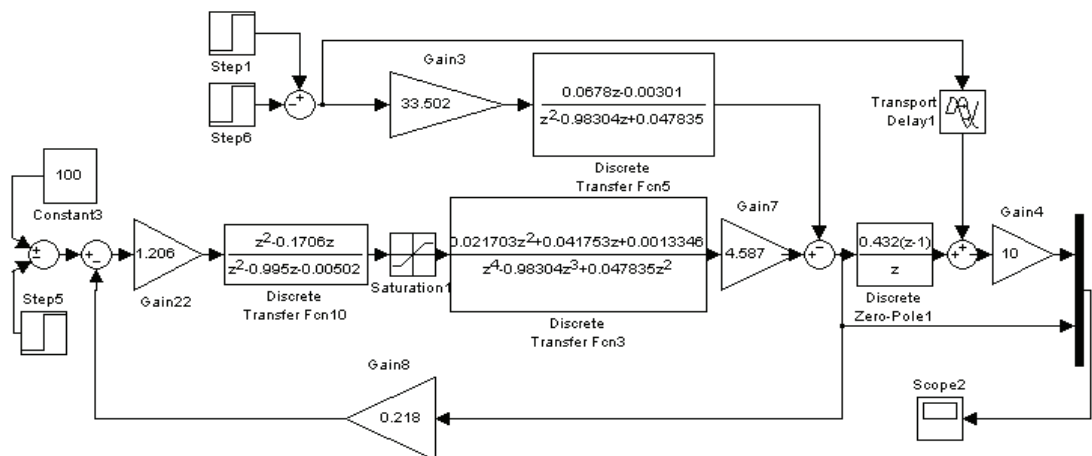


Рис. 4. Імітаційна модель апаратних засобів задання швидкості

Модулі ПІ та ВМ1 вносять затримку в роботу апаратних засобів для задання поперечної подачі шліфувального круга. Z-перетворення виразів для передатних функцій цього каналу системи мають такий вигляд [3]:

$$W_7(z^{-1}) = z^{-2} \frac{b_0^\circ + b_1^\circ z^{-1} + b_2^\circ z^{-2} + b_3^\circ z^{-3}}{1 + a_1^\circ z^{-1} + a_2^\circ z^{-2} + a_3^\circ z^{-3}}; \quad W_8(z^{-1}) = \frac{k_M T_M (1 - l_4) z^{-1}}{1 - (1 + l_4) z^{-1} + l_4 z^{-2}}. \quad (9)$$

У цих виразах врахована зона нечутливості первинного перетворювача, яку визначено на основі інформаційного підходу в результаті статистичної обробки експериментальних даних.

Визначаючи вхідний сигнал апаратних засобів для задання поперечної подачі круга, враховано таке:

— під час прямого та зворотного ходів шліфувального круга фаза вихідного сигналу змінюється на  $180^\circ$ ;

— прямий та зворотний ходи круга утворюють період основної гармоніки частотного подання вхідного впливу.

На підставі цього словесного опису найповніше поставленому завданні відповідає сигнал [1]

$$S_{\text{поп}}(t) = \begin{cases} 0, & \text{якщо } -\pi < \Omega t < -\pi + \alpha, \quad -\alpha < \Omega t < \alpha, \quad \pi - \alpha < \Omega t < \pi; \\ S_{\text{поп}}, & \text{якщо } \alpha < \Omega t < \pi - \alpha; \\ -S_{\text{поп}}, & \text{якщо } -\pi + \alpha < \Omega t < -\alpha, \quad \alpha > 0, \quad 0 < \alpha < 0,5\pi, \end{cases} \quad (12)$$

де  $\alpha = \frac{\Omega}{2}(t_1 - t_2)$ ,  $t_2$  — час взаємодії круга з оброблюваною поверхнею.

Перетворення Фур'є для сигналу (12) має такий вигляд:

$$S_{\text{поп}}(t) = \frac{4S_{\text{поп}}}{\pi} \sum_{k=1}^n \frac{1}{2k-1} \cos\left[\frac{(2k-1)\Omega}{2}(t_1 - t_2)\right] \sin(2k-1)\Omega t. \quad (13)$$

Після заміни гармонічних складових сумою експоненціальних сигналів маємо:

$$S_{\text{поп}}(t) = \sum_{k=1}^n \frac{4S_{\text{поп}}}{\pi(2k-1)} \cos\left[\frac{(2k-1)\Omega}{2}(t_1 - t_2)\right] \left\{ e^{j[(2k-1)\Omega t - 0,5\pi]} - e^{-j[(2k-1)\Omega t - 0,5\pi]} \right\}. \quad (14)$$

Розв'язування задачі Коші для диференціальних рівнянь, які описують процес перетворення вхідної інформації каналом, виконаємо з використанням теореми про згортку. Після застосування зворотного перетворення Лапласа до передатної функції каналу та деяких перетворень отримано:

$$W_9(t) = \sum_{k=1}^4 B_k e^{-p_k t}, \quad \text{де } B_k = \left. \frac{b_0^* \tau_r (\tau_4 p + 1)}{4a_4 p^3 + 3a_3 p^2 + 2a_2 p + a_1} \right|_{p=p_k}. \quad (15)$$

За допомогою теореми про згортку на основі виразів (14) та (15) після математичних перетворень отримано вихідний сигнал апаратних засобів для програмного задання поперечної подачі шліфувального круга у такому вигляді:

$$y_{\text{поп}}(t) = \sum_{k=1}^4 B_k e^{-p_k t} \sum_{i=1}^n \frac{2A_{2i-1} T_k}{\sqrt{1 + T_k^2 (2i-1)^2 \Omega^2}} e^{j[0,5\pi - \arctg T_k (2i-1)\Omega]}.$$

Пристрій 1 розроблено методом мінімізації квадратичного критерію якості з використанням еталонної моделі каналу. На основі виразу (6) отримана передатна функція пристрою 1 у такому вигляді [3]:

$$W_{\text{П}}(z^{-1}) = 767,113 \frac{2,3 - 3,453z^{-1} + 1,33z^{-2}}{0,262 + 0,008z^{-1} + 0,2182z^{-2}}. \quad (16)$$

На основі виразів (11) та (16) складено імітаційну модель апаратних засобів для задання поперечної подачі круга (рис. 5).

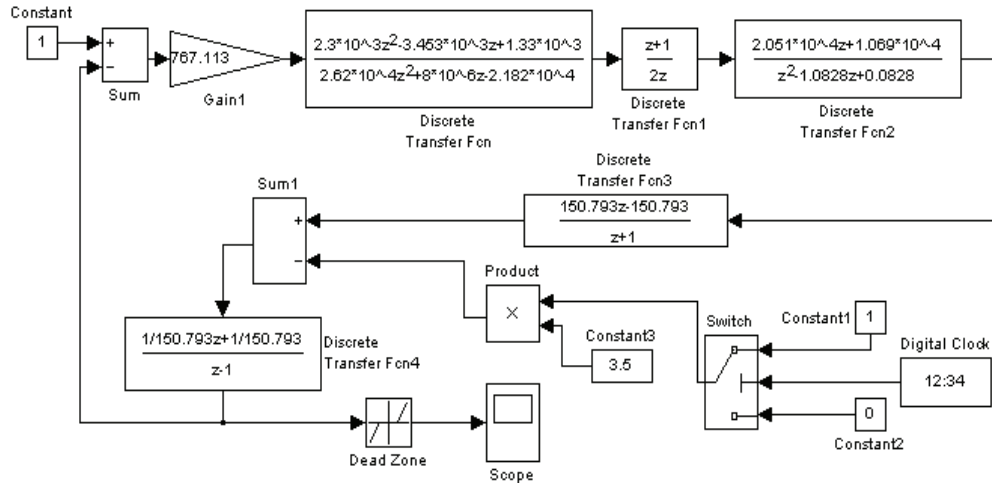


Рис. 5. Імітаційна модель апаратних засобів для задання поперечної подачі круга

У результаті аналізу структурної схеми каналу для задання поздовжньої подачі алмазного інструмента із застосуванням імітаційного моделювання та апарата Z-перетворень отримано такі вирази для передатних функцій [4]:

$$W_{10}(z^{-1}) = z^{-2} \frac{b_0^{\circ} + b_1^{\circ} z^{-1} + b_2^{\circ} z^{-2} + b_3^{\circ} z^{-3}}{1 + a_1^{\circ} z^{-1} + a_2^{\circ} z^{-2} + a_3^{\circ} z^{-3}}; \quad W_{11}(z^{-1}) = \frac{k_M z^{-1} [1 - T_M + (T_M - l_4) z^{-1}]}{1 - (1 + l_4) z^{-1} + l_4 z^{-2}}. \quad (17)$$

У цих виразах враховано затримку, яку вносять пристрої П2, екстраполятор та ЕП2. Також враховано зону нечутливості первинного перетворювача, яку визначено на основі інформаційного підходу в результаті статистичної обробки експериментальних даних.

Подаючи вхідний сигнал каналу для задання поздовжньої подачі шліфувального круга, враховано те, що вона за своєю сутністю є швидкістю переміщення шліфувальної бабки

$$S'_{np}(t) = \sum_{k=1}^n B_{2k-1} [e^{j(2k-1)\Omega t} + e^{-j(2k-1)\Omega t}], \quad (18)$$

$$\text{де } B_{2k-1} = \frac{2S_{np}}{\pi} \cos \left[ \frac{(2k-1)\Omega}{2} (t_1 - t_2) \right].$$

Після застосування зворотного перетворення Лапласа до передатної функції каналу для задання поздовжньої подачі круга та математичних перетворень отримано:

$$W_{12}(t) = \sum_{k=5}^8 B_k e^{-p_k t}, \quad \text{де } B_k = \frac{b_0^* \tau_r p (\tau_4 p + 1)}{4a_4 p^3 + 3a_3 p^2 + 2a_2 p + a_1} \Bigg|_{p=p_k}. \quad (19)$$

За допомогою теореми про згортку на основі виразів (18) та (19) отримано вихідний сигнал апаратних засобів для програмного задання поздовжньої подачі круга:

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

В основу розробки пристрою 2 цифрової обробки сигналу поздовжньої подачі шліфувального круга в умовах дії випадкових завод покладено метод його синтезу з використанням еталонної моделі каналу. Мінімізацією квадратичного критерію якості з використанням апарату Z-перетворень отримано передатну функцію пристрою 2 [4]

$$W_{П2}(z^{-1}) = \frac{0,04752 + 0,862z^{-1} - 0,823z^{-2}}{0,374 - 0,374z^{-1}}. \quad (20)$$

На основі виразів (17) та (20) розроблено імітаційну модель апаратних засобів для задання поздовжньої подачі круга (рис. 6).

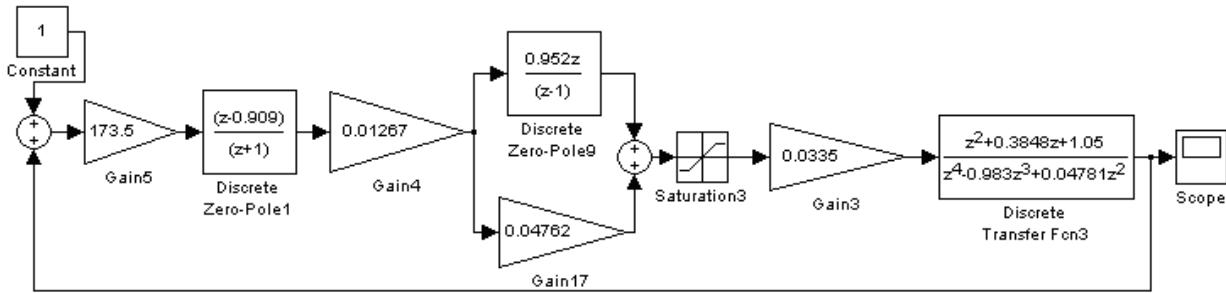


Рис. 6. Імітаційна модель апаратних засобів для задання поздовжньої подачі круга

### Моделювання елементів другого рівня

В результаті аналізу структурної схеми апаратно-програмних засобів другого рівня системи із застосуванням імітаційного моделювання та апарату  $Z$ -перетворень отримано такий вираз для передатної функції [4]:

$$W_{13}(z^{-1}) = z^{-1} \frac{b_1^* z^{-1}}{1 + a_1^* z^{-1} + a_2^* z^{-2}}. \quad (21)$$

У цьому виразі враховано затримку каналу та похибка вимірювань девіацій, яку визначено на основі інформаційного підходу в результаті статистичної обробки експериментальних даних.

Подасемо вхідний сигнал апаратно-програмних засобів у вигляді обмеженого ряду Фур'є. Після заміни гармонічних складових сумою експоненціальних сигналів маємо:

$$\Delta\omega(t) = \sum_{k=1}^{10} A_k \left[ e^{j(k\Omega t + \psi_k - 0,5\pi)} - e^{-j(k\Omega t + \psi_k + 0,5\pi)} \right]. \quad (22)$$

Після застосування зворотного перетворення Лапласа до передатної функції каналу та математичних перетворень отримано

$$W_{14}(t) = B_9 e^{-\frac{1}{T_{16}} t} + B_{10} e^{-\frac{1}{T_{17}} t}, \quad (23)$$

де  $B_9 = \frac{\Delta_5 k_{д3} k_{П4}}{T_{16}(T_{17} - T_{16})}$ ;  $B_{10} = \frac{\Delta_5 k_{д3} k_{П4}}{T_{17}(T_{17} - T_{16})}$ ;  $T_{16} = T_{д3}$ ,  $T_{17} = \tau_{П4}$ ;  $\Delta_5$  — похибка вимірювань девіацій;  $\tau_{П4}$  — запізнення, яке вносить пристрій П4 у роботу каналу.

За допомогою теореми про згортку на основі виразів (22) та (23) отримали вихідний сигнал апаратних засобів

$$y_{P2}(t) = B_9 e^{-\frac{1}{T_{16}} t} \sum_{k=1}^{10} \frac{A_k T_{16}}{\sqrt{1 + T_{16}^2 k^2 \Omega^2}} \left[ e^{j(\psi_k + 0,5\pi - \arctg T_{16} k \Omega)} - e^{-j(\psi_k + 0,5\pi + \arctg T_{16} k \Omega)} \right] +$$

$$+ B_{10} e^{-\frac{1}{T_{17}} t} \sum_{k=1}^n \frac{A_k T_{17}}{\sqrt{1 + T_{17}^2 k^2 \Omega^2}} \left[ e^{j(\psi_k + 0,5\pi - \arctg T_{17} k \Omega)} - e^{-j(\psi_k + 0,5\pi + \arctg T_{17} k \Omega)} \right].$$

В основу розробки пристрою 4 цифрової обробки сигналу миттєвої швидкості покладено метод його синтезу на базі еталонної моделі каналу. Мінімізацією квадратичного критерію якості з використанням математичного апарату  $Z$ -перетворень отримано передатну функцію пристрою 4 в такому вигляді [4]:

$$W_{П4}(z^{-1}) = \frac{1,54 - 2,096 z^{-1} + 0,616 z^{-2}}{2,574 + 0,083 z^{-1} - 2,156 z^{-2}}. \quad (24)$$

На основі виразів (21) та (24) створено імітаційну модель апаратно-програмних засобів другого рівня комп'ютерної системи (рис. 7).

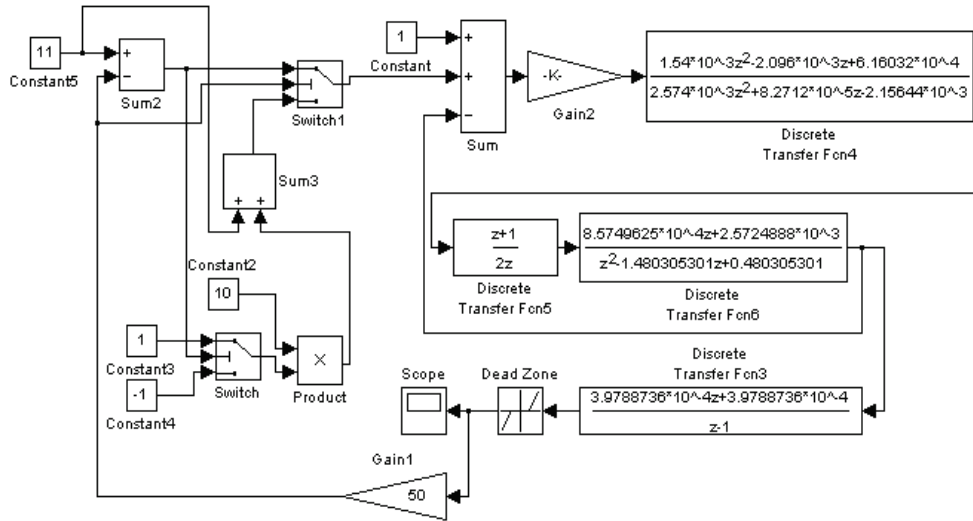


Рис. 7. Імітаційна модель другого рівня системи

### Модельовання елементів третього рівня

В результаті аналізу структурної схеми третього рівня із застосуванням математичного апарату Z-перетворень маємо такий вираз для дискретної передатної функції каналу, який реалізує нову технологію обробки деталі [5]

$$W_{15}(z) = \frac{k_{\text{ТИП}} T_r (T_r + K_{\text{ОУ}} T_{\text{пр}}) \frac{T_1}{T_3 - T_2} \left( e^{-\frac{T_0}{T_3}} + e^{-\frac{T_0}{T_2}} \right) z^{-1}}{\left( 1 - e^{-\frac{T_0}{T_2}} z^{-1} \right) \left( 1 - e^{-\frac{T_0}{T_3}} z^{-1} \right)}. \quad (25)$$

Після застосування зворотного перетворення Лапласа до передатної функції апаратних засобів третього рівня та деяких перетворень отримано:

$$W_{16}(t) = B_{41} e^{-\frac{1}{T_{17}} t} + B_{42} e^{-\frac{1}{T_{18}} t}; \quad B_{41} = \frac{K_{\text{ТИП}} T_r (T_r + K_{\text{ОУ}} T_{\text{пр}})}{T_{17} (T_{18} - T_{17})}; \quad B_{42} = \frac{K_{\text{ТИП}} T_r (T_r + K_{\text{ОУ}} T_{\text{пр}})}{T_{18} (T_{17} - T_{18})}. \quad (26)$$

Подаємо вхідний сигнал апаратних засобів третього рівня системи у вигляді функції Хевісайда. На основі виразу (19) за допомогою теореми про згортку отримали вихідний сигнал

$$y_{\text{р3}}(t) = 1(t) + \frac{B_{42} T_{18}}{T_{18} + 1} e^{-\frac{t}{T_{18} + 1}} - \frac{B_{41} T_{17}}{T_{17} + 1} e^{-\frac{t}{T_{17} + 1}}. \quad (27)$$

Мінімізацією квадратичного критерію якості отримано передатну функцію пристрою 5 цифрової обробки сигналів [5]:

$$W_{\text{П5}}(z) = \frac{k_{\text{ТИП}} T_r (T_r + K_{\text{ОУ}} T_{\text{пр}}) \frac{\tau_r}{T_3 - T_2} \left[ z^2 + \left( e^{-\frac{T_0}{T_3}} + e^{-\frac{T_0}{T_2}} \right) z \right]}{e^{-\frac{T_0}{T_3}} e^{-\frac{T_0}{T_2}} z^2 - \left( e^{-\frac{T_0}{T_3}} + e^{-\frac{T_0}{T_2}} \right) z + 1}. \quad (28)$$

На основі виразів (25) та (28) створено імітаційну модель (рис. 8) каналу, який реалізує нову технологію обробки деталі.

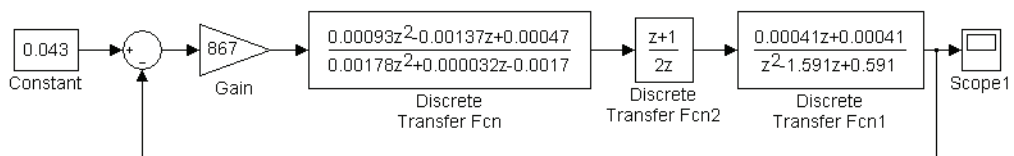


Рис. 8. Імітаційна модель апаратних засобів третього рівня



### Аналіз ефективності системи

Канали першого рівня оперують з трьома вхідними сигналами. Причому час обробки даних по-дач швидкості співвідносяться таким чином:  $t_{\text{поп}} > t_{\text{пр}} > t_{\text{кр}}$ . Загальний час обробки даних цими апаратно-програмними засобами можна визначити за допомогою такого виразу:

$$T_{\Sigma} = T_{\text{кр}} + \Delta T_{\text{пр}} + \Delta T_{\text{поп}}. \quad (29)$$

Складова  $T_{\text{кр}}$  визначається за формулою [6]:

$$T_{\text{кр}} = 0,5(T_{\text{max}} + T_{\text{min}}). \quad (30)$$

Складова  $\Delta T_{\text{пр}}$  визначається за допомогою такого виразу [6]:

$$\Delta T_{\text{пр}} = \int_{T_{\text{mix}}}^{T_{\text{max}}} p(t_{\text{кр}}) \int_{T_{\text{кр}}}^{T_{\text{max}}} (T_{\text{пр}} - T_{\text{кр}}) p(t_{\text{пр}}) dt_{\text{пр}} dt_{\text{кр}}. \quad (31)$$

За рівномірної щільності розподілу маємо:

$$\Delta T_{\text{пр}} = \frac{T_{\text{max}} \left( \frac{T_{\text{пр}}}{T_{\text{кр}}} - \frac{T_{\text{min}}}{T_{\text{max}}} \right)^3}{6 \frac{T_{\text{пр}}}{T_{\text{кр}}} \left( 1 - \frac{T_{\text{min}}}{T_{\text{max}}} \right)^2}. \quad (32)$$

Складова  $\Delta T_{\text{поп}}$  визначається за допомогою такого виразу [6]:

$$\Delta T_{\text{поп}} = \int_{T_{\text{mix}}}^{T_{\text{max}}} p(t_{\text{кр}}) \int_{T_{\text{кр}}}^{T_{\text{max}}} p(t_{\text{пр}}) \int_{T_{\text{пр}}}^{T_{\text{max}}} (T_{\text{поп}} - T_{\text{пр}}) p(t_{\text{поп}}) dt_{\text{поп}} dt_{\text{пр}} dt_{\text{кр}}. \quad (33)$$

За рівномірної щільності розподілу маємо:

$$\Delta T_{\text{поп}} = \frac{T_{\text{max}} \left( \frac{T_{\text{поп}}}{T_{\text{кр}}} - \frac{T_{\text{min}}}{T_{\text{max}}} \right)^4}{12 \frac{T_{\text{пр}}}{T_{\text{кр}}} \frac{T_{\text{поп}}}{T_{\text{кр}}} \left( 1 - \frac{T_{\text{min}}}{T_{\text{max}}} \right)^3}. \quad (34)$$

Підсумувавши час виконання кожної команди керувальної підпрограми, яка задає частоту обертання алмазного інструменту, отримаємо  $T_{\text{кр}}$ . Загальний час реалізації каналами першого рівня проблемно-орієнтованої розподіленої комп'ютерної системи операцій задання оптимальних режимів шліфування склав 0,066 с. Цей час задовольняє вимогам системи щодо швидкодії обробки даних. Апаратно-програмні засоби третього рівня розподіленої комп'ютерної системи задання скважності ТДЖ виконують у проміжок часу між ходами алмазного інструмента. Цей канал оперує також з трьома вхідними сигналами. Тому методика визначення швидкодії його апаратно-програмних засобів аналогічна. Час реалізації обчислювальних операцій задання скважності склав 0,135 с. Цей час задовольняє вимогам критерію проблемно-орієнтованої розподіленої комп'ютерної системи до швидкодії апаратно-програмних засобів.

### Висновки

Запропоновано концепцію побудови проблемно-орієнтованої розподіленої комп'ютерної системи, яка відрізняється трирівневою структурно-логічною організацією, використанням непрямих вимірювань прогнозованих мікронерівностей та різальної здатності шліфувального круга, а також покоординатним заданням програмних рухів виконавчих механізмів верстата з підвищення ефективності процесу алмазного шліфування в умовах неповної інформації. Архітектура системи реалізує комбінований принцип, який відрізняється використанням сигналів девіацій, потужності, поперечної та поздовжньої подачі, а також швидкості обертання алмазного інструменту. На основі дискретного перетворення Лапласа побудовано математичні моделі апаратних засобів системи в умовах дії випадкових завад й з урахуванням запізнення. Мінімізацією квадратичного критерію якості з використанням еталонних моделей синтезовано потрібні апаратні засоби цифрової оброб-

ки сигналів. У результаті імітаційного моделювання встановлено, що апаратно-програмні засоби відповідають вимогам системи за швидкодією.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Еникеев А. Ф. Оптимальное управление технологическим процессом алмазного шлифования / А. Ф. Еникеев. — Краматорск : ДГМА, 2001. — 160 с.
2. Єнікеєв О. Ф. Аналіз динамічних характеристик системи стабілізації швидкості обертання круга / О. Ф. Єнікеєв, О. В. Суботін, Р. О. Яровий // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем. — 2005. — Вип. 18. — С. 107—113.
3. Єнікеєв О. Ф. Синтез цифрового регулятора поперечної передачі шліфувального круга / О. Ф. Єнікеєв, І. С. Зиков // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». — 2008. — № 57. — С. 87—93.
4. Борисенко А. М. Аналіз динаміки дворівневої системи підвищення ефективності алмазного шліфування / А. М. Борисенко, О. Ф. Єнікеєв, І. С. Зиков // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». — 2012. — № 2. — С. 34—43.
5. Єнікеєв О. Ф. Аналіз динамічних характеристик системи відновлення ріжучої здатності шліфувальних кругів / О. Ф. Єнікеєв, Г. В. Соколовська // Збірник наукових праць ІПМЕ НАН України. — 2011. — Вип. 58. — С. 135—140.
6. Краус М. Сбор данных в управляющих вычислительных системах / М. Краус, Э. Кучбах, О. Г. Вошни. — М. : Мир, 1987. — 294 с.

Рекомендована кафедрою автоматики та інформаційно-вимірювальної техніки ВНТУ

Стаття надійшла до редакції 1.07.2014

**Єнікеєв Олександр Фанилович** — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри автоматизованих систем електричного транспорту, e-mail: Al\_enikeev@bigmir.net.

Українська державна академія залізничного транспорту, Харків

**O. F. Yenikeiev<sup>1</sup>**

## Computer system of increase of the efficiency of diamond polishing on the basis of treatment of indirect measuring data

<sup>1</sup>Ukrainian State Academy of Railway Transport, Kharkiv

*Conception of construction of the application-oriented distributed computer system is suggested on the basis of treatment of the data of indirect measuring. The simulation models of channels are built and efficiency of the system is set.*

**Keywords:** conception, indirect measuring, structural-logical organization, imitation modelling.

**Yenikeiev Oleksandr F.** — Cand. Sc. (Eng.), Assistant Professor, Assistant Professor of the Chair of Automation Systems of Electric Transport, e-mail: Al\_enikeev@bigmir.net

**A. Ф. Еникеев<sup>1</sup>**

## Компьютерная система управления алмазным шлифованием в условиях неполной информации

<sup>1</sup>Украинская государственная академия железнодорожного транспорта, Харьков

*Предложена концепция построения проблемно-ориентированной распределенной компьютерной системы на основе обработки данных косвенных измерений. Построены имитационные модели каналов и установлена эффективность системы.*

**Ключевые слова:** концепция, косвенные измерения, структурно-логическая организация, имитационное моделирование.

**Еникеев Александр Фанилович** — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры автоматизированных систем электрического транспорта, e-mail: Al\_enikeev@bigmir.net