

## КОМП'ЮТЕРНІ СИСТЕМИ ТА КОМПОНЕНТИ

УДК 681.518.3

О.Ф. ЄНІКЄЄВ

Української державної академії залізничного транспорту, м. Харків

## КОМП'ЮТЕРНА СИСТЕМА ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ АЛМАЗНОГО ШЛІФУВАННЯ В УМОВАХ НЕПОВНОЇ ІНФОРМАЦІЇ

**Анотація.** На основі методів безпосереднього цифрового та покоординатного управління, ієрархічного принципу та непрямих вимірів амплітуди мікронерівностей розроблено концепцію побудови комп'ютерної системи для підвищення ефективності алмазного шліфування в умовах неповної інформації. Запропоновано метод та апаратні засоби для компенсації кінематичної похибки первинних перетворювачів миттєвої швидкості. Розроблено інформаційні технології обробки сигналу миттєвої швидкості, а також поділу вкладів подач до сигналу девіацій

**Ключові слова:** концепція, архітектура, структурно-логічна організація, методи підвищення точності.

**Аннотация.** На основе методов непосредственного цифрового и покоординатного управления, иерархического принципа и косвенных измерений амплитуды микронеровностей разработана концепция построения компьютерной системы для повышения эффективности алмазного шлифования в условиях неполной информации. Предложен метод и аппаратные средства для компенсации кинематической погрешности первичных преобразователей мгновенной скорости. Разработаны метод и информационные технологии обработки сигнала мгновенной скорости, а также разделения вкладов подач в сигнал девиаций

**Ключевые слова:** концепция, архитектура, структурно-логическая организация, методы повышения точности.

**Abstract.** The article is devoted to the explanation of the new concept of the efficiency improvement of diamond grinding process and building a computer system on its basis. The architecture of this multiprocessor system is developed using the hierarchical principle, the methods of direct digital deviation control, indirect finished surface quality control and roughness feedback signal in the form of grinding wheel rate deviations.

**Key word:** concept, architecture, structurally logical organizations, methods of improving the accuracy.

## Вступ

Впровадження до машинобудівного виробництва України сучасних інформаційних та енергозберігаючих технологій базується на розробці технічних засобів для автоматизації технологічних процесів й, зокрема, алмазного шліфування. Застосування відомих систем програмного завдання режимів шліфування орієнтовано на скорочення тривалості технологічного циклу обробки деталі при умові отримання заданої якості її обробленої поверхні. Відсутність вхідної інформації про стан поточних мікронерівностей поверхні деталі, яку оброблює шліфувальний верстат, є недоліком цих комп'ютерних систем.

Метою статті є розробка концепції побудови комп'ютерної системи для підвищення ефективності процесу алмазного шліфування на основі непрямих вимірювань мікронерівностей. Досягнення поставленої мети забезпечується розв'язуванням таких задач:

реалізація непрямого методу для вимірювань мікронерівностей та розробка інформаційної технології оцінювання прогнозованої амплітуди;

розробка структурно-логічної організації та інформаційного забезпечення системи;

реалізація інформаційно-вимірювального пристрою;

аналіз ефективності комп'ютерної системи.

Автором пропонується ідея використання девіацій швидкості обертання шліфувального круга в якості вхідного сигналу для оцінювання мікронерівностей [1]. Вхідну інформацію комп'ютерна система отримує прямими вимірюваннями миттєвої швидкості. Інформаційна технологія обробки сигналу швидкості складає такі обчислювальні процедури: виділення сигналу девіацій та подання його у вигляді обмеженого ряду Фур'є, розрахунок діючого значення та його порівняння з еталоном. Еталонні рівні девіацій визначено на основі можливих квалітетів чистоти та внесено до банку даних комп'ютерної системи. Тому, девіації є джерелом непрямой інформації про фактичні мікронерівності поверхні деталі, що оброблюється верстатом, а також сигналом, який містить в собі інформацію про відхилення прогнозованого квалітету чистоти від встановленого програмою обробки партії деталей. На основі цієї ідеї, методів безпосереднього цифрового та покоординатного управління, ієрархічного принципу розроблено концепцію побудови комп'ютерної системи для підвищення ефективності алмазного шліфування (рис. 1).

На рис. 1 позначено наступне:  $\Delta\omega$  – вимірювальний сигнал,  $\bar{U} = (u_1, u_2, \dots, u_i)^T$  – вектор завдання параметрів процесу алмазного шліфування,  $\bar{X} = (S_{non}, S_{np}, f_{kp})^T$  – вектор поточних параметрів,  $\bar{\xi} = (\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_k)^T$  – вектор випадкових завад,  $R_z$  – амплітуда мікронерівностей,

$\bar{Q} = (\Delta_{эм}, S_{non,onm}, S_{np,onm}, f_{кр,onm})^T$  – вектор уставок. На основі обробки даних непрямих вимірювань мікронерівностей пристрій цифрової обробки сигналів задає поперечну та повздовжню подачі, а також кутову швидкість обертання шліфувального круга.

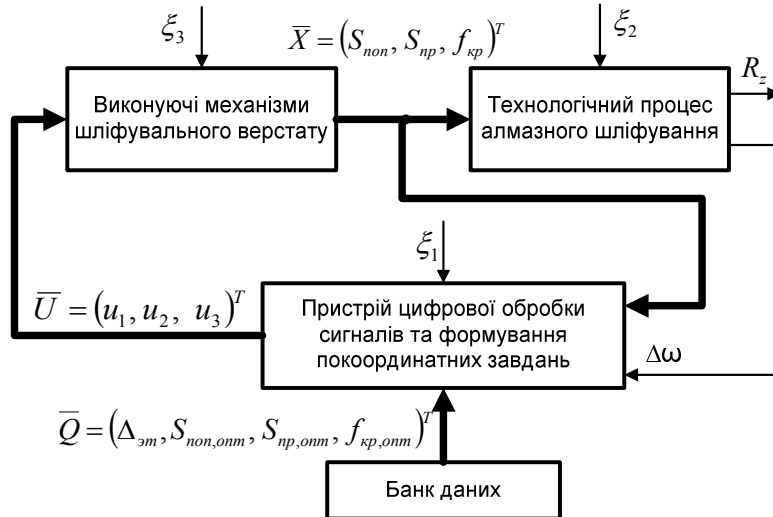


Рисунок 1 – Концепція побудови комп’ютерної системи для підвищення ефективності алмазного шліфування на основі непрямих вимірювань мікронерівностей

При розробці архітектури розподіленої комп’ютерної системи (рис. 2) знайшли застосування мікроконтролери. Її перший рівень реалізує традиційну технологію програмного завдання подач шліфувального круга, а також середньої швидкості обертання алмазного інструменту. Реалізацію каналів системи проведено на основі вимог по швидкодії обробки даних. Завдання оптимальних режимів шліфування виконується пристроями (1 і 2) під час пауз між прямим та зворотнім ходом алмазного інструменту з урахуванням результату вимірювань девіацій. Якщо діюче значення сигналу девіацій перевищує еталонний рівень, то пристрій 4 цифрової обробки сигналу миттєвої швидкості формує на пристрої 1 та 2 сигнали зміни величин подач.

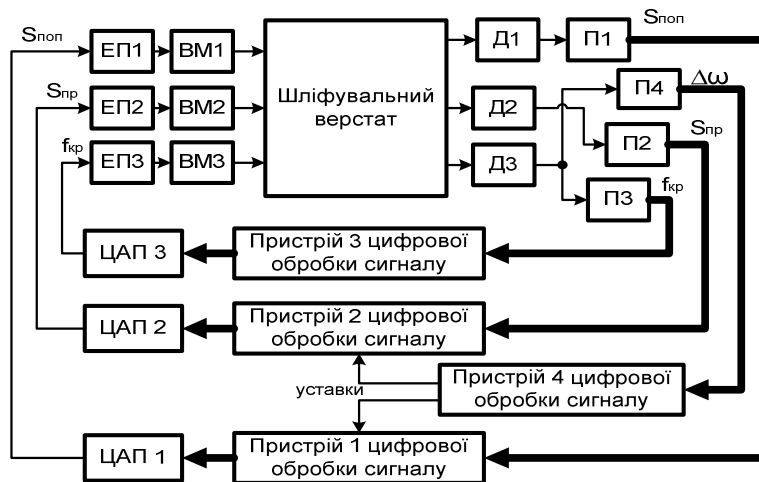


Рисунок 2 – Архітектура дворівневої розподіленої комп’ютерної системи для підвищення ефективності алмазного шліфування

### Вибір періоду дискретизації інформації

Для розробки критерію задаємося значенням похибки відновлення аналогового сигналу за дискретними відліками. Сигнали розподіленої комп’ютерної системи подаємо у вигляді обмеженого ряду Фур’є, який має десять гармонійних складових

$$v(t) = \sum_{i=1}^n A_{2i-1} \sin[(2i-1)\omega t] \quad (1)$$

Втрати інформації при дискретизації за часом гармонійного сигналу оцінюються величиною динамічної похибки, яка отримана у такому вигляді

$$\delta_{дин} = 1 - \frac{\pi}{m} \sum_{k=0}^{0.5m-1} \sin\left(k \frac{2\pi}{m}\right), \quad (2)$$

де  $m$  – кількість інтервалів дискретизації.

Відносна похибка дискретизації сигналу (1) визначена з урахуванням внесків гармонійних складових

$$\delta_{сум} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n A_{2i-1}^2}{\sum_{i=1}^n A_{2i-1}^2} \delta_{(2i-1)дин}^2} \quad (3)$$

За допомогою цього виразу побудовано графік (рис. 3), який використано автором для визначення кількості інтервалів дискретизації сигналів розподіленої комп'ютерної системи. При обраній похибці відновлення апаратно-програмними засобами вхідного сигналу період його дискретизації визначається шляхом поділу часу прямої ходи шліфувального круга на встановлену кількість інтервалів. Швидкодія апаратно-програмних засобів розподіленої комп'ютерної системи повинна перевищувати це значення періоду дискретизації.

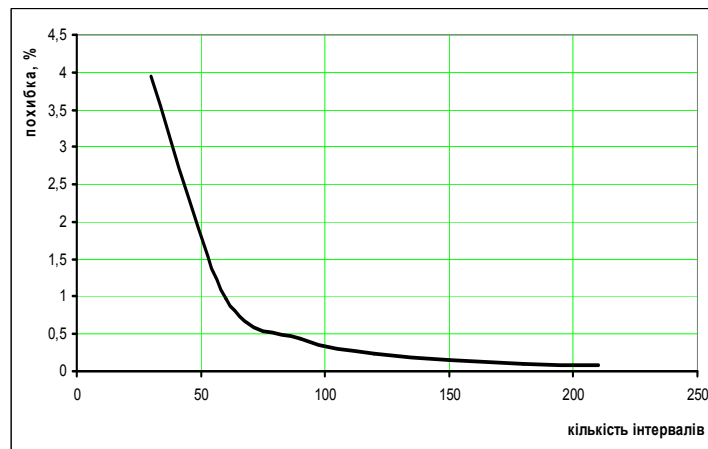


Рисунок 3 – Графік похибки дискретизації

### Моделювання процесу алмазного шліфування

Вимоги до метрологічних характеристик пристрою для вимірювань миттєвої швидкості обертання шліфувального круга сформулюємо на основі аналізу вихідного математичної моделі процесу алмазного шліфування. При її розробці в якості вхідних сигналів використано подачі алмазного інструменту. Вихідним сигналом моделі є сила різання матеріалу заготівлі. З урахуванням динаміки процесу різання матеріалу заготівлі, пружних деформацій кінематичної схеми шліфувального верстату та лінійного зносу алмазного інструменту отримано вираз для передатної функції, який пов'язує поперечну подачу із радіальною складовою сили різання [1]

$$W_1(p) = \frac{K_{рез,y} (1 - e^{-pt_1})}{1 + K_{рез,y} (1 - e^{-pt_1}) \left[ pK_y \left( \frac{p^2}{\Omega_m^2} + \frac{2\beta_m p}{\Omega_m} + 1 \right) + \frac{K_{ук}}{p\tau_{кр}} (1 - e^{-p\tau_{кр}}) \right]}, \quad (4)$$

де  $K_{рез,y}$  – коефіцієнт передачі процесу різання матеріалу заготовки по координаті  $y$  ( $S_{non}$ ),  $K_y$  – статична жорсткість конструкції верстату,  $\beta_m$  – коефіцієнт демпфування верстату,  $K_{ук}$  – коефіцієнт зносу шліфувального круга,  $\tau_{кр}$  – час оберту круга,  $t_1$  – час прямої або зворотної ходи круга,  $\Omega_m$  – резонансна частота конструкції шліфувального верстату.

З урахуванням динаміки процесу різання матеріалу заготовки та пружних деформацій кінематичної схеми верстату отримано вираз для передатної функції, який пов’язує поздовжню подачу із тангенціальною складовою сили різання [1]

$$W_2(p) = \frac{K_x K_{рез,x} (1 - e^{-pt_1})}{p [K_x + K_{рез,x} (1 - e^{-pt_1})]} \quad (5)$$

де  $K_{рез,x}$  – коефіцієнт передачі процесу різання матеріалу заготовки по координаті  $x$  ( $S_{np}$ ),  $K_x$  – статична жорсткість конструкції верстату.

Вхідний сигнал з урахуванням прямої та зворотної ходи шліфувального круга подано таким виразом (для поздовжньої подачі подання аналогічне)

$$S_{non}(t) = \begin{cases} 0, & \text{якщо } -\pi < \Omega t < -\pi + \alpha, -\alpha < \Omega t < \alpha, \pi - \alpha < \Omega t < \pi, \\ S_{non}, & \text{якщо } \alpha < \Omega t < \pi\alpha, \\ -S_{non}, & \text{якщо } t\pi + \alpha < \Omega t < t\alpha, \alpha > 0, 0 < \alpha < 0.5\pi. \end{cases} \quad (6)$$

Радіальна та тангенціальна складові сили різання матеріалу заготовки ортогональні за впливом на шліфувальний круг. На підставі лінійності перетворення Лапласа та з урахуванням теореми додавання отримано таке рівняння для їхнього підсумовування

$$F(p) = \sqrt{W_1^2(p)S_{non}^2(p) + W_2^2(p)S_{np}^2(p)} \quad (7)$$

Сила різання матеріалу заготовки є джерелом крутильних коливань. Вал із шліфувальним кругом подано у вигляді механічної системи з одним ступенем волі. Рух круга описується диференціальним рівнянням другого порядку

$$J_{кп} \varphi''(t) + \beta_1 \varphi'(t) + \gamma_1 \varphi(t) = R_{\text{ед}} F(t) \quad (8)$$

де  $J_{\text{ед}}$  – момент інерції круга,  $\beta_1$  – коефіцієнт демпфування,  $\gamma_1$  – крутильна жорсткість валу.

Після виконання процедури нормалізації та перетворень отримана передатна функція, яка пов’язує девіації та силу різання матеріалу заготовки

$$W_3(p) = \frac{R_{кп} t_1 \gamma_1 p}{J_{кп} t_1 p^2 + \beta_1 t_1 p + \gamma_1} \quad (9)$$

За виразами (4), (5), (7) та (9) складена структурна схема процесу алмазного шліфування (рис. 4). Імітаційним моделюванням отримано графік девіацій швидкості обертання шліфувального круга у межах його одного оберту (рис. 5). Встановлено, що амплітуда девіацій не перевищує 0.05 амплітуди сигналу миттєвої швидкості. Тому процедура вимірювань сигналу девіацій потребує розробки високоточних методів та відповідних технічних засобів.

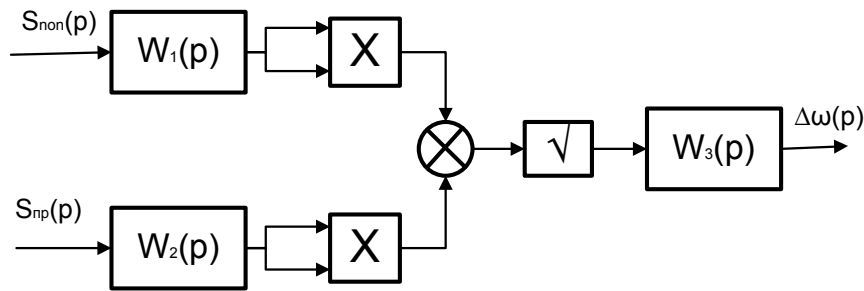


Рисунок 4 – Структурна схема процесу алмазного шліфування

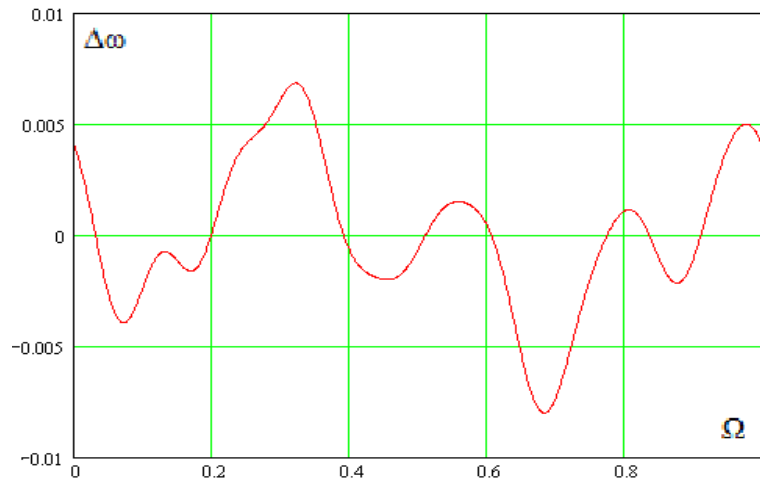


Рисунок 5 – Вихідний сигнал моделі процесу алмазного шліфування

### Інформаційно-вимірювальний пристрій

Його розробку почато з аналізу складових похибки первинного перетворювача:

- похибка відновлення аналогового сигналу за дискретними відліками, яка визначається для його частотного подання таким чином

$$\delta_{\epsilon} = \frac{t_0}{8} \sqrt{0.1 \sum_{i=1}^{10} \Omega_i^4} 100\% ; \quad (10)$$

- кінематична похибка первинного перетворювача, яку визначено на прикладі досліджень допусків на виготовлення зубчастих колі різного класу точності [2] та подано у табл. 1. При оцінюванні кінематичної похибки застосовано такий вираз

$$\delta_k = \frac{\Delta m}{m} 100\% , \quad (11)$$

де  $\Delta m$  – допуск на кінематичну похибку зубчастого колеса,  $m$  – модуль;

- динамічна похибка первинного перетворювача.

Таблиця 1 – Чисельні дані кінематичної похибки

Клас точності зубчастого колеса	4	5	6	7	8
$\delta_k, \%$	0.80	1.25	2.00	2.75	4.00
Похибка вимірювань девіацій, %	16.0	25.0	40.0	55.0	80.0

Данні табл. 1 дозволяють зробити висновок: проблема прецизійних вимірювань девіацій полягає в розробці технічних засобів для зменшення величини кінематичної похибки виготовлення первинних перетворювачів. Один з можливих шляхів розв'язування цієї задачі є виконання паспортизації

первинного перетворювача. У результаті цього отримуємо поправки, які враховує вимірювальний перетворювач при визначенні сигналу девіацій. До складу вимірювального перетворювача також входить пристрій синхронізації, який має відповідний первинний перетворювач.

Для компенсації кінематичної похибки автор пропонує метод багатоканальних вимірювань інтервалів часу, які формуються одною рисою первинного перетворювача та відповідають повному оберту його вала. При такому методі вимірювань миттєвої швидкості кінематична похибка виготовлення первинного перетворювача не впливає на тривалість сформованих інтервалів часу. Данні табл. 1 та цей висновок доводять коректність запропонованого методу.

Динамічна похибка первинного перетворювача являє собою зрушення за часом дискретних відліків часової реалізації девіацій, які виникають як наслідок кінематичної. Проведено оцінювання динамічної похибки зрушень за часом дискретних відліків сигналу девіацій. Абсолютне значення динамічної похибки визначається наступним чином

$$\Delta_{дин} = \frac{1}{z} \sum_{i=0}^{z-1} [\Delta\omega(i\Delta t + \sigma_{см}) - \Delta\omega(i\Delta t)], \quad (12)$$

де  $z$  – кількість рисок первинного перетворювача.

З точністю до величин другого порядку меншості відносно динамічної похибки первинного перетворювача підсумок замінюємо інтегралом

$$\Delta_{дин} = \frac{1}{T} \int_0^T [\Delta\omega(\Omega t + \Omega\sigma_{см}) - \Delta\omega(\Omega t)] dt, \quad (13)$$

де  $\sigma_{\dot{n}i}$  – середнє квадратичне відхилення часового зсуву дискретних відліків, яке визначено на підставі допусків виготовлення первинного перетворювача.

Для гармонійного сигналу вираз (13) після математичних перетворень набуває наступного вигляду

$$\Delta_{дин,i} = \frac{2A_i}{\pi} \sin(\varphi_i - 0.5i\Omega\sigma_{см}) \sin(i\Omega\sigma_{см}). \quad (14)$$

Відносну похибку гармонійного сигналу отримано у такому вигляді

$$\delta_i = \frac{2}{\pi} \sin(\varphi_i - 0.5i\Omega\sigma_{см}) \sin(i\Omega\sigma_{см}). \quad (15)$$

Динамічну похибку первинного перетворювача визначимо з урахуванням внесків гармонійних складових до сигналу девіацій

$$\delta_{дин} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (A_i \delta_i)^2}{\sum_{i=1}^{10} A_i^2}}. \quad (16)$$

Результати розрахунків динамічної похибки первинного перетворювача подано у табл. 2.

Таблиця 2 – Чисельні дані динамічної похибки

Клас точності первинного перетворювача	4	5	6	7	8
Похибка вимірювань девіацій, %	3.1	4.8	7.4	9.9	14.1

Сутність методу, який пропонується автором для апаратної компенсації кінематичної похибки первинного перетворювача, полягає у наступному. Вихідний сигнал первинного перетворювача за допомогою лічильника та дешифратора перетворюється у декілька імпульсних послідовностей, які відповідають моментам проходження біля чутливого елемента датчика однієї риски та подаються на вхід

відповідного каналу для вимірювань інтервалів часу. Кількість цих каналів у складі пристрою визначається кількістю рисок первинного перетворювача. Апаратну реалізацію каналів для вимірювань проведено на основі методу дискретизації за часом. Усунення взаємних накладань вихідних сигналів каналів при їхньому поєднанні у сигнал вимірювальної інформації для пристрою цифрової обробки виконується за допомогою лічильників. Об'єм останніх та частота взірцевого генератора обираються таким чином, щоб переповнення лічильника виконувалося за час трохи менший ніж середній період імпульсної послідовності. При цьому із вимірювальної інформації кожного каналу виключається калібрований за тривалістю проміжок часу. Поєднання вихідних сигналів каналів в сигнал вимірювальної інформації виконується за допомогою схеми АБО.

На підставі цього методу розроблено оригінальний пристрій для вимірювань миттєвої швидкості обертання шліфувального круга (рис. 6), який описано в роботі [3].

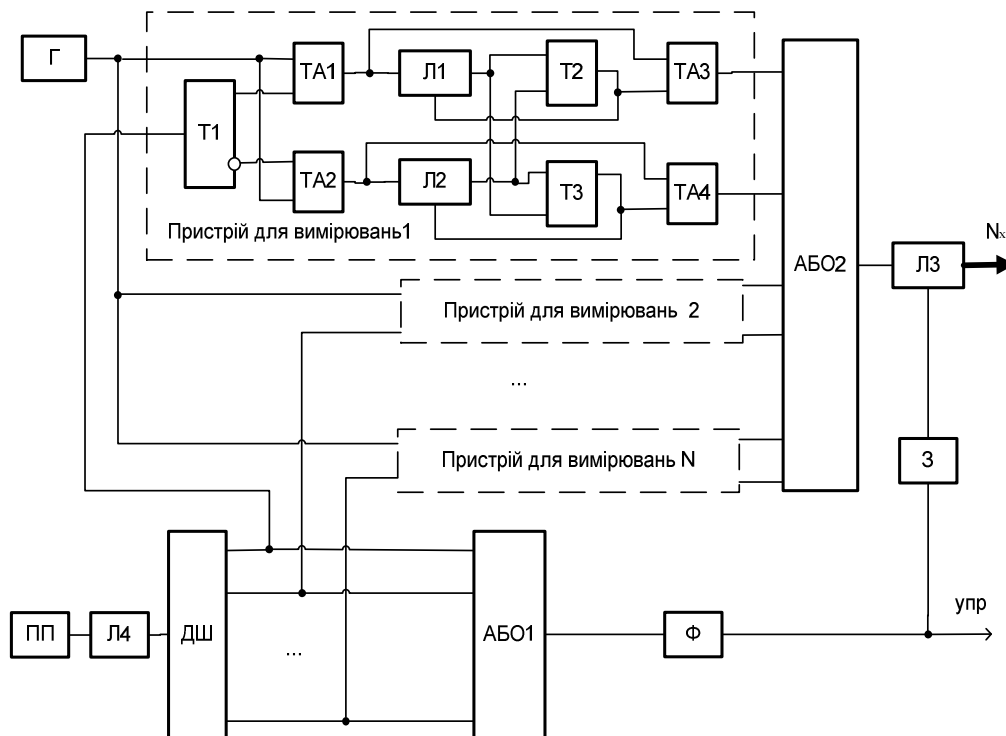


Рисунок 6 – Пристрій компенсації кінематичної похибки

На рис. 6 позначено: ПП – первинний перетворювач; ДШ – дешифратор; Г – взірцевий генератор; ТА1, ..., ТА4 – логічні схеми ТА; Nx – вихідний код; N – кількість каналів для вимірювань; АБО1, АБО2 – логічні схеми АБО; Ф – формувач імпульсів; Т1, ..., Т3 – тригера; Л1, ..., Л4 – лічильники імпульсів; З – лінія затримки. Пристрій для вимірювань має два канали, які вимірюють тривалість імпульсів прямого та інверсного виходів Т1. Сигнал вимірювальної інформації для пристрою 5 формує схема АБО2. Лічильник ЛЗ перетворює цей сигнал у цифровий код. Блок Ф формує сигнал запису коду у регістр пристрою 5 та за допомогою блоку З переводить лічильник ЛЗ до нульового стану.

#### Інформаційна технологія обробки сигналу девіацій

Поділ внесків подач до часової реалізації девіацій швидкості обертання круга розроблено на основі його частотного подання. Імітаційним моделюванням отримано графіки внесків подач до сигналу девіацій (рис. 7). Ці графіки отримано з моделі процесу алмазного шліфування таким завданням подач:

$S_{non}(t) = 0$ ,  $S_{np}(t) = 0$ . Визначено вагові коефіцієнти поділу внесків подач до сигналу девіацій

$$\gamma_{non} = \frac{\Delta\omega_{non}}{\Delta\omega} = 0.81 \quad \text{та} \quad \gamma_{np} = \frac{\Delta\omega_{np}}{\Delta\omega} = 0.586.$$

На основі допускового контролю розроблено алгоритм формування пристроєм 4 сигналів для відповідних пристроїв 1 та 2 цифрової 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 й, якщо буде потреба, виконуємо коректування величин подач.

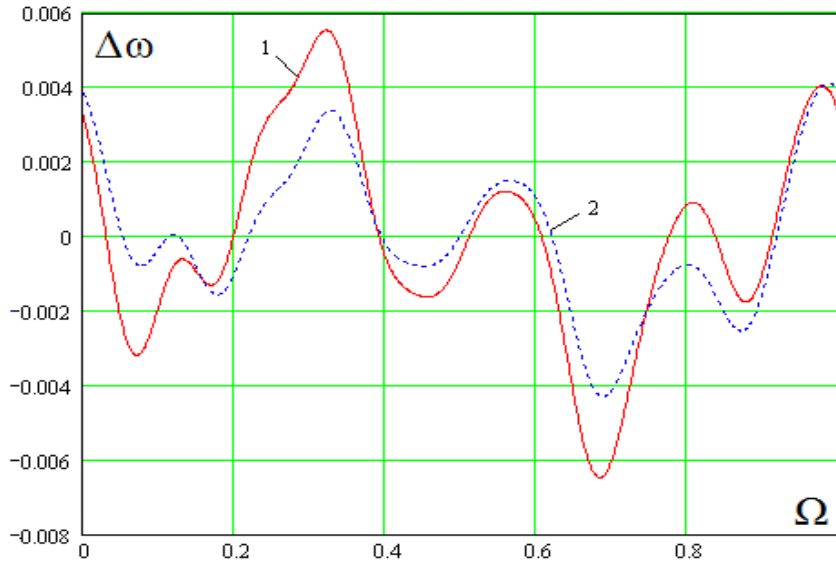


Рисунок 7 – Графіки внесків подач до сигналу девіацій:  
1 – поперечної подачі, 2 – поздовжньої

Алгоритми завдання подач розроблено з урахуванням обмежень, які накладає умова отримання прогнозованих мікронерівностей поверхні деталі. Ці обмеження закладено в наступний алгоритм програмного завдання пристроєм 1 величини поперечної подачі шліфувального круга:

- програма обробки партії деталей задає припустиме значення мікронерівностей  $R_z$  поверхні деталі, що оброблюється шліфувальним верстатом;
- пристрій 1 цифрової обробки сигналу на підставі аналізу банку даних обирає  $Q_1$  та задає часовий цикл обробки поверхні заготовлі  $S_{i\ddot{u}} = Q_1 S_{i\ddot{u},m}$ ;
- він періодично після виконання шліфувальним кругом одного проходу обчислює поточний припуск обробки  $h = h_i - k S_{i\ddot{u}}$ , де  $k = 0,1,2,\dots$ ;

якщо  $h_i - k S_{i\ddot{u}} \leq h_k$ , то пристрій 1 задає чистовий цикл обробки поверхні заготовлі у відповідності з виразом

$$S_{non} = Q_1 \left[ S_{non,k} + (S_{non,m} - S_{non,k}) \frac{h}{h_k} \right].$$

На основі алгоритму програмного завдання поперечної подачі круга пристроєм 1, а також такої моделі виконуючого механізму

$$U(t) = b_1 \left[ e(t) + T_{\partial 1} \frac{de(t)}{dt} + T_{\partial 2}^2 \frac{d^2 e(t)}{dt^2} + T_{\partial 3}^3 \frac{d^3 e(t)}{dt^3} \right], \quad (17)$$

після перетворень отримано позиційний алгоритм її завдання в наступному вигляді

$$U_n = U_{n-1} + b_1 \left( 1 + \frac{T_{\partial 1}}{T_0} \right) e_n - b_1 \left( 1 + \frac{2T_{\partial 1}}{T_0} \right) e_{n-1} + \frac{b_1 T_{\partial 1}}{T_0} e_{n-2}. \quad (18)$$



В основу розробки алгоритму завдання поздовжньої подачі шліфувального круга покладено те, що вона за своєю сутністю є швидкість руху виконуючого механізму. У результаті математичних перетворень швидкісний алгоритм завдання цієї подачі отримано в такому вигляді

$$U_n = U_{n-1} + K_p \left( \frac{T_0}{2T_n} + \frac{T_\partial}{T_0} \right) e_n + K_p \left( \frac{T_0}{2T_n} - \frac{2T_\partial}{T_0} \right) e_{n-1} + K_p \frac{T_\partial}{T_0} e_{n-2} \quad (19)$$

Функціонування проблемно-орієнтованої розподіленої комп'ютерної системи на основі розробленого програмного забезпечення організовано за допомогою середовища реального часу із перериваннями.

#### Аналіз ефективності системи

Канали першого рівня розподіленої комп'ютерної системи оперують з трьома вхідними сигналами. Причому час обробки даних подач та швидкості співвідносяться наступним чином:  $t_{non} > t_{np} > t_{кр}$ . Загальний час обробки даних цими апаратно-програмними засобами можна визначити за допомогою такого виразу

$$T_\Sigma = T_{кр} + \Delta T_{np} + \Delta T_{non} \quad (20)$$

Складова  $T_{кр}$  визначається наступним чином [4]

$$T_{кр} = 0.5(T_{\max} + T_{\min}) \quad (21)$$

Складова  $\Delta T_{np}$  визначається за допомогою такого виразу [4]

$$\Delta T_{np} = \int_{T_{\min}}^{T_{\max}} p(t_{кр}) \int_{T_{кр}}^{T_{\max}} (T_{np} - T_{кр}) p(t_{np}) dt_{np} dt_{кр} \quad (22)$$

При рівномірній щільності розподілу маємо

$$\Delta T_{np} = \frac{T_{\max} \left( \frac{T_{np}}{T_{кр}} - \frac{T_{\min}}{T_{\max}} \right)^3}{6 \frac{T_{np}}{T_{кр}} \left( 1 - \frac{T_{\min}}{T_{\max}} \right)^2} \quad (23)$$

Складова  $\Delta T_{non}$  визначається за допомогою наступного виразу [4]

$$\Delta T_{non} = \int_{T_{\min}}^{T_{\max}} p(t_{кр}) \int_{T_{кр}}^{T_{\max}} p(t_{np}) \int_{T_{np}}^{T_{\max}} (T_{non} - T_{np}) p(t_{non}) dt_{non} dt_{np} dt_{кр} \quad (24)$$

При рівномірній щільності розподілу маємо

$$\Delta T_{non} = \frac{T_{\max} \left( \frac{T_{non}}{T_{кр}} - \frac{T_{\min}}{T_{\max}} \right)^4}{12 \frac{T_{np}}{T_{кр}} \frac{T_{non}}{T_{кр}} \left( 1 - \frac{T_{\min}}{T_{\max}} \right)^3} \quad (25)$$

Підсумувавши час виконання кожної команди керуючої підпрограми, яка задає швидкість обертання алмазного інструменту, отримуємо Ткр. Загальний час реалізації каналами першого рівня розподіленої комп’ютерної системи операцій по завданню режимів шліфування склав 0.066 с. Цей час задовольняє вимогам розподіленої комп’ютерної системи по швидкодії обробки даних.

**Висновок.** У статті запропонована концепція побудови розподіленої комп’ютерної системи, яка відрізняється дворівневою структурно-логічною організацією, використанням непрямих вимірювань мікронерівностей, а також покоординатним завданням програмних рухів виконуючих механізмів верстату по підвищенню ефективності процесу алмазного шліфування. Уперше запропоновано використати сигнал девіацій швидкості обертання шліфувального круга для непрямого оцінювання прогнозованих мікронерівностей поверхні деталі. Архітектура проблемно-орієнтованої розподіленої комп’ютерної системи реалізує комбінований принцип, який відрізняється застосуванням сигналів девіацій, подач та швидкості обертання алмазного інструменту. Розроблено інформаційні технології цифрової обробки вхідних сигналів та база даних комп’ютерної системи.

Вдосконалено математичну модель процесу алмазного шліфування, яка відрізняється двома координатами, використанням подач алмазного інструменту у якості вхідних сигналів та девіацій у якості вихідного. На основі частотного подання сигналів уперше розроблено метод та інформаційну технологію поділу внесків подач шліфувального круга до сигналу девіацій. Уперше запропоновано метод вимірювань миттєвої швидкості обертання шліфувального круга, який відрізняється застосування апаратних засобів компенсації кінематичної похибки первинного перетворювача. Розроблено інформаційно-вимірювальний пристрій та технологію цифрової обробки сигналу миттєвої швидкості. Встановлено ефективність розподіленої комп’ютерної системи по завданню оптимальних режимів алмазного шліфування.

#### Список літератури:

1. Еникеев А.Ф. Оптимальное управление технологическим процессом алмазного шлифования. – Краматорск: ДГМА, 2001. – 160 с.
  2. Допуски и посадки. Справочник. / [Гл. ред. Мягков В.Д.] – Л.: Машиностроение, Часть 2, 1978. – с. 545–1032.
  3. А.с. № 1538679 (СССР). Устройство для контроля неравномерности вращения вала / Марченко Б.Г., Борисенко А.Н., Еникеев А.Ф.
  4. Сбор данных в управляющих вычислительных системах / Краус М., Кучбах Э., Вошни О.-Г. –М.: Мир, 1987. – 294 с.
- Стаття надійшла: 23.05.2014.

#### Інформація про автора:

**Єнікєєв Олександр Фанилович**, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри автоматизованих систем електричного транспорту Української державної академії залізничного транспорту.