

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ ПРОБЛЕМ МОДЕЛЮВАННЯ В ЕНЕРГЕТИЦІ
ім. Г.Є.Пухова

МОДЕЛЮВАННЯ
ТА ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ
ВИПУСК 63

КИЇВ - 2012

1. Жученко С.П. Исследование основ функционирования и разработка реконструктивных операций на полых органах пищеварительной системы методом математического моделирования / С.П. Жученко, А.П. Жученко, Г.Я. Костюк, Б.Б. Нестеренко.– Винница: Вингосмедуниверситет, 1996.– 385 с.
2. Shapiro A.H. Peristaltic pumping with long wavelengths at low Reynolds number / A.H. Shapiro, M.Y. Jaffrin, S.L. Weinberg // Journal of Fluid Mechanics.– 1969.– Vol. 44, №4.– P. 799-825.
3. Barton C. Peristaltic flow in tubes / C. Barton, S. Raynor // Bulletin of Mathematical Biology.– 1968.– Vol. 30, № 4.– P. 663-680.
4. Нестеренко Б.Б. Основы асинхронных методов параллельных вычислений / Б.Б. Нестеренко, В.А. Марчук.– К.: Наукова думка, 1989.– 176 с.
5. Novotarskiy M.A. Solving of boundary value problems for mathematical physics equations in cellular neural networks / M.A. Novotarskiy // Radio Electronics, Computer Science, Control.– 2003.– №1.– P. 42-47.
6. Новотарский М.А. Клеточные нейронные сети с транзитными пересылками / М.А. Новотарский // Радиоэлектроника. Информатика. Управление.– 2004.– №4.– С. 118-121.
7. Новотарський М.А. Штучні нейронні мережі: обчислення / М.А. Новотарський, Б.Б. Нестеренко.– К.: Інститут математики НАН України, 2004.– 408 с.
8. Нестеренко Б.Б. Асинхронные параллельные алгоритмы нейронных сетей / Б.Б. Нестеренко, М.А. Новотарский // Искусственный интеллект.– 2004.– №4.– С. 556-561.

Поступила 5.03.2011

УДК 681.518.3

О.Ф. Єнікєєв, м. Харків

О.В. Монченко, Т.Л. Щербак, м. Київ

МЕТРОЛОГІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЕРЕТВОРЮВАЧА МИТТЕВОЇ ШВИДКОСТІ ОБЕРТАННЯ ШЛІФУВАЛЬНОГО КРУГА ПРИ АЛМАЗНОМУ ШЛІФУВАННІ

Abstract. The method of hardware compensation of primary convective kinematic error of grinding wheel instantaneous rate is offered, the implementation of which in the form of the original information-measuring device allowed to build a feedback channel.

Вступ. При розробці структури комп'ютеризованої системи з метою підвищення ефективності процесу алмазного шліфування знайдено застосування метод непрямого контролю мікронерівностей поверхні деталі, яка оброблюється шліфувальним верстатом [1]. Інформаційно-вимірвальний пристрій (ІВП) системи формує вхідну інформацію прямо

впливом миттєвої швидкості обертання шліфувального круга з часом виділенням часової реалізації сигналу девіацій швидкості. Рівні девіацій швидкості визначено на основі можливих дефектів (квалітетів) чистоти оброблених поверхонь деталей та внесено в дані комп'ютеризованої системи у вигляді нормативів. Девіації швидкості є джерелом непрямої інформації про реальні мікронерівності, а зворотного зв'язку містять в собі інформацію про відхилення фактичного квалітету чистоти від встановленого програмою обробки значення. У даній роботі розглянуті технічні вимоги до метрологічних характеристик ІВП для вимірювання миттєвої швидкості обертання шліфувального круга по результатам аналізу вихідного сигналу математичної моделі процесу алмазного шліфування.

Модель процесу алмазного шліфування. При розробці математичної моделі у якості вхідних сигналів використані процеси поперечної та поздовжньої подачі алмазного шліфувального круга. Значеннями такої моделі є значення сили різання матеріалу оброблюваних деталей. З урахуванням динаміки процесу різання матеріалу оброблюваних деталей, пружних деформацій кінематичної схеми верстату та зносу алмазного інструменту отримано вираз для передатної функції системи алмазного шліфування деталей [1]

$$W_1(p) = \frac{K_{\text{пер},y} (1 - e^{-p t_1})}{1 + K_{\text{пер},x} (1 - e^{-p t_1}) \left[p K_y \left(\frac{p^2}{\Omega_m^2} + \frac{2\beta_m p}{\Omega_m} + 1 \right) + \frac{K_{\text{зк}}}{p \tau_{\text{кр}}} (1 - e^{-p \tau_{\text{кр}}}) \right]}, \quad (1)$$

де $K_{\text{пер},y}$ – коефіцієнт передачі процесу різання матеріалу заготовлі деталей по напрямку y ($S_{\text{пер},y}$); K_y – статична жорсткість конструкції шліфувального верстату; β_m – коефіцієнт демпфування верстату; $K_{\text{зк}}$ – коефіцієнт зносу шліфувального круга; $\tau_{\text{кр}}$ – час обертання круга; t_1 – час прямої або зворотної ходи круга; Ω_m – резонансна частота конструкції верстату.

Вихідною передатна функція (1) пов'язує поперечну подачу алмазного шліфувального круга з радіальною складовою сили різання. З урахуванням динаміки процесу різання матеріалу заготовлі та пружних деформацій кінематичної схеми верстату отримано наступний вираз для передатної функції, яка пов'язує поздовжню подачу круга з тангенціальною складовою сили різання матеріалу заготовлі деталей [1]

$$W_2(p) = \frac{K_x K_{\text{пер},x} (1 - e^{-p t_1})}{p [K_x + K_{\text{пер},x} (1 - e^{-p t_1})]}. \quad (2)$$

де $K_{\text{пер},x}$ – коефіцієнт передачі процесу різання матеріалу заготовлі по напрямку x ($S_{\text{пер},x}$); K_x – статична жорсткість конструкції верстату. Зворотний та зворотної ходи шліфувального круга описується таким виразом

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

Радіальна та тангенціальна складові сили різання матеріалу загот деталей є ортогональними, що дає змогу отримати наступний вираз.

$$F(p) = \sqrt{W_2^2(p)S_{non}^2(p) + W_3^2(p)S_{np}^2(p)}.$$

Сила різання матеріалу заготовлі деталей утворює відповідне збурення яке є джерелом крутильних коливань. Вал шліфувального верстату разом з кругом є механічною системою з одним ступенем свободи. Динаміка цієї системи описується диференціальним рівнянням другого порядку

$$J_{kp} \varphi''(t) + \beta_1 \varphi'(t) + \gamma_1 \varphi(t) = M_n(t),$$

де J_{kp} – момент інерції круга, β_1 – коефіцієнт демпфування, γ_1 – крутильна жорсткість валу, $M_n(t)$ – збурювальний сигнал.

На основі операції нормалізації та перетворень отримана передаточна функція взаємодії девіації швидкості та сили різання матеріалу загот деталей

$$W_4(p) = \frac{R_{kp} t_1 p}{\frac{J_{kp} t_1}{\gamma_1} p^2 + \frac{\beta_1 t_1}{\gamma_1} p + 1}.$$

На базі використання виразів (1), (2), (4) і (6) створено наступну спрощену структурну схему процесу алмазного шліфування (рис. 1). При комп'ютерному моделюванні отримана реалізація девіації швидкості обертання шліфувального круга у межах його одного періоду, графік якої наведено на рис. 2.

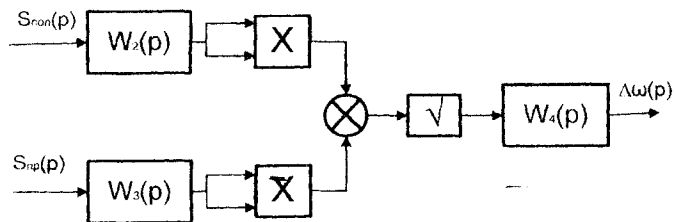


Рис. 1. Структурна схема процесу алмазного шліфування деталей

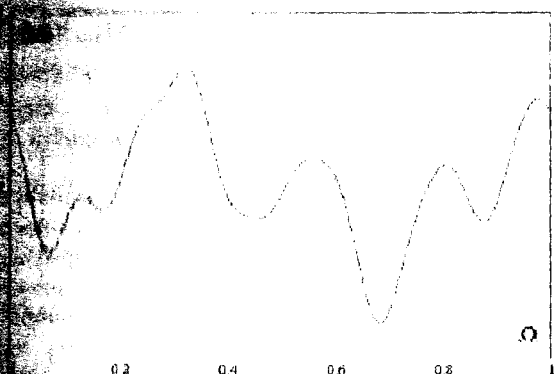


Рис. 2. Графік реалізації вихідного сигналу моделі

Для порівняння сигналів миттєвої швидкості обертання колеса та девіацій швидкості встановлено, що амплітуда девіацій становить 0.05 амплітуди сигналу миттєвої швидкості круга. Для вимірювань сигналу девіацій потребує розробки спеціальних пристроїв та відповідних технічних засобів, на яких зупинимось далі.

Інформаційно-вимірвальний пристрій. Спочатку розглянемо складових компонент похибки первинного перетворювача швидкості миттєвої швидкості обертання вала у послідовність імпульсів шляхом використання зубчатої шестерні для передачі, при цьому число зубців шестерні формує фіксоване число імпульсів.

Відновлення аналогового сигналу за його дискретними зразками визначається виразом

$$\delta_v = \frac{t_0}{8} \sqrt{0.1 \sum_{i=1}^n \frac{1}{t_i}} \cdot 100\%; \quad (7)$$

Визначення кінематичної похибки первинного перетворювача, яке здійснюється за результатами експериментальних досліджень допусків на виготовлення зубчастості коліс різного класу точності шліфувального верстату наведено в табл. 1

Таблиця 1

Чисельні дані кінематичної похибки

Клас точності (Ш)	4	5	6	7	8
Відсоткова похибка, %	0.80	1.25	2.00	2.75	4.00

Динамічна похибка первинного перетворювача визначається виразом

$$\delta_{\text{сум}} = \sum_{k=1}^{10} A_k [\cos(k\Omega\zeta_{\text{св}}) + \sin(k\Omega\zeta_{\text{св}}) \operatorname{tg} \psi_k] - 1.$$

Серед розглянутих складових визначальною є кінематична похибка виготовлення первинних перетворювачів. Тому задача прецизійних вимірювань девіацій швидкості круга полягає в розробці технічних засобів для зменшення її величини.

В роботі запропоновано апаратний метод для компенсації кінематичної похибки. Цей метод полягає в організації багатоканальних вимірювань інтервалів часу послідовності імпульсів, які формуються первинним перетворювачем. Вихідний сигнал первинного перетворювача за допомогою лічильника та дешифратора перетворюється у послідовність імпульсів, фіксуються чутливим елементом датчика ПП моменту часу проходження валу. У подальшому первинна послідовність імпульсів подається на пристрій цифрової обробки сигналів для зменшення похибки ПП [3].

Кінематична похибка при запропонованому методі вимірювань миттєвої швидкості обертання шліфувального круга перетворюється у динамічну, являє собою зсув за часом дискретних відліків часової реалізації девіацій гармонічних сигналів. Виконано дослідження динамічної похибки на прикладі зсувів за часом дискретних відліків гармонійного сигналу (табл. 2). Данні табл. 2 свідчать про те, що динамічна похибка первинного перетворювача достатньо велика за своєю величиною. Однак, вона впливає в основному, тільки на сигнал девіацій, а не на сигнал миттєвої швидкості обертання шліфувального круга. Це доводить коректність запропонованого методу компенсації кінематичної похибки первинного перетворювача.

Таблиця 2

Чисельні дані зсуву за часом, град.		Відносна похибка, %			
3.0	0.14	9.0	12.0	15.0	
		1.23	2.19	3.40	

На підставі цього методу розроблено оригінальний пристрій для вимірювань миттєвої швидкості обертання шліфувального круга [3] (рис. 3). Структурна схема якого наведена на рис. 3.

На рис. 3 позначено: N – кількість каналів для вимірювань; Г – генератор синхронізації; Ф – формувач коротких імпульсів; ТА1, ..., ТА4 – логічні схеми ТА; N_x – вихідний код; АБО1, АБО2 – логічні схеми АБ; Т1, ..., Т3 – тригера; ДШ – дешифратор; ПП – первинний перетворювач; Л1, ..., Л4 – лічильники імпульсів. Пристрій для вимірювань має два канали, які вимірюють тривалість імпульсів прямого та інверсного виходів. Лічильники Л1 та Л2 формують калібровані проміжки часу. Сигнали вимірювальної інформації для пристрою цифрової обробки сигналу миттєвої швидкості обертання формує схема АБО2. Лічильник Л3 перетворює

імпульсів у цифровий код. Блок Ф формує сигнал запису коду у пристрої цифрової обробки.

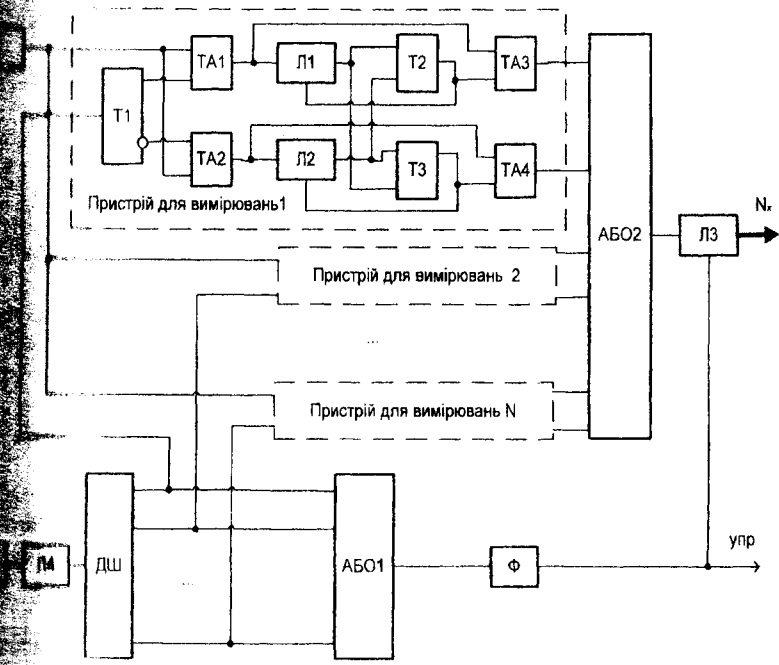


Рис. 3. Структурна схема інформаційно-вимірювального пристрою компенсації кінематичної похибки

Аналіз метрологічних характеристик пристрою. Наведено результати статистичної обробки даних вихідного дискретного сигналу ІВП миттєвої швидкості обертання шліфувального круга для отриманого об'єму вибірки з вимірювання. На рис. 4 подано гістограму розкиду значень вихідного сигналу ІВП.

Результати статистичної обробки даних вимірювань вихідного дискретного сигналу ІВП миттєвої швидкості обертання шліфувального круга отримані статистичні оцінки математичного сподівання, середнього квадратичного відхилення, асиметрії та ексцесу мають наступні значення

$$\bar{X} = 2.0 \cdot 10^{-4}; \sigma = 0.014248; A = 0.0536; E = -0.449.$$

Гістограму після виконання процедури згладжування описано експоненціальним законом розподілу. Ймовірність появи запропонованої гіпотези за критерієм згоди Колмогорова склала 0.891 при $\lambda = 0.419$.

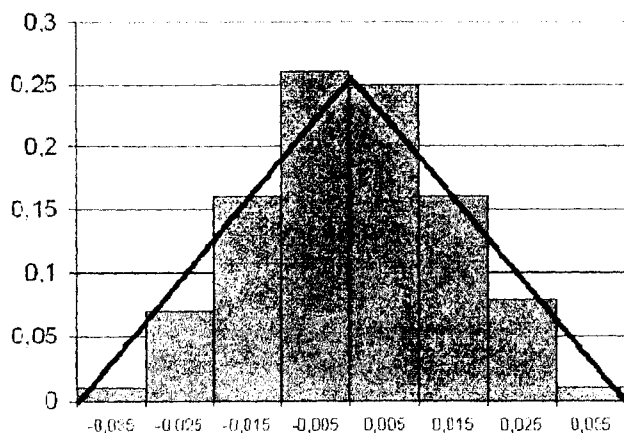


Рис. 4. Гістограма розкиду значень вихідного сигналу

Висновок. Побудовано детерміновану математичну модель технологічного процесу алмазного шліфування. Імітаційним комп'ютерним моделюванням отримано сигнал девіацій швидкості та по результатам аналізу сформульовано вимоги до метрологічних характеристик канального зв'язку комп'ютеризованої системи підвищення ефективності процесів алмазного шліфування.

Обґрунтовано, що проблема прецизійних вимірів миттєвої швидкості обертання шліфувального круга обумовлена, в основному, неточністю кінематичної ланки виготовлення первинних перетворювачів. Запропоновано метод, який апаратно компенсує вказану похибку, а на його основі розроблено інформаційно-вимірювальний пристрій. Наведені також результати статистичної обробки експериментальних досліджень вихідного сигналу такого пристрою.

1. Еникеев А.Ф. Оптимальное управление технологическим процессом алмазного шлифования. – Краматорск: ДГМА, 2001. – 160 с.
2. А.с. № 1538679 (СССР). Устройство для контроля неравномерности вращения / Борисенко А.Н., Еникеев А.Ф., Марченко Б.Г.
3. Допуски и посадки. Справочник. / [Гл. ред. Мяков В.Д.] – Д.: Машиностроение, Часть 2, 1978. – с. 545–1032.

На рис. 6 представленны данные распределения давлений, измеряемых приемным устройством, изготовленным внутри прозрачного образца с выходом на рабочую поверхность, позволяющие получить экспериментальные зависимости влияния исходных параметров трибосистемы на силу сопротивления движению, что оценивается измерительными приборами. Для изготовления каналов измерения давления прозрачный элемент трибосистемы является наиболее приемлемым, так как позволяет производить непрерывный мониторинг состояния приемного устройства и каналов на предмет отсутствия их загрязнений, которые приводят к дросселированию.

Приборы трения АСБ-01 и АСБ-02 запатентованы [4]. Они позволяют получать новую информацию о контактно-гидродинамических течениях в граничных слоях, трибо-кавитационных явлениях в диффузорной области контакта, вести постоянный мониторинг состояния премоного устройства определения локального давления в граничных слоях и его распределения путем сканирования контактных и околосконтактных областей благодаря реализации в них дополнительного оптического канала съема информации.

В свою очередь, это позволит создавать новые технологические приемы по повышению эффективности бесконтактных и контактных трибосистем скольжения, а также разрабатывать новые смазочные материалы и присадки к ним по критерию порога трибокавитации.

Благодаря исследованиям контактно-гидродинамических процессов на приборах АСБ-01 и АСБ-02 в научно-исследовательской лаборатории нанотриботехнологий НИЧ НАУ разработаны основные положения компрессионно-вакуумной гипотезы трения и трибо-кавитационного механизма изнашивания, которые находят свое подтверждение.

1. Коднир С. Контактная гидродинамика смазки деталей машин. М.: Машиностроение, 1976. – 304 с.
2. Стельмах А. У. Возникновение контактных струйных течений в областях граничной смазки и механизм их образования. Нац. авиац. ун-т. – Киев, 2009. – Деп. В ГНТБ Украины 14.07.09, №20 – Ук 2009. – 43 с.
3. Прибор для непрерывного измерения толщины смазочного слоя в подшипнике скольжения. Авторское свидетельство № 91589 на изобретение. Бюллетень изобретений, 1950, № 16, Авт.: Д.С.Коднир, Л.М.Ронин, М.Д.Медвинский, О.Ф.Зоммер.
4. Стельмах А. У. Компрессионно-вакуумный механизм адгезионного трения и изнашивания. – Деп. в ГНТБ Украины. - 07.07.2008, №109-Ук2008. – 28 с.
5. Патент на корисну модель №57465 Україна, (51) МПК G01N 3/56. Пристрій визначення трибологічних характеристик тертя ковзання в умовах граничного змащення /Стельмах О.У., Бондар В.С., Бадір К.К., Ібраїмов Т.Т. – № U 2010 10464; заявл. 30.08.2010; опубл. 25.02.2011. Бюл. №4. – 16 с.

Поступила 12.03.2012р.

А.Н. Давиденко, С.Я. Гильгурт, В.В. Душеба, А.К. Евдина. Развитие системы внутренней защиты информации в распределенных компьютерных сетях.....	3
А.В. Яцишин. Моделювання якості атмосферного повітря та відповідні моделюючі системи	10
Н.В. Будницкая, Е.А. Рыбалкин. Осесимметричная интегральная модель распределения сварочного тока при дуговой сварке зазора в пластине	18
Б.Я. Корнієнко, О.К. Юдін, Ю.О. Возний. Модель загроз інформаційно-комунікаційної мережі виробництва мінеральних добрив	27
Б.Б. Нестеренко, М.А. Новотарський. Паралельне моделювання перистальтичних процесів.....	34
О.Ф. Єнікєєв, О.В. Монченко, Т.Л. Щербак. Метрологічні характеристики перетворювача миттєвої швидкості обертання шліфувального круга при алмазному шліфуванні	42 ✓
А.В. Яцишин, В.О. Артемчук, О.О. Попов. Класифікація моделей забруднення атмосферного повітря.....	49
С.В. Минухин, С.В. Знахур. Исследование характеристик потоков заданий для моделирования ГРИД-систем	58
А.О. Сальніков, О.О. Судак, О.В. Бойко. Впровадження сервісів рівня кооперації ГРИД-ресурсів для інтеграції віртуальних організацій в українській національній грід-інфраструктурі.....	67
А.В. Панішев, А.О. Данильченко, О.М. Данильченко. Задача про паросполучення зі 'зникаючими' дугами	75
В.А. Савченко, Д.М. Обідін. Інтелектуалізація системи управління складним динамічним об'єктом на основі нечітких семантичних мереж.....	81
С.М. Неділько, Ю.В. Кравченко, Р.А. Миколайчук. Концепція забезпечення функціональної стійкості складних технічних систем....	86
І.О. Ляшенко. Формалізація знань про процеси прийняття рішень щодо ідентифікації повітряних суден – загроз.....	90
О.Ю-Ю. Коростіль. Засоби опису методів синтезу текстових моделей з текстовими інформаційними потоками.....	95