

СПОСІБ І ПРИСТРІЙ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ОСЬОВИМ ПОЛОЖЕННЯМ ВАЛА СУПЕРПРЕЦИЗІЙНОЇ АЕРОСТАТИЧНОЇ ШПИНДЕЛЬНОЇ ОПОРИ



І. О. Левін

Точність сучасних суперпрецизійних верстатів не перевищує 0,2 – 0,3 мкм. Нині існує необхідність у виготовленні особливо точних верстатів оптики й механіки, нормальна похибка положення точки різання на поверхні, що оброблюється, під час виготовлення яких не перевищує соті долі мікрметра. Висока точність верстатів може бути досягнута шляхом оснащення їх формотворних елементів інформаційно-керуючими пристроями стабілізації положення і позиціонування.

Для розв'язку однієї з цих задач розроблені, надані в статті спосіб і пристрій автоматичного керування осьовим положенням вала аеростатичної шпиндельної опори верстата надвисокої точності.

Спосіб стабілізації осьового положення вала суперпрецизійної аеростатичної шпиндельної опори

Реалізація розробленого способу стабілізації осьового положення вала опори забезпечується елементами конструкції опори (рис.1). Силове замикання вала

опори в осьовому напрямку виконує двостороння аеростатична осьова опора, що включає п'яту 1 і підп'ятники 2 з жиклерами подачі газу. Стабілізація осьового положення вала опори і компенсація його осьової температурної деформації здійснюється компенсаторами 3 і 4 осьового зсуву вала, які створюють додаткову піднімальну силу, що запобігає зсуву вала опори в осьовому напрямку.

Кожний компенсатор осьового зсуву включає укріпленій на валу диск 5 і *n* регуляторів тиску газу. Як і регулятори тиску газу компенсаторів радіально-го зсуву осі обертання вала ці регулятори оснащені п'єзоелектричними двигунами 6 із встановленими на них регулювальними голками 7. П'єзоелектричні двигуни встановлені на регулювальних гвинтах 8. Це надає можливість зміщати регулювальні голки вздовж осі симетрії каналів жиклерів для установки початкової величини тиску на виході жиклерів. П'єзоелектричні двигуни 6 компенсаторів осьового зсуву двосекційні. Секція компенсації змінних осьових навантажень на вал аеростатичної шпиндельної опори забезпечує компенсацію осьового зсуву вала через деформацію поля тиску осьової аеростатичної похибками розмірів і форми її виготовлення. Оскільки ці збурення осьового положення вала опори – мала величина, то і постійна часу цієї секції теж мала, що забезпечує її високу

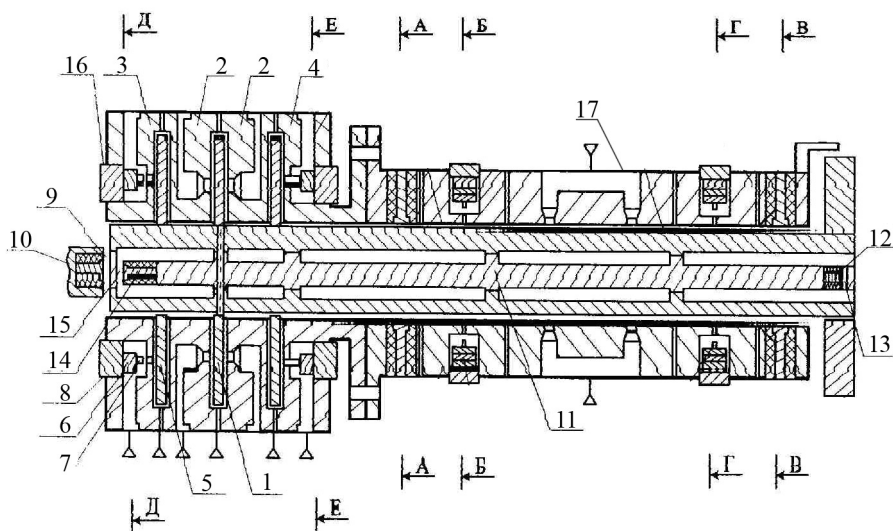


Рис. 1. Конструкція пристрою стабілізації осьового положення вала суперпрецизійної аеростатичної шпиндельної опори

швидкодію. Секція компенсації постійних і осьових навантажень, що повільно змінюються, на вал опори зберігає задане осьове положення вала в проміжках часу між двома суміжними компенсаціями осьової температурної деформації вала опори, а також запобігає осьовому зсуву вала при зміні осьової складової сили різання через неоднорідність оброблюваного матеріалу, нестабільність тиску наддуву й осьових коливань вала опори. Конструкція п'єзоелектричного двигуна, що складається з секцій, підвищує швидкодію аеростатичного регулятора тиску, а отже, і точність стабілізації осьового положення вала.

Відносно торця вала встановлено датчик 10 величини регульованого зазору 9. У порожнині вала встановлено вимірювальний стержень 11 з матеріалу з малим або нульовим коефіцієнтом температурного розширення, наприклад із ситала. Вимірювальний стержень жорстко зв'язаний з валом у площині п'яти підп'ятника. У разі зміни температури вала його відрізки, що знаходяться з обох боків п'яти, вільно змінюють свою довжину відносно вимірювального стержня. У близький до планшайби кінець вимірювального стержня вбудовано датчик 12 величини контрольного зазору 13, утвореного внутрішньою поверхнею торця вала і основою датчика величини контрольного зазору.

На протилежному кінці вимірювального стержня встановлено датчик 14 величини зазору корекції 15, утвореного внутрішньою поверхнею торця вала і основою датчика величини зазору корекції. За вимірами величини контрольного зазору і зазору корекції виконується компенсація осьової температурної деформації вала аеростатичної шпindelльної опори.

Спосіб стабілізації осьового положення вала аеростатичної шпindelльної опори передбачає таку послідовність дій:

1. Встановлюється початковий (середній) тиск на виходах регуляторів тиску 16 компенсаторів 3 і 4 осьового зсуву вала (дивись рис.1) аеростатичної шпindelльної опори.

Тиск наддуву подається в радіальну аеростатичну опору 17 і в осьову опору. Напруга на секції п'єзоелектричних двигунів 6 не подається. Вибираються один із компенсаторів осьового зсуву і один із регуляторів тиску цього компенсатора. Подається газ у камеру наддуву цього регулятора тиску. Регульовальним гвинтом 8 переміщують п'єзоелектричний двигун регулятора і регульовальною голкою 7 перекривається канал, що підводить тиск, цього регулятора. Вимірюється величина регульованого зазору \hat{Z}_p . Регульовальним гвинтом переміщують голку у зворотному напрямку. Безперервно вимірюється величина регульованого зазору 9. Тиск на виході каналу підвищується. У результаті зміщується п'ята осьової опори. Визначається мінімальна величина регульованого зазору $Z_{\delta \min}$ при зсуві вала в напрямку датчика величини регульованого зазору або $Z_{\delta \max}$ при зсуві вала в напрямку до датчика.

Визначається середина діапазону величини зсуву вала регулятором тиску компенсатора осьового зсуву:

$$\Delta Z_{p1} = \frac{Z_{p \max} - Z_p}{2}; \quad \Delta Z_{p2} = \frac{Z_p - Z_{p \min}}{2}. \quad (1)$$

Зміщують регульовальним гвинтом п'єзоелектричний двигун регулятора. Якщо регульований зазор збільшувався, встановлюють його так, щоб його величина дорівнювала $Z_{cp.} = Z_p + \Delta Z_{p1}$. В іншому випадку величина регульованого зазору дорівнює: $Z_{cp.} = Z_p - \Delta Z_{p2}$. Фіксується положення п'єзоелектричного двигуна в цьому положенні і знімається тиск наддуву з цього регулятора.

Ці дії послідовно виконуються для кожного регулятора тиску обох компенсаторів. У результаті піднімальна сила кожного регулятора буде відповідати середині діапазону її вимірювання (у разі відсутності сигналу керування на п'єзоелектричний двигун).

2. На фіксованих рівнодискретних кутах повороту вала визначаються і приймаються як опорні сигнали керування $U_{\hat{\delta} \delta, \varphi}^{\varphi_0}$, $U_{\hat{\delta} \delta, \varphi}^{\varphi_1}$, $U_{\hat{\delta} \delta, \varphi}^{\varphi_2}$, ..., $U_{\hat{\delta} \delta, \varphi}^{\varphi_j}$ на секції компенсації змінних осьових навантажень п'єзодвигунів регуляторів тиску для компенсації осьового зсуву вала через похибки розмірів і форми виготовлення осьової аеростатичної опори.

Для цього на куті $\varphi = \varphi_0$ вимірюється величина регульованого зазору й розраховується його асимптотично не зміщена оцінка

$$\hat{b}_9^{\varphi = \varphi_0} = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^N b_9^{\varphi = \varphi_0}(i). \quad (2)$$

Оцінка $\hat{b}_9^{\varphi = \varphi_0}$ величини регульованого зазору приймається як початок відліку величини осьового зсуву вала. Якщо зафіксувати початковий кут повороту вала і встановлювати вал відносно початкового кута повороту на фіксовані дискретні кути, відносно розташування похибок на п'яті та підп'ятниках перестане бути випадковим. Кожному куту φ_j повороту вала відповідає відповідне розташування похибок, а отже, і відповідна величина осьового зсуву вала $W_{\delta \delta}(\varphi_j)$ через похибки розмірів і форми виготовлення осьової аеростатичної опори.

Вимірюються осьові зсуви вала $W_{\delta \delta}(\varphi_j)$ таким чином: сигнали керування на регулятори тиску компенсаторів осьового зсуву не подаються; подається тиск наддуву на компенсатори осьового зсуву вала; вал опори встановлюється на кут повороту $\varphi_0 = 0$, тобто фіксується його початкове кутове положення; п'ята осьової аеростатичної опори встановлюється в незміщене положення; вал послідовно встановлюється на рівнодискретні кути повороту $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \dots, \varphi_j$. На кожному куті повороту, підбираючи сигнали керування на секції п'єзодвигунів компенсаторів осьового зсуву вала

методом послідовних наближень, величина регульованого зазору встановлюється рівною початковій його величині. Сигнали керування на секції компенсації змінних осьових навантажень п'єзодвигунів регуляторів тиску, на яких досягається рівність оцінок величини регульованого зазору оцінці початкової величини регульованого зазору, приймаються як опорні $U_{\hat{\alpha}\hat{\delta},i}^{\hat{\varphi}_0}$, $U_{\hat{\alpha}\hat{\delta},i}^{\hat{\varphi}_1}$, $U_{\hat{\alpha}\hat{\delta},i}^{\hat{\varphi}_2}$, $U_{\hat{\alpha}\hat{\delta},i}^{\hat{\varphi}_3}$, $U_{\hat{\alpha}\hat{\delta},i}^{\hat{\varphi}_4}$ для компенсації осьового зсуву вала через похибки розмірів і форми виготовлення осьової аеростатичної опори.

3. Для компенсації осьової температурної деформації вала будується функціональна залежність $U_{\hat{\alpha}\hat{\delta},i} = f(b_9)$ між величиною сигналів керування на секції п'єзодвигунів регуляторів тиску та величиною осьового зсуву вала.

Для побудови цієї функціональної залежності на аеростатичну шпindelьну опору подається тиск наддуву. Вал опори встановлюється на кут повороту φ_0 . На секції компенсації постійних осьових навантажень і навантажень, що змінюються повільно, регуляторів тиску подається сигнал керування $U_{\hat{\alpha}\hat{\delta},i}^{\hat{\varphi}_0}$. У результаті під датчиком величини регульованого зазору встановлюється початкова величина регульованого зазору $b_9^{\hat{\varphi}_0}$, а вал опори буде встановлений у незміщене положення.

Для керування осьовим положенням вала опори на секції п'єзодвигунів компенсаторів 3 і 4 осьового зсуву вала сигнали керування надходять у протифазі. Під час подачі на секції п'єзоелектричних двигунів компенсатора 4 від'ємної напруги сигналу керування його піднімальна сила \bar{W}_4 збільшується. При цьому на секції п'єзодвигунів компенсатора 3 надходить така ж за величиною додатна напруга сигналу керування. Піднімальна сила \bar{W}_3 цього компенсатора зменшується. Під впливом різниці піднімальних сил $\Delta\bar{W}_k = \bar{W}_4 - \bar{W}_3$ вал опори зміщається вліво на величину Δl . Величина регульованого зазору також зменшиться на Δl .

Нехай величина осьової температурної деформації вала опори через надходження тепла з зони різання та нестабільність температури газу на наддув аеростатичних опор не перевищує ± 1 мкм. Функціональна залежність $U_{\hat{\alpha}\hat{\delta},i} = f(b_9)$ будується за сигналами керування $U_{\hat{\alpha}\hat{\delta},i}$, що забезпечують компенсацію таких значень осьової температурної деформації вала: $-1 i \hat{e}i$, $-0.8 i \hat{e}i$, \dots , $-0.2 i \hat{e}i$, $0 i \hat{e}i$, $+0.2 i \hat{e}i$, $+0.4 i \hat{e}i$, \dots , $+1 i \hat{e}i$.

Отже, вал опори встановлений на кут повороту φ_0 , на регулятори осьового положення подано сигнал керування $U_{\hat{\alpha}\hat{\delta},i}$, регульований зазор дорівнює $b_9^{\hat{\varphi}_0}$. Методом послідовних наближень, варіюючи сигнал керування $U_{\hat{\alpha}\hat{\delta},i}(1)$ на секції компенсації постійних осьових навантажень п'єзодвигунів компенсаторів осьових навантажень, при якому величина регульованого зазору $b_9(1)$ дорівнюватиме $b_9^{\hat{\varphi}_0} - 1$ мкм. N раз вимірюється величина регульованого зазору $b_9^n(1)$ і об-

числюється його асимптотично не зміщена оцінка $b_9^{\hat{\varphi}_0}$

$$\hat{b}_9(1) = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N b_9^n(1). \quad (3)$$

Якщо $\hat{b}_9 \neq b_9^{\hat{\varphi}_0} - 1$ мкм, варіюється величина сигналу керування $U_{\hat{\alpha}\hat{\delta},i}(1)$ і досягається виконання рівності. Величина сигналу керування $U_{\hat{\alpha}\hat{\delta},i}(1)$, при якому досягається виконання цієї рівності, запам'ятовується.

Наведені вище дії послідовно виконуються для всіх наведених вище значень осьової температурної деформації вала:

$\hat{b}_9(\text{мкм})$	$\hat{b}_9(1) = \hat{b}_9^{\hat{\varphi}_0} - 1$	$\hat{b}_9(2) = \hat{b}_9^{\hat{\varphi}_0} - 0.8$...
$U_{\text{упр},n}(B)$	$U_{\text{упр},n}(1)$	$U_{\text{упр},n}(2)$	
...	$\hat{b}_9(5) = \hat{b}_9^{\hat{\varphi}_0} - 0.2$...	$\hat{b}_9(11) = \hat{b}_9^{\hat{\varphi}_0} + 1$
	$U_{\text{упр},n}(5)$		$U_{\text{упр},n}(11)$

Ця інформація апроксимується ортогональним поліномом Чебишева n -го ступеня. Розраховуються коефіцієнти $a_0, a_1, a_2, \dots, a_n$ полінома. Функціональна залежність $U_{\text{упр},n} = f(\hat{b}_9)$ має вигляд

$$U_{\text{упр},n} = a_0 + a_1 \hat{b}_9 + a_2 \hat{b}_9^2 + \dots + a_{n-1} \hat{b}_9^{(n-1)} + a_n \hat{b}_9^n \quad (4)$$

4. Стабілізується осьове положення вала аеростатичної шпindelьної опори шляхом установки на дискретах кута повороту вала під датчиком величини регульованого зазору величин зазорів $b_9^{\hat{\varphi}_j}$, рівних величині зазору $b_9^{\hat{\varphi}_0}$, що відповідає осьовому положенню вала, який прийнято як незміщений.

Валу опори задається обертання з номінальною швидкістю і виконується точіння. На дискретах кута повороту $360^\circ - \Delta\varphi$, $\Delta\varphi - \Delta\varphi_1$, $2\Delta\varphi - \Delta\varphi_1, \dots, 360^\circ - \Delta\varphi - \Delta\varphi_1$, де $\Delta\varphi_1$ – кут випередження подачі сигналу керування $U_{\text{упр},3}^{\hat{\varphi}_j}$ на секції змінних осьових навантажень п'єзоелектричних двигунів регуляторів тиску відносно j -ї дискрети стабілізації дорівнює кутові повороту вала за час $t_{\text{зад.}} = 4T$ (T – постійна часу секції змінних осьових навантажень) подаються сигнали керування $U_{\text{упр},3,\text{он}}^{\hat{\varphi}_0}$, $U_{\text{упр},3,\text{он}}^{\hat{\varphi}_1}$, $U_{\text{упр},3,\text{он}}^{\hat{\varphi}_2}$, $U_{\text{упр},3,\text{он}}^{\hat{\varphi}_j}$. У результаті компенсуються складові осьового зсуву вала через похибки розмірів і форми осьової аеростатичної опори.

Осьові зсуви вала, компенсація яких покладається на секції змінних осьових навантажень п'єзоелектричних двигунів, значно менше повного осьового навантаження (з урахуванням компенсації осьової температурної деформації вала). Їхня компенсація здійснюється практично в реальному масштабі часу.

5. З моменту початку роботи аеростатичної

шпиндельної опори з установленою дискретою часу Δt вимірюється величина осьової температурної деформації вала опори та здійснюється її компенсація, вимірюються початкова величина зазору корекції $b_{15}(0)$ і величина контрольного зазору $b_{13}(0)$. Величина регульованого зазору b_9 відома. За функціональною залежністю (4) розраховується сигнал керування $U_{\text{д.д.т}}^{\text{скор.}}$ на секції компенсації постійних осьових навантажень і навантажень, які змінюються повільно, п'єзодвигунів, що відповідає незміщеному положенню вала опори, і порівнюється з вихідним сигналом $U_9(t)$ вимірювача величини регульованого зазору. У разі відхилення поточної величини регульованого зазору від заданого значення виробляється сигнал неузгодженості, що надходить на секції компенсації змінних осьових навантажень. Поточне значення величини регульованого зазору відповідатиме незміщеному положенню вала опори.

Температурна деформація вала – величина, що повільно змінюється. З установленою дискретою часу Δt , за час якої величина осьової температурної деформації не перевищить припустимої величини, вимірюються величини зазорів b_{15} корекції та контрольного зазору b_{13} . Величини цих зазорів порівнюються з їхніми початковими значеннями. Якщо $b_{15}(t) \neq b_{15}(0)$, змінилася величина відрізка вала, що лежить ліворуч від площини п'яти 1. Обчислюється різниця

$$\Delta b_{15} = b_{15}(0) - b_{15}(t) \quad (5)$$

і запам'ятовується нове значення зазору корекції

$$b_{15}(0) := b_{15}(t).$$

Порівнюються $b_{13}(t)$ і $b_{13}(0)$. Якщо $b_{13}(t) \neq b_{13}(0)$, змінилася довжина відрізка вала, що лежить праворуч від площини симетрії п'яти. Обчислюється різниця

$$\Delta b_{13} = b_{13}(0) - b_{13}(t)$$

і запам'ятовується нове значення контрольного зазору

$$b_{13}(0) := b_{13}(t).$$

Обчислюється скореговане значення величини регульованого зазору

$$b_9^{\text{скор.}} = b_9^{\text{ф}} - \Delta b_{15} - \Delta b_{13}.$$

За функціональною залежністю (4) обчислюється величина скорегованого сигналу керування $U_{\text{уп.п}}^{\text{скор.}}$ на секції компенсації постійних осьових навантажень і навантажень, які змінюються повільно, що забезпе-

чує установку вала опори в незбурене положення, та величина корекції сигналів керування:

$$U_{\text{уп.п}}^{\text{скор.}} = a_0 + a_1 b_9^{\text{скор.}} + a_2 (b_9^{\text{скор.}})^2 + \dots + a_n (b_9^{\text{скор.}})^n \quad (6)$$

Поточне значення $b_9(t)$ величини регульованого зазору порівнюється зі скорегованою величиною $b_9^{\text{скор.}}$ цього зазору. У разі відхилення поточної величини регульованого зазору від скорегованої виробляється сигнал неузгодженості, що надходить на секції компенсації постійних осьових навантажень і навантажень, які змінюються повільно, п'єзоелектричних двигунів регуляторів тиску. Поточне значення величини регульованого зазору встановлюється рівним скорегованій величині цього зазору, а осьове положення площини планшайби зберігається незмінним.

Пристрій автоматичного керування осьовим положенням вала аеростатичної шпиндельної опори

Пристрій автоматичного керування осьовим положенням вала аеростатичної шпиндельної опори призначено для компенсації внутрішніх і зовнішніх осьових впливів, що збурюють, на вал опори, а також для компенсації осьової температурної деформації вала цієї опори.

Пристрій (рис. 2) включає в себе датчик 10 величини регульованого зазору, датчик 12 величини контрольного зазору і датчик 14 величини зазору корекції.

Сигнали датчиків 10, 12, 14 за допомогою вимірювача 17 величини регульованого зазору, вимірювача

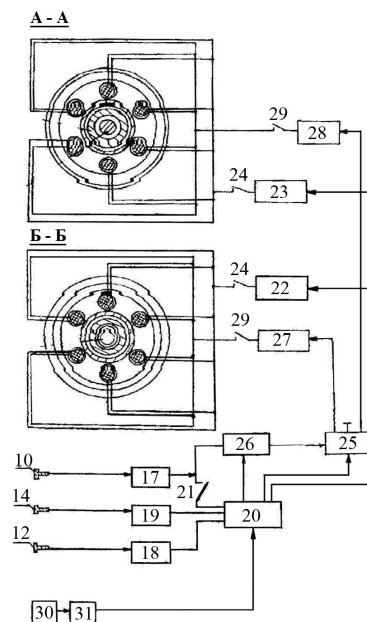


Рис. 2. Функціональна схема пристрою автоматичного керування осьовим положенням вала аеростатичної шпиндельної опори

18 величини контрольного зазору і вимірювача 19 величини зазору корекції перетворюються в напругу, що відповідає величинам цих зазорів. При цьому використовуються вимірювачі мікропереміщень, похибка вимірювань яких у діапазоні 10-30 мкм не перевищує 0.01–0.03 мкм [4].

Напруга з виходів вимірювачів контрольного зазору і зазору корекції надходить в обчислювач 20; з виходу вимірювача величини регульованого зазору – в обчислювач через перемикач 21 «відкл. – налаштування».

Обчислювач являє собою ЕОМ, оснащена модулем вводу-виводу для обміну інформацією з зовнішніми функціональними елементами, виконує такі основні функції:

- знімання, перетворення в цифрову і відображення інформації вимірювачів величин зазорів;
- формування опорних сигналів керування на секції компенсації постійних навантажень і осьових навантажень, що повільно змінюються;
- розрахування величини осьової температурної деформації вала опори, корегування величини регульованого зазору на величину цієї деформації та перерахування величин опорних сигналів керування.

З виходу обчислювача (першого) напруга опорних сигналів керування надходить на інвертуючий вхід операційного підсилювача 22 і прямий вхід операційного підсилювача 23, а з їхніх виходів через перемикач 24 у положенні «увімкнути» на секції змінних осьових навантажень п'єзоелектричних двигунів.

З другого виходу обчислювача напруга, що відповідає поточній опорній величині регульованого зазору, надходить на перший вхід диференціального підсилювача 25 сигналу неузгодженості. На другий вхід цього підсилювача через ключ 26 надходить напруга з вимірювача величини регульованого зазору. Відкривається ключ 50 напругою, що надходить із третього виходу обчислювача.

Напруга з виходів диференціального підсилювача надходить на входи підсилювачів 27 і 28 сигналу неузгодженості, а з їхніх виходів через вимикачі 29 в положенні «вкл.» – на секції компенсації постійних навантажень і навантажень, які повільно змінюються, осьових п'єзоелектричних двигунів компенсаторів осьового навантаження.

Як датчик кута повороту вала опори може використовуватися обертовий трансформатор 30, 31 – вимірювач кута повороту. Код кута повороту з виходу вимірювача кута повороту постійно надходить на вхід обчислювача.

Працює пристрій автоматичного керування осьовим положенням вала аеростатичної шпindelльної опори таким чином:

1. Встановлюються середні значення тиску на виходах каналів регуляторів тиску компенсаторів осьового зсуву вала.

Для установки середніх значень на виходах регуляторів подається тиск наддуву в радіальну й осьову аеростатичні опори. Вимикачі 24 і 29 встановлюються в положення «відкл.»; перемикач 21 – в положення «налаштування». Регульовальними голками перекриваються канали обох компенсаторів осьового зсуву. Включають пристрій. Вихідна напруга вимірювача величини регульованого зазору надходить в обчислювач. Виконується пуск підпрограми «максимальна величина регульованого зазору» або «мінімальна величина регульованого зазору». Напруга величини регульованого зазору надходить в обчислювач, перетворюється в цифровий код і відображається на екрані дисплея. Подається тиск наддуву в камеру наддуву одного з регуляторів тиску. Регульовальним гвинтом відкривають канал жиклера регулятора тиску. При досягненні регульованим зазором максимального (мінімального) значення переміщення регульовальної голки припиняється. Регульовальна голка переміщується у зворотному напрямку і по екрану дисплея встановлюється середня величина регульованого зазору. Знімається тиск наддуву з регулятора тиску. Встановлюється середнє значення тиску на виході чергового регулятора тиску.

2. На фіксованих рівнодискретних кутах повороту вала визначаються й приймаються як опорні сигнали керування $U_{\text{упр.з.он.}}^{\varphi_0}$, $U_{\text{упр.з.он.}}^{\varphi_1}$, $U_{\text{упр.з.он.}}^{\varphi_2}$, $U_{\text{упр.з.он.}}^{\varphi_3}$ на секції змінних осьових навантажень п'єзодвигунів регуляторів тиску для компенсації осьового зсуву вала через похибки розмірів і форми виготовлення осьової аеростатичної опори.

3. Будується функціональна залежність $U_{\text{упр.н.}} = f(b_{\varphi})$.

Для побудови цієї функціональної залежності вимикачі 24, 29 встановлюються в положення «вкл.», вимикач 21 – у положення «відкл.». Виконується пуск підпрограми «початкова установка». Відповідно до алгоритму роботи цієї підпрограми кут повороту вала опори з вимірювача кута повороту надходить в обчислювач і відображається на екрані дисплея. Опорний сигнал керування $U_{\text{упр.з.он.}}^{\varphi_0}$ з обчислювача надходить на вхід, що інвертує сигнал, операційного підсилювача 25 і прямий вхід операційного підсилювача 23, а з їхніх виходів через вимикачі 24 на секції змінних осьових навантажень п'єзоелектричних двигунів регуляторів тиску. Сигнал $U_{\text{упр.н.}}^{\varphi_0}$, що відповідає незміщеному положенню вала, і сигнал $U_{17}(t)$ з виходу вимірювача величини регульованого зазору надходять на входи диференціального підсилювача 25 і далі – на секції компенсації постійних навантажень і навантажень, що повільно змінюються, осьових п'єзодвигунів регуляторів тиску. Вал опори за показниками вимірювача кута повороту встановлюється на кут повороту $\varphi = 0$. У результаті цього величина регульованого зазору дорівнюватиме b_{φ_0} і відобразиться на екрані дисплея. Вал опори буде встановлений в незміщене положення.

Виконується пуск підпрограми «*формування таблиці 1*». Ця підпрограма дає змогу варіювати величину сигналу керування $U_{\text{упр.п.он}}^{\phi_0}$ на виході обчислювача, не змінюючи його в масиві опорних сигналів керування. Функціональна залежність будується для прийнятих вище значень осьового зсуву вала. Варіюючи сигнал керування $U_{\text{упр.п.}}$, встановлюють величину регульованого зазору $b_9(1) = \hat{b}_9 - 1 \text{ мкм}$. N раз вимірюється величина зазору $b_9(1)$ й обчислюється його асимптотично незміщена оцінка (3). Якщо $\hat{b}_9(1) \neq \hat{b}_9 - 1 \text{ мкм}$, методом послідовних наближень досягається точний осьовий зсув вала на 1 мкм. Виконується пуск підпрограми «*формування таблиці 1 – пам'ять*». При цьому в пам'ять обчислювача буде записано перший стовпець цієї таблиці. Послідовно формуються стовпці таблиці 1 для наведених раніше величин осьового зсуву вала секціями постійних осьових навантажень і навантажень, які змінюються повільно, п'єзоелектричних двигунів.

Виконується пуск підпрограми «*розрахунок коефіцієнтів ортогонального полінома Чебишева*». При цьому одержують функціональну залежність $U_{\text{упр.п.}} = f(b_9)$. Отже, пристрій автоматичного керування осьовим положенням вала готовий до роботи.

4. Робота пристрою в режимі обробки особливо чистих поверхонь

Для переведення пристрою в режим обробки перемикач 21 «*відкл. – налаштування*» встановлюється в положення «*відкл.*». Вимикачі 24 і 29 встановлюються в положення «*вкл.*» Виходи операційних підсилювачів 22 і 23 підключаються до секції компенсації осьового зсуву вала через похибки розмірів і форми осьової аеростатичної опори п'єзоелектричних двигунів, а виходи підсилювачів 27 і 28 – до секції компенсації постійних осьових навантажень і навантажень, які повільно змінюються. Включається пристрій. Валу опори задається обертання з номінальною швидкістю.

Під час повороту вала опори на дискрети кута повороту $360^\circ - \Delta\varphi_1, \Delta\varphi - \Delta\varphi_1, \dots, j \Delta\varphi - \Delta\varphi_1, \dots, 360^\circ - \Delta\varphi - \Delta\varphi_1$ відповідний опорний сигнал керування $U_{\text{упр.з.он}}^{j\Delta\varphi}$ з виходу обчислювача надходить на входи операційних підсилювачів і далі на секції компенсації змінних осьових навантажень п'єзоелектричних двигунів.

Одночасно напруга, що відповідає величині b_9 регульованого зазору, з обчислювача надходить на перший вхід диференціального підсилювача 25, а також відкривається ключ 26. Напруга з виходу вимірювача величини регульованого зазору через ключ 26 надходить на другий вхід диференціального підсилювача. У разі відхилення величини регульованого зазору від значення \hat{b}_9 під впливом, наприклад, коливання станини в осьовому напрямку, нестабільності тиску газу на наддув сигнал неузгодженості, який виникає на

виході диференціального підсилювача, підсилюється підсилювачами 27 і 28. З виходів підсилювачів керуюча напруга надходить на секції компенсації постійних осьових навантажень і навантажень, які повільно змінюються, чим запобігається відхилення регульованого зазору від значення \hat{b}_9 . Одночасно з видачею першого сигналу керування обчислювач перетворить у цифровий код напругу, яка постійно надходить, з вимірювачів величини зазору корекції 19 і контрольного зазору 18. Початкові значення величин цих зазорів $b_{15}(0)$ і $b_{13}(0)$ (дивись рис.1) запам'ятовуються. У процесі точіння періодично з установленою дискретою часу Δt вимірюються та порівнюються з початковими величини цих зазорів. У разі відхилення величин цих зазорів від початкових обчислюється величина осьового зсуву площини планшайби опори через осьову температурну деформацію вала. Обчислюється скореговане значення $b_9^{\text{неі.д.}}$ величини регульованого зазору, при якому осьове положення площини планшайби залишається незмінним. За функціональною залежністю (4) обчислюється величина скорегованого значення $U_{\text{аі.д.і}}^{\text{неі.д.}}$ сигналу керування, що забезпечує корекцію положення площини планшайби відповідно до (5). Скореговане значення $U_{\text{аі.д.і}}^{\text{неі.д.}}$ сигналу керування з виходу обчислювача 20 надходить на вхід диференціального підсилювача 25. У результаті під датчиком величини регульованого зазору буде встановлена величина зазору, скорегована на величину осьової температурної деформації вала опори. Площина планшайби займе незміщене положення.

Висновки

Пристрій автоматичного керування осьовим положенням вала опори забезпечує компенсацію таких внутрішніх і зовнішніх збурюючих осьове положення вала впливів: температурну осьову деформацію вала; нестабільність тиску газу, що надходить на наддув осьової аеростатичної опори; осьовий зсув вала через деформацію поля тиску в зазорах осьової аеростатичної опори похибками розмірів і форми її виготовлення; примусові осьові коливання вала опори під дією коливань земної поверхні.

Похибка осьового положення вала аеростатичної шпindelної опори, обладнаної пристроєм автоматичного керування осьовим положенням вала, не перевищуватиме 0,03 мкм.

ЛІТЕРАТУРА

1. Зайцев Г. Ф. Основы теории систем автоматического регулирования и управления К.: КВИРТУ ПВО, 1968.
2. Решетов Д. Н. Точность металлорежущих станков М.: Машиностроение, 1968.
3. Шейнберг С. А. Опоры скольжения с газовой смазкой М.: Машиностроение, 1979.
4. Гриневич Б. Ф. Измерительные компенсационно-мостовые устройства с емкостными датчиками К.: Наукова думка, 1987