

ПРИСТРІЙ І СТАБІЛІЗАЦІЯ УПРАВЛІННЯ ПЕРЕМІЩЕННЯМ РУХОМИХ ЕЛЕМЕНТІВ



Тарасов Віктор Олексійович,

президент¹, докт. техн. наук, професор

¹Міжнародна академія комп'ютерних наук і систем,
пр-т Академіка Глушкова, 42, м. Київ, Україна, 03187

Назаренко Тетяна Миколаївна, пров. інженер²

Злочевська Любов Опанасівна, пров. інженер²

²Міжнародний науково-навчальний центр інформаційних
технологій та систем НАНУ та МОНУ,

пр-т Академіка Глушкова, 40,

м. Київ, Україна, 03680; dep160@irtc.org.ua

У статті наведено результати теоретичних і прикладних досліджень системного синтезу конструкції суперпрецизійної лінійної напрямної. Розглянуто методику формування масиву величин зазорів стабілізації лінійного переміщення рухомого елемента замикаючої плоскої опори. Запропоновано пристрій управління переміщенням рухомих елементів суперпрецизійної лінійної напрямної способом згладжувальних площин і специфіку його роботи. Представлено розрахунок піднімальної сили пружних п'єзоелектричних регуляторів положення рухомого елемента несучої плоскої опори лінійної напрямної.

Ключові слова: управління переміщенням рухомих елементів, суперпрецизійна лінійна напрямна.

(Початок статті дивіться в журналі «Науково-технічна інформація» № 1 за 2016 р. – Системний синтез суперпрецизійних лінійних напрямних / Тарасов В.О., Назаренко Т.М., Злочевська Л.О.)

Формування масиву величин зазорів стабілізації лінійного переміщення рухомого елемента замикаючої плоскої опори. Рухомий елемент несучої опори переміщається лінійно, якщо точки поверхні рухомого елемента замикаючої опори, які лежать на сліді проекції прямої F [1, рис. 1] на площину рухомого елемента замикаючої опори, що проходить через осі симетрії датчиків величин зазорів стабілізації лінійного переміщення паралельно напрямку переміщення рухомого елемента, переміщуються по прямим, паралельним прямій F . Причому осі симетрії цих датчиків величин зазорів стабілізації лежать у площині симетрії рухомого елемента несучої опори [2; 3].

Вимір величин зазорів стабілізації лінійного переміщення рухомого елемента замикаючої опори забезпечують три блоки датчиків

положення, установлені в основі замикаючої опори по лініям, паралельним напрямку переміщення рухомого елемента. У кожному блоці датчиків установлені два датчики величин зазорів [1, рис. 1]: $C_1^1, C_2^1; C_1^2, C_2^2; C_1^3, C_2^3$.

По лінії перетинання площини основи із площиною симетрії рухомого елемента несучої опори встановлено два датчики 8 і 9 величин зазорів стабілізації лінійного переміщення рухомого елемента. Попередньо основи датчиків блоків датчиків установлюються в одну площину або на паралельні прямі, паралельні напрямку переміщення рухомого елемента. З вихідного положення рухомий елемент послідовно встановлюється на дискреті стабілізації до його переміщення на величину робочого ходу. На кожній дискреті рухомий елемент установлюється в незбурене положення щодо площини стабілізації згідно

зі способом опорних зазорів. Вимірюються величини опорних зазорів під першими датчиками блоків датчиків і величини зазорів стабілізації під датчиками 8 і 9. Вимірювані величини зазорів оцінюються за одним із розглянутих в [1] алгоритмів оцінки вимірів. Оцінки величин опорних зазорів і величин зазорів стабілізації запам'ятовуються. У результаті буде сформовано масив величин зазорів стабілізації лінійного переміщення

$$Z_8^{cm.}(0), Z_8^{cm.}(1), Z_8^{cm.}(2), \dots, Z_8^{cm.}(J), \\ Z_9^{cm.}(0), Z_9^{cm.}(1), Z_9^{cm.}(2), \dots, Z_9^{cm.}(J)$$

і масив опорних зазорів

$$\left[Z_{1on.}^1(0), Z_{1on.}^1(1), Z_{1on.}^1(2), \dots, Z_{1on.}^1(J) \right], \\ \left[Z_{1on.}^2(0), Z_{1on.}^2(1), Z_{1on.}^2(2), \dots, Z_{1on.}^2(J) \right], \\ \left[Z_{1on.}^3(0), Z_{1on.}^3(1), Z_{1on.}^3(2), \dots, Z_{1on.}^3(J) \right].$$

Точність виміру величин зазорів стабілізації може бути додатково підвищена шляхом зменшення на один-два порядки зазорів під датчиками C_8 і C_9 . Для цього будується рельєф поверхні рухомого елемента по сліду переміщення основ датчиків C_8 і C_9 . Визначаються величини Δh_1 та Δh_2 перевищення вищої точки рельєфу над нижньою під кожним із датчиків. Витягують датчики величин зазорів стабілізації разом із пристроями запобігання руйнуванню. Замість них встановлюються пристрої для вирівнювання поверхні рухомого елемента по сліду центрів основ датчиків. Алмазні бруски по черзі встановлюються над нижніми точками рельєфу й обертанням корпуса обирається зазор між бруском і поверхнею рухомого елемента (при його незбуреному положенні щодо площини стабілізації).

Багаторазово переміщують рухомий елемент, стабілізуючи його положення згідно зі способом опорних зазорів, з вихідного положення на величину робочого ходу й знімають припуск, що перевищує нижні точки рельєфу. Датчики величин зазорів повертають на свої

місця й встановлюють із зазорами 10–20 мкм, що забезпечує вимір поточних величин зазорів стабілізації з похибкою 0,01–0,02 мкм.

Ця сама методика використовується для вирівнювання поверхні рухомого елемента несучої опори по сліду датчиків 52, 53, 54, 55 зазорів стабілізації положення рухомого елемента несучої опори.

Пристрій керування переміщенням рухомих елементів суперпрецизійної лінійної напрямної. Керування переміщенням рухомих елементів несучої та замикаючої опор напрямної здійснюється автономно (рис. 1):

- блоком 65 стабілізації положення рухомого елемента несучої плоскої опори;
- блоком 66 стабілізації лінійного переміщення рухомого елемента замикаючої плоскої опори.

Блок стабілізації положення рухомого елемента несучої опори включає датчики 3 величин зазорів, встановлені в основі 11 несучої опори [1, рис. 8], що утворюють поле датчиків 4.

Щоб системи рівнянь [1, с. 67] для обчислення коефіцієнтів рівнянь площин, що проходять через три точки поверхні рухомого елемента, були розв'язні, розміщення датчиків у поле датчиків має задовольняти дві умови:

- прямі, проведені через центри основ трьох датчиків поля датчиків, не повинні утворювати прямий кут, сторони якого паралельні осям X та Y системи координат XOY [1, рис. 8];
- на одній прямій можуть перебувати центри основ не більше двох датчиків поля датчиків.

Датчики поля датчиків утворюють чотири групи датчиків: 67–70 датчиків. Групи розташовані в 1, 2, 3 і 4 квадрантах системи координат XOY [1, рис. 5]. Основи датчиків поля датчиків встановлюються в одну площину, сполучену із площиною системи координат XOY . На основах 10 і 11 несучої опори навпроти один одного по загальним осям симетрії встановлені пари 71–74 регуляторів

положення рухомого елемента. У кожену пару входять жорсткий 24 і пружний 13 регулятори положення. У кожній основі встановлюються по два жорстких і пружних регулятори положення, причому по діагоналі встановлюються регулятори одного типу.

У безпосередній близькості від регуляторів положення, розташованих на основі 11 несучої опори [1, рис. 8], встановлюються датчики 52–55 величин зазорів стабілізації положення рухомого елемента щодо базової згладжувальної площини. Оскільки ці датчики щодо поверхні рухомого елемента встановлюються з малими зазорами, основи їх зміщені щодо площини установки датчиків поля датчиків і не можуть використовуватися для побудови базової згладжувальної площини та поточних площин, що згладжують поверхню рухомого елемента.

До складу блока стабілізації також входить датчик 75 величини лінійного переміщення рухомого елемента. В якості цього датчика

використовується лінійний індукосин, вимірювальна головка 76 якого встановлюється на основі 11 опори, а його вимірювальна лінійка 77 встановлюється на балці 51 [1, рис. 1]. Як вимірник 78 величини лінійного переміщення рухомого елемента може використовуватися пристрій цифрової індикації *УЦІ Ф5291*. Цифровий код величини лінійного переміщення рухомого елемента з вимірника 78 надходить у цифровий блок 79.

Датчики 3 поля датчиків і датчики величин зазорів стабілізації з'єднані з комутаторами датчиків 80–83, які служать для послідовного підключення цих датчиків до вимірників 84–87 величин зазорів при побудові згладжувальних площин, а також для постійного підключення датчиків величин зазорів стабілізації до вимірників величин зазорів у процесі стабілізації положення рухомого елемента. Управляє комутаторами цифровий блок. Цифровий блок, як і вимірник величини лінійного переміщення, є загальним для обох

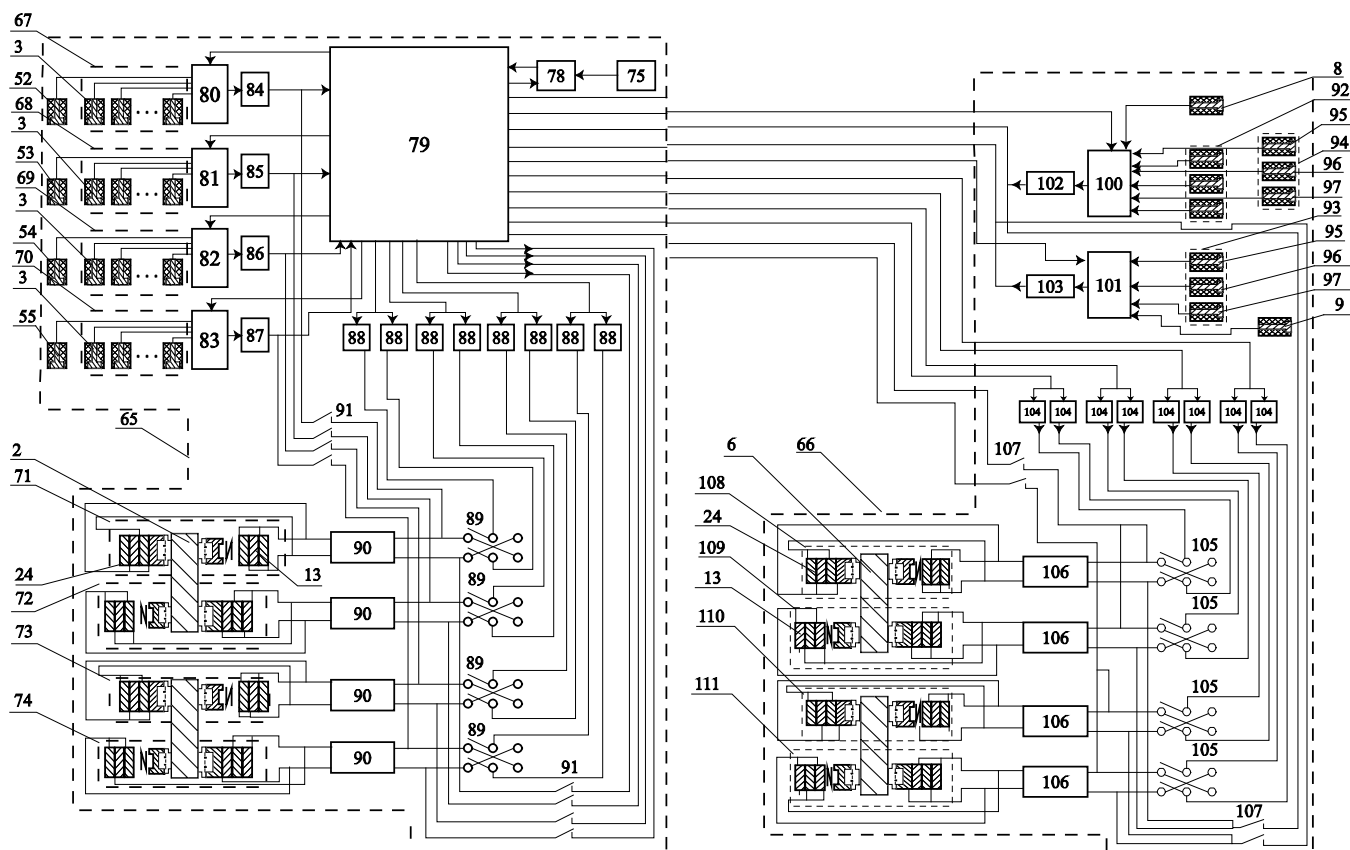


Рис. 1. Функціональна схема пристрою керування переміщенням рухомих елементів суперпрецизійної лінійної напрямної

блоків стабілізації й забезпечує:

- керування комутаторами датчиків величин зазорів;
- опитування й перетворення в цифровий код сигналів вимірників величин зазорів, а також відображення величин зазорів під датчиками поля датчиків і датчиків зазорів стабілізації на екрані дисплея;
- формування сигналів керування й видачу їх на регулятори положення рухомих елементів у процесі налаштування пристрою;
- побудова рівнянь базової згладжувальної площини і згладжувальних площин;
- сполучення на дискретах стабілізації згладжувальних площин з базовою площиною;
- формування масивів величин зазорів стабілізації.

Блок включає вісім операційних підсилювачів 88, які об'єднані по входах у пари та забезпечують формування на виходах кожної пари напруг, що відповідають кодам сигналів керування на пари регуляторів положення рухомого елемента, котрі надходять із цифрового блока в процесі підготовки напрямної до роботи. Перемикачі 89 *пряме–вимк.–зворотне* служать для зміни полярності сигналів на виходах диференціальних підсилювачів 90, що надходять із операційних підсилювачів і визначають напрямок зсуву рухомого елемента. У положенні *вимк.* входи операційних підсилювачів 90 відключаються від їхніх виходів.

Диференціальні підсилювачі 90 служать для формування на їхніх виходах різнополярних сигналів, різниця потенціалів яких та її знак визначаються різницею потенціалів вхідних сигналів і їхніх знаків.

Перемикачі 91 *увімк.–вимк.* у положенні *увімк.* забезпечують підключення виходів цифрового блока й вимірників величин зазорів до входів диференціальних підсилювачів у режимі стабілізації положення рухомого елемента.

Блок стабілізації лінійного переміщення рухомого елемента замикаючої опори (рис. 1) включає перший, другий і третій блоки 92, 93,

94 датчиків положення рухомого елемента, установлені в основі 26 замикаючої опори. У кожному блоці встановлені перші датчики 95, другі датчики 96 величин зазорів і датчики 97 величин контрольних зазорів. Блоки датчиків положення рухомого елемента призначені для стабілізації положення рухомого елемента щодо площини стабілізації в процесі формування масиву величин зазорів стабілізації лінійного переміщення.

У основі 26 замикаючої опори в площині симетрії рухомого елемента несучої опори встановлені датчики 8 і 9 величин зазорів стабілізації лінійного переміщення рухомого елемента замикаючої опори. До складу блока також входять комутатори 100 і 101 датчиків блоків датчиків і датчиків величин зазорів стабілізації, вимірники величин зазорів 102 і 103, об'єднані в пари операційні підсилювачі 104, перемикачі *більше–вимк.–менше* 105, диференціальні підсилювачі 106, перемикачі *увімк.–вимк.* 107, пари регуляторів положення 108, 109, 110, 111.

Робота пристрою керування переміщенням рухомих елементів суперпрецизійної лінійної напрямної розглядається в такій послідовності [4]:

- формування масиву величин зазорів стабілізації лінійного переміщення рухомого елемента замикаючої опори;
- формування масиву величин зазорів стабілізації положення рухомого елемента несучої опори;
- керування переміщенням рухомих елементів опор у процесі роботи напрямної.

Для формування масиву величин зазорів стабілізації лінійного переміщення рухомого елемента замикаючої опори рухомий елемент установлюється у вихідне для переміщення положення за показниками вимірника лінійного переміщення. Блок 66 стабілізації лінійного переміщення переводиться в режим роботи *Формування масиву величин зазорів стабілізації*. Для цього перемикачі *увімк.–вимк.* установлюються в положення *вимк.* Диферен-

ціальні підсилювачі 106 відключаються від вимірників 102 і 103 та від цифрового блока.

У вихідному для переміщення положенні рухомий елемент установлюється в незбурене положення щодо площини стабілізації шляхом установки під першими датчиками блоків датчиків величин зазорів, рівних робочому зазору замикаючої опори. Для цього виконується пуск підпрограми *Індикація зазорів 1*. По сигналах цифрового блока комутатори підключають до входів вимірників 102 і 103 перші датчики 95 блоків датчиків (датчики 95 першого й третього блоків датчиків до вимірника 102 підключаються періодично).

Цифровий блок із установленою частотою опитує вимірники величин зазорів, перетворює їхні вихідні напруги в цифрові коди та запам'ятовує їх. Величини зазорів відображаються на екрані дисплея. Якщо спостережувані на екрані дисплея величини зазорів $Z_{95}^{92}, Z_{95}^{93}, Z_{95}^{94}$ рівні $Z_{роб.}$, виконується пуск підпрограми *Формування масиву величин зазорів стабілізації 1*. Цифровий блок за допомогою комутаторів підключає датчики 8 і 9 до вимірників величин зазорів, опитує ці вимірники й перетворює їхні вихідні напруги в цифрові коди зазорів $Z_8(0)$ і $Z_9(0)$. Коди величин зазорів $Z_8(0)$ та $Z_9(0)$ пересилаються до масиву величин зазорів стабілізації лінійного переміщення рухомого елемента.

Цифровий блок опитує також вимірник величини лінійного переміщення й прив'язує до елементів масиву зазорів стабілізації код величини лінійного переміщення рухомого елемента. Якщо величини зазорів $Z_{95}^{92}, Z_{95}^{93}, Z_{95}^{94}$ під першими датчиками блоків датчиків не дорівнюють робочому зазору, в цифровий блок вводяться сигнали керування $U_{кер.108}, U_{кер.109}, U_{кер.110}, U_{кер.111}$ на пари 108–III регуляторів положення відповідно. Виконується пуск підпрограми *Установка рухомого елемента 1*. Коди сигналів керування в цифровому блоці перетворюються в напруги сигналів керування й надходять на входи відповідних операційних підсилювачів 140, а з їхніх виходів

через перемикачі *пряме–вимк.–зворотне* у положенні *пряме* або *зворотне* надходять на входи диференціальних підсилювачів. З виходів диференціальних підсилювачів напруги у протифазі надходять на п'єзостовпи 20 відповідних пар регуляторів положення. Рухомий елемент буде зміщено щодо основ замикаючої опори.

Виконується пуск підпрограми *Індикація зазорів 1* і перевіряється рівність зазорів $Z_{95}^{92}, Z_{95}^{93}, Z_{95}^{94}$ робочій величині зазора. Якщо ці зазори не дорівнюють робочій величині зазора, методом послідовних наближень, підбираючи сигнали керування на регулятори положення, рухомий елемент по висоті зазора встановлюють у вихідне положення. Виконується пуск підпрограми *Формування масиву величин зазорів стабілізації 1*. Буде сформовано перші три елементи масиву величин зазорів стабілізації лінійного переміщення $Z_8(0)$ і $Z_9(0), L(0)$. Величини зазорів $Z_{95}^{92}(0), Z_{95}^{93}(0), Z_{95}^{94}(0)$ запам'ятовуються як величини опорних зазорів для установки рухомого елемента замикаючої опори в незбурене положення щодо площини стабілізації на першій ($j=1$) дискреті стабілізації.

Рухомий елемент за показниками вимірника лінійного переміщення з вихідного положення зміщують на величини дискрети стабілізації l_0 . Виконується пуск підпрограми *Індикація зазорів 1* і за наведеною вище методикою під другими датчиками $C_{96}^{92}, C_{96}^{93}, C_{96}^{94}$ блоків датчиків установлюються зазори, рівні величинам опорних зазорів для першої дискрети стабілізації

$$Z_{96}^{92}(1) = Z_{95on.}^{92}(0); Z_{96}^{93}(1) = Z_{95on.}^{93}(0); Z_{96}^{94}(1) = Z_{95on.}^{94}(0).$$

Виконується пуск підпрограми *Формування масиву величин зазорів стабілізації 1*. У результаті буде сформовано четвертий, п'ятий і шостий елементи масиву величин зазорів стабілізації. Крім того, перші датчики C_{95} підключаються до вимірників величин зазорів. Вихідні напруги вимірників перетворюються

в цифровий код і запам'ятовуються як опорні зазори $Z_{95on.}^{92}(1)$, $Z_{95on.}^{93}(1)$, $Z_{95on.}^{94}(1)$ для установки рухомого елемента в незбурене положення на другій ($j=2$) дискреті стабілізації.

Наведені вище операції виконуються на всій довжині переміщення рухомого елемента. У пам'яті цифрового блока буде сформовано масив величин опорних зазорів стабілізації лінійного переміщення рухомого елемента замикаючої опори

$$\begin{aligned} & [Z_8(0), Z_9(0), L(0)], \\ & [Z_8(1), Z_9(1), L(1)], [Z_8(2), Z_9(2), L(2)], \dots, \\ & [Z_8(j), Z_9(j), L(j)], \dots, [Z_8(J), Z_9(J), L(J)]. \end{aligned}$$

Для формування масиву величин зазорів стабілізації положення рухомого елемента несучої плоскої опори щодо базової згладжувальної площини рухомий елемент несучої опори встановлюється у вихідне для переміщення положення ($L=0$). Блок 66 (рис. 1) стабілізації лінійного переміщення рухомого елемента замикаючої опори переводиться в режим *робота*. Для цього перемикачі *прямевимк.*–*зворотне* встановлюються в положення *вимк.* Виходи операційних підсилювачів відключаються від входів диференціальних підсилювачів. Перемикачі *увімк.*–*вимк.* встановлюються в положення *увімк.* Виходи напруг зазорів стабілізації лінійного переміщення рухомого елемента цифрового блока підключаються до перших входів диференціальних підсилювачів 106 пар 108 і 109 регуляторів положення рухомого елемента замикаючої опори й до перших входів диференціальних підсилювачів 106 пар 110 і 111 регуляторів положення рухомого елемента цієї опори. Вихід вимірника 102 величини зазора підключається до других входів диференціальних підсилювачів 106 пар 108 і 109 регуляторів положення, а вихід вимірника 103 величини зазора підключається до других входів диференціальних підсилювачів 106 пар 110 і 111 регуляторів положення. Виконується пуск

підпрограми *Лінійна стабілізація*. Цифровий блок комутаторами 100 та 101 підключає до входів вимірників 102 і 103 датчики величин зазорів стабілізації лінійного переміщення. Код величини поточного переміщення $L(t)$ рухомого елемента зчитується цифровим блоком з вимірника величини лінійного переміщення й порівнюється з кодами відстаней до дискрет корекції положення рухомого елемента в масиві величин зазорів стабілізації.

При збігу коду поточної величини $L(t)$ переміщення рухомого елемента з кодом відстані $L(j) = j l_0$ до j -ї дискрети корекції лінійності переміщення рухомого елемента $Z_8(j)$ та $Z_9(j)$ першого й другого зазорів стабілізації перетворюються в цифровому блоці в напруги зазорів стабілізації й надходять на перші входи диференціальних підсилювачів 106 пар 108 і 109, 110 і 111 регуляторів положення. На другі входи цих диференціальних підсилювачів надходять сигнали з виходів вимірників 102 і 103 величин зазорів, що відповідають поточним величинам зазорів під датчиками C_8 і C_9 .

При відхиленні на j -й дискреті стабілізації лінійності переміщення поточних величин зазорів $Z_8(t)$ та $Z_9(t)$ від відповідних величин $Z_8(j)$ та $Z_9(j)$ зазорів стабілізації на виходах диференціальних підсилювачів виникають сигнали неузгодженості, що відповідають величинам відхилень поточних величин зазорів від величин зазорів стабілізації, а знаки сигналів неузгодженості визначаються напрямком цих відхилень. Пари регуляторів положення 108 і 109, 110 і 111 зміщують рухомий елемент замикаючої опори й встановлюють на j -й дискреті стабілізації поточні величини зазорів під датчиками C_8 і C_9 рівними величинам зазорів стабілізації

$$Z_8(t) = Z_8(j), Z_9(t) = Z_9(j).$$

У результаті точки поверхні рухомого елемента, що лежать на сліді проекції прямої F , будуть переміщатися лінійно.

При формуванні масиву величин зазорів стабілізації положення рухомого елемента несучої опори блок 65 працює в режимі на-строювання, а блок 66 – у режимі стабілізації лінійного переміщення рухомого елемента замикаючої опори. Формування масиву величин зазорів стабілізації положення рухомого елемента несучої опори виконується в наступній послідовності. Рухомий елемент несучої опори за показниками вимірника лінійного переміщення встановлюється на відстань $L/2$ від вихідного положення. Виконується пуск підпрограми *Базова згладжувальна площина*. Цифровий блок за допомогою комутаторів 80–83 датчиків величин зазорів (рис. 1) послідовно підключає датчики груп 67–70 датчиків, що утворюють поле датчиків, до відповідних вимірників величин зазорів. Синхронно з підключенням датчиків цифровим блоком здійснюється перетворення вихідних напруг вимірників величин зазорів у цифровий код і формування масиву величин зазорів $Z_1, Z_2, \dots, Z_\alpha, \dots, Z_\beta, \dots, Z_\gamma, \dots, Z_Q$ під датчиками поля датчиків. За цими вимірами будується рівняння базової згладжувальної площини відповідно до [1, с. 67-68]

$$\bar{A}_B X + \bar{B}_B Y + CZ + D_B = 0. \quad (1)$$

Варіюючи положення рухомого елемента, коефіцієнти \bar{A}_B та \bar{B}_B рівняння (1) спрямовують до нуля й установлюють базову згладжувальну площину паралельно площині установки основ датчиків поля датчиків.

Рухомий елемент установлюється у вихідне для переміщення положення. Блок стабілізації положення рухомого елемента несучої опори переводиться в режим формування масиву зазорів стабілізації. Для цього перемикачі *увімк.–вимк.* установлюються в положення *вимк.* Диференціальні підсилювачі відключаються від вимірників величин зазорів і від виходів напруг зазорів стабілізації цифрового блока. Виконується пуск підпрограми *Згладжувальна площина*. Цифровий блок послі-

довно перетворить напруги на виходах вимірників величин зазорів у цифровий код. Згідно із сформованим масивом величин зазорів $Z_1(0), Z_2(0), \dots, Z_\alpha(0), \dots, Z_\beta(0), \dots, Z_\gamma(0), \dots, Z_Q(0)$ будується рівняння згладжувальної площини

$$\bar{A}_{32l} X + \bar{B}_{32l} Y + CZ + D_{32l} = 0.$$

Перевіряється збіг згладжувальної площини з базовою за виконання умови:

$$\bar{A}_{32l}(0) = \bar{A}_B; \bar{B}_{32l}(0) = \bar{B}_B; D_{32l} = D_B.$$

Виконання цієї умови означає, що у вихідному для переміщення рухомого елемента положенні його точки, через які проходить базова згладжувальна площина, залишилися лежати в цій площині. Виконується пуск підпрограми *Формування масиву величин зазорів стабілізації 2*. Цифровий блок за допомогою комутаторів датчиків підключає до вимірників 84, 85, 86, 87 величин зазорів датчики $C_{52}, C_{53}, C_{54}, C_{55}$ величин зазорів стабілізації, опитує вимірники й перетворює їхні напруги в цифрові коди величин зазорів стабілізації $Z_{52}^{cm.}(0), Z_{53}^{cm.}(0), Z_{54}^{cm.}(0), Z_{55}^{cm.}(0)$, які утворюють перші чотири елементи масиву величин зазорів стабілізації. Опитується вимірник лінійного переміщення. Код $L(0)$ величини лінійного переміщення прив'язується до коду величин зазорів стабілізації.

Якщо умова не виконується, розраховуються відстані $d_{52}^B, d_{53}^B, d_{54}^B, d_{55}^B$ від центрів основ датчиків $C_{52}, C_{53}, C_{54}, C_{55}$ величин зазорів стабілізації до базової згладжувальної площини і відстані $d_{52}^{32l}, d_{53}^{32l}, d_{54}^{32l}, d_{55}^{32l}$ від центрів основ цих датчиків до згладжувальної площини відповідно до [1, с. 70]. При порівнянні цих відстаней установлюються сигнали керування $U_{кер.71}, U_{кер.72}, U_{кер.73}, U_{кер.74}$ на пари 71–74 регуляторів положення. Виконується пуск підпрограми *Установка рухомого елемента 2*. Коди сигналів керування в цифровому блоці перетворюються в напруги сигналів керування й надходять на входи операційних підсилю-

вачів 88, а з їхніх виходів через перемикачі *пряме–вимк.–зворотне* надходять на входи диференціальних підсилювачів. З виходів диференціальних підсилювачів напруги надходять на п'єзостовпи відповідних пар 71–74 регуляторів положення. Рухомий елемент зміститься щодо основ несучої опори. Методом послідовних наближень, виконуючи пуски підпрограм *Установка рухомого елемента 2* та *Згладжувальна площина*, суміщають згладжувальну площину з базовою згладжувальною площиною.

Виконується пуск підпрограми *Формування масиву величин зазорів стабілізації 2*. До пам'яті цифрового блока буде записано перші п'ять елементів масиву величин зазорів стабілізації. Рухомий елемент несучої опори послідовно встановлюють на першу, другу, ..., j -у, ..., $J=L/l_0$ дискрету стабілізації. На кожній дискреті виконуються підпрограми *Згладжувальна площина*, *Установка рухомого елемента 2*, *Формування масиву величин зазорів стабілізації 2*. У результаті в пам'яті цифрового блока буде сформовано масив величин зазорів стабілізації рухомого елемента несучої опори:

$$\begin{aligned} & [Z_{52}^{cm.}(0), Z_{53}^{cm.}(0), Z_{54}^{cm.}(0), Z_{55}^{cm.}(0)]; \\ & [Z_{52}^{cm.}(1), Z_{53}^{cm.}(1), Z_{54}^{cm.}(1), Z_{55}^{cm.}(1)]; \dots; \\ & [Z_{52}^{cm.}(j), Z_{53}^{cm.}(j), Z_{54}^{cm.}(j), Z_{55}^{cm.}(j)]; \dots; \\ & [Z_{52}^{cm.}(J), Z_{53}^{cm.}(J), Z_{54}^{cm.}(J), Z_{55}^{cm.}(J)]. \quad (2) \end{aligned}$$

При роботі пристрою керування переміщенням рухомих елементів лінійної напрямної в процесі формування масиву (2) блок стабілізації лінійного переміщення рухомого елемента замикаючої опори перебуває в режимі *робота*. Блок стабілізації положення рухомого елемента несучої опори переводиться в режим *робота*. Для цього перемикачі *більше–вимк.–менше* встановлюються в положення *вимк.*, а перемикачі *увімк.–вимк.* встановлюються в положення *увімк.* До пер-

ших входів диференціальних підсилювачів 90 підключаються виходи відповідних вимірників величин зазорів 84–87, а до других входів цих диференціальних підсилювачів підключаються відповідні виходи напруг зазорів стабілізації положення рухомого елемента несучої опори цифрового блока. Рухомий елемент устанавлюється у вихідне для переміщення положення. Виконується пуск підпрограми *Стабілізація положення рухомого елемента несучої опори*. Цифровий блок підключає датчики $C_{52}, C_{53}, C_{54}, C_{55}$ величин зазорів стабілізації до вимірників величин зазорів.

Нагадаємо, що стабілізація лінійного переміщення рухомого елемента замикаючої опори виконується автономно згідно з підпрограмою *Лінійна стабілізація* й розглядалася вище.

З вихідного положення рухомий елемент переміщують на величину ходу L . Код $L(t)$ величини поточного переміщення з вимірника лінійного переміщення надходить у цифровий блок і порівнюється з кодами відстаней до дискрет корекції положення рухомого елемента щодо базової площини, які зберігаються в масиві зазорів стабілізації. При збігу поточної величини $L(t)$ з кодом відстані $L(j) = jl_0$ до j -ї дискрети корекції коди величин зазорів стабілізації

$$[Z_{52}^{cm.}(j), Z_{53}^{cm.}(j), Z_{54}^{cm.}(j), Z_{55}^{cm.}(j)]$$

у цифровому блоці перетворюються в напруги зазорів стабілізації й надходять на другі входи диференціальних підсилювачів 90. На перші входи цих підсилювачів надходять сигнали з вимірників 84–87 відповідно. При відхиленні на j -й дискреті корекції положення рухомого елемента поточних величин зазорів $Z_{52}(t), Z_{53}(t), Z_{54}(t), Z_{55}(t)$ від відповідних величин зазорів стабілізації

$$[Z_{52}^{cm.}(j), Z_{53}^{cm.}(j), Z_{54}^{cm.}(j), Z_{55}^{cm.}(j)]$$

на виходах диференціальних підсилювачів

виникають сигнали неузгодженості, що відповідають величинам цих відхилень, знаки яких визначаються напрямками відхилень. Під впливом сигналів неузгодженості регулятори положення на j -й дискреті корекції під датчиками $C_{52}, C_{53}, C_{54}, C_{55}$ встановлюють величини зазорів, рівні величинам зазорів стабілізації. У результаті точки рухомого елемента несучої опори, шарнірно пов'язаного з рухомим елементом замикаючої опори, переміщуються по прямим, паралельним базовій згладжувальній площині, тобто лінійно.

Розрахунок піднімальної сили пружних п'єзоелектричних регуляторів положення рухомого елемента несучої плоскої опори лінійної напрямної. Кінематична схема несучої опори представлена на рис. 2.

Рухомий елемент переміщається між парами п'єзоелектричних регуляторів положення. Регулятори положення, установлені по діагоналі, повинні бути одного типу. У цьому випадку регулятори 1 і 3 – жорсткі, регулятори 2 і 4 – пружні. Жорсткі п'єзоелектричні регулятори здатні без руйнування п'єзостовпів створювати піднімальну силу в кілька сотень кілограмів, що, як правило, перевищує навантаження, сприймані напрямною.

Піднімальна сила пружних п'єзоелектричних регуляторів визначається величиною Δl подовження п'єзостовпів і жорсткістю пружини s . Нехай складова \bar{P}_z сили різання \bar{P}_p на несучу опору спрямована перпендикулярно до площини рухомого елемента, а точка її прикладення переміщається по прямій OK

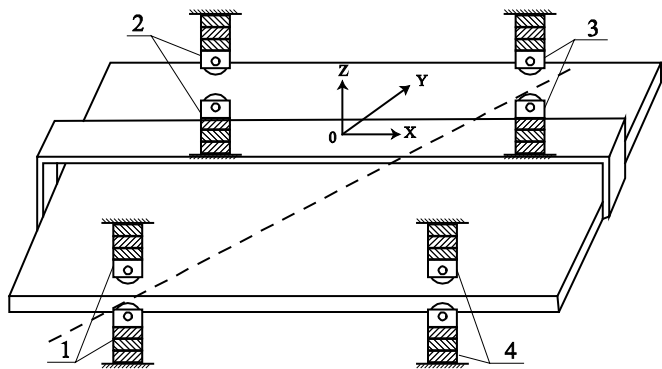


Рис. 2. Кінематична схема несучої опори

(рис. 3). Розглянемо два варіанти прикладення сили \bar{P}_z :

1. Сила \bar{P}_z прикладена в точці O . Оскільки точка O – центр прямокутника (рис. 3), проведеного через точки опори рухомого елемента, навантаження на кожний регулятор пар 1–4 регуляторів становлять $\bar{P}_z/4$. Пружний регулятор повинен створювати піднімальну силу $P_{рег.} = P_z/4$.

2. Сила \bar{P}_z прикладена в точці K . У цьому випадку вона порівну розподіляється між парами регуляторів 2 і 4. Навантаження на пружний регулятор пари 2 регуляторів $P_{рег.} = P_z/2$. Розрахуємо навантаження на п'єзоелектричні регулятори від ваги рухомого елемента при його крайньому положенні (рис. 3). Нехай центр ваги q рухомого елемента розташований перед лінією AB установки регуляторів 1 і 2 на відстані l_1 від неї та на відстані $l_1 + l_2$ від лінії CD установки регуляторів 3 і 4. Рівняння моментів щодо лінії AB має вигляд $\bar{Q}l_1 - \bar{P}_{3,4}l_2 = 0$, де \bar{Q} – вага рухомого елемента.

Навантаження $\bar{P}_{3,4}$ на регулятори 3 і 4 від ваги рухомого елемента спрямоване вертикально вгору й дорівнює

$$\bar{P}_{3,4} = \bar{Q} \frac{l_1}{l_2}.$$

Рівняння моментів щодо лінії CD має вигляд:

$$\bar{Q}(l_1 + l_2) - \bar{P}_{1,2}l_2 = 0.$$

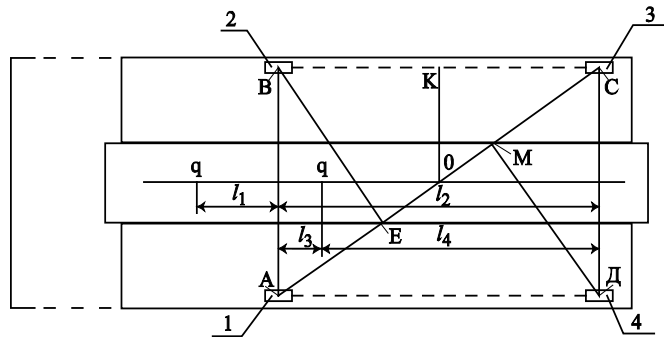


Рис. 3. Розрахунок піднімальної сили пружних п'єзоелектричних регуляторів положення рухомого елемента несучої опори

Навантаження $\bar{P}_{1,2}$ на регулятори 1 і 2 від ваги рухомого елемента спрямоване вертикально донизу і дорівнює

$$\bar{P}_{1,2} = \bar{Q} \frac{l_1 + l_2}{l_2}.$$

Отже, максимальне навантаження від ваги рухомого елемента припадає на пружний елемент пари 2 регуляторів і дорівнює

$$\bar{P}_{pez.} = \frac{1}{2} \bar{Q} \frac{l_1 + l_2}{l_2}.$$

Змістимо рухомий елемент вправо на величину робочого ходу L . Нехай центр ваги q рухомого елемента розташувався між лініями AB і CD на відстані l_3 та l_4 від них відповідно. Рівняння моментів щодо лінії AB :

$$-\bar{Q}l_3 + \bar{P}_{3,4}(l_3 + l_4) = 0.$$

Навантаження $P_{3,4}^1$ на регулятори 3 і 4:

$$\bar{P}_{3,4}^1 = \bar{Q} \frac{l_3}{l_3 + l_4}.$$

Рівняння моментів щодо лінії CD :

$$-\bar{Q}l_4 - P_{1,2}^1(l_3 + l_4) = 0.$$

Навантаження $\bar{P}_{1,2}^1$ на регулятори 1 і 2 також

спрямоване у від'ємному напрямку осі Z та дорівнює

$$\bar{P}_{1,2}^1 = \bar{Q} \frac{l_4}{l_3 + l_4},$$

причому $\bar{P}_{1,2}^1 > \bar{P}_{3,4}^1$ (рис. 3) і навантаження на пружний регулятор пари 2 регуляторів становить:

$$\bar{P}_{pez.}^1 = \frac{1}{2} \bar{Q} \frac{l_4}{l_3 + l_4}.$$

Навантаження, що компенсується за рахунок подовження п'єзостовпа при переміщенні рухомого елемента з кінцевого положення в початкове, становить:

$$\bar{P}_{pez.} = \frac{1}{2} \bar{Q} \left(\frac{l_1 + l_2}{l_2} - \frac{l_4}{l_3 + l_4} \right).$$

Максимальне навантаження припадає на пружний регулятор пари 2 регуляторів

$$\bar{P}_{pez.max} = \bar{P}_Z / 2 + \frac{1}{2} \bar{Q} \left(\frac{l_1 + l_2}{l_2} - \frac{l_4}{l_3 + l_4} \right).$$

Якщо максимальне подовження п'єзостовпа $\Delta l_{n.cm.max}$ то жорсткість пружини

$$c \geq \frac{\bar{P}_{pez.max}}{\Delta l_{n.cm.max}}.$$

THE DEVICE AND STABILIZATION OF CONTROL THE MOVEMENT OF MOVABLE ELEMENTS

Tarasov V.O., *president¹, Doctor of Technical Sciences, prof.*

¹International Academy of Computer Science and Systems

Nazarenko T.M., *leading engineer²*

Zlochevska L.O., *leading engineer²*

²International Research and Training Center for Information Technologies and Systems under NAS and MES of Ukraine, 40, Acad. Glushkova Ave., 03680, Kyiv, Ukraine; dep160@irtc.org.ua

The results of theoretical and applied research the system synthesis of design superprecision linear guide are presented in the paper. The method of forming the array size of the gap stabilizing linear movement of the movable element of closing flat support is represented. The control device movement of the movable elements superprecision linear guide by the method of smoothing planes are proposed. The calculations of the force of the elastic piezoelectric controllers of the position of movable elements of bearing abutment of the linear guide is represented.

Keywords: control the movement of movable elements, superprecision linear guide.

Тарасов Виктор Алексеевич, президент¹, докт. техн. наук, профессор

¹Международная академия компьютерных наук и систем, пр-т Академика Глушкова, 42, г. Киев, Украина, 03187

Назаренко Татьяна Николаевна, ведущий инженер²

Злочевская Любовь Афанасьевна, ведущий инженер²

²Международный научно-учебный центр информационных технологий и систем НАНУ и МОНУ, пр-т Академика Глушкова, 40, г. Киев, Украина, 03680; dep160@irtc.org.ua

В статье представлены результаты теоретических и прикладных исследований системного синтеза конструкции суперпрецизионной линейной направляющей. Рассмотрено методика формирования массива величин зазоров стабилизации линейного перемещения подвижного элемента замыкающей плоской опоры. Предложено устройство управления перемещением подвижных элементов суперпрецизионной линейной направляющей по способу сглаживающих плоскостей. Представлен расчет силы упругих пьезоэлектрических регуляторов положения подвижных элементов несущей плоской опоры линейной направляющей.

Ключевые слова: управление перемещением подвижных элементов, суперпрецизионная линейная направляющая.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Тарасов В.О. Системный синтез суперпрецизионных линейных направляющих / В.О. Тарасов, Т.М. Назаренко, Л.О. Злочевська // Науково-технічна інформація. – 2016. – № 1. – С. 62–72.

2. Решетов Д.Н. Точность металлорежущих станков / Д.Н. Решетов, В.Т. Портман. – М. : Машиностроение, 1986. – 336 с.

3. Тихонов А.М. Методы решения некорректных задач / А.М. Тихонов, В.Я. Арсенин. – М. : Наука, 1979. – 224 с.

4. Декларационный патент на винахід 34059 А Україна, МПК F16C 32/06 (2006.01). Суперпрецизійна лінійна напрямна / Зінченко В.М. – Заявл. 24.05.1999, № 99052840; опубл. 15.02.2001, бюл. № 1/2001.

Продовження статті у наступних номерах журналу.



Хімічні технології

ПЕРЕРОБКА АВТОПОКРИШОК З ВИКОРИСТАННЯМ ОЗОНОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Призначення – екологічно чиста технологія переробки вулканізованої гуми.

Сфери застосування: виробництво гумового регенерату; виробництво невідповідальних ГТВ (килимки, доріжки тощо); виробництво асфальту та єврорубероїду; виробництво композиційних матеріалів на основі різних полімерів.

Опис. Запропонована технологія озонової переробки покришок є екологічно чистою і представляє собою принципово новий підхід до розв'язання проблеми утилізації вулкані-

ТРАНСФЕР ТЕХНОЛОГІЙ

зованої гуми завдяки використанню відомого ефекту розтріскування гуми в середовищі з озоном.

При розробці озонодинамічної технології руйнування зношених шин і створенні експериментального модуля вирішено низку технологічних проблем. Основним питанням при розробці експериментального модуля було налагодження такого технологічного процесу, при якому динамічне навантаження прикладається до кожного елементарного об'єму покришки незалежно від її структурного стану. Проведено експериментальні дослідження, що дозволили створити модель динамічного напруження покришки, в результаті впливу якої отримали 90–95 % дезінтеграції шини.