

Винахід стосується верстатобудування і може бути використаний при конструюванні прецизійних верстатів і, зокрема, при конструюванні верстатів застосовуваних в машинобудівних і інструментальних виробництвах для обробки плоских поверхонь особливо високої точності.

Відомий "Пристрій для лінійних переміщень" використовується для лінійних переміщень елементів формують систем прецизійних верстатів, розкритий у патенті України №14904А від 04.03.97р., який є найбільш близьким по технічній суті до технічного рішення, що заявляється.

Загальний вигляд пристрою прототипу поданий на фіг.1, а його перерізи по А-А і В-В подані на фіг.2 і фіг.3.

Пристрій включає рухомий елемент 88, який розміщений між основами 2, 3, 35, 36 пристрою з зазорами 91 між гранями рухомого елемента 88 і цими основами. В кожній основі виконані жиклери 89 для подачі газу у зазори 91. Основи 2, 3 і прилеглі до них грані рухомого елемента 88 утворюють несучу плоску аеростатичну опору, а основи 35, 36 і прилеглі до цих основ грані рухомого елемента 88 утворюють замикаючу плоску аеростатичну опору.

В основі 3 несучої плоскої аеростатичної опори установлені чотири блока 90 датчиків положення рухомого елемента цієї опори /фіг.4, 5/.

Кожний блок 90 датчиків положення включає перший датчик 92 величини зазору і другий датчик 93 величини зазору. Відстань між центрами основ датчиків 92 і 93 у кожному блоку 90 датчиків положення рівні між собою і рівні дискреті "I" стабілізації положення рухомого елемента 88.

Блоки 90 датчиків положення в основі 3 установлені так, що основи датчиків 92 і 93 величин зазорів усіх блоків 90 датчиків лежать в одній площині, а прямі, проведені через центри основ датчиків 92 і 93 кожного блока 90 датчиків паралельні напрямку переміщення рухомого елемента 88.

В основі 2 навпроти блоків 90 датчиків установлені жорсткі п'єзоелектричні регулятори 4 положення рухомого елемента 88.

В основі 36 замикаючої плоскої аеростатичної опори установлені два блока 46 і 47 датчиків лінійного переміщення рухомого елемента 88, в кожному з яких установлений перший датчик 49 величини зазору і другий датчик 50 величини зазору. Блоки 46 і 47 датчиків лінійного переміщення рухомого елемента 88 установлені так, що основи датчиків 49 і 50 обох блоків датчиків 46 і 47 лежать в одній площині, а пряма, яка проходить через центри основ датчиків 49 і 50 блоків 46 і 47 датчиків, паралельна напрямку переміщення рухомого елемента 88.

Блоки 46 і 47 датчиків лінійного переміщення установлені симетрично відносно бокових сторін основи 36. Відстань між центрами основ датчиків 49 і 50 в блоках 46 і 47 датчиків також рівні між собою і рівні дискреті "I" стабілізації положення рухомого елемента 88.

В основі 35 замикаючої плоскої аеростатичної опори навпроти блоків датчиків лінійного переміщення рухомого елемента 88 установлені жорсткі п'єзоелектричні регулятори лінійності переміщення рухомого елемента 88.

Вимірювання величини лінійного переміщення рухомого елемента 88 здійснюється за допомогою лінійного індуктосина, вимірювальна лінійка 61 якого /фіг.1/ установлена на основі 2, а вимірювальна голівка 87 установлена на рухомому елементі 88.

Стабілізація положення рухомого елемента 88 полягає у тому, що на дискретах стабілізації відстані від будь яких трьох точок рухомого елемента 88 до нерухомої у просторі площини "Р" /фіг.4/, паралельній площині установки основ датчиків 92 і 93 блоків 90 датчиків, залишаються незмінними і здійснюється по способу опорних зазорів. Суть стабілізації положення рухомого елемента 88 полягає у наступному.

Зафіксуємо положення рухомого елемента 88 і приймемо це положення у якості вихідного для переміщення рухомого елемента 88 у вказаному на /фіг.4/ напрямку. У вихідному положенні рухомого

елемента 88 вимірюють величини зазорів z_2^1 під другими датчиками 93 кожного i-го блока датчиків і запам'ятовують їх у якості опорних $z_{2оп}^i(0)$ зазорів /i=1, 2, 3, 4 у даному прикладі/.

Нехай також відстані від точок А, поверхні рухомого елемента 88, розташованих над центрами основ других датчиків 93 кожного i-го блока датчиків до нерухомої площини "Р" відповідно рівні $a_i(0)/i=1, 4$.

Переміщують рухомий елемент 88 управо /фіг.4/ на відстань, рівну дискреті стабілізації "I". У завальному випадку рухомий елемент 88 після переміщення на відстань "I" буде займати відносно основ датчиків 92 і 93 випадкове положення. Зміщують рухомий елемент 88 по висоті зазору і встановлюють під

першими датчиками 92 величин зазорів зазори $z_1^i(1)$, рівні відповідним величинам опорних зазорів $z_{2оп}^i(0)$:

$$z_1^1(1) = z_{2оп}^1(0), \quad z_1^2(1) = z_{2оп}^2(0), \quad z_1^3(1) = z_{2оп}^3(0), \quad z_1^4(1) = z_{2оп}^4(0).$$

Так як після переміщення рухомого елемента 88 з вихідного положення на відстань "I" точки А_i /i=1,2,3,4/ рухомого елемента /фіг.4/ розташовувались над центрами основ перших датчиків 92, після установки під першими датчиками 92 величин зазорів, рівних величинам відповідних опорних зазорів, відстані $a_i(1)$ від цих точок до базової площини "Р" будуть рівні відповідним відстаням $a_i(0)$ від цих точок до площини "Р" у вихідному положенні рухомого елемента 88:

$$a_1(1) = a_1(0), \quad a_2(1) = a_2(0), \quad a_3(1) = a_3(0), \quad a_4(1) = a_4(0).$$

Отже після переміщення рухомого елемента 88 на відстань "I" і виконання описаних дій відстані від точок А₁, А₂, А₃, А₄ до базової площини "Р" не змінилися. Після першого переміщення рухомого елемента 88 на відстань "I" і установки під першими датчиками 92 величин зазорів, рівних опорним, вимірюють

величини зазорів $z_2^1(1)$, $z_2^2(1)$, $z_2^3(1)$, $z_2^4(1)$ під другими датчиками і запам'ятовують їх у якості опорних зазорів $z_{2оп}^1(1)$, $z_{2оп}^2(1)$, $z_{2оп}^3(1)$, $z_{2оп}^4(1)$ для установки рухомого елемента 88 у незбурене положення після його другого переміщення на відстань "I".

Описану процедуру з дискретністю "I" виконують до переміщення рухомого елемента 88 на задану

відстань "L". Отримують масив опорних зазорів $[z_{2оп}^1(0), z_{2оп}^2(0), z_{2оп}^3(0), z_{2оп}^4(0)], [z_{2оп}^1(1), z_{2оп}^2(1), z_{2оп}^3(1), z_{2оп}^4(1)] \dots, [z_{2оп}^1(j), z_{2оп}^2(j), z_{2оп}^3(j), z_{2оп}^4(j)], j \geq \frac{L}{l}$, відповідаючих незбуреному положенню рухомого елемента 88 на дискетах стабілізації $j \cdot l / j = 1, 2, 3, \dots, j/$.

В процесі стабілізації положення рухомого елемента 88 на кожній j-й дискреті стабілізації порівнюють поточні значення величин зазорів під другими датчиками 93 $z_2^1(t), z_2^2(t), z_2^3(t), z_2^4(t)$ з величинами відповідних опорних зазорів $z_{2оп}^1(j-1), z_{2оп}^2(j-1), z_{2оп}^3(j-1), z_{2оп}^4(j-1)$ для j-ої дискрети стабілізації.

При відхиленні згаданих поточних значень величин зазорів під другими датчиками від відповідних опорних змінюють положення рухомого елемента 88 так, щоб відхилення $z_{2оп}^i(j-1) - z_2^i(t) = \Delta z^i \rightarrow 0$, а отже запобігають зміщенню рухомого елемента 88 відносно площини "Р".

По способу опорних зазорів також забезпечується переміщення точок грані рухомого елемента 88, що лежать на сліді проекції прямої F, яка проходить крізь центри основ датчиків 49 блоків 46 і 47 датчиків /фiг.1/, на цю грань по прямим, паралельним прямій F.

У результаті забезпечується лінійне переміщення рухомого елемента 88 пристрою.

Недоліками стабілізації рухомого елемента 88 по способу опорних зазорів являється те, що:

1. Погрішність стабілізації рухомого елемента 88 залежить від величини "l" дискрета стабілізації і на j-й дискреті стабілізації визначається величинами різниць опорних зазорів на суміжних дискретах стабілізації:

$$\Delta z_{2оп}^i(j) = z_{2оп}^i(j) - z_{2оп}^i(j-1)$$

Причому, величина дискрети "l" рівна відстані між центрами основ датчиків /фiг.4/ і тому завжди $l > D_d$, де D_d - діаметр основи датчика, що обмежує точність способу.

2. Реалізація способу опорних зазорів вимагає встановлення основ датчиків в площині, паралельній площині "Р" з особливо високою точністю. У противному разі на кожній відстані переміщення рухомого елемента 88 погрішність його положення відносно нерухомої площини "Р" /відхилення точок А від площини "Р"/ буде збільшуватися на величину погрішності установки основи датчика величини зазора відносно площини установки датчиків.

3. Стабілізація положення рухомого елемента по способу опорних зазорів передбачає високоточне вимірювання величин опорних зазорів, так як погрішність вимірювання величин опорних зазорів на (j-1)-й декреті стабілізації корелірована з погрішністю їх вимірювання на j-й декреті стабілізації.

Конструктивними недоліками пристрою прототипа є наступне. Як відомо, зазор 91 плоскої аеростатичної опори може становити /10-30/мкм. У пристрої прототипа для забезпечення постійного прилягання рухомого елемента 88 до роликів п'єзоелектричних регуляторів 4 рухомого елемента /фiг.2/ цей рухомий елемент 88 має початкове зміщення регуляторами 4, встановленими в основі 2 пристрою, у бік основи 3. Причому, величина цього зміщення повинна перевищувати суму $h = h_1 + h_2$ максимальних відхилень двох точок поверхні рухомого елемента відносно середньоквадратичної площини Q цієї поверхні, які лежать з обох сторін цієї площини Q /фiг.6/. Тому для збереження допустимої величини зазору 91, наприклад, між основою 3 і граню рухомого елемента 88, кожна з двох протилежних граней рухомого елемента повинна мати обмежену неплоскостність і, крім того, ці грані повинні бути паралельними з високою точністю.

Високі вимоги до точності виготовлення рухомого елемента накладають обмеження на їх розміри, а, отже, і на максимальну величину лінійного переміщення рухомого елемента пристрою.

Задача, що вирішується, полягає у такому удосконаленні несучої плоскої опори пристрою для лінійних переміщень, яке дозволяє на порядок збільшити зазор між рухомим елементом несучої плоскої опори і її основами і на основі цього знизити вимоги до точності виготовлення елементів її конструкції без зменшення величини переміщення рухомого елемента, а відхилення основ датчиків величин зазорів, встановлених в основі несучої плоскої опори від площини їх установки не призводить до порушення працездатності цієї опори. При цьому досягається підвищення точності стабілізації рухомого елемента несучої плоскої опори відносно нерухомої у просторі площини, що дозволяє обробляти плоскі поверхні з особливо високою точністю.

Задача, що вирішується, також полягає у такому удосконаленні замикаючої плоскої опори пристрою для лінійних переміщень, яке також дозволяє на порядок збільшити зазор між рухомим елементом і її основами і на основі цього знизити вимоги до точності виготовлення елементів її конструкції без зниження лінійності переміщення рухомого елемента.

Рішення задачі досягається тим, що суперпрецизійна лінійна напрямна, яка включає рухомий елемент плоскої несучої опори, основи плоскої несучої опори, рухомий елемент замикаючої плоскої опори, основи замикаючої плоскої опори, датчики величин зазорів, блоки датчиків лінійного переміщення рухомого елемента замикаючої плоскої опори, блок стабілізації положення рухомого елемента несучої плоскої опори, блок стабілізації лінійного переміщення рухомого елемента замикаючої плоскої опори, згідно винаходу, рухомий елемент несучої плоскої опори шарнірно з'єднаний з рухомим елементом замикаючої плоскої опори, а на одній з основ несучої плоскої опори встановлена обмежена множина M датчиків величин зазорів, які утворюють поле датчиків величин зазорів, причому, основи датчиків величин зазорів з кінцевою точністю суміщені з площиною основи несучої плоскої опори, а самі датчики величин зазорів рівномірно розподілені по полю датчиків величин зазорів, при цьому центри основ трьох датчиків величин зазорів

жодного з $N = C_M^3$ сполучень датчиків величин зазорів не лежать на одній прямій, а прямі, які проведені

через центри основ трьох датчиків кожного з $N = C_M^3$ сполучень датчиків величин зазорів не перетинаються під прямим кутом, п'єзоелектричні регулятори положення рухомого елемента несучої плоскої опори попарно і навпроти друг друга встановлені на обох основах несучої плоскої опори, причому, на основах

пласкої несучої опори установлюють не менш як три пари регуляторів положення рухомого елемента, а кожна пара п'єзоелектричних регуляторів положення рухомого елемента включає один жорсткий і один пружний п'єзоелектричний регулятор положення рухомого елемента, причому, пружний п'єзоелектричний регулятор положення рухомого елемента виконаний з можливістю регулювання сили тиску ролика регулятора на поверхню рухомого елемента і включає ролик, установлений на двох радіальних підшипниках, установлених на вісі ролика у корпусі ролика, пружину, установлену між корпусом ролика і прямою втулкою, а між прямою втулкою і регулювальним гвинтом, укрученим у кришку корпусу регулятора положення рухомого елемента установлений п'єзостовп, у безпосередній близькості від регуляторів положення рухомого елемента установлені датчики величин зазорів стабілізації положення рухомого елемента несучої пласкої опори, кількість яких дорівнює кількості пар регуляторів положення рухомого елемента, причому, датчики величин зазорів стабілізації положення рухомого елемента несучої пласкої опори відносно поверхні рухомого елемента установлені з зазорами, які на один - два порядки менші зазорів під датчиками величин зазорів поля датчиків, а датчики величин зазорів поля датчиків об'єднані у групи датчиків величин зазорів по числу датчиків величин зазорів стабілізації положення рухомого елемента, датчики величин зазорів поля датчиків і датчики величин зазорів стабілізації положення рухомого елемента несучої пласкої опори електрично через блок стабілізації положення рухомого елемента несучої пласкої опори зв'язані з регуляторами положення рухомого елемента, в основі замикаючої пласкої опори по лініям, паралельним напрямку переміщення рухомого елемента, установлені три блоки датчиків лінійного переміщення рухомого елемента замикаючої пласкої опори, а по лінії, яка паралельна лінії, по якій перетинаються площини симетрії рухомих елементів несучої і замикаючої пласких опор при їх взаємоперпендикулярному положенні, установлені датчики величин зазорів стабілізації лінійного переміщення рухомого елемента замикаючої пласкої опори, причому, основи датчиків величин зазорів блоків датчиків лінійного переміщення рухомого елемента замикаючої пласкої опори установлюють в одну площину, а датчики-величин зазорів стабілізації відносно поверхні рухомого елемента замикаючої пласкої опори установлюють с зазорами, які на один - два порядки менше зазорів під датчиками величин зазорів блоків датчиків лінійного переміщення рухомого елемента замикаючої пласкої опори, п'єзоелектричні регулятори положення рухомого елемента замикаючої пласкої опори установлені попарно і навпроти друг друга, причому, кожна з чотирьох пар п'єзоелектричних регуляторів положення рухомого елемента включає один жорсткий і один пружний п'єзоелектричний регулятор положення рухомого елемента, у поперечному напрямку силове замикання рухомого елемента замикаючої пласкої опори забезпечують жорсткі і пружні обмежувачі поперечного зміщення рухомого елемента замикаючої пласкої опори, причому, обмежувача поперечного зміщення рухомого елемента установлюють попарно і навпроти друг друга, а кожна пара обмежувачів поперечного зміщення рухомого елемента включає жорсткий і пружний обмежувач поперечного зміщення, причому жорсткий обмежувач поперечного зміщення включає ролик, установлений у корпусі ролика і регулювальний гвинт, укручений у корпус обмежувача поперечного зміщення, а пружний обмежувач поперечного зміщення виконаний з можливістю регулювання сили тиску ролика обмежувача поперечного зміщення на бокову грань рухомого елемента замикаючої пласкої опори і додатково включає пружину, установлену між корпусом ролика і регулювальним гвинтом, датчики величин зазорів блоків датчиків лінійного переміщення рухомого елемента і датчики величин зазорів стабілізації лінійного переміщення рухомого елемента замикаючої пласкої опори через блок стабілізації лінійного переміщення рухомого елемента замикаючої пласкої опори електрично зв'язані з п'єзоелектричними регуляторами положення рухомого елемента, причому, датчики величин зазорів першої групи датчиків величин зазорів і перший датчик величин зазорів стабілізації положення рухомого елемента несучої пласкої опори, датчики величин зазорів другої групи датчиків величин зазорів і другий датчик величин зазорів стабілізації положення рухомого елемента несучої пласкої опори, датчики величин зазорів третьої групи датчиків величин зазорів і третій датчик величин зазорів стабілізації рухомого елемента несучої пласкої опори, датчики величин зазорів четвертої групи датчиків величин зазорів і четвертий датчик величин зазорів стабілізації рухомого елемента несучої пласкої опори з'єднані з інформаційними входами відповідних комутаторів датчиків величин зазорів несучої пласкої опори, сигнальні входи комутаторів датчиків величин зазорів несучої пласкої опори з'єднані з виходами цифрового блока, а їх виходи з'єднані з входами вимірювачів величин зазорів несучої пласкої опори, відповідно, виходи вимірювачів величин зазорів несучої пласкої опори з'єднані з входами цифрового блока і через перемикач "вкл. - вимк." з'єднані з першими входами відповідних диференційних підсилювачів, датчик величини лінійного переміщення рухомого елемента з'єднаний з входом вимірювача величини лінійного переміщення рухомого елемента, вихід вимірювача величини лінійного переміщення рухомого елемента з'єднаний з входом цифрового блока, а його вхід з'єднаний з виходом цифрового блока, входи операційних підсилювачів з'єднані з виходами цифрового блока, а їх виходи через перемикач "більше - вимк. - менше" з'єднані з першими і другими входами відповідних диференційних підсилювачів, виходи цифрового блока через перемикачі "вкл. - вимк." з'єднані з другими входами відповідних диференційних підсилювачів, виходи диференційних підсилювачів з'єднані з п'єзостовпами відповідних пар регуляторів положення рухомого елемента несучої пласкої опори, перші і другі датчики величин зазорів блоків датчиків лінійного переміщення рухомого елемента замикаючої пласкої опори і датчики величин зазорів стабілізації лінійного переміщення рухомого елемента замикаючої пласкої опори з'єднані з інформаційними входами відповідних комутаторів датчиків величин зазорів замикаючої пласкої опори, сигнальні входи комутаторів датчиків величин зазорів замикаючої пласкої опори з'єднані з виходами цифрового блока, а їх виходи з'єднані з входами вимірювачів величин зазорів замикаючої пласкої опори, виходи вимірювачів величин зазорів замикаючої пласкої опори з'єднані з входами цифрового блока і через перемикачі "вкл. - вимк." з'єднані з другими входами відповідних диференційних підсилювачів, виходи цифрового блока з'єднані з входами операційних підсилювачів і через перемикачі "вкл. - вимк." з'єднані з першими входами відповідних диференційних підсилювачів, виходи операційних підсилювачів через перемикачі "більше - вимк. - менше" з'єднані з першими і другими входами відповідних диференційних підсилювачів, виходи диференційних підсилювачів з'єднані з п'єзостовпами відповідних пар регуляторів положення рухомого елемента замикаючої пласкої опори.

Причинно-наслідковий зв'язок сукупності істотних ознак технічного рішення що заявляється з досягаємими технічними результатами полягає у наступному.

В основах 2 і 3 несучої плоскої опори 1, 2, 3 і в основах 35 і 36 замикаючої плоскої опори 34, 35, 36 /фіг.7, 8/ установлені попарно і навпроти друг друга жорсткі /фіг.9/ і пружні /фіг.10/ регулятори 4, 5 положення рухомих елементів 1 і 34 несучої і замикаючої плоских опор, відповідно.

Сумістимо площину XOY системи координат OXYZ /фіг.11/ з внутрішньою площиною основи 3, її початок розташуємо у центрі основи 3, вісь "Y" співпадає з напрямком переміщення рухомого елемента 1, а вісь "Z" спрямована по висоті зазору.

Нехай також в основі 3 несучої плоскої опори встановлено "M" датчиків 18 величин зазорів /фіг.11/, які утворюють поле 19 датчиків, причому, датчики 18 рівномірно розподілені по полю 19 датчиків, а їх основи з кінцевою точністю суміщені з площиною XOY системи координат OXYZ.

x_m, y_m - координати центра основи m-го датчика 18 величина зазору / $m=1, 2, 3, \dots, M$ /. Тоді координати точки поверхні рухомого елемента під m-им датчиком величини зазору - / x_m, y_m, z_m / де z_m - висота зазору під m-им датчиком.

Установимо рухомий елемент 1 в середнє по довжині переміщення положення, до чого змістимо його із західного для переміщення положення / $L=0$ / на величину $L/2$, де L - задана величина лінійного переміщення рухомого елемента суперпрецизійної лінійної напрямної.

Виміряємо величини зазорів під "M" датчиками 18 поля 19 датчиків;

$$z_1, z_2, z_3, \dots, z_\alpha, \dots, z_\beta, \dots, z_\gamma, \dots, z_M \quad (1)$$

Система рівнянь для визначення коефіцієнтів A і B рівняння площини $Ax+By+Cz+D=0$, яка проходить через три точки поверхні рухомого елемента з координатами $(x_\alpha, y_\alpha, z_\alpha)$, $(x_\beta, y_\beta, z_\beta)$, $(x_\gamma, y_\gamma, z_\gamma)$ має вигляд:

$$A(x_\alpha - x_\beta) + B(y_\alpha - y_\beta) = -C(z_\alpha - z_\beta) \quad (2)$$

$$A(x_\alpha - x_\gamma) + B(y_\alpha - y_\gamma) = -C(z_\alpha - z_\gamma)$$

де C - довільно вибрана величина проекції нормального вектора до площини, яка проходить крізь згадані три точки поверхні рухомого елемента, на вісь Z системи координат OXYZ;

$$\alpha \neq \beta \neq \gamma, 1 \leq \alpha \leq M, 1 \leq \beta \leq M, 1 \leq \gamma \leq M.$$

Для знаходження нормального рішення системи /2/, стійкого до погрешностей вимірювань величин зазорів $z_\alpha, z_\beta, z_\gamma$ використовується метод рішення погано обумовлених систем алгебраїчних рівнянь /Тихонов А. Арсенін В. "Методы решения некорректных задач", М., Наука, 1978г./ У відповідності з цим методом система /2/ представляється у вигляді:

$$A\bar{Z} = \bar{U} \quad (3)$$

де \bar{Z} - шуканий вектор, \bar{U} - приблизно заданий вектор, A - квадратна матриця з елементами a_{ij} .

У розгорнутому вигляді /3/ приймає вигляд:

$$(\bar{a}_{11} + \alpha) \cdot A^\alpha + \bar{a}_{12} B^\alpha = b_1 \quad (4)$$

$$\bar{a}_{21} \cdot A^\alpha + (\bar{a}_{22} + \alpha) \cdot B^\alpha = b_2$$

$$\bar{a}_{kj} = \sum_{i=1}^m a_{ik} \cdot a_{ij} \quad ; \quad \bar{b}_k = \sum_{i=1}^m a_{ik} \cdot \tilde{u}_i \quad ; (m=2).$$

де: $\alpha = \alpha_0 \cdot q^k$, де $q < 1$ - шаг по параметру регуляризації;

α_0 - початкове значення параметра регуляризації.

$$\tilde{u}_1 = C(z_\alpha - z_\beta) \quad ; \quad \tilde{u}_2 = C(z_\alpha - z_\gamma) \quad ; \quad k = \overline{1,2} \quad ; \quad i = \overline{1,2} \quad ; \quad j = \overline{1,2}.$$

Коефіцієнти в /4/ мають значення:

$$\begin{aligned} \bar{a}_{11} &= a_{11} \cdot a_{11} + a_{21} \cdot a_{21}; & \bar{a}_{21} &= a_{12} \cdot a_{11} + a_{22} \cdot a_{21}; & b_1 &= a_{11} \cdot \tilde{u}_1 + a_{21} \cdot \tilde{u}_2; \\ \bar{a}_{12} &= a_{11} \cdot a_{12} + a_{21} \cdot a_{22}; & \bar{a}_{22} &= a_{12} \cdot a_{12} + a_{22} \cdot a_{22}; & b_2 &= a_{12} \cdot \tilde{u}_1 + a_{22} \cdot \tilde{u}_2; \end{aligned} \quad (5)$$

Обчислення коефіцієнтів A_n і B_n з системи /I/ для n-ої площини з $N = C_M^3$ площин, кожна з яких проходить через три точки поверхні рухомого елемента несучої плоскої опори з координатами $(x_\alpha, y_\alpha, z_\alpha)$, $(x_\beta, y_\beta, z_\beta)$, $(x_\gamma, y_\gamma, z_\gamma)$, де $1 \leq \alpha \leq M, 1 \leq \beta \leq M, 1 \leq \gamma \leq M$, виконується в наступній послідовності:

1. Призначається значення вільного невідомого "C", яке має одне і теж значення для усіх $N = C_M^3$ систем рівнянь /I/.

2. Вибирають початкове значення α_0 параметра регуляризації і відстань "q" по параметру регуляризації.

3. Для кожного значення $\alpha = \alpha_0 \cdot q^k$ / $k=1, 2, 3, \dots$ / із сітки значень параметра регуляризації "α" обчислюють

$$/3/ \text{ і отримують } A_n^{(\alpha(k))} \text{ і } B_n^{(\alpha(k))}.$$

У якості нормального рішення /3/ приймають вектор» де якого виконується умова:

$$\|Z^\delta\|_2 = \sqrt{(A_n^{(\alpha(k))})^2 + (B_n^{(\alpha(k))})^2} = \max \quad (6)$$

4. Розв'язують $N = C_M^3$ систем рівнянь вигляду /3/ і обчислюють коефіцієнти \bar{A}_B і \bar{B}_B базової згладжуючої поверхню рухомого елемента площини:

$$\bar{A}_B = \frac{\sum_{i=1}^N A_n^\alpha}{N} \quad ; \quad \bar{B}_B = \frac{\sum_{i=1}^N B_n^\alpha}{N} \quad (7)$$

як середнє значення коефіцієнтів A_n^α і B_n^α по N системам рівнянь. Тоді рівняння базової згладжуваної площини має вигляд:

$$\bar{A}_B \cdot x + \bar{B}_B \cdot y + C \cdot \bar{z} + D_B = 0 \quad (8)$$

$$\text{де } D_B = -C \cdot \bar{z}, \quad \bar{z} = \frac{\sum_{m=1}^M z_m}{M}.$$

Із /8/ виходить, що базова згладжувана площина проходить через точку, яка лежить на вісі Z системи координат OXYZ на висоті, що дорівнює середній висоті зазору \bar{z} під "M" датчиками 18 поля 19 датчиків.

Так як $N = C_M^3$ може приймати значення від кількох тисяч до кількох десятків тисяч, положення базової згладжуваної площини від неплоскостності окремих ділянок на цій поверхні, величини і місця розташування окремих мікронерівностей на поверхні рухомого елемента і визначається середньою \bar{z} висотою зазорів під датчиками 18 величин зазорів і положенням середньої площини поверхні рухомого елемента, що проходить через точки поверхні рухомого елемента 1 /в системі координат OXYZ/.

Причому, для того, щоб система /3/ могла бути розв'язана, розміщення датчиків 18 у полі 19 датчиків повинно відповідати наступним умовам:

центри основ ніяких трьох датчиків кожного з $N = C_M^3$ сполучень датчиків не можуть лежати на одній прямій;

прямі, проведені через центри основ трьох датчиків кожного із $N = C_M^3$ сполучень датчиків, не повинні перетинатися під прямим кутом.

Із цього виходить, що датчики 18 поля 19 датчиків не можуть розташовуватися по лініям датчиків.

Встановимо рухомий елемент у вихідне для переміщення положення і вимірємо величини зазорів під "M" датчиками 19 датчиків:

$$z_1(0), z_2(0), z_3(0), \dots, z_m(0), \dots, z_M(0) \quad (9)$$

По вимірюванням /9/ будують згладжувану поверхню рухомого елемента площину;

$$\bar{A}_{cgl}(0) \cdot x + \bar{B}_{cgl}(0) \cdot y + C \cdot \bar{z}(0) + D_{cgl}(0) = 0 \quad (10)$$

$$\text{де: } D_{cgl}(0) = -C \cdot \bar{z}(0), \quad \bar{z}(0) = \frac{\sum_{m=1}^M z_m(0)}{M}.$$

Розраховують відстані d_k / $k=20, 21, 22, 23$ / від центра основи k-го датчика величини зазору стабілізації положення рухомого елемента 1, встановленого на основі 3 рядом з регуляторами 4 і 5 положення рухомого елемента /фіг.11, 12/ до базової згладжуваної і згладжуваної площин:

$$\alpha_k^B = \frac{|\bar{A}_B \cdot x + \bar{B}_B \cdot y + C \cdot \bar{z} + D_B|}{\sqrt{\bar{A}_B^2 + \bar{B}_B^2 + C^2}} \quad (11)$$

$$\alpha_k^{cgl} = \frac{|\bar{A}_{cgl}(0) \cdot x + \bar{B}_{cgl}(0) \cdot y + C \cdot \bar{z}(0) + D_{cgl}(0)|}{\sqrt{\bar{A}_{cgl}^2(0) + \bar{B}_{cgl}^2(0) + C^2}} \quad (12)$$

Зміщують рухомий елемент /на підставі порівняння /11/ і /12/ і суміщають згладжувану площину з базовою згладжуваною площиною по рівності коефіцієнтів рівнянь /8/ і /10/:

$$\bar{A}_{cgl}(0) = \bar{A}_B; \quad \bar{B}_{cgl}(0) = \bar{B}_B; \quad D_{cgl}(0) = D_B \quad (13)$$

Не змінюючи положення рухомого елемента /1/ вимірюють і запам'ятовують величини зазорів стабілізації $z_{20}(0), z_{21}(0), z_{22}(0), z_{23}(0)$. які відповідають незміщеному положенню рухомого елемента 1 відносно базової згладжуваної площини.

З вихідного положення рухомий елемент послідовно встановлюють на 1, 2, 3, ..., j, ..., J дискрету стабілізації.

На кожній дискреті стабілізації виконують приведені вище дії і формують масив величин зазорів стабілізації

$$[z_{20}(0), z_{21}(0), z_{22}(0), z_{23}(0)], [z_{20}(1), z_{21}(1), z_{22}(1), z_{23}(1)], \dots, [z_{20}(j), z_{21}(j), z_{22}(j), z_{23}(j)], \dots, [z_{20}(J), z_{21}(J), z_{22}(J), z_{23}(J)] \quad (14)$$

За рахунок того, що рівняння /8/ і /10/ базової згладжуваної і згладжувані площин отримують шляхом усереднення великої кількості $N = C_M^3$ площин /від тисяч до кількох десятків тисяч/, що проходять через три точки рухомого елемента, незміщене положення рухомого елемента відносно базової згладжуваної площини визначається з високою точністю. Крім того, погрішність установлення рухомого елемента в незміщене положення на j-й дискреті стабілізації некорелірована з погрішністю його установлення на /j-1/ дискреті стабілізації.

В процесі робочого переміщення рухомого елемента 1 на дискретах стабілізації порівнюють поточні величини зазорів $z_{20}(t), z_{21}(t), z_{22}(t), z_{23}(t)$ відповідними величинами зазорів стабілізації і, при відхиленні їх від зазорів стабілізації, виробляються сигнали управління на регулятори 4 і 5 положення рухомого елемента 1 і запобігають зміщенню рухомого елемента 1 відносно базової згладжуваної площини.

Для цього величини зазорів стабілізації повинні вимірюватися з високою точністю у реальному масштабі часу, тобто без використання способів обробки вимірювань для підвищення їх точності /для

виключення затримки надходження цих вимірювань в пристрій стабілізації/.

Як відомо, точність вимірювання величини зазору залежить від його величини. Так зазор $z=10\text{мм}$ може бути виміряний з погрішністю $0,01\text{мм}$, а зазор 500мм з точністю 1мм . Отже датчики величин зазорів стабілізації відносно поверхні рухомого елемента повинні установлюватися з мінімальним зазором. Для цього:

1. В якості датчиків величин зазорів стабілізації використовують чотири датчика 18 поля 19 датчиків, найближчих до датчиків 20, 21, 22, 23 зазорів стабілізації.

2. По їх вимірюванням формують масив величин зазорів стабілізації і здійснюють стабілізацію /грубу/ положення рухомого елемента 1 відносно базової згладжуваної площини.

3. В процесі переміщення рухомого елемента із вихідного положення на задану відстань "L" вимірюють величини зазорів по сліду датчиків 20, 21, 22, 23 величин зазорів стабілізації.

4. Зменшують висоту установки кожного з датчиків 20, 21, 22, 23 величин зазорів стабілізації на висоту мінімального зазору під цим датчиком, зменшену наприклад, на 5мм . Тоді мінімальний зазор $z_{\min}=20, 21, 22, 23/$ під к-им величини зазору стабілізації буде рівним 5мм , а величина максимального зазору буде визначатися точністю виготовлення рухомого елемента 1 і може не перевищувати $/10-15/\text{мм}$, що забезпечує високу точність вимірювання поточних величин зазорів під датчиками величин зазорів стабілізації.

5. Для запобігання руйнування датчиків величин зазорів стабілізації вони установлюються у пристрою захисну від руйнування.

Формування масиву величин зазорів стабілізації лінійного переміщення рухомого елемента 34 замикаючої плоскої опори 34, 35, 36 здійснюється /фiг.13/ по вимірюванням датчиків 51 і 52 величин зазорів стабілізації лінійного переміщення рухомого елемента 34. Вимірювання величин зазорів здійснюється в процесі стабілізації положення рухомого елемента 34 відносно нерухомої у просторі площини по способу опорних зазорів.

З мінімальним зазором відносно поверхні рухомого елемента 34 датчики 51 і 52 величин зазорів стабілізації величини лінійного переміщення рухомого елемента 34 /фiг.13/ установлюються по тій же методиці, що і датчики 20, 21, 22, 23 величин зазорів стабілізації.

Конфігурація вимірювальної системи, що подана на фiг.13, забезпечує лінійне переміщення точок рухомого елемента 34 замикаючої плоскої опори, які лежать на сліді проекції прямої F на площину рухомого елемента 34. Пряма F проходить через вісі симетрії датчиків 51 і 52 паралельно прямій, по якій перетинаються площини симетрії рухомих елементів несучої і замикаючої плоских опор при їх взаємоперпендикулярному положенню.

Так як рухомі елементи 1 і 34 /фiг.4/ з'єднані шарнірно за допомогою двох пар сферичних шарнірів, центри яких лежать у площині симетрії рухомого елемента несучої плоскої опори, стабілізація рухомого елемента 34 за допомогою двох датчиків 51 і 52 зазорів стабілізації не призводить до порушення лінійності переміщення рухомого елемента 1 несучої плоскої опори.

Таким чином, стабілізація рухомого елемента 1 /фiг.14/ відносно базової згладжуваної площини і стабілізація лінійного переміщення точок шарнірно зв'язаного з ним рухомого елемента 34, що лежать на сліді проекції прямої F на площину рухомого елемента 34, забезпечує переміщення точок рухомого елемента 1 по прямим, паралельним базовій згладжуваній площині, тобто строго лінійно.

Винахід пояснюється кресленнями:

Фiг.1 - пристрій для лінійних переміщень /загальний вигляд/.

Фiг.2 - переріз по А-А і В-В фiг.1.

Фiг.3 - переріз по Б - Б фiг.1.

Фiг.4 - ілюстрація принципу стабілізації положення рухомого елемента по способу опорних зазорів.

Фiг.5 - вимірювальна система стабілізації положення рухомого елемента несучої опори прототипу по способу опорних зазорів.

Фiг.6 - погрішність виготовлення рухомого елемента прототипу.

Фiг.7 - суперпрецизійна лінійна напрямна /загальний вигляд/.

Фiг.8 - переріз по А-А фiг.7.

Фiг.9 - жорсткий п'єзоелектричний регулятор положення рухомого елемента.

Фiг.10 - пружний п'єзоелектричний регулятор положення рухомого елемента.

Фiг.11 - основа несучої плоскої опори суперпрецизійної лінійної напрямної з полем датчиків величин зазорів, датчиками величин зазорів стабілізації і регуляторами положення рухомого елемента.

Фiг.12 - пристрій захисту від руйнування датчиків величин зазорів стабілізації.

Фiг.13 - основа замикаючої плоскої опори з блоками датчиків лінійного переміщення рухомого елемента, датчиками величин зазорів стабілізації і регуляторами положення рухомого елемента.

Фiг.14 - конструкція шарнірного з'єднання рухомих елементів несучої і замикаючої плоских опор.

Фiг.15 - функціональні схеми блока стабілізації положення рухомого елемента несучої плоскої опори і блока стабілізації лінійного переміщення рухомого елемента замикаючої плоскої опори.

Фiг.16 - модуль вводу інформації цифрового блока.

Фiг.17 - модуль виводу інформації цифрового блока.

Суперпрецизійна лінійна напрямна /фiг.7, 8/ включає рухомий елемент 1 несучої плоскої опори, установлений з зазорами відносно основи 2 несучої опори і основи 3 несучої плоскої опори, які утворюють плоску несучу опору 1, 2, 3.

Положення рухомого елемента 1 несучої плоскої опори відносно основ 2 і 3 задають жорсткі п'єзоелектричні регулятори 4 положення рухомого елемента і пружні п'єзоелектричні регулятори положення рухомого елемента. Регулятори 4 і 5 положення рухомого елемента в основах 2 і 3 несучої плоскої опори установлюють попарно навпроти друг друга. В кожену пару 6 регуляторів положення рухомого елемента входить один жорсткий регулятор 4 положення і один пружний регулятор 5 положення рухомого елемента.

В основах 2 і 3 установлюють не менше трьох пар 6 регуляторів положення /чотири у даному прикладі побудови суперпрецизійної лінійної напрямної/.

Жорсткий п'єзоелектричний регулятор 4 положення рухомого елемента поданий на фiг.9. Ролик 7, по

якому переміщується рухомий елемент 1, установлюють на двох радіальних підшипниках 8, установлених на вісі ролика 9 у корпусі ролика 10. Між корпусом ролика 10 і регулювальним гвинтом 11, який служить для установки початкового положення рухомого елемента 1 і укручений у кришку 12 корпуса 13 регулятора 4 положення рухомого елемента, в ізоляторах 14 установлений п'єзостовп 15 регулятора положення.

Подачею сигналів управління на п'єзостовпи 15 здійснюють зміну положення рухомого елемента 1 відносно основ 2 і 3 несучої плоскої опори.

Пружний п'єзоелектричний регулятор 5 положення рухомого елемента 1 /фіг.10/ додатково включає напрямку втулку 16 і пружину 17, установлену між прямоною втулкою 16 і корпусом 10 ролика. Пружина 17 забезпечує постійне прилягання роликів 7 кожної пари 6 регуляторів положення до поверхні рухомого елемента 1.

В основі 3 несучої плоскої опори 1, 2, 3 установлюють датчики 18 величин зазорів між основою 3 і поверхнею рухомого елемента 1, які утворюють поле 19 датчиків величин зазорів /фіг.11/, а у безпосередній близькості від пари 6 регуляторів положення рухомого елемента і між ними установлюють перший 20, другий 21, третій 22, четвертий 23 датчик величини зазору стабілізації положення рухомого елемента 1 несучої плоскої опори 1, 2, 3.

Поле 19 датчиків величин зазорів призначене для вимірювання величин зазорів від основ датчиків 18 до поверхні рухомого елемента 1, по яким будують рівняння базової згладжуваної площини і рівняння згладжуваних поверхню рухомого елемента 1 площин на дискретах стабілізації.

Площа поля 19 датчиків не перевищує площі прямокутника, проведеного через центри основ датчиків 20, 21, 22, 23 величин зазорів стабілізації /фіг.11/.

Нехай система координат XOY /фіг.11/ суміщена з плоскістю основи 3, зверненої до рухомого елемента 1, її початок суміщений з центром основи 3, а вісь "Y" співпадає з напрямком переміщення рухомого елемента 1. Тоді розмір поля датчиків по вісі "Y", як правило, складає $2/3L$ / L - задана величина переміщення рухомого елемента/. Допускається відхилення основ датчиків від площини XOY основи 3 в інтервалі Δ / $\Delta = \pm 10 \text{ мкм}$ /. У загальному випадку кількість "M" датчиків 18 поля 19 датчиків визначається заданою довжиною "L" переміщення рухомого елемента 1, точністю суміщення основ датчиків 18 з плоскістю основи 3, неплоскістю поверхні рухомого елемента 1, точністю вимірювання величин зазорів, заданою точністю стабілізації рухомого елемента 1 відносно базової площини і може коливатися від трьох у ідеальному випадку до кількох десятків.

Датчики 18 поля датчиків розділені на чотири групи /по числу датчиків величин зазорів стабілізації/ і складають: першу групу 24 датчиків величин зазорів, яку складають датчики 18 величин зазорів, розташовані у 1 квадранті системи координат XOY /фіг.11/, другу групу 25 датчиків величин зазорів, третю групу 26 датчиків величин зазорів, четверту групу 27 датчиків величин зазорів, які складають датчики 18 величин зазорів, розташовані у 2, 3, 4 квадрантах системи координат XOY , відповідно.

Датчики 20, 21, 22, 23 величин зазорів стабілізації призначені для вимірювання величин зазорів стабілізації, які відповідають незміщеному положенню рухомого елемента 1 відносно базової згладжуваної площини.

Датчики 20, 21, 22, 23 величин зазорів стабілізації відносно поверхні рухомого елемента 1 для підвищення точності вимірювання величин зазорів стабілізації установлюють з зазорами, на один - два порядки менше зазорів під датчиками 18 поля 19 датчиків. Дія запобігання їх руйнування в аварійних ситуаціях в основі 3 їх установлюють у пристрої 28 захисту від руйнування /фіг.12/.

Пристрій 28 захисту від руйнування включає корпус 29, укручений в основу 3. Конічна втулка 30 утримується в корпусі 29 за допомогою пружини 31 і регулювального гвинта 32, який служить для установки сили тиску на конічну втулку 30. Датчики 20, 21, 22, 23 зазорів стабілізації установлюють у конічній втулці 30 в ізоляторі 33.

Суперпрецизійна лінійна напрямна включає також рухомий елемент 34 замикаючої плоскої опори, установлений з зазорами відносно основ 35 і 36 замикаючої плоскої опори, які утворюють замикаючу плоску опору 34, 35, 36 /фіг.7, 8/.

Положення рухомого елемента 34 замикаючої плоскої опори відносно основ 35 і 36, як і положення рухомого елемента 1 несучої плоскої опори відносно основ 2 і 3, задають чотири пари 6 регуляторів положення рухомого елемента, які установлені симетрично бокових сторін замикаючої плоскої опори 34, 35, 36.

Вставки 37 /фіг.7/ служать для жорсткого з'єднання основ 35 і 36 замикаючої плоскої опори і установки величин зазорів між рухомих елементом 34 і основами 35 і 36.

У напрямку, перпендикулярному напрямку переміщення рухомого елемента 34, силове замикання рухомого елемента 34 забезпечується жорсткими обмежувачами 38 поперечного зміщення і пружними обмежувачами 39 поперечного зміщення. Обмежувачі 38 і 39 поперечного зміщення установлюють попарно і навпроти друг друга. Кожна пара 40 обмежувачів поперечного зміщення включає один жорсткий обмежувач 38 і один пружний обмежувач 39 /фіг.8/.

Жорсткий обмежувач 38 поперечного зміщення включає ролик 41, установлений на вісі ролика 42 в корпусі 43 ролика. Положення ролика 41 відносно бокової грані рухомого елемента 34 установлюють регулювальним гвинтом 44.

Пружний обмежувач 39 поперечного зміщення додатково обладнаний пружиною 45 /фіг.8/, яка забезпечує постійне прилягання бокових граней рухомого елемента 34 до роликів 41 пар 40 обмежувачів поперечного зміщення.

З основи 35 замикаючої плоскої опори 34, 35, 36 по лініям, паралельним напрямку переміщення рухомого елемента 34 /фіг.13/, установлені блок 46, блок 47 і блок 48 датчиків лінійного переміщення рухомого елемента 34 замикаючої плоскої опори.

У кожному блоку 46, 47, 48 датчиків установлюють по два датчика величини зазору: перший датчик 49 величини зазору /по напрямку переміщення рухомого елемента 34/ і другий датчик 50 величини зазору /фіг.14/.

Причому, відстані між центрами основ датчиків 49 і 50 у блоках 46, 47, 48 датчиків рівні і рівні дискреті лінійної стабілізації рухомого елемента 34 замикаючої плоскої опори 34, 35, 36, а основи датчиків 49 і 50

цих блоків датчиків установлюють в одну площість.

По лінії перетинання площин симетрії рухомого елемента 1 несучої плоскої опори з площиною симетрії рухомого елемента 34 замикаючої плоскої опори при їх взаємоперпендикулярному положенні /фiг.8, 13/ установлюють датчик 51 величини зазору стабілізації лінійного переміщення рухомого елемента 34 замикаючої плоскої опори і датчик 52 величини зазору стабілізації лінійного переміщення рухомого елемента 34 замикаючої плоскої опори.

Також як датчики 20, 21, 22, 23 величин зазорів стабілізації датчики 51 і 52 відносно рухомого елемента 34 установлюють з мінімальними зазорами у пристрої 28 захисту від руйнування.

Блоки 46, 47, 48 датчиків лінійного переміщення служать для установки рухомого елемента 34 на дискретах стабілізації у незбурене положення відносно нерухомої у просторі площини /по способу опорних зазорів/ для вимірювання за допомогою датчиків 51 і 52 величин зазорів, при яких точки поверхні 53 рухомого елемента 34, що лежать на сліді проекції лінії перетинання площин, що згадувалися, на цю поверхню, переміщуються лінійно.

Рухомий елемент 1 плоскої несучої опори 1, 2, 3 зв'язаний з рухомим елементом 34 замикаючої плоскої опори 34, 35, 36 /фiг.14/ двома парами сферичних шарнірів: сферичні шарніри 54, 55 і сферичні шарніри 56, 57.

Причому, у кожній парі шарнірів полусфери 58 сферичних шарнірів 54 і 56 розташовані зворотно полусферам 58 сферичних шарнірів 55 і 57.

Центри полусфер 58, установлених у рухомому елементі 1, лежать на одній прямій, паралельній боковій грані рухомого елемента 1, а центри полусфер 58, установлених у рухомому елементі 34 лежать на прямій, паралельній боковій грані рухомого елемента 34. Крім того, ці прямі лежать у площині симетрії рухомого елемента 1.

Таке з'єднання рухомих елементів 1 і 34 запобігає їх відносному зміщенню у площині XOY системи координат OXYZ /фiг.14/, яка суміщена з площиною симетрії рухомого елемента 1, дозволяє керувати положенням рухомого елемента 1 по висоті зазору і здійснювати його мікроповороти навколо вісів "X" і "Y" системи координат OXYZ у процесі стабілізації його положення незалежно від рухомого елемента 34 замикаючої плоскої опори. Крім того, при такому з'єднанні рухомих елементів 1 і 34 малі зміщення рухомого елемента 34 у поперечному напрямку із-за неплоскостності його бокових граней не порушує лінійності переміщення рухомого елемента 1 несучої плоскої опори.

Балка 59 деталі установлена на рухомому елементі 1 і служать для установки деталі, що обробляється.

Балка 60 служить для установки вимірювальної лінійки 61 лінійного індуктосина, що використовується у якості датчика 62 величини переміщення рухомого елемента 1.

Датчики 18 величин зазорів поля 19 датчиків і датчики 20, 21, 22, 23 величин зазорів стабілізації рухомого елемента 1 несучої плоскої опори електрично через блок 63 стабілізації положення рухомого елемента несучої плоскої опори відносно базової згладжуваної площини /фiг.15/ зв'язані з регуляторами 4 і 5 положення рухомого елемента несучої плоскої опори.

У склад блока 63 стабілізації входить датчик 62 величини лінійного переміщення, у якості якого може використовуватися лінійний індуктосин /фiг.7/. Тоді у якості вимірювача 64 величини лінійного переміщення рухомих елементів 1 і 34 може використовуватися пристрій цифрової індикації УЦІ Ф5291.

Датчики 18 величин зазорів поля 19 датчиків і датчики 20, 21, 22, 23 величин зазорів стабілізації з'єднані /фiг.15/ з комутаторами 65, 66, 67, 68 датчиків величин зазорів несучої плоскої опори, які служать для послідовного підключення цих датчиків до вимірювачів 69, 70, 71, 72 величин зазорів при побудові згладжуваної базової площини і згладжуваючих поверхню рухомого елемента площин, а також для постійного підключення датчиків 20, 21, 22, 23 зазорів стабілізації до вимірювачів 69, 70, 71, 72 величин зазорів у процесі стабілізації положення рухомого елемента 1.

Вимірювачі 69, 70, 71, 72 величин зазорів несучої плоскої опори /Гриневіч Б.Ф. "Измерительные компенсационно - мостовые устройства с емкостными датчиками", Киев, Наукова Думка, 1987г./ призначені для перетворення сигналів датчиків 18 поля 19 датчиків і датчиків 20, 21, 22, 23 величин зазорів стабілізації у напруги, відповідні величинам цих зазорів.

Вимірювальна інформація з вимірювачів 69, 70, 71, 72 і вимірювача 64 величини лінійного переміщення надходить у цифровий блок 73. Цифровий блок 73 забезпечує:

1. Управління комутаторами 65, 66, 67, 68 датчиків величин зазорів.
2. Опитування і перетворювання у цифровий двійковий код сигналів вимірювачів 69, 70, 71, 72 величин зазорів.
3. Формування сигналів управління і видачу їх на групи 6 регуляторів положення рухомого елемента 1.
4. Побудова рівнянь базової згладжуваної і згладжуваючих поверхню рухомого елемента площин.
5. Суміщення на дискретах стабілізації згладжуваючих поверхню рухомого елемента площин з базовою згладжуваною площиною.
6. Формування масивів величин зазорів стабілізації переміщення рухомих елементів суперпрецизійної лінійної напрямної.
7. Видачу у процесі стабілізації у схему управління напруг зазорів стабілізації, що відповідають незбуреному положенню рухомих елементів суперпрецизійної лінійної напрямної.

У якості цифрового блока 73 може використовуватися ПЕЛМ, оснащена модулями вводу - виводу /фiг.16, 17/ для зв'язку з зовнішніми функціональними елементами. В якості такої ПЕЛМ може служити ПЕЛМ типа 9825 фірми Хьюлетт - Паккард з модулем паралельного вводу - виводу Z80 - РІО /Науман і др. "Стандартные интерфейсы для измерительной техники", Мир, 1982г./.

Блок включає також вісім операційних підсилювачів 74, об'єднаних по входам у пари і які служать для формування на виходах кожної пари однакових по величині і протилежних по знаку напруг, пропорційних

кодам сигналів управління $u_{уп1}^{(6)}$, $u_{уп2}^{(6)}$, $u_{уп3}^{(6)}$, $u_{уп4}^{(6)}$, на пари 6 регуляторів положення рухомого елемента 1, що надходить з цифрового блока 73 у процесі підготовки суперпрецизійної лінійної напрямної до роботи.

Перемикачі 75 "пряме - вимк. - зворотне" служать для зміни полярності на виходах диференціальних

підсилювачів, які надходять з операційних підсилювачів 74. В положенні перемикачів "пряме" полярність на входах диференційних підсилювачів 76 така, що п'єзостовпи 15 регуляторів 4 і 5 положення рухомого елемента 1, установлених на основі 3 несучої плоскої опори подовжуються, а п'єзостовпи 15 регуляторів 4 і 5, установлених на основі 2 несучої плоскої опори укорочуються. В результаті рухомий елемент 1 зміщується у бік основи 2 несучої плоскої опори 1, 2, 3.

В положенні перемикача 75 "зворотне" рухомий елемент 1 зміщується у сторону основи 3 несучої плоскої опори. В положенні перемикача 75 "вимк." диференційні підсилювачі 76 відключаються від операційних підсилювачів 74.

Диференційні підсилювачі 76 служать для формування на їх виходах різнополюсних сигналів, різниці потенціалів яких і її знак визначаються різницею потенціалів вхідних сигналів та їх знаками.

Перемикачі 77 "вкл. - вимк." призначені для підключення до входів диференційних підсилювачів 76 виходів напруг зазорів стабілізації цифрового блока 73 і виходів вимірювачів величин зазорів 69, 70, 71, 72.

Перші і другі датчики 49 і 50 величин зазорів блоків 46, 47, 48 датчиків лінійного переміщення рухомого елемента 34 замикаючої плоскої опори і датчики 51 і 52 величин зазорів стабілізації лінійного переміщення рухомого елемента 34 замикаючої плоскої опори 34, 35, 36 через блок 78 стабілізації лінійного переміщення рухомого елемента замикаючої плоскої опори електрично зв'язані з парами 6 регуляторів положення рухомого елемента 34.

Блок 78 стабілізації лінійного переміщення включає /фіг.15/ комутатори 79 і 80 датчиків величин зазорів замикаючої плоскої опори, вимірювачі 81 і 82 величин зазорів замикаючої плоскої опори, об'єднані в пари операційні підсилювачі 83, перемикачі 84 "більше - вимк. - менше" диференційні підсилювачі 85, перемикачі 86 "вкл. - вимк.", пари 6 регуляторів положення рухомого елемента.

Ці елементи блока 78 лінійної стабілізації не відрізняються від відповідних елементів блока 64 стабілізації положення рухомого елемента несучої плоскої опори і виконують ті самі функції.

Обробку вимірювальної інформації блока 78 стабілізації лінійного переміщення рухомого елемента 34 замикаючої плоскої опори, управління комутаторами 79, 80 датчиків величин зазорів замикаючої плоскої опори, формування масиву величин зазорів стабілізації лінійного переміщення рухомого елемента 34 замикаючої плоскої опори 34, 35, 36, видачу в процесі стабілізації лінійного переміщення рухомого елемента 34 у схему блока 78 стабілізації лінійного переміщення рухомого елемента 34 замикаючої плоскої опори напруг зазорів стабілізації лінійного переміщення рухомого елемента 34 здійснює цифровий блок 73 блока 63 стабілізації положення рухомого елемента 1 несучої плоскої опори.

На кресленнях також позначені:

88 - рухомий елемент пристрою для лінійних переміщень.

87 - вимірювальна голівка датчика 64 величини лінійного переміщення рухомих елементів.

89 - жиклери подачі газу в зазори плоскої аеростатичної опори.

90 - блоки датчиків положення рухомого елемента пристрою для лінійних переміщень.

91 - зазор плоскої аеростатичної опори.

92 - перші датчик величини зазору блока 90 датчиків.

93 - другий датчик величини зазору блока 90 датчиків.

Причому, датчики 18 величин зазорів першої групи 24 датчиків величин зазорів і перший датчик 20 величини зазору стабілізації положення рухомого елемента 1 несучої плоскої опори 1, 2, 3 з'єднані з інформаційними входами комутатора 65 датчиків величин зазорів несучої плоскої опори 1, 2, 3, датчики 18 величин зазорів другої групи 25 датчиків величин зазорів і другий датчик 21 величини зазору стабілізації положення рухомого елемента 1 несучої плоскої опори 1, 2, 3 з'єднані з інформаційними входами комутатора 66 датчиків величин зазорів несучої плоскої опори 1, 2, 3, датчики 18 величин зазорів третьої групи 26 датчиків датчиків величин зазорів і третій датчик 22 величини зазору стабілізації положення рухомого елемента 1 несучої плоскої опори 1, 2, 3 з'єднані з інформаційними входами комутатора 67 датчиків величин зазорів несучої плоскої опори 1, 2, 3, датчики 18 величин зазорів четвертої групи 27 датчиків величин зазорів і четвертий датчик 23 величини зазору стабілізації рухомого елемента 1 несучої плоскої опори 1, 2, 3 з'єднані з інформаційними входами комутатора 68 датчиків величин зазорів несучої плоскої опори 1, 2, 3, сигнальні входи комутаторів 65, 66, 67, 68 датчиків величин зазорів несучої плоскої опори 1, 2, 3 з'єднані з входами цифрового блока 73, а їх виходи з'єднані з входами вимірювачів 69, 70, 71, 72 величин зазорів несучої плоскої опори 1, 2, 3, відповідно, виходи вимірювачів 69, 70, 71, 72 величин зазорів несучої плоскої опори 1, 2, 3 з'єднані з входами цифрового блока 73 і через перемикачі 77 "вкл. - вимк." з'єднані з першими входами диференційних підсилювачів 76, відповідно, датчик 62 величини лінійного переміщення рухомих елементів з'єднаний з входом вимірювача 64 величини переміщення рухомих елементів, вихід вимірювача 64 величини лінійного переміщення рухомих елементів з'єднаний з входом цифрового блока 73, а його вхід з'єднаний з виходом цифрового блока 73, входи операційних підсилювачів 74 з'єднані з виходами цифрового блока 73, а їх виходи через перемикач 75 "більше - вимк. - менше" з'єднані з першими і другими входами відповідних диференційних підсилювачів 76, виходи цифрового блока 73 через перемикач 77 "вкл. - вимк." з'єднані з другими входами відповідних диференційних підсилювачів 76, виходи диференційних підсилювачів 76 з'єднані з п'єзостовпами 15 відповідних пар 6 регуляторів положення рухомого елемента 1 плоскої несучої опори 1, 2, 3, перші і другі датчики 49, 50 величин зазорів блоків 46, 47, 48 датчиків лінійного переміщення рухомого елемента 34 замикаючої плоскої опори 34, 35, 36 і датчики 51, 52 величин зазорів стабілізації лінійного переміщення рухомого елемента 34 замикаючої плоскої опори 34, 35, 36 з'єднані з інформаційними входами відповідних комутаторів 79, 80 датчиків величин зазорів замикаючої плоскої опори 34, 35, 36, сигнальні входи комутаторів 79, 80 датчиків величин зазорів замикаючої плоскої опори 34, 35, 36 з'єднані з виходами цифрового блока 73, а їх виходи з'єднані з входами вимірювачів 81, 82 величин зазорів замикаючої плоскої опори, виходи вимірювачів 81, 82 величин зазорів замикаючої плоскої опори з'єднані з входами цифрового блока 73 і через перемикачі 86 "вкл. - вимк." з'єднані з другими входами відповідних диференційних підсилювачів 85, виходи цифрового блока 73 з'єднані з входами операційних підсилювачів 83 і через перемикачі 86 "вкл.-вимк." з'єднані з першими входами відповідних диференційних підсилювачів 85, виходи операційних підсилювачів 83 через перемикачі "більше - вимк. - менше" з'єднані з першими і другими

виходами відповідних диференційних підсилювачів 85, виходи диференційних підсилювачів 85 з'єднані з п'єзостовпами 15 пар 6 регуляторів положення рухомого елемента 34 замикаючої плоскої опори 34, 35, 36.

Робота суперпрецизійної лінійної напрямної розглядається у такій послідовності:

- Формування масиву величин зазорів стабілізації лінійного переміщення рухомого елемента 34 замикаючої плоскої опори.

- Формування масиву величин зазорів стабілізації положення рухомого елемента 1 несучої плоскої опори відносно базової згладжуваючої площини.

- Стабілізація переміщень рухомих елементів 1 і 34 несучої і замикаючої плоских опор в процесі робочого переміщення, яка забезпечує точне лінійне переміщення рухомого елемента 1 несучої плоскої опори 1, 2, 3.

Формування масиву величин зазорів стабілізації лінійного переміщення рухомого елемента 34 здійснюється у наступній послідовності.

Рухомий елемент 34 замикаючої плоскої опори по показанням вимірювача 64 величини лінійного переміщення рухомих елементів устанавлюється у вихідне для переміщення положення $L=0$.

Блок 78 стабілізації лінійного переміщення рухомого елемента 34 замикаючої плоскої опори переводять у режим роботи "Формування масиву величин зазорів стабілізації лінійного переміщення рухомого елемента замикаючої плоскої опори".

Для цього перемикач 86 /фiг.15/ "вкл. - вимк." устанавлюють у положення "вимк." і відключають диференційні підсилювачі 85 від вимірювачів 81 і 82 величин зазорів замикаючої плоскої опори і цифрового блока 73. У вихідному для переміщення положенні рухомий елемент 34 устанавлюють у початкове положення відносно основи 35 замикаючої плоскої опори шляхом установки під першими датчиками 49 величин зазорів блоків 46, 47, 48 датчиків лінійного переміщення величин зазорів, рівнях заданим: $z_{49}^{46} = z_{49}^{47} = z_{49}^{48} = z_{\text{зад.}}$, наприклад, $z_{\text{зад.}} = 500 \text{ мкм}$.

Для цього з пульта цифрового блока виконується пуск підпрограми "Індикація зазорів 1". У відповідності з алгоритмом роботи підпрограми по сигналам цифрового блока 73 комутатори 79 і 80 підключають до входів вимірювачів 81 і 82 перші датчики 49 блоків 46, 47 і 48 датчиків /перші датчики 49 блоків 46 і 48 датчиків до вимірювача 79 підключаються періодично/.

Цифровий блок 73 з заданою частотою послідовно опитує вимірювачі 81 і 82 величин зазорів, перетворює їх вихідні напруги у цифровий двійковий код, запам'ятовує їх і відображає величини зазорів у десятичному коді на екрані дисплея.

Якщо спостерігаємі на екрані дисплея величини зазорів z_{49}^{46} , z_{49}^{47} , z_{49}^{48} рівні $z_{\text{зад.}}$, з пульта цифрового блока виконують пуск підпрограми "Формування масиву величин зазорів стабілізації 1". У відповідності з алгоритмом роботи підпрограми цифровий блок 73 за допомогою комутаторів 79 і 80 підключає датчики 51 і 52 величин зазорів стабілізації лінійного переміщення рухомого елемента 34 до вимірювачів 81 і 82, опитує ці вимірювачі і перетворює їх вихідні напруги у цифровий двійковий код величин зазорів $z_{51}(0)$ і $z_{52}(0)$.

Код величини зазору стабілізації $z_{51}(0)$ переміщується у пам'яті цифрового блока 73 у перше вічко масиву величин зазорів стабілізації лінійного переміщення рухомого елемента 34, код величини зазору стабілізації $z_{52}(0)$ переміщується у пам'яті цифрового блока 73 у друге вічко масиву величин зазорів стабілізації.

Цифровий блок 73 опитує вимірювач 64 величини лінійного переміщення рухомих елементів і прив'язує до елементів масиву $z_{51}(0)$ і $z_{52}(0)$ код величини лінійного переміщення $L=0$ рухомого елемента 34.

Код $L(0)=0$ переміщується у третє вічко пам'яті масиву величин зазорів лінійної стабілізації. Якщо величини зазорів $z_{49}^{46}(0)$, $z_{49}^{47}(0)$, $z_{49}^{48}(0)$ під першими датчиками 49 блоків 46, 47, 48 датчиків не рівні заданим, за допомогою регулювальних гвинтів 11 регуляторів 4 і 5 положення рухомого елемента 34 зміщують рухомий елемент по висоті зазору і устанавлюють його з заданими величинами зазорів відносно основ датчиків 49 блоків 46, 47, 48 датчиків. Виконується пуск підпрограми "Формування масиву зазорів стабілізації 1". В результаті будуть сформовані перші три елементи $z_{51}(0)$, $z_{52}(0)$ $L(0)$ масиву величин зазорів стабілізації лінійного переміщення рухомого елемента 34 замикаючої плоскої опори.

Крім того, цифровий блок 73 запам'ятовує величини зазорів $z_{49}^{46}(0)$, $z_{49}^{47}(0)$, $z_{49}^{48}(0)$ у якості величин опорних зазор $z_{49\text{оп.}}^{46}(0)$, $z_{49\text{оп.}}^{47}(0)$, $z_{49\text{оп.}}^{48}(0)$ для установки рухомого елемента 34 замикаючої плоскої опори у незбурене положення відносно площини стабілізації на першій $j=1$ дискреті стабілізації.

Рухомий елемент 34 по показанням вимірювача 64 величини лінійного переміщення устанавлюють на першу дискрету стабілізації, для чого із вихідного положення його зміщують на відстань $L=j \cdot l_{\text{ш}} (j=1)$.

Тут $l_{\text{ш}}$ - величина дискрети стабілізації рухомого елемента 34 по способу опорних зазорів, рівна відстані між центрами основ датчиків 49 і 50 величин зазорів у блоках 46, 47, 48 датчиків.

З пульта цифрового блока виконують пуск підпрограми "Індикація зазорів 1" і під другими датчиками 50 блоків 46, 47, 48 датчиків усиновляють величини зазорів, рівні величинам опорних зазорів для першої дискрети стабілізації:

$$z_{50}^{46}(1) = z_{49\text{оп.}}^{46}(0), \quad z_{50}^{47}(1) = z_{49\text{оп.}}^{47}(0), \quad z_{50}^{48}(1) = z_{49\text{оп.}}^{48}(0) \quad (16)$$

Для цього на пульта цифрового блока 73 набирають коди сигналів управління $U_{\text{упр.1}}$, $U_{\text{упр.2}}$, $U_{\text{упр.3}}$, $U_{\text{упр.4}}$ відповідні пари 6 /фiг.15/ регуляторів положення і адреси зв'язаних з ними об'єднаних в пари операційних підсилювачів 83: 0001, 0010, 0011, 0100.

З пульта цифрового блока виконують пуск підпрограми "Установка рухомого елемента 1". У відповідності з алгоритмом роботи підпрограми коди сигналів управління $U_{\text{упр.1}}$, $U_{\text{упр.2}}$, $U_{\text{упр.3}}$, $U_{\text{упр.4}}$ у цифровому блоку перетворюються у напруги сигналів управління і надходять на входи відповідних

операційних підсилювачів 83, а з їх виходів через перемикач 84 "пряме - вимк. - зворотне" в положенні "пряме" чи "зворотне" надходять на входи відповідних диференційних підсилювачів 85. З виходів диференційних підсилювачів 85 сигнали у протифазі надходять на п'єзостовпи 15 регуляторів 4 і 5 відповідної пари 6 регуляторів положення рухомого елемента. Рухомий елемент 34 зміститься відносно основ 35 і 36 замикаючої плоскої опори.

З пульта цифрового блока 73 виконують пуск підпрограми "Індикація зазорів 1" і по екрану дисплея перевіряється виконання приведених вище рівностей /16/. Якщо ці рівності не виконуються, методом послідовних наближень, підбираючи сигнали управління $U_{упр.1}$, $U_{упр.2}$, $U_{упр.3}$, $U_{упр.4}$ і виконуючи пуски підпрограм "Установка рухомого елемента 1" і "Індикація зазорів 1" досягають їх виконання.

З пульта цифрового блока 73 виконують пуск підпрограми "Формування масиву величин зазорів стабілізації 1". У відповідності з алгоритмом роботи підпрограми датчики 51 і 52 величин зазорів стабілізації лінійного переміщення підключаються до вимірювачів 81 і 82 величин зазорів. Вихідні напруги вимірювачів 81 і 82 цифровим блоком 73 перетворюються у цифрові двійкові коди величин зазорів $z_{51}(1)$ і $z_{52}(1)$.

Коди величин зазорів $z_{51}(1)$ і $z_{52}(1)$ переміщуються в четверте і п'яте вічко пам'яті масиву величин зазорів стабілізації лінійного переміщення. Цифровий блок 73 опитує також вимірювач 64 величина лінійного переміщення рухомих елементів і пересилає код $L=j \cdot l_{ш1}$ ($j=1$) величині лінійного переміщення рухомого елемента 34 у шосте вічко пам'яті масиву величин зазорів стабілізації лінійного переміщення.

Крім того, цифровий блок 73 за допомогою комутаторів 79 і 80 підключає перші датчики 49 блоків 46, 47, 48 датчиків до вимірювачів 81 і 82 величин зазорів. Вихідні напруги вимірювачів 81 і 82 цифровим

блоком 73 перетворюються у двійкові коди величин зазорів $z_{49}^{46}(1)$, $z_{49}^{47}(1)$, $z_{49}^{48}(1)$ і запам'ятовуються у якості величин опорних зазорів $z_{49оп.}^{46}(1)$, $z_{49оп.}^{47}(1)$, $z_{49оп.}^{48}(1)$ для установки рухомого елемента 34 у незбурене положення відносно площини стабілізації на другій $j=2$ дискреті стабілізації.

Приведені вище операції виконуються на другій $j=2$, третій, ..., J -й дискреті стабілізації $J=L/l_{ш1}$. В результаті у пам'яті цифрового блока 73 буде сформований масив величин опорних зазорів стабілізації лінійного переміщення рухомого елемента 34 замикаючої плоскої опори 34, 35, 36:

$$[z_{51}(0), z_{52}(0), L(0)], [z_{51}(1), z_{52}(1), L(1)], [z_{51}(2), z_{52}(2), L(2)], \dots, [z_{51}(j), z_{52}(j), L(j)], \dots, [z_{51}(J), z_{52}(J), L(J)] \quad (17)$$

Формування масиву величин зазорів стабілізації положення рухомого елемента 1 несучої плоскої опори 1, 2, 3 відносно базової згладжуваючої площини здійснюється у такій послідовності.

Рухомий елемент 1 несучої плоскої опори 1, 2, 3 по показанню вимірювача 64 величини лінійного переміщення рухомих елементів устанавлюється у вихідне для переміщення положення $L=0$.

Блок 78 /фiг.15/ стабілізації лінійного переміщення рухомого елемента 34 замикаючої плоскої опори переводять у режим "Робота". Для цього перемикачі 84 "більше - вимк. - менше" устанавлюють у положення "вимк." і відключають пари операційних підсилювачів 83 від диференційних підсилювачів 85. Перемикача 86 "вкл. - вимк." устанавлюють у положення "вкл." і підключають два виходи напруг зазорів стабілізації лінійного переміщення рухомого елемента 34 цифрового блока 73 до перших входів відповідних диференційних підсилювачів 85 /кожний вихід підключається до перших входів двох диференційних підсилювачів 85, причому, перший вихід напруги величин зазорів стабілізації лінійного переміщення підключається до двох диференційних підсилювачів 85, з'єднаних з парами 6 регуляторів положення, устанавлених в перерізі по А-А лінійної напрямної /фiг.7, 15/, а другий - до двох диференційних підсилювачів 85, з'єднаних з парами 6 регуляторів положення, устанавлених в перерізі по Б-Б лінійної напрямної/, а виходи вимірювачів 81 і 82 величин зазорів замикаючої плоскої опори підключаються до других входів відповідних диференційних підсилювачів 85. Причому, кожний із вимірювачів 81 і 82 з'єднаний з другими входами двох диференційних підсилювачів 85 /вимірювач 81 підключають до других входів тих диференційних підсилювачів 85, перші входи яких з'єднані з другим виходом напруг величин зазорів стабілізації лінійного переміщення цифрового блока 73/.

З пульта цифрового блока виконують пуск підпрограми "Лінійна стабілізація". У відповідності з алгоритмом роботи підпрограми цифровий блок 73 за допомогою комутаторів 79, 80 підключає до входів вимірювачів 81 і 82 датчики 51 і 52 величин зазорів стабілізації лінійного переміщення, відповідно.

Двійковий код величини переміщення L/t рухомого елемента 34 цифровим блоком 73 з устанавленою частотою злічується з вимірювачем 64 лінійного переміщення рухомих елементів і порівнюється з кодами відстаней до дискрет L/j корекції лінійного переміщення рухомого елемента 34, які зберігаються у масиві зазорів стабілізації лінійного переміщення:

$$L(0), L(1)=l_{ш1}, L(2)=2l_{ш1}, \dots, L(j)=j \cdot l_{ш1}, \dots, L(J)=J \cdot l_{ш1}.$$

При збігу коду L/t поточної величини переміщення рухомого елемента 34 з кодом відстані $L(j)=j \cdot l_{ш1}$ до j -ої дискрети корекції лінійності переміщення рухомого елемента 34 код $z_{51}(j)$ величини першого зазору стабілізації лінійного переміщення рухомого елемента 34, відповідаючий j -й дискреті корекції, перетворюється у цифровому блоці 73 у напругу зазору стабілізації і надходить на перші входи двох диференційних підсилювачів 85, з'єднаних з двома парами 6 регуляторів положення рухомого елемента 34, устанавлених в перерізі по А-А лінійної напрямної /фiг.7, 15/. На другі входи цих диференційних підсилювачів 85 надходить сигнал з виходу вимірювача 81 величини зазору, відповідаючий поточній величині зазору $z_{51}(t)$ під датчиком 51 величини зазору стабілізації, який також устанавлений у перерізі по А-А лінійної напрямної.

Код $z_{52}(j)$ другого зазору стабілізації лінійного переміщення рухомого елемента 34, відповідаючий j -й дискреті також перетворюється у цифровому блоку 73 у напругу зазору стабілізації і надходить на перші входи двох диференційних підсилювачів 85, з'єднаних з двома парами 6 регуляторів положення рухомого елемента 34, устанавлених в перерізі по Б-Б лінійної напрямної /фiг.7, 15/.

На другі входи цих диференційних підсилювачів 85 надходить сигнал з виходу вимірювача 82 величин

засорів, відповідаючи поточній величині зазору $z_{52}(t)$ під датчиком 52 величини зазору стабілізації, також установленого у перерізі по Б-Б лінійної напрямної.

При відхиленні на j -ій дискреті корекції лінійного переміщення поточних величин зазорів $z_{51}(t)$ і $z_{52}(t)$ від відповідних величин $z_{51}(j)$ і $z_{52}(j)$ зазорів стабілізації на виходах диференційних підсилювачів 85 виникають сигнали неузгодження, пропорційні величинам відхилень поточних величин зазорів від величин зазорів стабілізації, а знаки сигналів неузгодження визначаються напрямками цих відхилень.

Під впливом сигналів неузгодження кожні дві пари 6 регуляторів положення рухомого елемента 34, що установлені в перерізах по А-А і Б-Б лінійної напрямної, зміщують рухомий елемент 34 замикаючої плоскої опори і установлюють на j -ій дискреті стабілізації поточні зазорів $z_{51}(t)$ і $z_{52}(t)$ датчиками 51 і 52 величин зазорів стабілізації, рівні величинам зазорів стабілізації лінійного переміщення:

$$z_{51}(t) = z_{51}(j), \quad z_{52}(t) = z_{52}(j).$$

В результаті точки поверхні рухомого елемента 34 замикаючої плоскої опори, які лежать /фіг.7/ на сліді проекції прямої F на поверхню 53 /фіг.8/ цього рухомого елемента будуть пересуватися по прямим лініям, тобто лінійно.

Так як блоки стабілізації 63 і 78 працюють автономно, при формуванні масиву величин зазорів стабілізації положення рухомого елемента 1 несучої плоскої опори відносно базової згладжуваючої площини ці блоки працюють у різних режимах: блок 63 працює у режимі настройки, а блок 78 працює у режимі "Робота" /У режимі стабілізації лінійного переміщення рухомого елемента замикаючої плоскої опори/.

Формування масиву величин зазорів стабілізації положення рухомого елемента 1 несучої плоскої опори відносно базової згладжуваючої площини здійснюється у наступній послідовності.

Рухомий елемент 1 по показанням вимірювача 64 лінійного переміщення рухомих елементів переміщують на середину діапазону його переміщення 0-L, тобто на відстань $L/2$ від вихідного положення. При цьому здійснюється стабілізація лінійного переміщення рухомого елемента 34 замикаючої плоскої опори.

Блок 63 стабілізації положення рухомого елемента 1 несучої плоскої опори переводиться в режим роботи "Формування масиву величин зазорів стабілізації 2". Для цього перемикач 77 "вкл. - вимк." установлюють у положення "вимк." Диференційні підсилювачі 76 /фіг.15/ відключають від вимірювачів 69, 70, 71, 72 величин зазорів несучої плоскої опори і від виходів напруг зазорів стабілізації положення рухомого елемента 1 цифрового блока 73.

Як і у попередньому випадку у середньому по довжині переміщенні положенні рухомого елемента 1 його установлюють у початкове відносно основи 3 несучої плоскої опори положення шляхом установки під датчиками 20, 21, 22, 23 величин зазорів стабілізації рухомого елемента 1 величин зазорів, рівних заданій $z_{\text{зад}}$, величині цих зазорів $z_{20} = z_{21} = z_{22} = z_{23} = z_{\text{ад}}$. Для цього з пульта цифрового блока 73 виконується пуск підпрограми "Індикація зазорів 2". У відповідності з алгоритмом роботи цієї підпрограми по сигналам цифрового блока 73 комутатори 65, 66, 67, 68 датчиків величин зазорів несучої плоскої опори підключають датчики 20, 21, 22, 23 величин зазорів стабілізації до входів вимірювачів 69, 70, 71, 72 несучої плоскої опори, відповідно.

Цифровий блок 73 з заданою частотою послідовно опитує вимірювачі 69, 70, 71, 72 величин зазорів, перетворює їх вихідні напруги у цифрові двійкові коди величин зазорів і відображає їх на екрані дисплея. За допомогою регульованих гвинтів 11 /фіг.9/ регуляторів 4 і 5 положення рухомого елемента 1 зміщують рухомий елемент 1 по висоті зазору і установлюють під датчиками 20, 21, 22, 23 задані величини зазорів, спостерігаючи їх на екрані дисплея.

Зберігаючи незмінним положення рухомого елемента 1, з пульта цифрового блока 73 виконують пуск підпрограми "Базова згладжуваюча площина".

У відповідності з алгоритмом роботи підпрограми цифровий блок 73 послідовно за допомогою комутаторів 65, 66, 67, 68 /фіг.15/ підключає датчики 18 груп датчиків 24, 25, 26, 27 величин зазорів, утворюючи поле 19 датчиків величин зазорів, до відповідних вимірювачів 69, 70, 71, 72 величин зазорів. Синхронно з підключенням датчиків 18 цифровий блок 73 перетворює вихідні напруги вимірювачів 69, 70, 71, 72 величин зазорів у цифровий двійковий код, формує масив величин зазорів $z_1, z_2, z_3, \dots, z_\alpha, \dots, z_\beta, \dots, z_\gamma, \dots, z_M$ під датчиками 18 поля 19 датчиків, по яким у відповідності з /2/, /3/, /4/, /5/, /6/, /7/ будується рівняння базової згладжуваючої площини рухомого елемента 1:

$$\bar{A}_B x + \bar{B}_B y + C \bar{z} + D_B = 0$$

Рухомий елемент 1 плоскої несучої опори по показанням вимірювача 64 величини лінійного переміщення установлюється у вихідне для переміщення положення $L=0$. З пульта цифрового блока виконують пуск підпрограми "Згладжуваюча площина".

Як і при виконанні попередньої підпрограми цифровий блок 73 послідовно перетворює напруги на виходах вимірювачів 69, 70, 71, 72, які відповідають величинам зазорів під "М" датчиками 18 поля 19 датчиків, у цифровий двійковий код.

По сформованому масиву величин зазорів $z_1(0), z_2(0), \dots, z_\alpha(0), \dots, z_\beta(0), \dots, z_\gamma(0), \dots, z_M(0)$ цифровий блок 73 будує рівняння згладжуваючої поверхні рухомого елемента 1 площини:

$$\bar{A}_{\text{сгл}}(0)x + \bar{B}_{\text{сгл}}(0)y + C \bar{z}(0) + D_{\text{сгл}}(0) = 0$$

З пульта цифрового блока виконують пуск підпрограми "Суміщення згладжуваючої площини з базовою згладжуваючою площиною". У відповідності з алгоритмом роботи підпрограми здійснюється перевірка збігу згладжуваючої площини з базовою згладжуваючою площиною у вихідному для переміщення положенні рухомого елемента 1 по виконанню умов /13/:

$$\bar{A}_{\text{сгл}}(0) = \bar{A}_B, \quad \bar{B}_{\text{сгл}}(0) = \bar{B}_B, \quad D_{\text{сгл}}(0) = D_B.$$

Виконання умов /13/ означає, що у вихідному для переміщення положенні рухомого елемента 1 точки рухомого елемента 1, через які проходить базова згладжуваюча площина, залишилися лежати у цій площині.

Виконується пуск підпрограми "Формування масиву величин зазорів стабілізації 2". У відповідності з

алгоритмом роботи підпрограми цифровий блок 73 за допомогою комутаторів 65, 66, 67, 88 підключає до вимірювачів 69, 70, 71, 72 величин зазорів датчики 20, 21, 22, 23 величин зазорів стабілізації, виконує опитування вимірювачів 69, 70, 71, 72 величин зазорів і перетворює їх вихідні напруги у цифрові двійкові

коди величин зазорів стабілізації $z_{20}^{CT}(0)$, $z_{21}^{CT}(0)$, $z_{22}^{CT}(0)$, $z_{23}^{CT}(0)$, які пересилаються у перші чотири вічка пам'яті масиву величин зазорів стабілізації положення рухомого елемента 1 відносно базової згладжуваної площини.

Цифровий блок 73 опитує також вимірювач 64 величини лінійного переміщення і прив'язує до кодів величин зазорів стабілізації код $L/0$ величини лінійного переміщення рухомого елемента 1, для чого пересилає цей код у п'яте вічко пам'яті масиву величин зазорів стабілізації.

Якщо умови /13/ не виконуються, розраховуються відстані d_{20}^B , d_{21}^B , d_{22}^B , d_{23}^B від центрів основ датчиків 20, 21, 22, 23 величин зазорів стабілізації до базової згладжуваної площини у відповідності з /11/ і

відстані $d_{20}^{CT}(0)$, $d_{21}^{CT}(0)$, $d_{22}^{CT}(0)$, $d_{23}^{CT}(0)$ від центрів основ цих датчиків до згладжуваної площини у відповідності з /12/, які відображаються на екрані дисплея. На основі порівнянь цих відстаней на пульті цифрового блока 73 набирають коди сигналів управління $U_{упр.5}$, $U_{упр.6}$, $U_{упр.7}$, $U_{упр.8}$ на пари 6 регуляторів положення рухомого елемента 1 і адреси пар операційних підсилювачів 74 0101, 0110, 0111, 1000. Так сигнал управління $U_{упр.5}$ і адреса 0101 операційних підсилювачів 74 відповідають парі 6 регуляторів положення, з якою електрично зв'язаний датчик 20 величини зазору стабілізації, а сигнал управління $U_{упр.8}$ і адреса 1000 пари операційних підсилювачів 74 відповідають парі 6 регуляторів положення рухомого елемента 1, з якою електрично зв'язаний датчик 23 величини зазору стабілізації.

З пульта цифрового блока 73 виконують пуск підпрограми "Установка рухомого елемента 2". У відповідності з алгоритмом роботи підпрограми коди сигналів управління у цифровому блоку 73 перетворюються у напруги сигналів управління і надходять на входи операційних підсилювачів 74 у відповідності з установленними адресами, а з їх виходів через перемикача 75 "пряме - вимк. - зворотне" в положенні "пряме" чи "зворотне" надходять на входи диференційних підсилювачів 76. З виходів кожного диференційного підсилювача 76 напруга в протифазі надходить на п'єзостовпи 15 відповідних пар 6 регуляторів положення рухомого елемента 1. Рухомий елемент 1 зміститься відносно основ 2 і 3 несучої плоскої опори.

Методом послідовних наближень, виконуючи пуски підпрограм "Установка рухомого елемента 2", "Згладжуваюча площина", "Суміщення згладжуваної площини з базовою згладжуваючою площиною" при вихідному положенні рухомого елемента 1 суміщають згладжувану площину з базовою згладжуваючою площиною по виконанню умов /13/.

З пульта цифрового блока 73 виконують пуск підпрограми "Формування масиву величин зазорів стабілізації 2". В результаті виконання підпрограми будуть сформовані перші п'ять елементів масиву зазорів стабілізації положення рухомого елемента 1 несучої плоскої опори відносно базової згладжуваної площини.

Корекція положення рухомого елемента 1 відносно базової згладжуваної площини виконується з дискретною стабілізацією $l_{ш2}$, яка, як правило, на один-два порядки менше дискретності стабілізації $l_{ш1}$ по способу опорних зазорів.

Рухомий елемент 1 несучої плоскої опори послідовно встановлюють на першу, другу, ..., j-ю, ..., J=L/ $l_{ш2}$ дискрету стабілізації.

На кожній дискреті стабілізації послідовно виконують описані вище підпрограми "Згладжуваюча площина", "Суміщення згладжуваної площини з базовою згладжуваючою площиною", "Установка рухомого елемента 2", "Формування масиву величин зазорів стабілізації 2".

В результаті у пам'яті цифрового блока 73 буде сформований масив величин зазорів стабілізації рухомого елемента 1 відносно базової згладжуваної площини: $[z_{20}^{CT}(0), z_{21}^{CT}(0), z_{22}^{CT}(0), z_{23}^{CT}(0)]$, $[z_{20}^{CT}(1), z_{21}^{CT}(1), z_{22}^{CT}(1), z_{23}^{CT}(1)]$, ..., $[z_{20}^{CT}(j), z_{21}^{CT}(j), z_{22}^{CT}(j), z_{23}^{CT}(j)]$, ..., $[z_{20}^{CT}(J), z_{21}^{CT}(J), z_{22}^{CT}(J), z_{23}^{CT}(J)]$.

Стабілізація переміщення рухомих елементів 1 і 34 суперпрецизійної лінійної напрямної здійснюється наступним чином.

Блок 78 стабілізації лінійного переміщення рухомого елемента 34 замикаючої плоскої опори в процесі формування масиву /17/ величин зазорів стабілізації функціонував у режимі "Робота". Не змінюючи режиму роботи блока 78 блок 63 стабілізації положення рухомого елемента 1 несучої плоскої опори також переводять у режим "Робота".

Дія цього перемикача 75 "більше - вимк. - менше" установлюють у положення "вимк." і відключають операційні підсилювачі 74 від диференційних підсилювачів 76.

Перемикачі 77 "вкл. - вимк." установлюють у положення "вкл." і підключають до перших входів диференційних підсилювачів 76 виходи відповідних вимірювачів 69, 70, 71, 72 величин зазорів несучої плоскої опори, а до перших входів цих диференційних підсилювачів 76 підключають відповідні виходи напруг зазорів стабілізації цифрового блока 73.

Рухомий елемент 1 установлюють у вихідне для переміщення положення. З пульта цифрового блока 73 виконують пуск підпрограми "Стабілізація рухомого елемента несучої плоскої опори". У відповідності з алгоритмом роботи підпрограми цифровий блок 73 за допомогою комутаторів 65, 66, 67, 68 підключають до вимірювачів 69, 70, 71, 72 величин зазорів датчики 20, 21, 22, 23 величин зазорів стабілізації.

Переміщують рухомий елемент 1 із вихідного положення на задану відстань L рухомий елемент 34 без зміщення по напрямку переміщення разом з рухомих елементом 1, а стабілізація лінійного переміщення рухомого елемента 34 замикаючої плоскої опори виконується автономно у відповідності з підпрограмою "Лінійна стабілізація", яка розглядалася вище.

Двійковий код величини поточного переміщення L/t рухомого елемента 1 несучої плоскої опори з установленною частотою злічується цифровим блоком 73 з вимірювача 64 величини лінійного переміщення і

порівнюється з кодами відстаней до дискрет корекції положення рухомого елемента 1 відносно базової згладжуваної площини, які зберігаються у масиві величин зазорів стабілізації положення рухомого елемента 1:

$L(0), L(1)=l_{ш2}, L(2)=2l_{ш2}, \dots, L(J_2)=J_2 \cdot l_{ш2}$.

При збігу коду величини L/t поточного переміщення рухомого елемента 1 з кодом відстані $L(j)=j \cdot l_{ш2}$, до

j -ї дискрети корекції рухомого елемента і код величини $z_{20}^{CT}(j)$ першого зазору стабілізації рухомого елемента 1, відповідаючий j -й дискреті корекції, перетворюється у цифровому блоку 73 у напругу зазору стабілізації і надходить на другий вхід відповідного диференційного підсилювача 76. На перший вхід цього диференційного підсилювача 76 надходить сигнал з виходу вимірювача 69 величини зазору, відповідаючий поточній величині $z_{20}(t)$ зазору під датчиком 20 величини зазору стабілізації, під яким була виміряна величина першого $z_{20}^{CT}(j)$ зазору стабілізації для 1-ої дискрети корекції /стабілізації/. З виходу диференційного підсилювача 76 сигнал у протифазі надходить на п'єзостовпи 15 пари 6 регуляторів положення, поряд якої установлений датчик 20 величини зазору стабілізації.

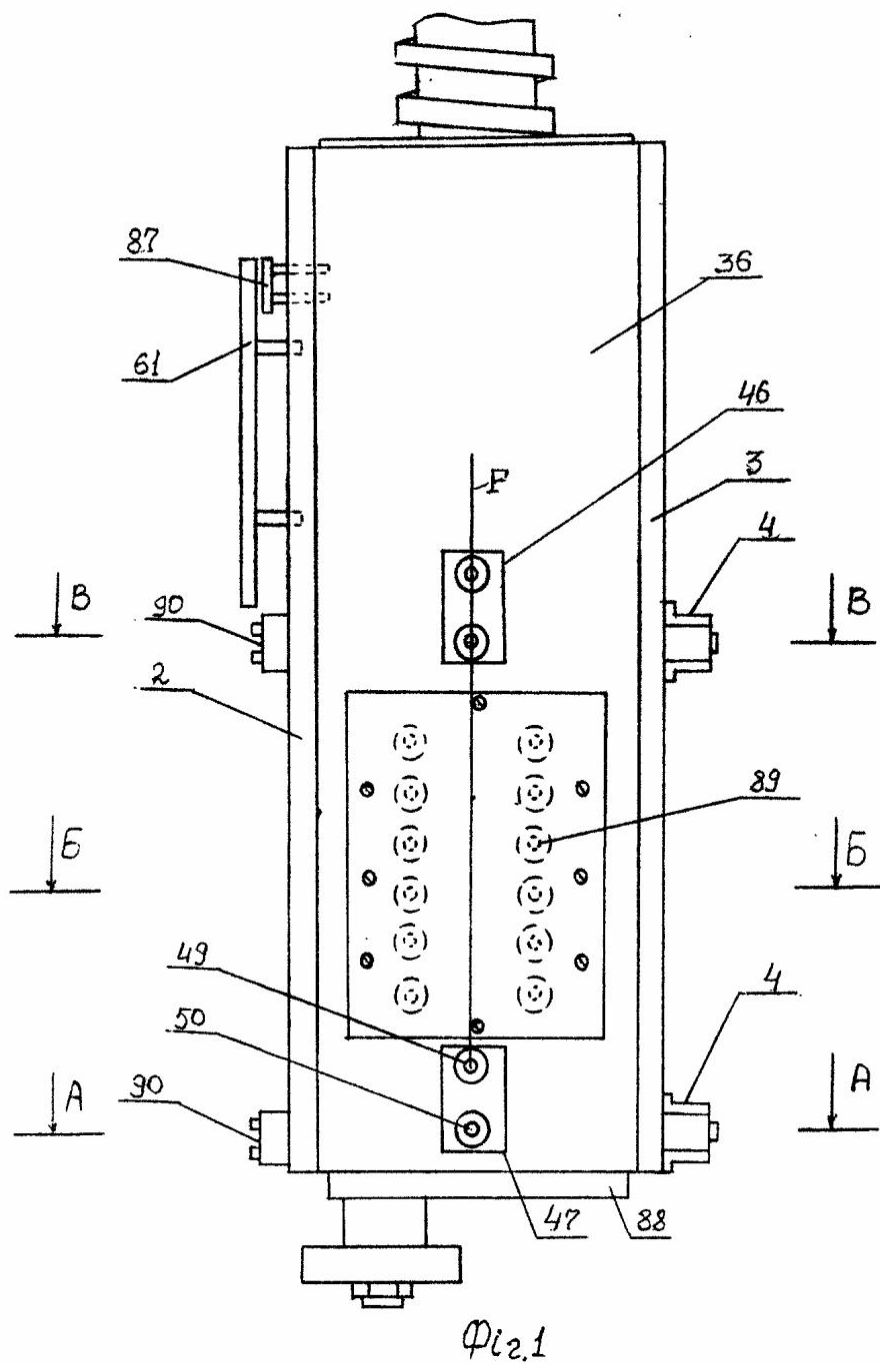
Код величини $z_{21}^{CT}(j)$ другого зазору стабілізації рухомого елемента 1, код величини $z_{22}^{CT}(j)$ третього зазору стабілізації рухомого елемента 1, код величини $z_{23}^{CT}(j)$ четвертого зазору стабілізації положення рухомого елемента 1 також перетворюються у цифровому блоку 73 у напруги зазорів стабілізації і надходять на другі входи відповідних диференційних підсилювачів 76.

На перші входи цих диференційних підсилювачів надходять сигнали вимірювачів 69, 70, 71, 72 величин зазорів, що відповідають поточним величинам зазорів $z_{21}(t), z_{22}(t), z_{23}(t)$ під датчиками 21, 22, 23 величин зазорів стабілізації.

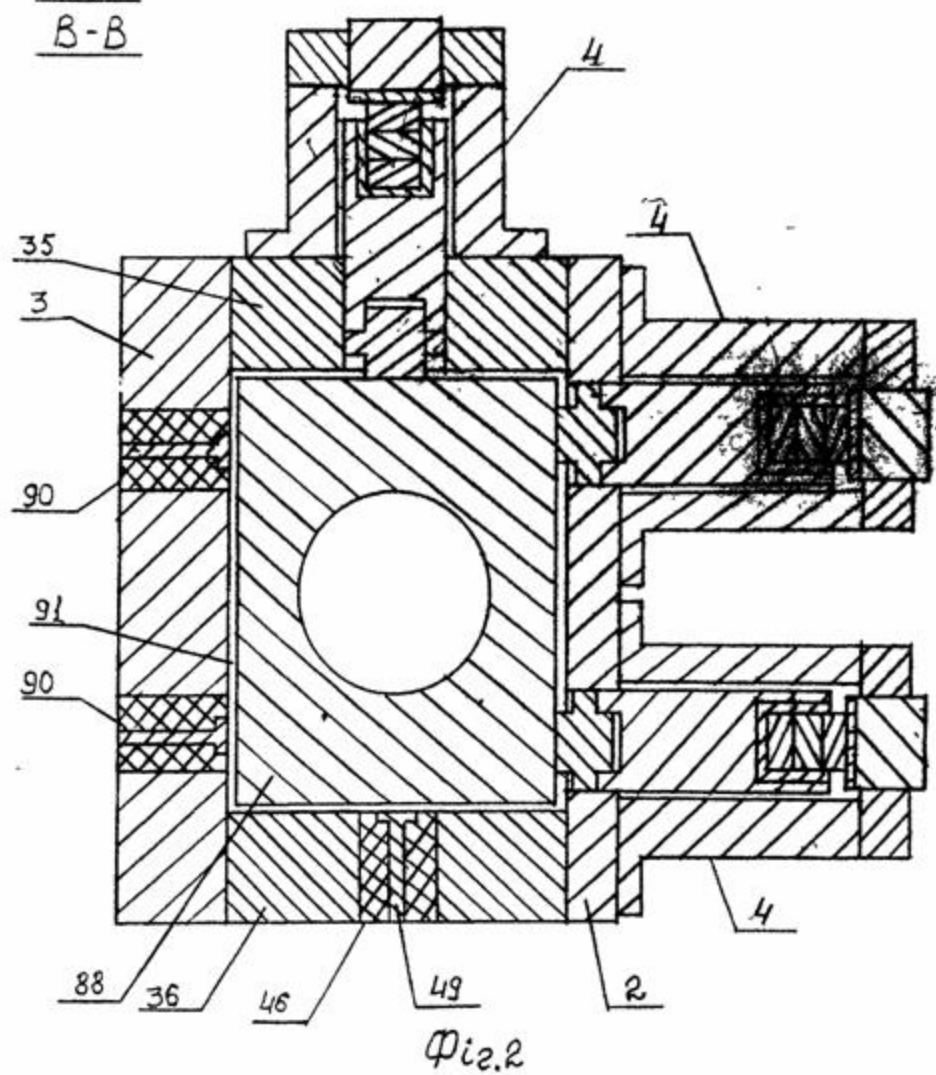
При відхиленні на j -й дискреті корекції положення рухомого елемента 1 відносно базової згладжуваної площини поточних величин зазорів від величин зазорів стабілізації $z_{20}^{CT}(j), z_{21}^{CT}(j), z_{22}^{CT}(j), z_{23}^{CT}(j)$ на виходах диференційних підсилювачів 76 виникають сигнали неузгодження, пропорційні величинам відхилень поточних величин зазорів від зазорів стабілізації, а знаки сигналів неузгодження визначаються знаками цих віддалень. Під впливом сигналів неузгодження пари 6 регуляторів положення рухомого елемента 1 зміщують рухомий елемент 1 і установлюють - на 7-й декреті стабілізації поточні величини зазорів під датчиками 20, 21, 22, 23 величин зазорів стабілізації які дорівнюють величинам зазорів стабілізації.

В результаті точки рухомого елемента 1 несучої плоскої опори суперпрецизійної лінійної напрямної, шарнірно зв'язаного з рухомим елементом 34 замикаючої плоскої опори, і положення якого стабілізується відносно базової згладжуваної площини, будуть пересуватися по прямим, паралельним базовій згладжуваній площині, тобто лінійно з високою точністю.

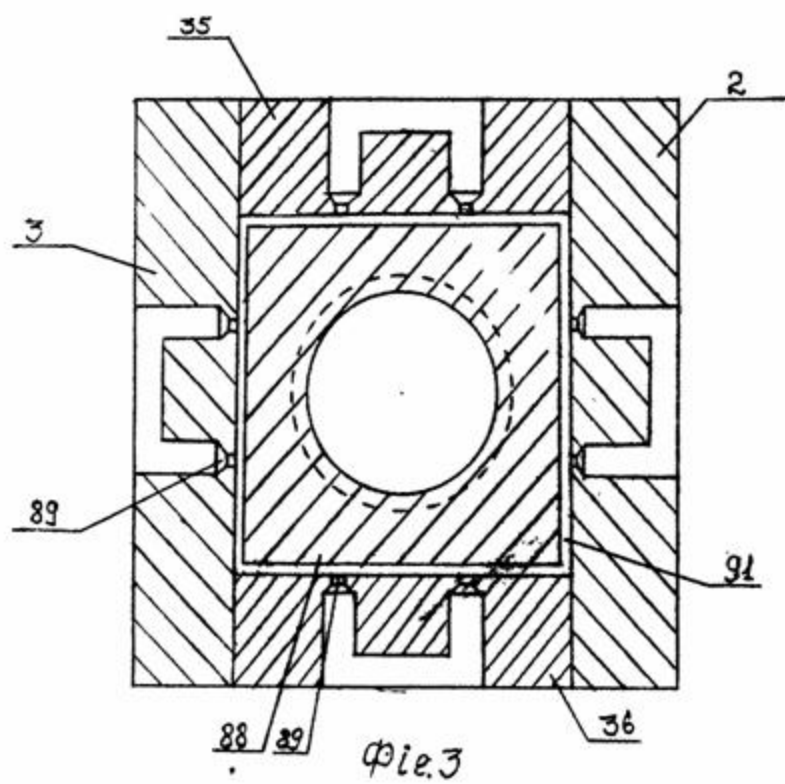
При цьому відхилення рухомого елемента 1 від базової згладжуваної площини може не перевищувати 0,03мм, а нелінійність переміщення рухомого елемента 1 може не перевищувати 0,05мм.

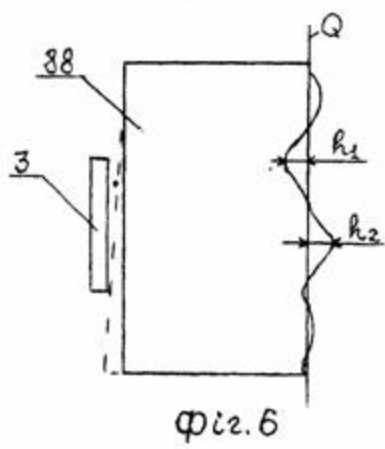
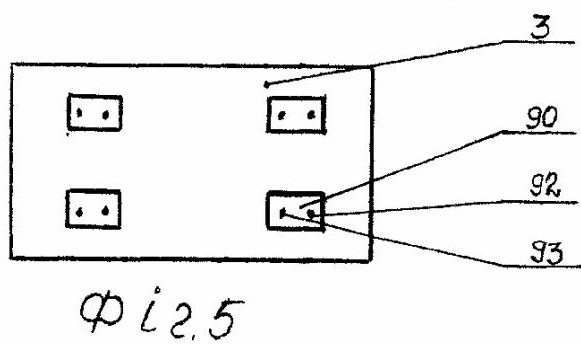
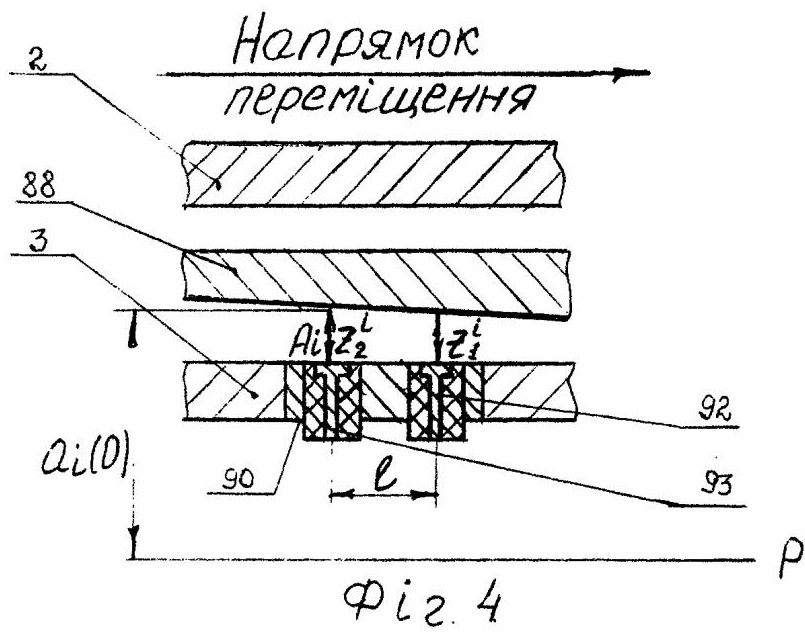


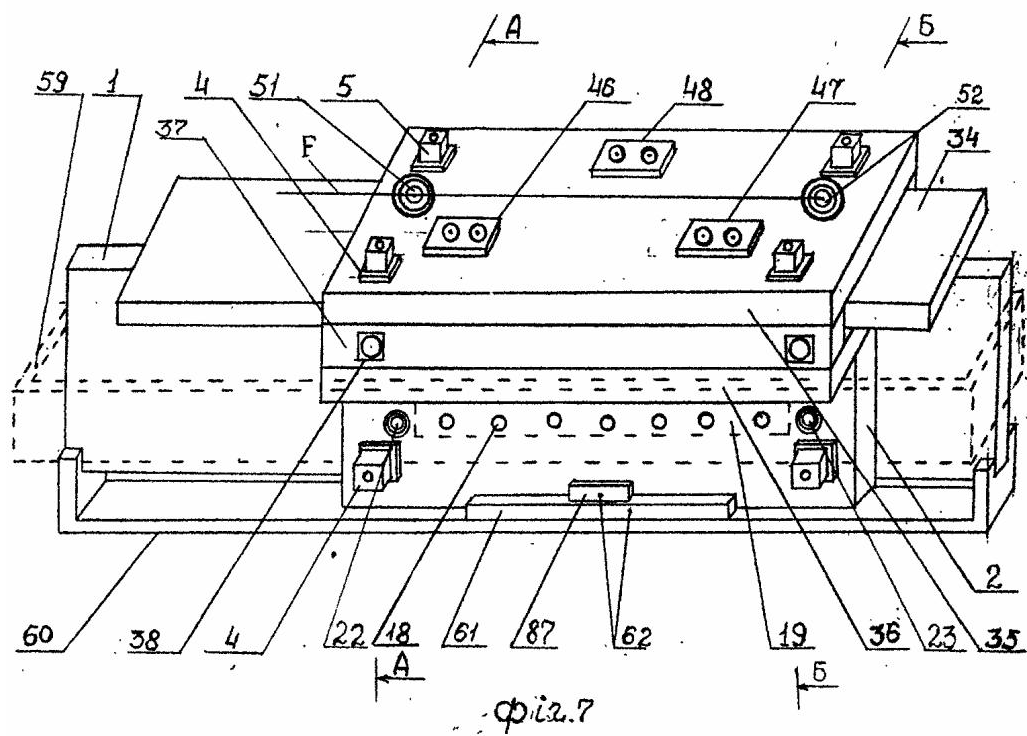
A-A
B-B

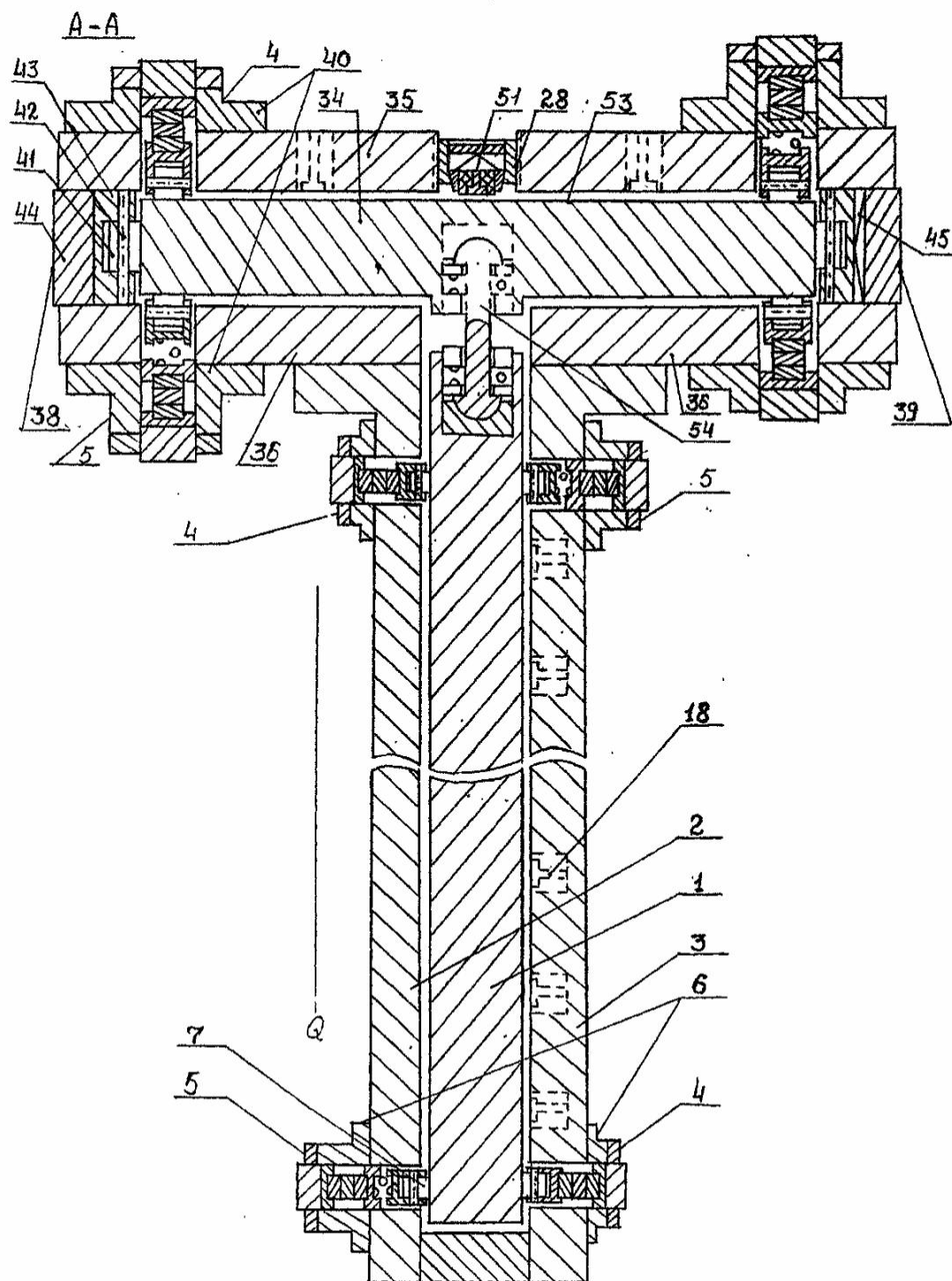


B-B

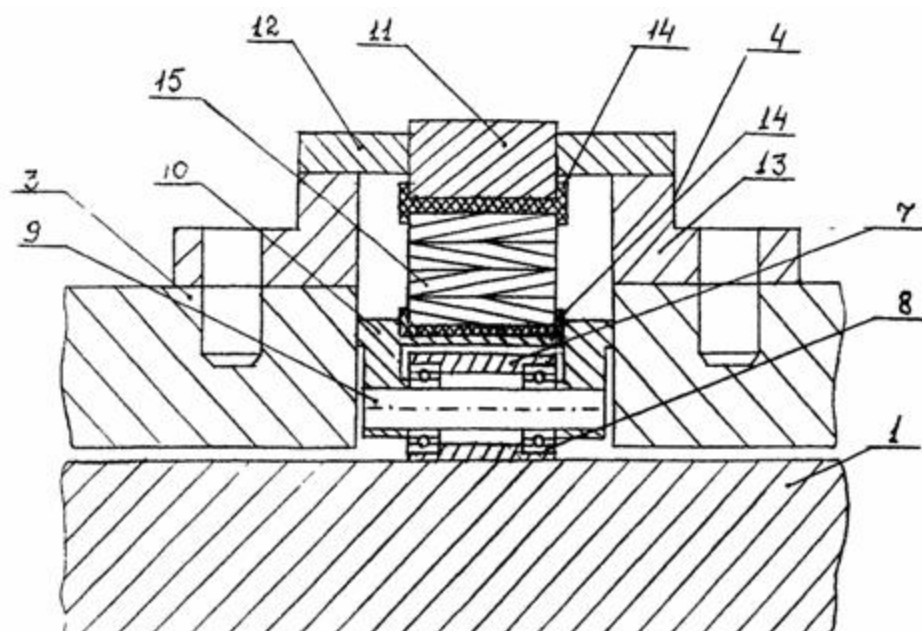




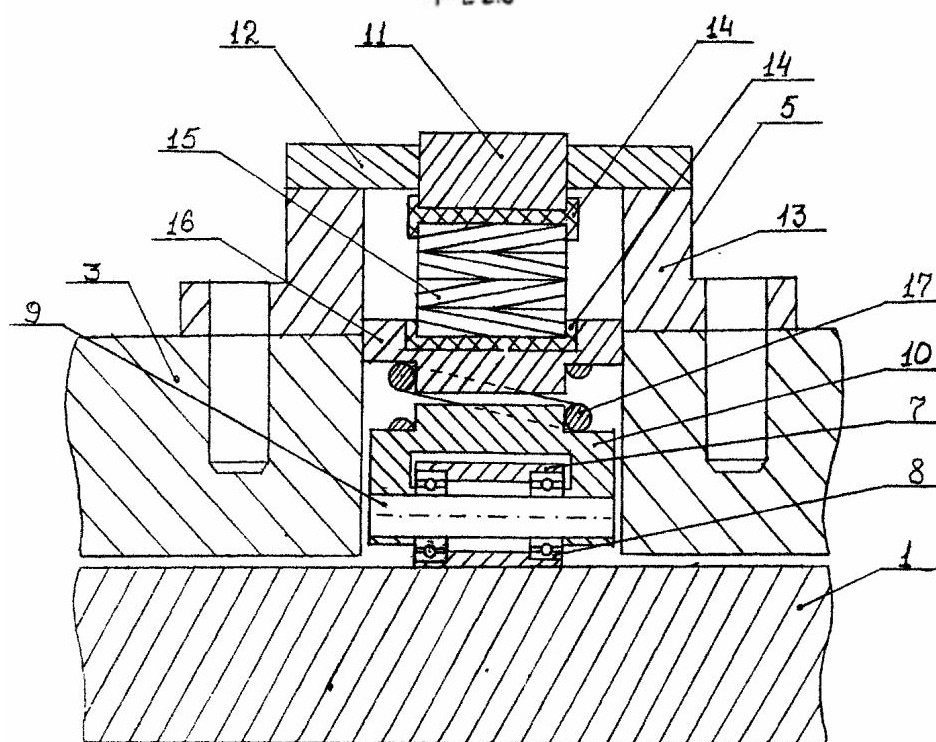




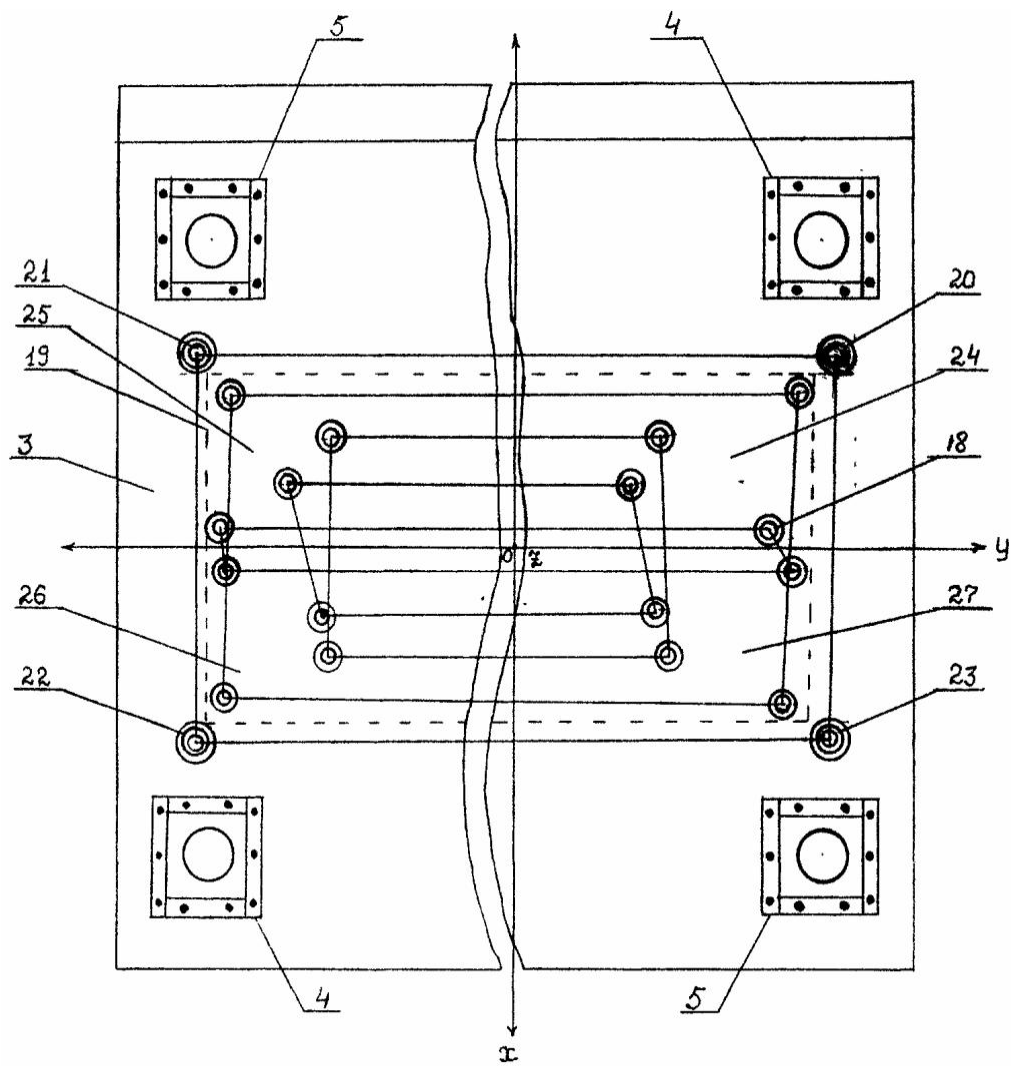
физ.8



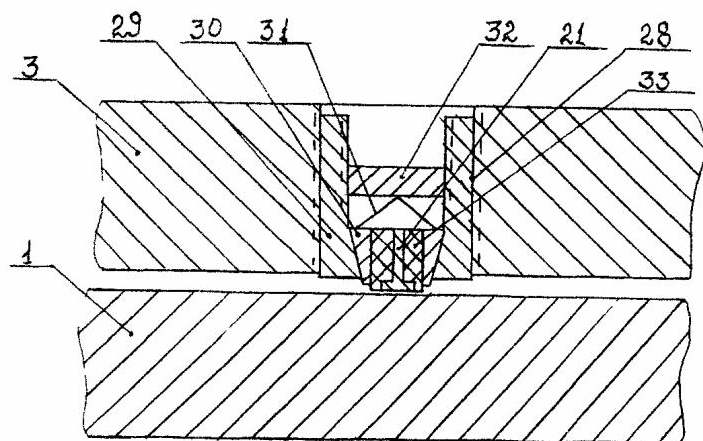
Ф 129



Ф 129.10



Фиг. 11



Фиг. 12

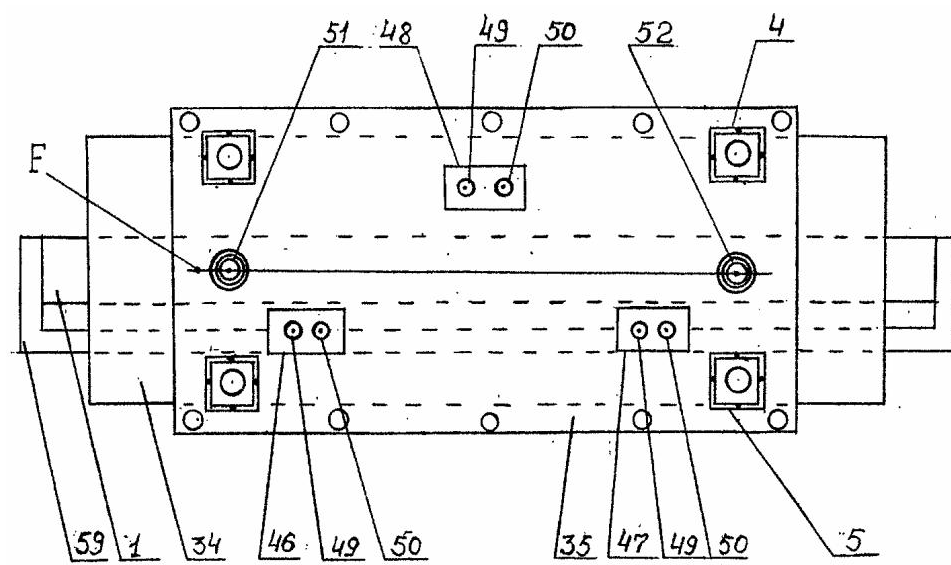
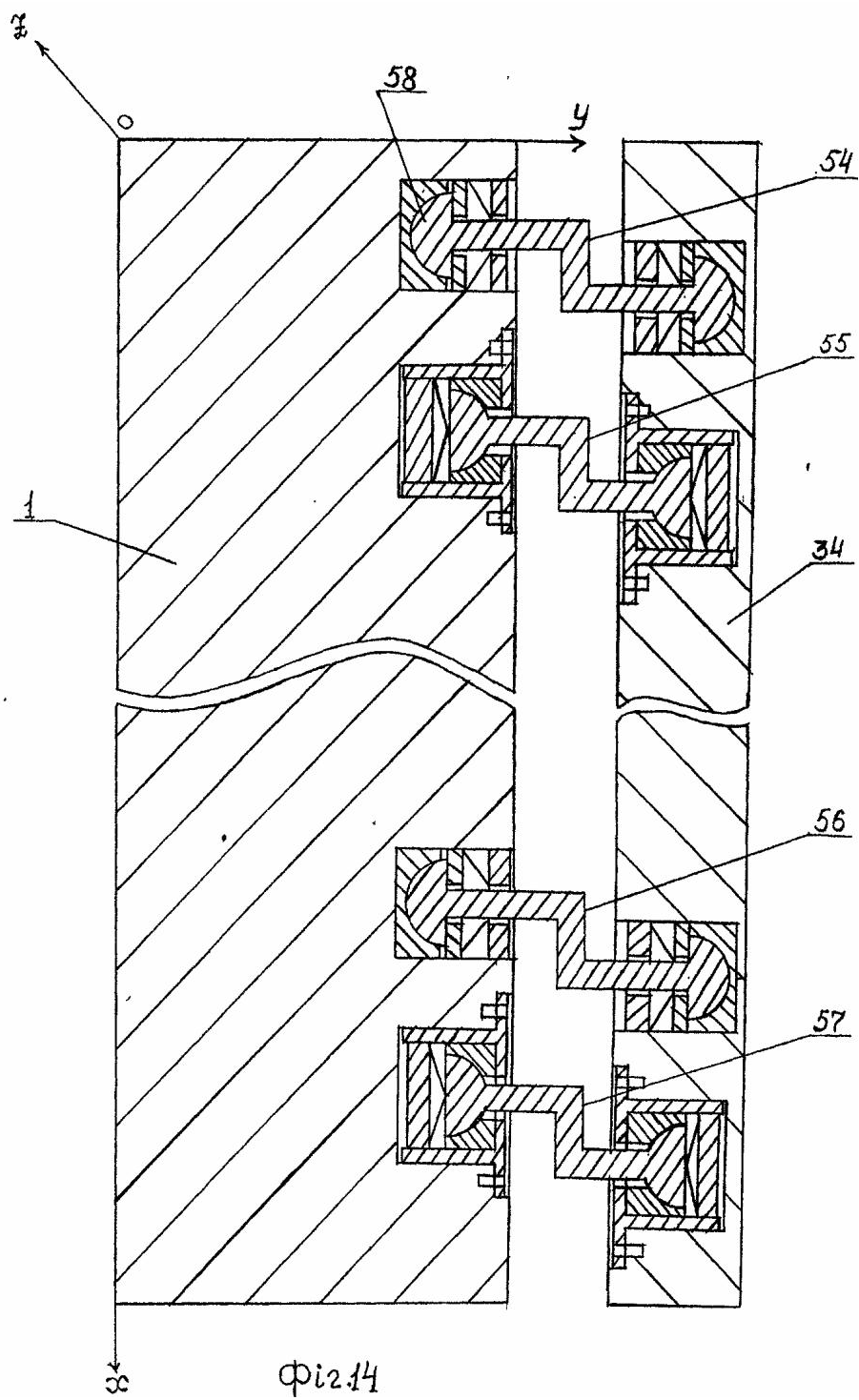
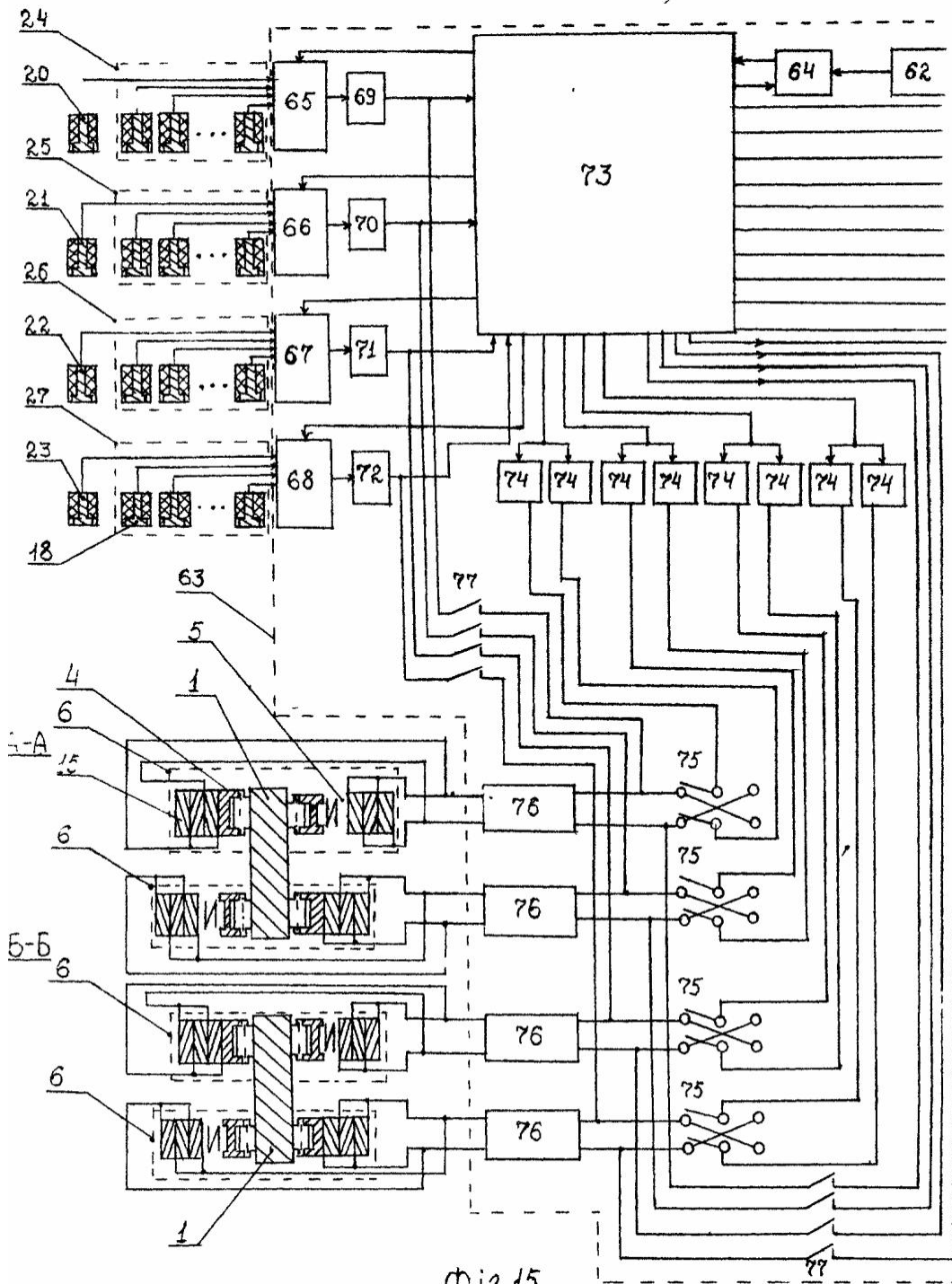
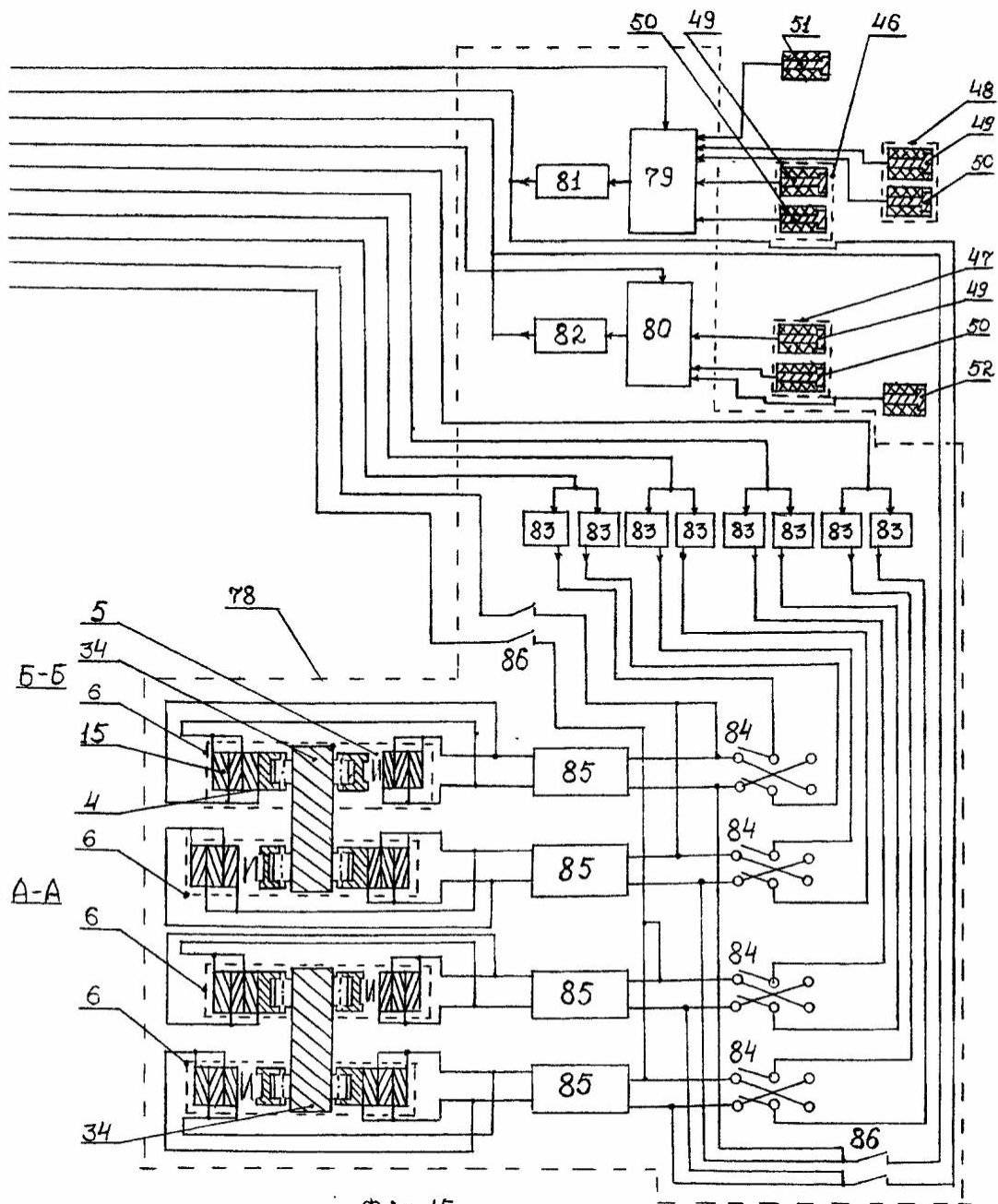


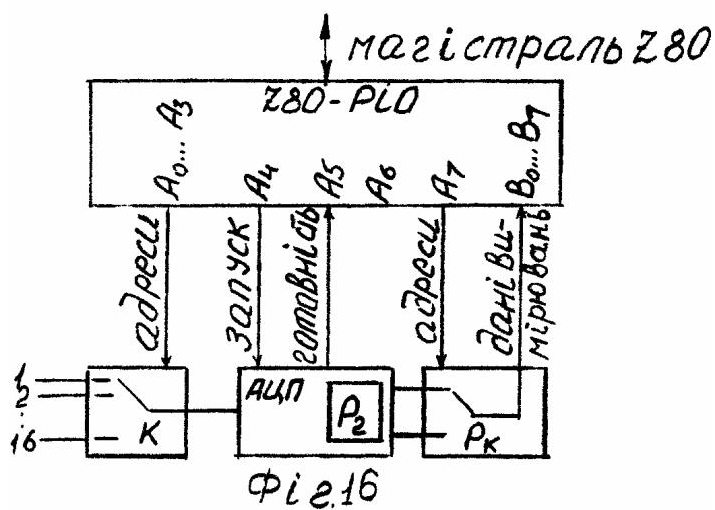
Fig. 13



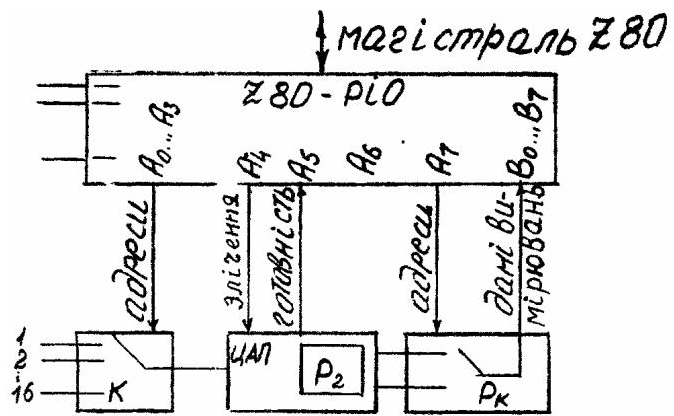




Фиг. 15



Фиг. 16



Фиг. 17