



УКРАЇНА

(19) UA

(11) 61159

(13) C2

(51) 7 G01P15/13

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІОПИС
ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД(54) СПОСІБ ВИМІРЮВАННЯ ПРИСКОРЕННЯ, ПРИСТРІЙ ДЛЯ ЙОГО ЗДІЙСНЕННЯ ТА БЛОК ОБРОБКИ
ДИФЕРЕНЦІЙНИХ СИГНАЛІВ ДЛЯ ПРИСТРОЮ

1

(21) 2001064506

(22) 27 06 2001

(24) 17 11 2003

(46) 17 11 2003, Бюл. № 11, 2003 р.

(72) Шервашидзе Володимир Варлаамович,
Шкляр Володимир Петрович, Леоненко Сергій
Миколайович, Гуменюк Володимир Григорович,
Гаврилюк Володимир Леонідович, Олексієнко
Микола Петрович, Васильєв Володимир Леонідо-
вич(73) ТОВАРИСТВО З ОБМЕЖЕНОЮ ВІДПОВІ-
ДАЛЬНІСТЮ "СПЕЦСЕРВІС"

(56) SU, A1, 1795374, 15 02 1993

RU, C1, 2126161, 10 02 1999

RU, C1, 2063047, 27 06 1996

RU, C1, 2155964, 10 09 2000

US, A, 4512193, 23 04 1985

(57) 1 Спосіб вимірювання прискорення, за яким визначають переміщення інерційного елемента, який розміщують на об'єкті, прискорення якого підлягає вимірюванню, величину переміщення інерційного елемента перетворюють в електричний сигнал, на основі якого шляхом взаємодії його магнітного поля з полем постійного магніта, в якому інерційний елемент під впливом прискорення відхиляється від свого зрівноваженого положення, формують відповідну компенсаційну силу, під дією якої інерційний елемент повертається у первісний зрівноважений стан, по величині якої визначають величину прискорення, який відрізняється тим, що як інерційний елемент використовують чутливий елемент маятникового типу, переміщення якого здійснюється на гнучкому підвісові в зустрічно направлених полях постійних магнітів, а в первісне положення інерційний елемент повертають шляхом спрямування компенсаційної сили через центр ваги інерційного елемента

2 Спосіб за п 1, який відрізняється тим, що інерційний елемент переміщується в магнітному полі додаткового постійного магніта, яке направлене зустрічно до зустрічно спрямованих полів вказаних постійних магнітів

3 Спосіб за пп 1 або 2, який відрізняється тим, що формування компенсаційної сили здійснюють шляхом реєстрації переміщення чутливого елемента у двох точках у формі двох високочастот-

2

них сигналів $u_1 = U_1 \sin \omega t$ та $u_2 = U_2 \sin \omega t$, де U_1 та U_2 - амплітуди високочастотних коливань сигналів відповідно в першій та другій точках, ω - кругова частота живлення, а t - час, вказані сигнали перетворюють відповідно у сигнали $(U_1 - KU_2)$ та $-(U_2 - KU_1)$, де $K < 1$, після чого отримують сумарний сигнал у формі $U_1(1+K) - U_2(1+K)$, в якому амплітуда перетвореного сумарного електричного сигналу пропорційна величині відхилення чутливого елемента, а знак вказує на напрям відхилення

4 Пристрій для вимірювання прискорення, який включає розміщений за допомогою пружного підвісу чутливий елемент маятникового типу, датчик положення, коло зворотного зв'язку електроелектричного силового перетворювача з компенсаційною котушкою та схема для визначення показника прискорення, який відрізняється тим, що чутливий елемент підвішено на гнучкому підвісові, компенсаційна котушка встановлена на чутливому елементі між розміщеними від неї із зазором плоскими постійними магнітами із зустрічною орієнтацією магнітних полів

5 Пристрій за п 4, який відрізняється тим, що на чутливому елементі встановлено постійний магніт, напрям магнітного поля якого зустрічний напрямку зустрічного магнітного поля плоских постійних магнітів

6 Пристрій за пп 4 або 5, який відрізняється тим, що коло зворотного зв'язку містить два активні випрямлячі, кожен з яких має два відповідних входи, причому прямий вхід першого випрямляча з'єднаний із виводом із першої котушки індуктивності диференційного датчика положення чутливого елемента, а інший вхід першого випрямляча з'єднаний із виводом з другої котушки вказаного датчика положення, прямий вхід другого випрямляча з'єднаний з виводом з другої котушки індуктивності, а інший вхід другого випрямляча з'єднаний з виводом з першої котушки індуктивності диференційного датчика положення, виводи від вказаних випрямлячів з'єднані із відповідними входами до суматора

7 Пристрій за пп 4 або 5, або 6, який відрізняється тим, що до схеми визначення показника прискорення входять вимірювальний резистор,

(13) C2

(11) 61159

(19) UA

з'єднаний із входом до буферного підсилювача, який має коло для встановлення необхідного масштабу сигналу на виході пристрою та коло для встановлення нульового сигналу на виході буферного підсилювача при відсутності впливу прискорення на чутливий елемент

8 Пристрій за будь-яким із попередніх пунктів, який відрізняється тим, що на чутливому елементі встановлено пристосування для регулювання положення центра ваги чутливого елемента

9 Пристрій за будь-яким з попередніх пунктів, який відрізняється тим, що гнучкий підвіс для чутливого елемента виготовлено у формі пластинки, ширина якої перевищує її довжину

10 Пристрій за будь-яким з попередніх пунктів, який відрізняється тим, що вказаний підвіс чутливого елемента прикріплено до корпусу пристрою через перехідник за допомогою пружких гнучких балочок, які жорстко прикріплені до корпусу та перехідника та розміщені принаймні в двох паралельних з вимірювальною віссю пристрою площинах, причому пружкість вказаних балочок більша за пружкість підвісу

11 Пристрій за будь-яким з попередніх пунктів, який відрізняється тим, що на корпусі пристрою на рівні центра ваги чутливого елемента паралельно з вимірювальною віссю розміщені обмежувачі

12 Пристрій за будь-яким з попередніх пунктів, який відрізняється тим, що у чутливому елементі вздовж його осі симетрії зроблене заглиблення, а на корпусі пристрою - відповідний виступ

13 Пристрій за будь-яким з попередніх пунктів, який відрізняється тим, що у чутливому елементі вздовж осі, перпендикулярної до осі симетрії чутливого елемента та паралельно з віссю, по якій згинається підвіс, виконане заглиблення, а

на корпусі пристрою - відповідний виступ

14 Пристрій за будь-яким з попередніх пунктів, який відрізняється тим, що гнучкий підвіс виготовлено з міцного, пружкого та гнучкого матеріалу, зокрема з реній-молібденового сплаву

15 Пристрій за будь-яким з попередніх пунктів, який відрізняється тим, що чутливий елемент виготовлено з електропровідного матеріалу

16 Пристрій за будь-яким з попередніх пунктів, який відрізняється тим, що компенсаційна котушка розміщена на чутливому елементі у заглибленні таким чином, що вона знаходиться на одному рівні із зовнішньою поверхнею чутливого елемента

17 Пристрій за будь-яким з попередніх пунктів, який відрізняється тим, що котушки індуктивності диференційного датчика положення чутливого елемента розміщені на рівні вільного кінця чутливого елемента

18 Блок обробки диференційних сигналів, який містить перетворювач, який відрізняється тим, що як перетворювач містить два випрямлячі, кожен з яких має по два входи для диференційних сигналів, прямий вхід першого випрямляча призначений для з'єднання з виводом від першого датчика диференційних сигналів, а інший вхід першого випрямляча - для з'єднання із виводом від другого датчика диференційних сигналів, прямий вхід другого випрямляча призначений для з'єднання із виводом від другого датчика диференційних сигналів, а інший вхід другого випрямляча призначений для з'єднання із виводом від першого датчика диференційних сигналів, виводи від першого та другого випрямлячів з'єднані із входами до суматора

19 Блок за п 18, який відрізняється тим, що вивід з суматора з'єднаний з підсилювачем

Винахід відноситься до вимірювальної техніки, зокрема до вимірювання параметрів руху, наприклад лінійного прискорення, і може бути використаний в різноманітних інерційних приладах та системах для автономного орієнтування та навігації транспортних засобів та об'єктів робототехніки, для топогеодезичного забезпечення будівництва тунелів, шахт, при укладці трубопроводів, бурінні свердловин, для оцінки стану гальмівних систем різноманітних транспортних засобів, залізничних колій, при роботі вказаних приладів та систем в умовах з високим рівнем радіації, температури та перевантаження. Проте можливі сфери використання винаходу не обмежуються лише вказаними вище

Серед різноманітних способів вимірювання прискорення значне місце посідають такі, які здійснюються за допомогою компенсаційних акселерометрів, як це описано, наприклад, у а с СРСР 1795374, G01P15/13, 15/08, 1993 та патенті РФ 2126161, G01P15/13, 1999, перший з яких можна вважати за найближчий аналог. Суть цього вимірювання полягає в тому, що коли об'єкт

переміщується з прискоренням, то на чутливий елемент пристрою для вимірювання прискорення, який встановлюють на вказаному об'єкті, починає діяти інерційна сила, під впливом якої чутливий елемент відхиляється від свого урівноваженого положення. Це відхилення перетворюють в електричний сигнал, з якого формують компенсаційний сигнал і подають його до компенсаційного датчика сили, зусиллям якого зрівноважується інерційна сила, а чутливий елемент знову повертається в первісне положення. Сила струму в компенсаційному датчику пропорційна величині інерційної сили, а отже і прискоренню

Потреба в нових способах вимірювання прискорення актуальна, оскільки технічні параметри, умови застосування відомих способів вимірювання лінійного прискорення, в тому числі способу-прототипу, залежать від багатьох факторів, пов'язаних, наприклад, із переміщенням чутливого елемента та фіксації його відхилення, умовами формування компенсаційної сили та реалізації зворотного компенсаційного впливу на чутливий

елемент тощо

Відомо, що пристрої для вимірювання прискорення можна застосовувати для визначення не лише лінійного прискорення, але і швидкості (при наявності інтегратора), а також переміщення (при наявності пристрою, який двічі інтегрує прискорення)

Існують різноманітні типи пристроїв для вимірювання прискорення, які в залежності від структури бувають компенсаційні чи з прямим перетворювачем, а в залежності від типу підвісу інерційної маси їх розрізняють як маятникові чи осьові. Вони розрізняються також типами датчиків положення, видами вихідних сигналів, способами прикріплювання та властивостями чутливого елемента тощо

В сучасних умовах широко використовуються маятникові компенсаційні акселерометри. Вони являють собою автоматизовані компенсаційні системи із негативним зворотним зв'язком, в яких, як відомо, різко зменшується похибка, пов'язана безпосередньо з чутливим елементом, підвищується лінійність перетворення, розширюється діапазон вимірювань

Прикладами компенсаційних пристроїв для вимірювання прискорення з чутливим елементом маятникового типу є акселерометри, які описані в патентах РФ 2138822, G01P15/13, 1999, 2041465, G01P15/13,15/08, 1995, 2063047, G01P15/08, 1996. Останній можна вважати за найближчий аналог. Цей пристрій має плоский чутливий елемент маятникового типу, розміщений у корпусі на пружкому підвісові, перетворювач переміщення, вузол силової компенсації, який складається з двох магнітних систем з додатковим постійним магнітом, причому основні та додаткові магніти виготовлені з різних плавів. У вказаному пристрої робочий магнітний потік створюють постійним магнітом з полюсним наконечником та магнітопроводом з осердям, а щоб забезпечити довготривалу стабільність магнітного потоку, вводять додаткові магніти, причому основні і додаткові магніти виготовляють із різних плавів, магнітні індукції яких змінюються з часом у протилежних напрямках. Чутливий елемент та підвіс виготовляють із суцільної заготовки з кварцу.

Вказані вище аналоги, а також прототип, мають свої переваги, але і певні технічні обмеження, що спонукає до розробки нових пристроїв для вимірювання параметрів руху, зокрема лінійного прискорення.

Пристрої для вимірювання прискорення компенсаційним способом містять, як правило, блок для обробки електричних сигналів, зокрема такий, що перетворює змінну напругу на постійну. Відомо безліч таких перетворювачів, один з яких описаний, наприклад, в патенті РФ 2126161, G01P15/13, 1997, який можна вважати за прототип. Він являє собою блок для обробки диференціальних сигналів, які поступають до нього від диференційного датчика положення. Вказаний блок перетворює високочастотний змінний сигнал, амплітуда якого пропорційна куту переміщення чутливого елемента, а фаза залежить від напрямку відхилення чутливого елемента, на струм зворотного зв'язку, який у цілому пропорційний

прискоренню, причому разом з вказаним струмом зворотного зв'язку на виході пристрою є високочастотний сигнал, коливання якого усувають фільтром.

Задачею винаходу є новий точний спосіб вимірювання прискорення у широкому діапазоні.

Іншою задачею винаходу є надійний, конструктивно простий, чутливий пристрій для вимірювання прискорення, який з високою точністю здатний вимірювати прискорення у широкому діапазоні, в тому числі при перевантаженні, високих температурах та рівнях радіації.

Ще одна задача полягає в розробці блоку для обробки диференціальних сигналів для його використання в пристроях для вимірювання прискорення, а також при вирішенні інших задач.

Вказана задача втілена у способі вимірювання прискорення, за яким визначають переміщення інерційного елемента, який розміщується на об'єкті, прискорення якого підлягає вимірюванню, величину переміщення інерційного елемента перетворюють в електричний сигнал, на основі якого шляхом взаємодії його магнітного поля з полем постійного магніту, в якому інерційний елемент під впливом прискорення відхиляється від свого врівноваженого положення, формують відповідну компенсаційну силу, під дією якої інерційний елемент повертається у первісний врівноважений стан, по величині якої визначають величину прискорення, у якому новим є те, що як інерційний елемент використовують чутливий елемент маятникового типу, переміщення якого здійснюється на гнучкому підвісові в зустрічне напрямлених полях постійних магнітів, а в первісне положення інерційний елемент повертають шляхом спрямовування компенсаційної сили через центр ваги інерційного елемента.

Окрім того, у новому способі інерційний елемент переміщується в магнітному полі додаткового постійного магніту, яке направлене зустрічне до зустрічного спрямованих полів вказаних постійних магнітів.

Формування компенсаційної сили здійснюють шляхом реєстрації переміщення чутливого елемента у двох точках у формі двох сигналів $u_1 = U_1 \sin \omega t$ та $u_2 = U_2 \sin \omega t$, де U_1 та U_2 - амплітуди високочастотних коливань сигналів відповідно в першій та другій точках, ω - кругова частота живлення котушок, а t - час, вказані сигнали перетворюють відповідно у сигнали $(U_1 - KU_2)$ та $(U_2 - KU_1)$, де $K < 1$, після чого отримують сумарний сигнал у формі $U_1(1+K) - U_2(1+K)$, в якому амплітуда перетвореного сумарного електричного сигналу пропорційна величині відхилення інерційного елемента, а знак вказує на напрямок відхилення.

Інша задача винаходу втілена у пристрої для вимірювання прискорення, до якого входять розміщений за допомогою пружкого підвісу чутливий елемент маятникового типу, датчик положення, коло зворотного зв'язку електромагнітного силового перетворювача з компенсаційною котушкою та схема для визначення показника прискорення, у якому новим є те, що чутливий елемент підвішений на гнучкому підвісові, компенсаційна котушка встановлена на чутливому елементі між розміщеними від неї із зазором плоскими постій-

ними магнітами із зустрічною орієнтацією магнітних полів. Такі конструктивні особливості пристрою зумовлюють мінімальний робочий простір і одночасно забезпечують високу швидкість зміни сили магнітної індукції в ньому, а отже високі технічні показники і водночас простоту, надійність та малі габарити пристрою.

На чутливому елементі встановлено постійний магніт, напрям магнітного поля якого зустрічний напрямку зустрічного магнітного поля між плоскими постійними магнітами, які розміщені на корпусі пристрою, що посилює центрівку чутливого елемента.

Точність пристрою підвищується, якщо коло зворотного зв'язку містить два активні випрямлячі, кожен з яких має два відповідних входу, причому прямий вхід першого випрямляча з'єднаний із виводом з першої котушки індуктивності диференційного датчика положення чутливого елемента, а інший вхід першого випрямляча з'єднаний із виводом з другої котушки вказаного датчика положення, прямий вхід другого випрямляча з'єднаний з виводом з другої котушки індуктивності, а інший вхід другого випрямляча з'єднаний із виводом з першої котушки індуктивності диференційного датчика положення, виводи від вказаних випрямлювачів з'єднані з відповідними входами до суматора.

До схеми визначення показника прискорення входять вимірювальний резистор, з'єднаний із входом до буферного підсилювача, який має коло для встановлення необхідного масштабу сигналу на виході пристрою та коло для встановлення нульового сигналу на виході буферного підсилювача при відсутності впливу прискорення на чутливий елемент.

На чутливому елементі встановлено пристосування для регулювання положення центра ваги чутливого елемента.

Підвіс складається принаймні з однієї пластинки, а краще з набору пластинок, ширина кожної з яких перевищує її довжину. Гнучкий підвіс виготовлено з міцного та пружкого матеріалу, зокрема з реній-молібденового сплаву. Чутливий елемент виготовлено з електропровідного матеріалу.

Для роботи в умовах з високим рівнем перевантаження підвіс чутливого елемента закріплюють не безпосередньо на корпусі, а через перехідник з принаймні трьома гнучкими балочками, розміщеними принаймні в двох паралельних з вимірювальною віссю пристрою площинах, протилежні кінці яких жорстко закріплені на корпусі та на перехіднику, причому пружкість балочок перевищує пружкість підвісу чутливого елемента.

Для зменшення деформаційної сили, яка діятиме на підвіс у напрямку вісі Y , на корпусі пристрою на рівні центра ваги чутливого елемента паралельно з вимірювальною віссю, розміщені обмежувачі.

Для обмеження переміщення чутливого елемента в площині XOZ застосовані обмежувачі вздовж вісі Z , для чого у чутливому елементі біля його центра маси зроблене вздовж вісі X заглиблення, а на корпусі пристрою - відповідний виступ, а також вздовж вісі X , для чого у чутливому

елементі біля його центра ваги зроблено вздовж вісі Z заглиблення, а на корпусі - відповідний виступ.

Все це обмежує деформаційний вплив на пружкий гнучкий підвіс чутливого елемента під дією на корпус зовнішнього ударного навантаження у будь-якому напрямку, що захищає його від незворотної деформації та ушкодження.

Компенсаційна котушка виконана у формі плоскої індукційної котушки, розміщеної на чутливому елементі у заглибленні таким чином, що вона знаходиться на одному рівні із зовнішньою поверхнею чутливого елемента.

Котушки індуктивності диференційного датчика положення чутливого елемента розміщені на рівні вільного кінця чутливого елемента.

Ще одна задача втілена у блоці для обробки диференційних сигналів, який містить перетворювач, у якому новим є те, що він містить два випрямлячі, кожен з яких має по два входи для диференційних сигналів, прямий вхід першого випрямляча призначений для з'єднання з виводом від першого датчика диференційних сигналів, а інший вхід першого випрямляча - для з'єднання з виводом від другого датчика диференційних сигналів, прямий вхід другого випрямляча призначений для з'єднання із виводом від першого датчика диференційних сигналів, виводи від першого та другого випрямлячів з'єднані зі входами суматора. При потребі вивід з суматора з'єднують з підсилювачем. Використання у пристрої для вимірювання прискорення блока для обробки диференційних сигналів, в якому реалізується вказана нова методика обробки сигналів, істотно підвищує точність вимірювання прискорення.

На фіг 1 представлена загальна схема пристрою для вимірювання прискорення.

На фіг 2 показаний в площині XOY приклад вібростійкого закріплення підвісу через перехідник.

На фіг 3 представлені в площині XOZ , перпендикулярній вимірювальній вісі Y пристрою, інші елементи системи віброзахисту.

На фіг 4 показана електрична схема пристрою.

Далі суть винаходу пояснюється детальніше.

Пристрій для вимірювання прискорення (фіг 1) складається з корпусу 1, в якому на пружкому підвісові 2 розміщений чутливий елемент 3 маятникового типу у вигляді тонкої прямокутної пластини з струмопровідного матеріалу, наприклад із алюмінієвого сплаву Діб. На внутрішній боковій стінці корпусу 1 встановлені один проти іншого постійні магніти 4 плоскої форми із зустрічною орієнтацією магнітних полів та підключені по мостовій схемі індукційні котушки 5, 6 датчика положення, у якості якого може бути використаний, наприклад, диференційний датчик положення Живлення вказаних котушок 5, 6 здійснюється за допомогою високочастотного генератора 7 (фіг 2). Краще коли вказані індукційні котушки розміщуються на рівні вільного кінця чутливого елемента 3.

Виводи від індукційних котушок 5, 6 диференційного датчика положення з'єднані з відповідними входами до блоку 8 для обробки сигналів та формування відповідної компенсаційної сили для здійснення зворотного зв'язку будь-яким відповідним відомим магнітоелектричним силовим перетворювачем. Проте краще це здійснювати шляхом обробки диференційних сигналів, які поступають від вказаних котушок 5, 6 датчика положення так, як це описано далі. Блок 8 можна встановлювати як у корпусі 1 пристрою, так і поза ним. В останньому випадку розширюються можливості застосування пристрою для вимірювання прискорення, в тому числі в умовах з високим рівнем радіації та температури.

На чутливому елементі 3, краще на його вільному кінці, розміщено додатковий постійний магніт 9, напрямком силових ліній якого зустрічний до напрямку зустрічних полів розміщених на корпусі 1 постійних магнітів 4. Завдяки такому взаємному розміщенню магнітів 4 та магніту 9 здійснюється центровка положення чутливого елемента 3 відносно корпусу 1 пристрою.

На чутливому елементі 3 у полі постійних магнітів 4, тобто між розміщеними на корпусі постійними магнітами 4, встановлена компенсаційна котушка 10, краще у вигляді плоскої індукційної котушки 10, обмотка якої зроблена, наприклад з мідного проводу, причому вказана котушка 10 розміщена в корпусі чутливого елемента у заглибленні так, що вона знаходиться на одному рівні із зовнішньою поверхнею чутливого елемента. Подача живлення на індукційну обмотку компенсаційної котушки 10 здійснюється через металічний підвіс 2 чутливого елемента 3.

Окрім того, на чутливому елементі 3 розміщують пристосування 11, наприклад у формі гвинта чи втулки, для корекції положення центра ваги чутливого елемента 3 таким чином, щоб через нього спрямовувалась компенсаційна сила від компенсаційної котушки 10. Пристосування 11 можна розмішувати на чутливому елементі 3 так, щоб його вісь збігалась з віссю симетрії чутливого елемента 3, проте це не є обов'язковим. Більшою може бути також кількість вказаних гвинтів чи втулок.

Підвіс 2 для чутливого елемента 3 виготовляють у вигляді однієї або кількох тонких пластинок прямокутної форми, які за один кінець жорстко прикріплюють до чутливого елемента 3, а за інший - до корпусу 1 пристрою безпосередньо так, як це показано на фіг. 1, або за допомогою системи віброзахисту, як представлено на фіг. 2 та 3. Підвіс 2 має таку особливість, що пружкі елементи підвісу 2 (одна пластинка чи набір пластинок) "працюють" на згинання. Гнучкі пластинки 2 виготовляють з матеріалів, яким також властиві високі міцність та пружкість. Це може бути, наприклад, рений-молибденовий сплав. Інша особливість підвісу полягає в тому, що довжина, ширина та товщина кожної з пластинок приблизно співвідносяться як 5:15:1. Це істотно підвищує власну частоту коливань підвісу та покращує динамічні властивості пристрою.

Вказаний підвіс 2 у формі пластинки можна прикріплювати до корпусу 1 пристрою через пе-

рехідник 12 за допомогою пружких гнучких балочок 13, які розміщують паралельно до вимірюваної вісі Y, причому їх жорстко прикріплюють одним кінцем до корпусу 1, а іншим - до перехідника 12. Ці балочки повинні розміщуватися принаймні в двох площинах, а кількість балочок 13 має бути не меншою за три (на фіг. 3 показані кінці 14 від чотирьох балочок 13). Пружкість балочок 13 повинна перевищувати пружкість підвісу 2 чутливого елемента 3. Таке розміщення та властивості балочок 13 дозволятимуть перехіднику 12 переміщуватися під впливом ударних сил, які діятимуть на корпус 1 у площині XOZ, перпендикулярній до вимірюваної вісі, що зменшуватиме навантаження на підвіс 2 чутливого елемента 3.

Для обмеження переміщення чутливого елемента 3 в площині XOZ застосовані обмежувачі вздовж вісі Z, для чого у чутливому елементі біля його центра ваги вздовж вісі X (паралельно вісі симетрії чутливого елемента та перпендикулярно до вісі, по якій підвіс згинається) зроблено заглиблення 15, а на корпусі - відповідний виступ 16, а також вздовж вісі X, для чого у чутливому елементі 3 біля його центра ваги вздовж вісі Z (паралельно з віссю, по якій згинається підвіс, та перпендикулярно до вісі симетрії чутливого елемента) зроблено заглиблення 17, а на корпусі пристрою - відповідний виступ 18.

Для зменшення деформаційної сили, яка діятиме на підвіс 2 вздовж вісі Y, на корпусі 1 на рівні центра ваги чутливого елемента 3 розміщені обмежувачі 19, які жорстко закріплюються на корпусі після встановлення необхідного зазору між вказаними обмежувачами 19 та чутливим елементом 3.

Постійні магніти 4 на корпусі пристрою та постійний магніт 8 на чутливому елементі 3 краще виготовляти з сплавів, які мають високі магнітні властивості та проявляють стабільність в широкому діапазоні температур. Таким матеріалом може бути, наприклад, самарій-кобальтовий сплав.

Блок 8 (фіг. 4) - це може бути будь-який відповідний пристрій аналогового типу для обробки диференційних сигналів, зокрема він може складатися з двох випрямлячів 20 та 21, які зроблені по схемі активного випрямлення високочастотного електричного сигналу. Кожен з випрямлячів 20 і 21 має по два відповідних входа. Прямий вхід - для з'єднання зі входом від однієї котушки індуктивності диференційного датчика положення чутливого елемента, а інший - для з'єднання з іншою котушкою цього ж датчика положення. Зокрема, прямий вхід випрямляча 20 з'єднаний із виводом від котушки 5 датчика положення, а інший - з виводом від котушки 6. І навпаки, прямий вхід до випрямляча 21 з'єднаний з виводом з котушки 6 датчика положення, а інший - з виводом від котушки 5 того ж датчика положення чутливого елемента. Амплітуда електричного сигналу на виході з випрямляча 20 залежить не лише від амплітуди сигналу з котушки 5, але і від різниці між амплітудами сигналів від котушок 5 та 6, а амплітуда сигналу на виході з випрямляча 21 залежатиме від амплітуди сигналу з котушки 6 та

від різниці між амплітудами сигналів з котушок 5 та 6. Виводи активних випрямлячів 20 та 21 пов'язані зі входами до суматора 22, на виході якого амплітуда електричного сигналу пропорційна величині відхилення чутливого елемента, а знак вказує на напрямок відхилення. При потребі, вивід суматора 22 з'єднують зі входом до підсилювача 23.

Навантаженням суматора 22-підсилювача 23 є послідовно з'єднані компенсаційна котушка 10 магнітоелектричного силового перетворювача та вимірювальний резистор 24 з паралельно увімкнутим конденсатором 25. Стала часу RC-кола, до якого входять паралельно увімкнуті резистор 24 та конденсатор 25, дорівнює $T=RC$. Стала

часу T відповідає частоті $f = \frac{1}{2\pi T}$. Частота f дорівнює верхній частоті вимірюваних прискорень.

Вимірювальний резистор 24 ($R_{\text{вим}}$) з'єднаний зі входом до буферного підсилювача 26, який має коло для встановлення на виході пристрою для вимірювання прискорення необхідного масштабу сигналу за допомогою резистора 27 ($R_{\text{масшт}}$) та коло для встановлення нульового сигналу за допомогою коригуючого резистора 28 ($R_{\text{кориг}}$) на виході буферного підсилювача 26 при відсутності впливу прискорення на чутливий елемент 3. Живлення на резистор 28 подається від високостабільного джерела струму (на фігурах не показано).

Пристрій для вимірювання прискорення працює таким чином.

Під дією на пристрій лінійного прискорення інерційна маса чутливого елемента 3 буде зміщуватися у напрямку прискорення відносно положення, яке чутливий елемент 3 займає у корпусі 1 у стані рівноваги, що визначатиметься новим взаємним положенням чутливого елемента 3 та індукційних котушок 5 та 6 датчика положення чутливого елемента, живлення до яких надходить від високочастотного генератора 7. Сигнали від котушок 5, 6 диференційного датчика положення поступатимуть на вхід до блоку 8 для обробки: випрямлення його у постійний по формі і змінний за знаком сигнал, підсилення та перетворення його на компенсаційний сигнал, який надходитиме до плоскої індукційної компенсаційної котушки 10.

Додаткового підвищення точності вимірювання та збільшення чутливості диференційного датчика положення можна досягти завдяки особливостям схеми активних випрямлячів 20 та 21, які працюють таким чином, що амплітуда електричного сигналу на виході з випрямляча 20 залежить не лише від амплітуди сигналу з котушки 5, але і від різниці між амплітудами сигналів від котушок 5 та 6, а амплітуда сигналу на виході з випрямляча 21 залежатиме від амплітуди сигналу з котушки 6 та від різниці між амплітудами сигналів з котушок 5 та 6. Для цього на прямий вхід випрямляча 20 поступає від котушки 5 високочастотний сигнал у формі $u_1=U_1 \sin \omega t$, а на інший вхід випрямляча 21 - сигнал від котушки 6 у формі $u_2=U_2 \sin \omega t$. На виході випрямляча 20 буде

сигнал у формі U_1-KU_2 де U_1 та U_2 амплітуди високочастотних коливань сигналів відповідно від котушок 5 та 6, ω -кругова частота генератора для живлення котушок 5 та 6 диференційного датчика положення, t - час, $K<1$. На прямий вхід випрямляча 21 поступає з виходу котушки 6 високочастотний сигнал у формі $u_2=U_2 \sin \omega t$, а на інший вхід випрямляча 21 - з виходу котушки 5 у формі $u_1=U_1 \sin \omega t$. На виході випрямляча 21 виникає сигнал у формі $-(U_2-KU_1)$.

Сигнали з виходів випрямлячів 20 та 21 поступають на вхід суматора 22, де їх складають і сумарний сигнал набуває форму $U_1(1+K)-U_2(1+K)$. При потребі цей сигнал підсилюють, для чого вивід з суматора 22 з'єднують зі входом до підсилювача 23, на виході з якого сигнал матиме форму $A[U_1(1+K)-U_2(1+K)]$, де A - коефіцієнт підсилення, який визначається параметрами магнітів, компенсаційної котушки магнітосилового перетворювача тощо. Амплітуда вказаного сигналу пропорційна величині відхилення чутливого елемента, а знак вказує на напрямок цього відхилення.

Сигнал з виходу суматора 22 чи підсилювача 23 подається на послідовно з'єднані компенсаційну котушку 10 магнітоелектричного силового перетворювача та вимірювальний резистор 24 з паралельно увімкнутим конденсатором 25. В результаті взаємодії зустрічне направлених полів постійних магнітів 4, що на корпусі 1, та електромагнітного поля компенсаційної котушки 10 пристрою на чутливому елементі 3, здійснюватиметься відповідний вплив на чутливий елемент 3. Величина падіння напруги на вимірювальному резисторі 24 пропорційна величині струму, який проходить через компенсаційну котушку 10 силового перетворювача, а величина струму пропорційна величині компенсаційної сили, а отже прискоренню, яке виводить з урівноваженого стану чутливий елемент 3, який повертатиметься в узгоджене відносно корпусу 1 первісне нульове положення.

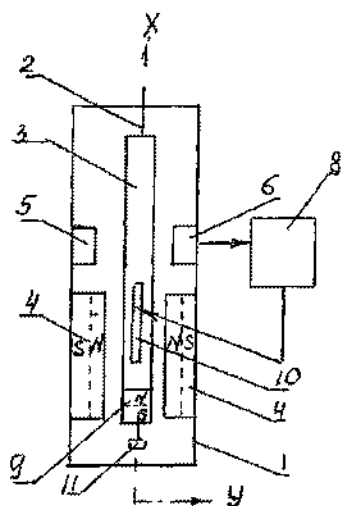
Завдяки пристосуванню 11 точно через центр ваги чутливого елемента проходитиме вектор рівнодійної компенсаційної сили від котушки 10. Разом з цим, зустрічне направлене поле плоских постійних магнітів 4 буде взаємодіяти з зустрічне направленим відносно нього полем додаткового постійного магніту 9, виштовхуючи чутливий елемент 3 у напрямку його поздовжньої осі, що посилюватиме його центрівку.

Сигнал з вимірювального резистора 24 подається на вхід до буферного підсилювача 26, який має контур з резистором 27, за допомогою якого встановлюють необхідний масштаб сигналу на виході пристрою для вимірювання прискорення. Завдяки контуру з резистором 28 встановлюють нульовий сигнал на виході буферного підсилювача 26 при відсутності впливу прискорення на чутливий елемент 3. На виході буферного підсилювача 26 одержують сигнал у формі $U_{\text{вих}}=s a$, де s - коефіцієнт крутизни вказаного пристрою, а a - величина прискорення, яка вимірюється пристроєм.

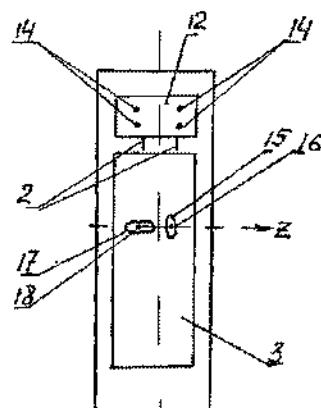
Робота дослідних зразків, в яких втілений описаний винахід, підтверджує їх високі техніко-

економічні показники. Оскільки конструктивно пристрої не складні, вартість їх помірна. Діапазон прискорень, які можна вимірювати пристроями, коливається від 10 до 500д , порогова чутливість складає від 10^6 до 10^3д , похибка коефіцієнта перетворення не перевищує $0,02\%$. Ресурс робо-

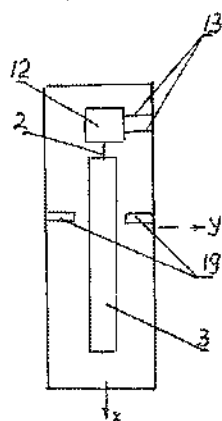
ти складає 15000 годин. Пристрої зберігають працездатність після впливу поодиноких ударів з перевантаженнями до 2000д , а також при роботі в умовах з високим рівнем радіації та температури.



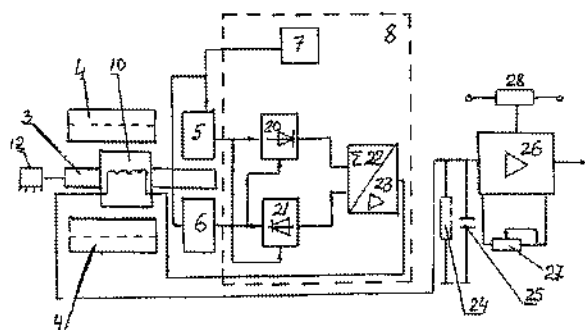
фиг 1



фиг 3



фиг 2



фиг 4