



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **115482** (13) **C2**
(51) МПК

B08B 3/04 (2006.01)

B08B 3/10 (2006.01)

B08B 3/12 (2006.01)

МІНІСТЕРСТВО
ЕКОНОМІЧНОГО
РОЗВИТКУ І ТОРГІВЛІ
УКРАЇНИ

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

(21) Номер заявки: **а 2015 12885**

(22) Дата подання заявки: **28.12.2015**

(24) Дата, з якої є чинними
права на винахід: **10.11.2017**

(41) Публікація відомостей
про заявку: **27.02.2017, Бюл.№ 4**

(46) Публікація відомостей
про видачу патенту: **10.11.2017, Бюл.№ 21**

(72) Винахідник(и):

**Стельмах Олександр Устимович (UA),
Житницький Олександр Леонідович (UA),
Стельмах Дар'я Олександрівна (UA),
Житницька Маргарита Олександрівна
(UA)**

(73) Власник(и):

**Стельмах Олександр Устимович,
вул. Дружківська, 6-а, кв. 42, м. Київ, 03113
(UA),
Житницький Олександр Леонідович,
бул. І. Лепсе, 29, кв. 41, м. Київ, 03124 (UA)**

(56) Перелік документів, взятих до уваги
експертизою:

SU 341542 A, 06.07.1972
SU 1505608 A1, 07.09.1989
JP 2001129497 A, 15.05.2001
UA 8028 U, 15.07.2005
RU 2275257 C1, 27.04.2006
UA 45378 U, 10.11.2009
RU 2426609 C1, 20.08.2011
CN104117079 A, 29.10.2014
JP 2015123435 A, 06.07.2015
UA 108167 C2, 25.03.2015

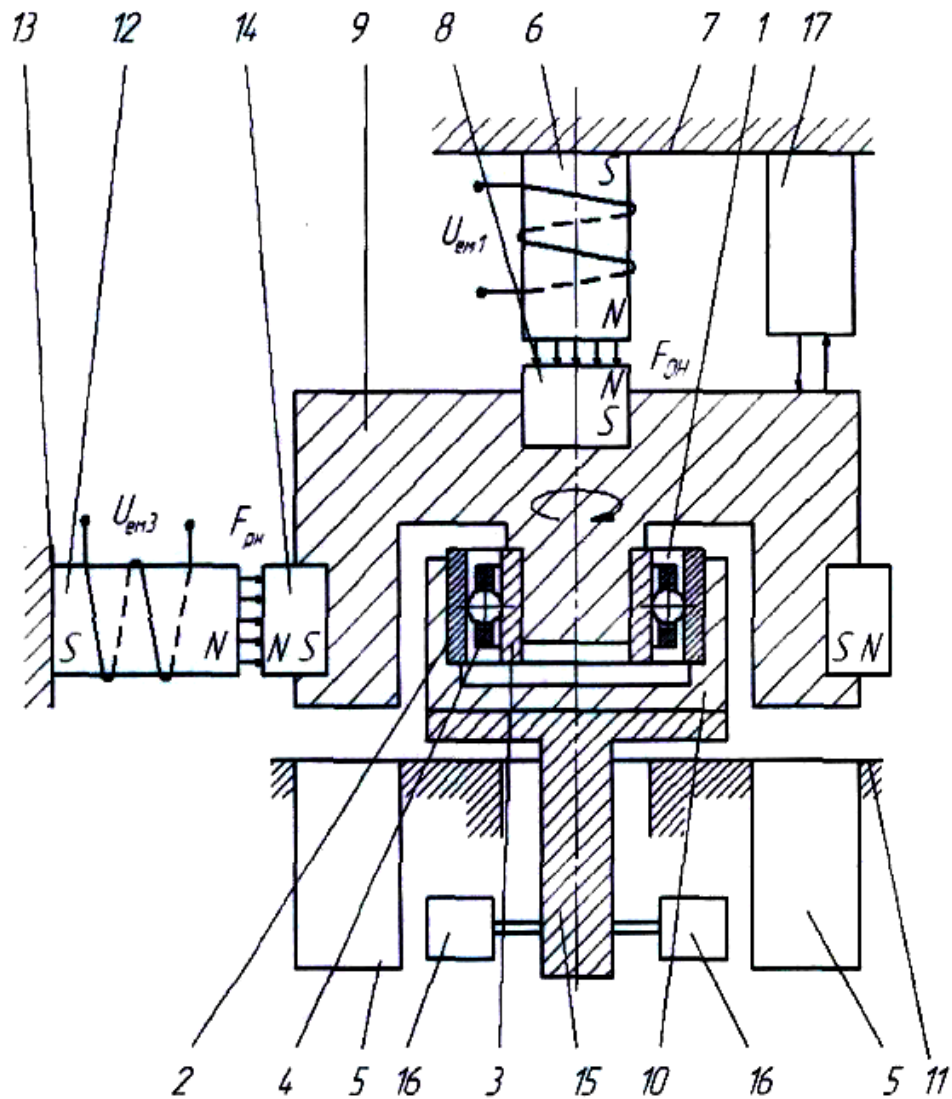
(54) СПОСІБ ОЦІНЮВАННЯ СТАНУ ШАРИКОПІДШИПНИКА ЗА ДОПОМОГОЮ ЙОГО БЕЗКОНТАКТНОГО ОБЕРТАННЯ І БЕЗКОНТАКТНОГО НАВАНТАЖЕННЯ ТА ПРИСТРІЙ ЙОГО РЕАЛІЗАЦІЇ

(57) Реферат:

Спосіб оцінювання стану шарикопідшипника, за яким розігнання та обертання одного з його кілець здійснюють біжучим магнітним полем, яке створюють багатополюсними електромагнітними індукторами, безконтактне осьове навантаження шарикопідшипника створюють навантаженням одного з кілець шарикопідшипника за допомогою електромагнітного пристрою, безконтактне радіальне навантаження шарикопідшипника здійснюють зміщенням того ж кільця шарикопідшипника відносно його осі обертання за допомогою іншого електромагнітного пристрою. Пристрій для здійснення способу містить захисний бокс у вигляді обичайки, кришки та днища, виконані з можливістю герметизації захисного боксу, верхній та нижній ложементи для встановлення, обертання та навантаження одного з кілець підшипника, і фіксації другого кільця. Модуль вимірювання виконано у вигляді вимірювального грибка з вмонтованими у нього вібраційним та/або акустичним датчиками та амортизаторами у вигляді гумових кілець, як модуль розігнання та обертання використовують джерело біжучого магнітного поля - безконтактний електромагнітний привод у вигляді одного або більше електромагнітних багатополюсних індукторів, що розміщені врівень з внутрішньою поверхнею днища захисного боксу або впритул до зовнішньої поверхні днища, як модуль осьового

UA 115482 C2

навантаження використовують електромагнітний пристрій, до складу якого входять постійний магніт, вмонтований нерухомо строго у центрі осі обертання у верхній частині рухомого ложементу, та електромагніт з керуючими обмотками, до складу пристрою введено захисний сталевий екран між верхнім ложементом і постійним магнітом. Для контролю швидкості обертання робочого кільця шарикопідшипника використовують оптичний датчик швидкості обертання, для отримання інформації про величину вібрації/шуму використовують одночасно вібраційний та акустичний датчики.



Фіг. 1

Винахід належить до способів оцінювання стану шарикопідшипників різного типу і може бути застосований у машинобудуванні на етапі підготовки підшипників до експлуатації, а також під час міжремонтного обслуговування машин, механізмів та агрегатів, що використовують підшипники, у машинобудівельних галузях промисловості, зокрема у авіа-, двигуно- та енергобудуванні, при проведенні експрес-оцінювання підшипників після очищення їх будь-яким способом, вхідного контролю або випробувань підшипників.

Відомий спосіб проведення вхідного контролю підшипників, що реалізований у стенді вхідного контролю підшипників СКВ-4, який полягає у встановленні підшипника на шпindel, встановлення та притискання притискної планки для фіксації зовнішнього кільця підшипника, його розігнанні та обертанні за допомогою електроприводу, вимірюванні за допомогою магнітного датчика та стетоскопа [1].

Недоліками відомого способу є відсутність пристрою радіального навантаження, осьове навантаження підшипника є нерегульованим, наявність електропривода, обмежений діапазон внутрішніх діаметрів контрольованих підшипників - від 20 до 150 мм, вимірювання вібрації на "слух", що не може служити об'єктивним фактором оцінки якості підшипника. Наявність електропривода та відсутність систем навантажування не дає можливості повною мірою оцінити технічний стан підшипників. Відомий спосіб має дуже обмежене застосування та використовується при незначних обсягах підшипників, що перевіряються, при тому - в основному відкритих підшипників.

Найбільш близьким технічним рішенням як по суті, так і по результату, що досягається, та яке вибрано за найближчий аналог (прототип), є спосіб вимірювання вібрації підшипників, що полягає у встановленні підшипника на шпindel з оправкою, навантаженні зовнішнього кільця підшипника зовнішнім навантаженням, розігнанні внутрішнього кільця підшипника до номінальної швидкості обертання та проведенні вимірювання віброхарактеристик підшипника на номінальній частоті його обертання [2].

Найбільш суттєвими недоліками технічного рішення, яке вибрано за найближчий аналог (прототип), є необхідність встановлення підшипника на шпindel з оправкою, з чого випливає наявність електродвигуна або іншого засобу розігнання підшипника з використанням внутрішніх вузлів та деталей, які вміщують підшипники, що викликає необхідність усунення завод, які виникають при розігнанні підшипника та подальшому підтримуванні номінальної швидкості обертання при вимірюваннях віброхарактеристик підшипника, яке не може дати остаточного висновку про технічний стан підшипника: сучасні машини та механізми працюють у різноманітних режимах обертання рухомих частин, не тільки при номінальній частоті обертання підшипників, а при зміні швидкості обертання змінюються і траєкторії переміщення тіл кочення по трактам кочення шарикопідшипника. Крім того, найчастіше за все, зовнішнє навантаження діє якраз на внутрішнє кільце підшипника, яке обертається, саме тому при розрахунках та вибиранні підшипника використовують визначені значення коефіцієнта обертання V , який використовують при розрахунках еквівалентного динамічного навантаження, номінальної довговічності тощо [3].

Відомий стенд перевірки підшипників "Протон-СПП-II", призначений для обертання контрольованих підшипників при впливі радіального та осьового навантаження. Стенд складається з установки, що містить вузли пневматичних осьового та радіального навантаження, електропривод, віброопори, електричну шафу та комплект оправок (всього 16 одиниць від 40 до 120 мм), до складу стенда входять компресор безмасляний, вимірювальний блок з програмним забезпеченням, термінал керування [1].

Недоліками відомого стенда є, перш за все, наявність електропривода для розігнання та обертання підшипника до визначеної швидкості та обмежений вибір типорозміру підшипників для проведення діагностики на даному стенді. Кожний стенд має один вібродатчик, посадочне місце також розраховане на перевірку одного підшипника. Вузли навантаження споряджені амортизаторами, а сама установка - віброопорами та окремими вібродатчиками вузлів приводів, що ускладнює конструктивне виконання стенда та потребує додаткових програмних заходів для відокремлення параметрів вібрації електропривода (загальний рівень власних завод до 125 дБ). На відомому стенді реалізовано розгін та обертання тільки внутрішнього кільця підшипника, навантаження проводять на зовнішнє (нерухоме) кільце. Стенд призначений для вібродіагностики радіальних та радіально-упорних шарикопідшипників, вібродіагностика здійснюється при швидкості обертання внутрішнього кільця підшипника $900 \text{ }^{\circ}/_{\text{хв}}$, хоча номінальна частота обертання більшості підшипників може бути вище. Вимірювання рівня вібрації підшипника проводять у ручному режимі. Як чутливий елемент використовується один вібродатчик. Маса стенда $600 \pm 10 \text{ кг}$, що пов'язано з необхідністю використання компресора для живлення пневмоприводів. Споживана потужність стенда до 1,5 кВт.

Найбільш близьким технічним рішенням як по суті, так і по результату, що досягається, та яке вибрано за найближчий аналог (прототип), є діагностична станція КОМПАКС-РПП, що призначена для об'єктивного оцінювання технічного стану підшипників кочення та виявлення дефектів, що впливають на їх ресурс. Станція забезпечує перевірку трьох категорій підшипників з частотою обертання до 1000, до 1500, до 3000 $^{\circ}/_{\text{хв}}$. Різні моделі електроприводів забезпечують вібродіагностику підшипників з внутрішнім діаметром від 7 до 35 мм (11 оправок), від 40 до 120 мм (16 оправок), від 130 до 300 мм (14 оправок). Осьове та радіальне навантаження підшипника відбувається за допомогою пневмосистем [2].

Найбільш суттєвим недоліком технічного рішення, яке вибрано за найближчий аналог (прототип), є використання як головного привода для обертання кільця шарикопідшипника електродвигуна, робота якого вносить додаткові похибки у систему вимірювання. На відомому пристрої реалізовано розгін та обертання внутрішнього кільця підшипника, навантаження проводять на зовнішнє (нерухоме) кільце. Для різних типорозмірів підшипників необхідні різні моделі електроприводів, що значно збільшує собівартість витрат на перевірку підшипника. Частота обертання підшипника при діагностуванні не дорівнює номінальній. На різних моделях електропривода положення підшипника також різне, що означає високу собівартість діагностики виробів. Як чутливий елемент використовується один вібродатчик. Крім того, одночасно на пристрої системи можлива діагностика тільки одного підшипника. Наявність обмеженої кількості точних оправок (з полем допуску f5 та мінімальними геометричними відхиленнями) для встановлення шарикопідшипників та трьох типів електропривода обмежує діапазон використання діагностичної станції та збільшує витрати на його експлуатацію.

В основу винаходу поставлена технічна задача удосконалення та доповнення відомого способу з метою усунення завад, які виникають при використанні електроприводу шляхом використання іншого способу обертання вільного кільця шарикопідшипника та його осьового та радіального (в межах сумарного проміжку між кільцями та сепаратором підшипника) навантаження, розширення експлуатаційних можливостей способу за рахунок обертання будь-якого кільця (внутрішнього або зовнішнього) шарикопідшипника, підвищення точності вимірювання вібрації та/або шуму за рахунок одночасного зняття показників з кількох незалежних датчиків вібрації/шуму, безконтактного вимірювання швидкості обертання та розширення технологічних можливостей способу за рахунок вимірювання вібраційних та акустичних характеристик на вибігу підшипника.

Поставлена задача вирішується тим, що для розігнання та обертання одного з кілець шарикопідшипника використовують електромагнітний спосіб, тобто використовують біжуче електромагнітне поле, яке створюють електромагнітними багатополюсними індукторами різної конфігурації. Навантаження шарикопідшипника відбувається через його кільце, яке обертається, а не через нерухоме кільце (як у прототипі), що відповідає реальному положенню. Для осьового та радіального навантаження робочого кільця шарикопідшипника використовують електромагнітні пристрої. Вимірювання вібраційних та/або акустичних характеристик можна проводити не тільки при номінальній швидкості обертання, але і при вибігу підшипника. В залежності від необхідності можливе розігнання та навантаження будь-якого кільця підшипника (внутрішнього або зовнішнього).

В основу винаходу також поставлена технічна задача удосконалення відомого пристрою з метою усунення завад, які виникають при використанні електро- та пневмоприводів шляхом використання іншого способу розігнання та обертання робочого кільця підшипників, усунення завад від роботи пневмоприводів навантаження, розширення експлуатаційних можливостей стенда за рахунок розігнання та обертання з будь-якою швидкістю будь-якого (внутрішнього або зовнішнього) кільця шарикопідшипників, підвищення точності вимірювання та збільшення продуктивності оцінювання характеристик за рахунок одночасного використання вібраційного та акустичного датчиків.

Поставлена задача також вирішується тим, що у конструктивне виконання відомого пристрою внесені наступні зміни:

- до складу пристрою додатково додано захисний бокс з кришкою, обичайкою та днищем, виконаним з можливістю його герметизації.

Герметизація передбачає жорсткість конструкції і перешкоджає деформації поверхонь захисного боксу при дії сил осьового та радіального навантаження;

- до складу пристрою додатково внесено верхній та нижній ложементи для встановлення, обертання та навантаження одного з кілець підшипника, верхній рухомий ложемент використовують для розігнання, обертання та навантаження одного з кілець підшипника, посадочний діаметр верхнього рухомого ложементу відповідає посадочному діаметру одного з кілець підшипника, нижній нерухомий ложемент використовують для встановлення підшипника,

посадочний діаметр нижнього нерухомого ложементу відповідає посадочному діаметру другого кільця підшипника. Верхня частина робочого (верхнього) ложементу та нижній ложементи можуть бути виконані з таких матеріалів як: мідь, латунь, дюраль;

5 - як модуль вимірювання використовують вимірювальну деталь - грибок з гумовими амортизаторами для запобігання передачі вібрації під час обертання шарикопідшипника до захисного блока та навпаки, також амортизатори виключають перекося осі обертання шарикопідшипника при його обертанні. Грибок може бути виконаний, наприклад, з загартованого дюралюмінію;

10 - як модуль розігнання та обертання використовують джерело біжучого магнітного поля - безконтактний електромагнітний привод у вигляді одного або більше електромагнітних багатополісних індукторів, що розміщені врівень з внутрішньою поверхнею днища захисного боксу або впритул до нижньої зовнішньої поверхні захисного боксу;

15 - як модуль осьового навантаження використовують електромагнітний пристрій, до складу якого внесені постійний магніт, вмонтований нерухомо строго у центрі осі обертання у верхній частині рухомого ложементу, та електромагніт з керуючими обмотками, взаємодія магнітів викликає навантаження обертового кільця підшипника, постійний магніт та електромагніт розміщують таким чином, що однакові полюси їх звернені один до одного, що і реалізує осьове навантаження підшипника;

20 - як модуль радіального навантаження використовують електромагнітний пристрій, до складу якого внесені постійний магніт у формі тора, розміщений на зовнішній боковій поверхні верхнього ложементу, та електромагніт радіального навантаження, розміщений на внутрішній боковій поверхні захисного боксу. Намагніченість тороподібного постійного магніту виконано, наприклад, таким чином: внутрішня поверхня має полюс N, в зовнішня поверхня полюс S, при цьому полюс S радіального навантажувального електромагніта звернений до полюса S постійного тороподібного магніту. Таким чином реалізують радіальне навантаження шарикопідшипника;

25 - до складу пристрою додатково введені два захисних сталевих екранів: між верхнім ложементом і постійним магнітом, та між тороподібним постійним магнітом та верхнім ложементом, які перешкоджають взаємодії магнітних полів електромагнітів і постійних магнітів - з однієї сторони, та біжучими електромагнітними полями, що створюють електромагнітні індуктори - з другої;

30 - для контролю швидкості обертання робочого кільця підшипника використовують оптичний датчик швидкості обертання;

35 - для знімання інформації про вібрацію/шум використовують одночасно вібраційний та акустичний датчики, вмонтовані у вимірювальний грибок у його середній вільній частині.

Технічний результат винаходу полягає у підвищенні точності вимірювання за рахунок відсутності віброзавад при роботі електропривода і пневмоприводів та можливості проводити оцінювання стану шарикопідшипників незалежно від їх типу та типорозміру.

40 Суть винаходу у способі оцінювання стану шарикопідшипника за допомогою його безконтактного обертання і безконтактного навантаження, що полягає у встановленні підшипника на модуль розігнання та обертання, осьового та радіального навантаження одного з кілець шарикопідшипника, розігнання його до визначеної швидкості обертання і подальшого обертання за допомогою модуля розігнання та обертання, проведенні оцінювання стану шарикопідшипника на визначених частотах обертання і на вибігу при відключенні електропривода, до повної зупинки шарикопідшипника. Новим у винаході є те, що розігнання та обертання одного з кілець шарикопідшипника здійснюють біжучим магнітним полем, яке створюють багатополісними електромагнітними індукторами будь-якої конфігурації, безконтактне осьове навантаження шарикопідшипника створюють навантаженням одного з кілець шарикопідшипника за допомогою електромагнітного пристрою, безконтактне радіальне навантаження шарикопідшипника здійснюють зміщенням того ж кільця шарикопідшипника відносно його осі обертання за допомогою іншого електромагнітного пристрою, причому вимірювання швидкості обертання проводять оптичним датчиком швидкості обертання, при тому, що вимірювання вібраційних та/або акустичних характеристик проводять при визначеній швидкості обертання шарикопідшипника та при його вибігу, при тому, що вимірювання характеристик проводять одночасно одним або більше вібраційними та/або акустичними датчиками.

60 Суть винаходу у пристрої оцінювання стану шарикопідшипника за допомогою його безконтактного обертання і безконтактного навантаження, що містить модуль розігнання та обертання, модуль осьового навантаження, модуль радіального навантаження, модуль вимірювання, модуль електроживлення та керування, модуль розрахунків та модуль

відображення, з'єднані між собою електричними джгутами. Новим у винаході є те, що до складу пристрою додатково додано захисний бокс у вигляді обичайки, кришки та днища, виконані з можливістю герметизації захисного боксу, верхній та нижній ложементи для встановлення, 5 обертанню та навантаження одного з кілець підшипника, і фіксації другого кільця, причому верхній ложемент складається з двох частин - верхньої втулки та нижнього магнітопроводу, модуль вимірювання виконано у вигляді вимірювального грибка з вмонтованими у нього вібраційним та/або акустичним датчиками, та амортизаторами у вигляді гумових кілець, як модуль розігнання та обертанню використовують джерело біжучого магнітного поля безконтактний електромагнітний привід у вигляді одного або більше електромагнітних 10 багатополюсних індукторів, що розміщені врівень з внутрішньою поверхнею днища захисного боксу або впритул до зовнішньої поверхні днища, як модуль осьового навантаження використовують електромагнітний пристрій, до складу якого внесені постійний магніт, вмонтований нерухомо строго у центрі осі обертанню у верхній частині рухомого ложементу, та електромагніт: керуючими обмотками, до складу пристрою додатково введено захисний 15 сталевий екран між верхнім ложементом і постійним магнітом, причому для контролю швидкості обертанню робочого кільця шарикопідшипника використовують оптичний датчик швидкості обертанню, для отримання інформації про величину вібрації/шуму використовують одночасно вібраційний та акустичний датчики. Новим у винаході є також і те, що до складу пристрою додатково внесено модуль радіального навантаження у вигляді електромагнітного пристрою, до 20 складу якого входять постійний магніт у формі тора, розміщений на зовнішній боковій поверхні верхнього ложементу у сталевому захисному екрані, та електромагніт радіального навантаження, розміщений на внутрішній боковій поверхні захисного боксу.

Як можна бачити з наведених аналогів [1, 2, 4, 5], жодний спосіб перевірки, випробувань або 25 вхідного контролю підшипників не визначає повною мірою характеристик підшипника. Це пов'язано з тим, що траєкторії переміщення тіл кочення по тракту кочення (бігових доріжках обох кілець підшипника) змінюються при зміні навантаження та швидкості обертанню робочого кільця шарикопідшипника, а об'єкт встановлення шарикопідшипника може працювати з будь-якою швидкістю обертанню, а не тільки номінальною. Тому визначення віброхарактеристик підшипника не тільки на номінальній частоті обертанню, а і на вибігу дає значно більше 30 інформації про стан бігових доріжок та тіл кочення. Крім того, вхідний контроль нових підшипників (частіше за все) проводять зовнішнім оглядом, перевіркою геометричних розмірів та визначенням радіального проміжку, які не можна визначити як достатні. При проведенні перевірок або випробувань шарикопідшипників одним із важливих факторів є усунення завад від роботи технологічного та вимірювального обладнання, до якого відносять привод обертанню шарикопідшипника, пристрої навантаження та пристрої вимірювання його характеристик. При 35 роботі електропривода неодмінно виникають віброзавади від роботи електродвигуна, усунення яких викликає необхідність застосування як технічних, так і програмних засобів. Вимірювання характеристик шарикопідшипників проводять при впливі на нього осьового, радіального або комбінованого навантаження. Навантаження при випробуваннях повинно бути таким, щоб 40 виключити проковзування тіл кочення та не викликати деформації, яка може вплинути на результати вимірювань [2]. Зміщення радіальним навантаженням осі обертанню одного з кілець підшипника відносно повздовжньої осі пристрою на величину, що дорівнює максимальному радіальному проміжку підшипника при одночасному впливі осьового навантаження вимушує тіла кочення переміщуватись по тракту кочення по траєкторіях, близьким до траєкторій, по яких 45 вони переміщуються при повному осьовому та радіальному навантаженнях. Вимірювання характеристик вібрації та/або шуму при вибігу шарикопідшипника допомагає визначенню чистоти та як обробки всієї бігової доріжки, адже при зміні швидкості обертанню шарикопідшипника траєкторії переміщення тіл кочення змінюються, відповідно - змінюються і віброхарактеристики шарикопідшипника. Застосування не одного, а щонайменше двох датчиків 50 (вібрації та шуму) дозволяє більш точно визначити вібраційні та акустичні параметри шарикопідшипника.

Суть винаходу пояснюється кресленням, на яких, як варіант конструктивного виконання, показано на Фіг. 1 - функціональну схему способу оцінювання стану шарикопідшипника за 55 допомогою його безконтактного обертанню і безконтактного навантаження зовнішнього кільця підшипника. На Фіг. 1 цифрами позначено підшипник 1 з зовнішнім кільцем 2, внутрішнім кільцем 3 та сепаратором 4 з вмонтованими тілами кочення (у даному разі - кульками), джерела біжучого електромагнітного поля електромагнітні багатополюсні індуктори 5, осьовий навантажувальний електромагніт 6, встановлений на верхній нерухомій основі 7, осьовий навантажувальний постійний магніт 8, встановлений на верхньому ложементі 9, нижній 60 ложемент 10, встановлений на нижній нерухомій основі 11, радіальний навантажувальний

електромагніт 12, встановлений на боковій нерухомій основі 13, радіальний навантажувальний постійний магніт 14, виконаний у вигляді тора. Нижній ложемент 10 жорстко встановлюють на вимірювальну деталь - грибок 15, з'єднану з датчиками 16 вібрації/шуму. Контроль швидкості обертання рухомої частини пристрою (верхнього ложемента 9 із внутрішнім кільцем 3 підшипника 1) здійснюється оптичним датчиком 17 швидкості обертання, наприклад лазерним.

Спосіб працює таким чином. Підшипник 1, що підлягає контролю або перевірці, розміщують на нижньому ложементі 10 посадочною поверхнею зовнішнього кільця 2, а сам ложемент 10 нерухомо розміщують на грибку 15, який механічно не контактує з нижньою основою 11. На посадочну поверхню внутрішнього кільця 3 встановлюють верхній ложемент 9 з нерухомо закріпленим на ньому постійним магнітом 8. Таким чином забезпечується безперешкодне взаємне обертання кілець 2, 3 (з верхнім ложементам 9) та сепаратора 4 з тілами кочення. Над постійним магнітом 8 на верхній основі 7 нерухомо встановлюють електромагніт 6. Орієнтацію полярностей постійного магніту 8 та електромагніта 6 виконують таким чином, щоб при включенні напруги U_{cm} полюса постійного магніту 8 та електромагніта 6 співпадали, наприклад, полюси N були звернені один до другого, тоді однойменні полюси обох магнітів будуть відштовхуватись один від другого. Таким чином забезпечують осьове навантаження $F_{он}$ внутрішнього кільця 3. Під нижньою основою 11 розміщують джерела біжучих електромагнітних полів - електромагнітні багатополюсні індуктори 5. При подаванні напруги U , до входів індукторів 5, в них буде генеруватися біжуче магнітне поле, яке буде взаємодіяти з горизонтальною нижньою поверхнею верхнього ложемента 9, приводячи його у обертання. Швидкість обертання шарикопідшипника 1 (з верхнім ложементам 9) буде визначатися величиною напруги та частотою коливання напруги U_i , та контролюється оптичним датчиком 17. На зовнішній поверхні верхнього ложемента 9 розміщують постійний магніт 14, виконаний у формі тора, причому намагніченість постійного магніту 14 виконують таким чином: зовнішня поверхня є полюсом N, а внутрішня - полюсом S. Навпроти нього на боковій нерухомій опорі 13 встановлюють радіальний навантажувальний електромагніт 12. При поданні напруги на радіальний навантажувальний електромагніт 12 полярність його повинна бути виконана таким чином, щоб до постійного магніту 14 звернутий полюс N радіального навантажувального електромагніта 12. Таким чином, на кільце шарикопідшипника, що обертається, буде діяти сила відштовхування, тобто сила радіального навантаження $F_{рн}$, і кільце зміститися на величину максимального сумарного радіального проміжку. Зміщення кільця шарикопідшипника на величину максимального сумарного радіального проміжку у шарикопідшипнику 1 вимушує тіла кочення переміщуватись по тракту кочення по траєкторіях, близьких до траєкторій, по яких вони і повинні переміщуватись при комбінованому впливі осьового та радіального навантаження. Для того, щоб при обертанні відцентрова сила $F_{вц}$ не змогла повернути кільце підшипника у первісне положення, сила радіального навантаження $F_{рн}$ повинна бути більше: $F_{рн} > F_{вц}$. При обертанні підшипника 1 вібраційні/акустичні характеристики фіксуються датчиками 15 вібрації/шуму. При необхідності можливе навантаження та обертання зовнішнього кільця 2 підшипника 1 або верхнього кільця упорного підшипника 1, при чому технологічний процес підготовки підшипника 1 до перевірки або випробування та безпосередньо перевірки (випробування) не змінюється. Завдяки використанню для вимірювання кількох (наприклад - двох) датчиків 16 вібрації/шуму точність вимірювання збільшиться.

Суть винаходу пояснюється кресленнями, на яких, як варіант конструктивного виконання, показано:

- на Фіг. 2 - функціональну схему пристрою оцінювання стану шарикопідшипника за допомогою його безконтактного обертання і безконтактного навантаження;
- на Фіг. 3 - захисний бокс із знятою кришкою, вигляд зверху;
- на Фіг. 4 - захисний бокс з розміщеними під ним електромагнітними індукторами, вигляд знизу;
- на Фіг. 5 - приклад встановлення верхнього ложемента для розгону та обертання зовнішнього кільця підшипника;
- на Фіг. 6 - приклад встановлення верхнього ложемента для розгону та обертання упорного підшипника;
- на Фіг. 7 - приклад встановлення електромагнітних індукторів впритул до зовнішньої поверхні днища захисного боксу.

На Фіг. 2 показано приклад реалізації пристрою оцінювання стану шарикопідшипника за допомогою його безконтактного обертання і безконтактного навантаження (далі - пристрій) з використанням розгону та обертання внутрішнього кільця підшипника, на Фіг. 2 - Фіг. 7 цифрами позначені підшипник 1, зовнішнє кільце 2, внутрішнє кільце 3, сепаратор 4 з тілами кочення, модуль розігнання та обертання у вигляді електромагнітних багатополюсних індукторів 5,

модуль осьового навантаження у вигляді електромагніта 6, верхня нерухома основа - кришка 7, осьовий навантажувальний постійний магніт 8, встановлений на верхньому ложементі 9, нижній ложемент 10, встановлений на нижній нерухомій основі - днищі 11, модуль радіального навантаження у вигляді радіального навантажувального електромагніта 12, що встановлений на боковій нерухомій поверхні обичайці 13, осьовий навантажувальний постійний магніт 14, виконаний у вигляді тора. Нижній ложемент 10 нерухомо встановлюють на вимірювальну деталь - грибок 15, до якого приєднано рухомі частини датчиків 16 вібрації/шуму. Грибок 15 розміщують у патрубку 18 нижньої нерухомої опори - днищі 11. Між середньою частиною грибка 15 та стінками патрубка 18 розміщують амортизатори 19 для запобігання впливу вібрації/шуму від електромагнітних індукторів 5 на датчики 16 вібрації/шуму та для виключення перекосу осі обертання шарикопідшипника при його обертанні. Контроль швидкості обертання рухомої частини пристрою (верхнього ложемента 9 із внутрішнім кільцем 3 та вимірювального грибка 15) підшипника 1 здійснюється оптичним датчиком (наприклад, лазерним) 17 швидкості обертання. Конструктивно і технологічно осьовий навантажувальний постійний магніт 8 встановлюють у захисний екран 20, який, в свою чергу, розміщують у виїмку верхнього ложемента 9. Конструктивно і технологічно радіальний навантажувальний постійний тороподібний магніт 14 встановлюють у захисний екран 21, який, в свою чергу, розміщують у виїмку бокової зовнішньої поверхні верхнього ложемента 9. Гвинти 22 призначені для з'єднання кришки 7 та обичайки 13 при герметизації пристрою. На Фіг.2 також позначені модуль 23 електроживлення та керування, модуль 24 розрахунків, пристрій 25 відображення, джгути 26. Рухома частина пристрою - верхній ложемент 9 виконано сполученим з двох частин: посадочної втулки 27 та магнітопроводу 28. Призначенням захисних екранів 20 і 21 є запобігання взаємодії між магнітними полями постійних магнітів 8 та 14 і електромагнітів 6 та 12 - з одної сторони, та біжучим магнітним полем, що створюють електромагнітні індуктори 5, та розповсюдженню електромагнітних полів у навколишнє середовище. Днище 11 виконано з подовженим патрубком 18, кількість та розташування яких визначається кількістю та типорозмірами підшипників 1, одночасно розміщених на днищі 11. Діаметр нижньої частини грибка 15 у отворі патрубка 18 забезпечує вільне коливання нижнього ложемента 10 з зовнішнім кільцем 2 підшипника 1 згідно діючого нормативного документа [2]. Оптодатчик 17 швидкості обертання встановлюють на внутрішній поверхні кришки 7 навпроти вимірювальної поверхні верхнього ложемента 9 - втулки 27. Нижню частину верхнього ложемента 9 (магнітопровід 28) виконують з алюмінію або міді (або із їх сплавів). Нижній торець індукторів 5 з'єднують магнітопроводом 29. Джерела біжучого електромагнітного поля - електромагнітні багатополюсні індуктори 5 вмонтовують врівень із внутрішньою поверхнею днища 11 (див. Фіг. 2) або розміщують впритул до зовнішньої поверхні днища 11 (див. Фіг. 7). При необхідності можливе встановлення на ложементах 9 і 10 підшипника 1 для навантаження та обертання зовнішнього кільця 2 (див. Фіг. 5), або верхнього кільця упорного підшипника (див. Фіг. 6), причому технологічний процес підготовки підшипника 1 до оцінювання стану (випробування) та безпосередньо самого оцінювання (випробування) не змінюється. Завдяки використанню для вимірювання одночасно датчиків 16 вібрації та шуму (див. Фіг. 2) якість вимірювання поліпшиться, такі вимірювання взаємодоповнюють один одного. На днищі 11 захисного боксу також можливе розміщення кількох шарикопідшипників 1 різного типорозміру, при цьому оцінювання стану кожного з них виконують послідовно. Елементи електричної частини пристрою з'єднані між собою окремими джгутами 26 таким чином: до першого входу модуля 23 електроживлення та керування надходить електроживлення з електромережі, другий вихід з'єднаний із обмотками індукторів 5, третій вихід з'єднаний із першим входом модуля 24 розрахунків двостороннім зв'язком, через четвертий вихід до модуля 24 подається електроживлення та, транзитом, через другий вхід модуля 24, надходить до першого входу пристрою 25 відображення, з п'ятого виходу модуля 23 надходить електроживлення до обмотки електромагніта 6, шостий вихід модуля 23 зв'язаний з обмоткою радіального навантажувального електромагніта 12. До третього входу модуля 24 розрахунків надходить інформація з виходу датчиків 16 вібрації/шуму, до четвертого входу надходить інформація з датчика 17 частоти обертання. П'ятий вихід модуля 24 зв'язаний з другим входом пристрою 25 відображення.

Пристрій, що заявляється, працює таким чином. Підшипник 1, що пройшов очищення та підлягає оцінюванню або випробуванню, встановлюють на нижній нерухомий ложемент 10, в даному разі - зовнішнім кільцем 2 на відповідний посадочний діаметр ложемента 10. У внутрішнє кільце 2 встановлюють верхній ложемент 9, забезпечуючи безперешкодне обертання кільця 2 та 3 і сепаратора 4 з тілами кочення. Зверху на ложементах 9 нерухомо закріплюють осьовий навантажувальний постійний магніт 8 у захисному екрані 17. Осьовий навантажувальний електромагніт 6 розміщують на внутрішній площині кришки 7 захисного боксу

13 над осьовим навантажувальним постійним магнітом 8. У патрубку 18 днища 11 захисного боксу встановлюють вимірювальний грибок 15 з датчиками 16 вібрації/шуму. Зверху на грибок 15 встановлюють нижній ложемент 10 із шарикопідшипником 1 та верхнім ложементом 9. Взаємну орієнтацію полюсів постійного магніту 8 і електромагніта 6 виконують таким чином, щоб при поданні до обмоток електромагніта 6 напруги U_{em} однойменні полюси, наприклад, N, були звернені один до одного: N-N. Таким чином реалізується осьове навантаження $F_{он}$ внутрішнього кільця 3. Намагніченість радіального навантажувального електромагніта 12 при поданні до нього електроживлення з модуля 23 виконують таким чином, щоб напроти полюса N магніту 14 був полюс N електромагніта 12. У проміжку між поверхнями електромагніта 12 та постійного магніту 14 виникне сила $F_{рн}$, яка буде зміщувати радіальний навантажувальний постійний магніт 14 з верхнім ложементом 9 та внутрішнім кільцем 3 підшипника 1 у радіальному напрямку, "вибираючи" максимальний сумарний радіальний проміжок. Зміщення осі внутрішнього кільця 3 підшипника 1 на величину сумарного радіального проміжку у підшипнику 1 вимусить тіла кочення переміщуватись по тракту кочення кілець підшипника 1 по траєкторіях, близьким до траєкторій, по яких вони повинні переміщуватися при комбінованому впливі осьового та радіального навантаження. При включенні електроживлення через модуль 23 електроживлення та керування до входів індукторів 5, електромагніта 6 і електромагніта 12 подаються напруги U_i , U_{em} і $U_{рн}$, відповідно, параметри яких відповідають вибраній швидкості обертання шарикопідшипника 1 та необхідної величини осьового і радіального навантаження, причому електромагніти 6 і 12 заздалегідь відтаровані на визначені ці величини. Досягнення вибраної швидкості обертання підшипника 1 контролюється оптичним датчиком 17, при включенні датчиків 16 вібрації/шуму інформація про величини вібрації/шуму надходить до модуля 24 розрахунків, де оброблюється, запам'ятовується та визначеному вигляді надходить до пристрою 25 відображення. Величини навантаження, частоти обертання підшипника та умови встановлення підшипника відповідають діючому нормативному документу [2].

Реалізація пристрою оцінювання стану шарикопідшипника за допомогою його безконтактного обертання і безконтактного навантаження можлива у таких, наприклад, варіантах:

- як пристрій для проведення експрес-оцінювання якості очищення радіальних і радіально-упорних шарикопідшипників порівнянням результатів вимірювань вібрації/шуму до та після очищення - без використання осьового та радіального навантажень робочого кільця радіального та радіально-упорного шарикопідшипника будь-якого типорозміру;

- як пристрій для проведення експрес-оцінювання якості очищення, для проведення вхідного контролю, перевірок або випробувань упорних шарикопідшипників - з використанням тільки осьового навантаження верхнього робочого кільця упорного шарикопідшипника будь-якого типорозміру;

- як пристрій для проведення вхідного контролю, перевірок або випробувань шарикопідшипників - з використанням як осьового, так і радіального навантажень робочого кільця радіальних і радіально-упорних шарикопідшипника будь-якого типорозміру.

Технічний результат впровадження пристрою оцінювання стану шарикопідшипника за допомогою його безконтактного обертання і безконтактного навантаження для його реалізації у технологічний процес очищення підшипників з наступною їх перевіркою підтверджується відповідним актом [6]. При проведенні випробувань у ході технологічного процесу оцінювалась ефективність очищення нових нерозбірних авіаційних шарикопідшипників 1-ї категорії від мікрозабруднень на макеті стенда по рівню вібрації. Схема макета стенда виконана на основі технічних рішень, закладених у основу корисної моделі, що заявляється. Результати вимірювань та досліджень показали, що використання безконтактного обертання та безконтактного навантаження підшипників на стенді, покращує віброхарактеристики: віброприскорення зменшилось з $5,2 \text{ м/с}^2$ до $1,7 \text{ м/с}^2$, віброшвидкість зменшилась з $3,4 \text{ мм/с}$ до $1,1 \text{ мм/с}$. Треба звернути увагу на те, що випробуванням були піддані нові нерозбірні авіаційні підшипники після їх розконсервації та очищення, а частина фрагментів забруднення була залишками процесу зношування обробного абразивного інструмента у ході фінішної доводки поверхонь підшипників.

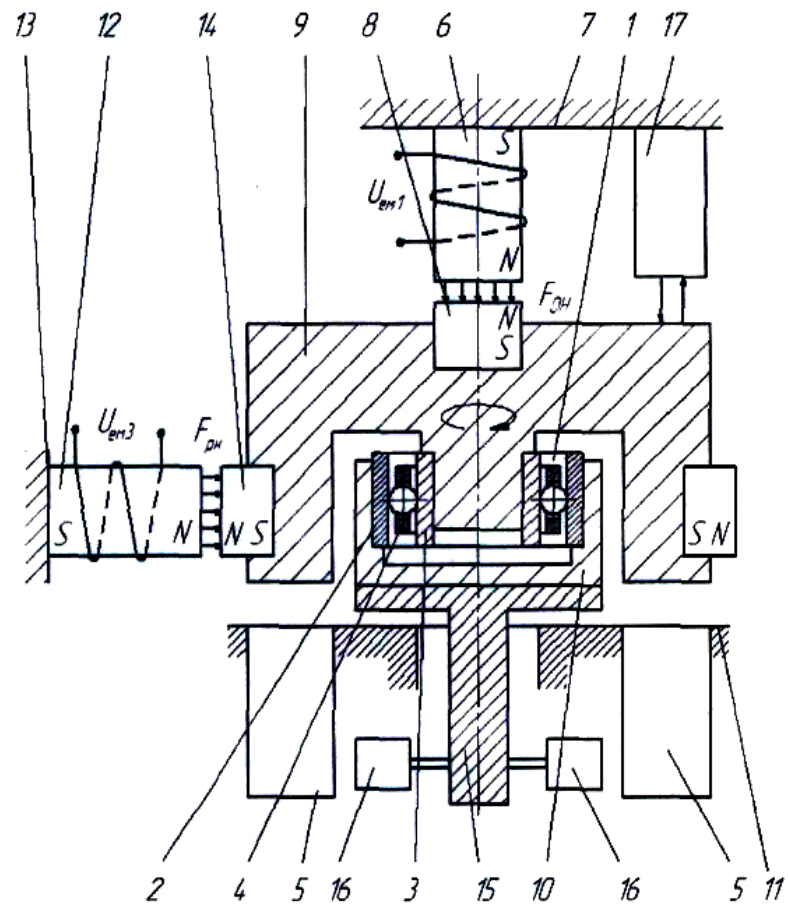
Проведені дослідження свідчать, що технічний результат запропонованого пристрою оцінювання стану шарикопідшипника за допомогою його безконтактного обертання і безконтактного навантаження, що пропонуються, забезпечує підвищення точності вимірювання за рахунок відсутності вібраційних та акустичних завад при роботі електропривода та дає можливість проводити порівняльне оцінювання та випробування підшипників незалежно від їх типу та типорозміру.

Джерела інформації:

1. Сидоров В.А., Сотников О.Л., Сушко А.Є. Стенди для вхідного контролю підшипників кочення. Вісник Приазовського державного університету, № 2, 2011 р, стор. 227 - аналог.
2. ISO 15242-1:2004. Підшипники кочення. Методи вимірювання вібрації. Частина 1. Основні положення. М: ИПК видавництва стандартів, 2005 - прототип.
3. Анурьев В.І. Довідник інженера-конструктора, т. 2. М: Машинобудування, 1978, глава II.
4. [www.baltex.com.ua/files/spp-ii\(40-50\)/pdf/](http://www.baltex.com.ua/files/spp-ii(40-50)/pdf/) - аналог.
5. www.dynamiks.ru/products/compacs-rpp/ - прототип.
6. АКТ сумісних порівняльних випробувань технології безконтактного імпульсно-магнітно-турбулентного очищення нерозбірних кулькових підшипників по рівню вібрації на макеті стенда з метою оцінки її ефективності у заводських умовах - ГП "Завод 410 ГА", Київ, 2015.

ФОРМУЛА ВИНАХОДУ

1. Спосіб оцінювання стану шарикопідшипника за допомогою його безконтактного обертання і безконтактного навантаження, що полягає у встановленні підшипника на модуль розігнання та обертання, осьового та радіального навантаження одного з кілець шарикопідшипника, розігнання його до визначеної швидкості обертання і подальшого обертання за допомогою модуля розігнання та обертання, проведенні оцінювання стану шарикопідшипника на визначених частотах обертання і на вибігу при відключенні електропривода, до повної зупинки шарикопідшипника, який **відрізняється** тим, що розігнання та обертання одного з кілець шарикопідшипника здійснюють біжучим магнітним полем, яке створюють багатополісними електромагнітними індукторами будь-якої конфігурації, безконтактне осьове навантаження шарикопідшипника створюють навантаженням одного з кілець шарикопідшипника за допомогою електромагнітного пристрою, безконтактне радіальне навантаження шарикопідшипника здійснюють зміщенням того ж кільця шарикопідшипника відносно його осі обертання за допомогою іншого електромагнітного пристрою, причому вимірювання швидкості обертання проводять оптичним датчиком швидкості обертання, при тому, що вимірювання вібраційних та/або акустичних характеристик проводять при визначеній швидкості обертання шарикопідшипника та при його вибігу, при тому, що вимірювання характеристик проводять одночасно одним або більше вібраційними та/або акустичними датчиками.
2. Пристрій оцінювання стану шарикопідшипника за допомогою його безконтактного обертання і безконтактного навантаження, що містить модуль розігнання та обертання, модуль осьового навантаження, модуль радіального навантаження, модуль вимірювання, модуль електроживлення та керування, модуль розрахунків та модуль відображення, з'єднані між собою електричними джгутами, який **відрізняється** тим, що до складу пристрою додатково додано захисний бокс у вигляді обичайки, кришки та днища, виконані з можливістю герметизації захисного боксу, верхній та нижній елементи для встановлення, обертання та навантаження одного з кілець підшипника, і фіксації другого кільця, причому верхній елемент складається з двох частин - верхньої втулки та нижнього магнітопроводу, модуль вимірювання виконано у вигляді вимірювального грибка з вмонтованими у нього вібраційним та/або акустичним датчиками та амортизаторами у вигляді гумових кілець, як модуль розігнання та обертання використовують джерело біжучого магнітного поля - безконтактний електромагнітний привод у вигляді одного або більше електромагнітних багатополісних індукторів, що розміщені врівень з внутрішньою поверхнею днища захисного боксу або впритул до зовнішньої поверхні днища, як модуль осьового навантаження використовують електромагнітний пристрій, до складу якого внесені постійний магніт, вмонтований нерухомо строго у центрі осі обертання у верхній частині рухомого елемента, та електромагніт з керуючими обмотками, до складу пристрою додатково введено захисний сталевий екран між верхнім елементом і постійним магнітом, причому для контролю швидкості обертання робочого кільця шарикопідшипника використовують оптичний датчик швидкості обертання, для отримання інформації про величину вібрації/шуму використовують одночасно вібраційний та акустичний датчики.
3. Пристрій за п. 2, який **відрізняється** тим, що до складу пристрою додатково внесено модуль радіального навантаження у вигляді електромагнітного пристрою, до складу якого входять постійний магніт у формі тора, розміщений на зовнішній боковій поверхні верхнього елемента у сталевому захисному екрані, та електромагніт радіального навантаження, розміщений на внутрішній боковій поверхні захисного боксу.



Фиг. 1

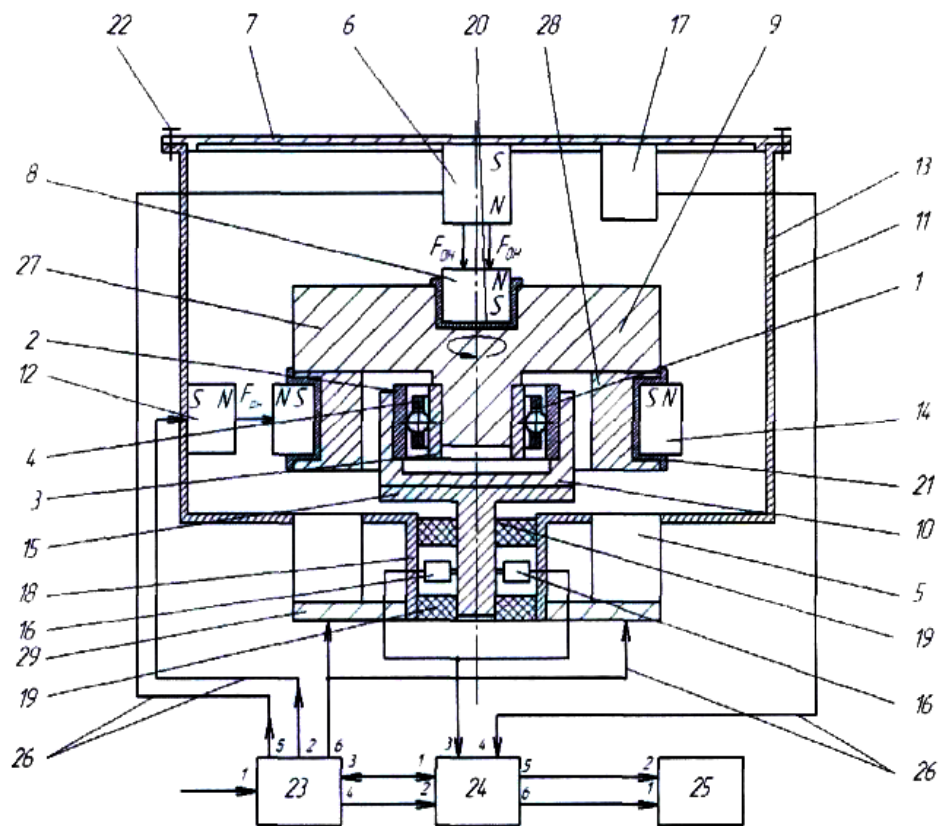


Fig. 2

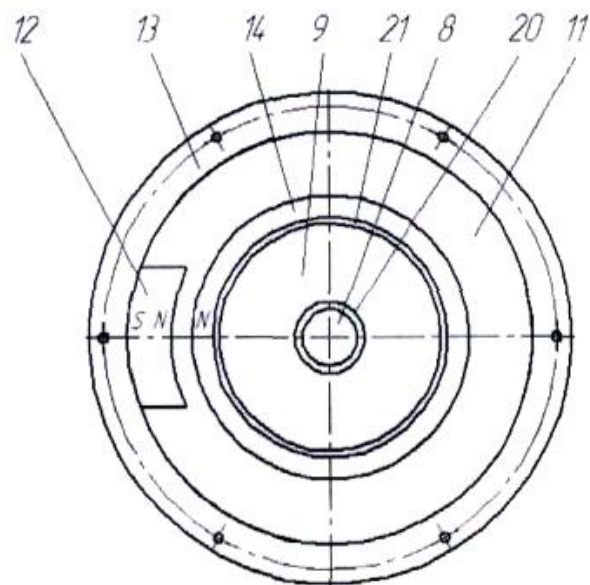


Fig. 3

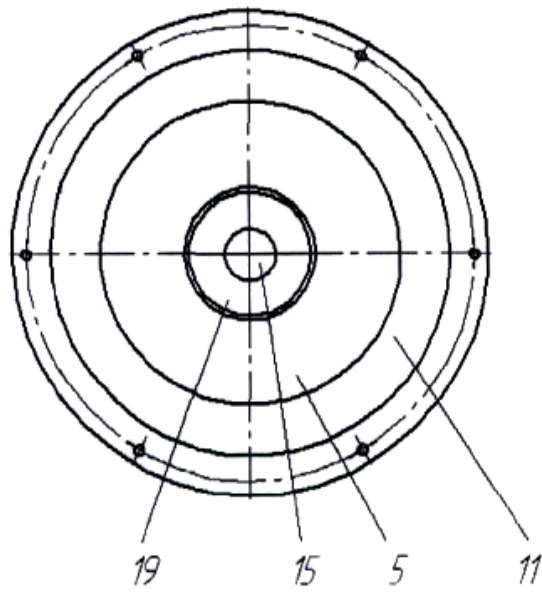


Fig. 4

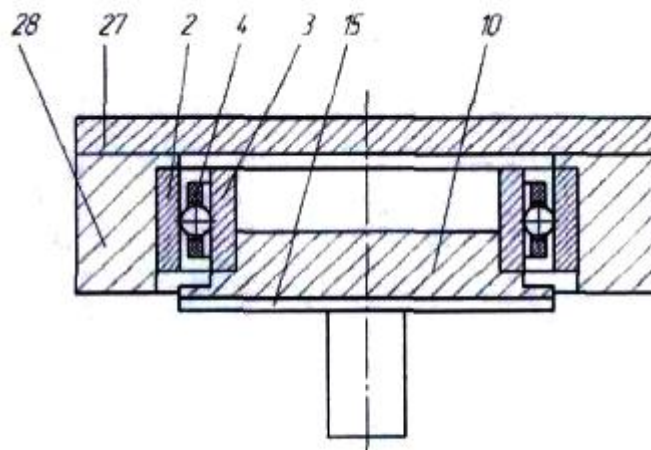
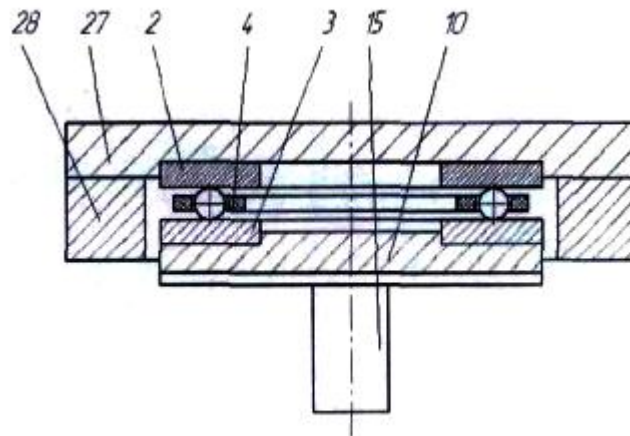
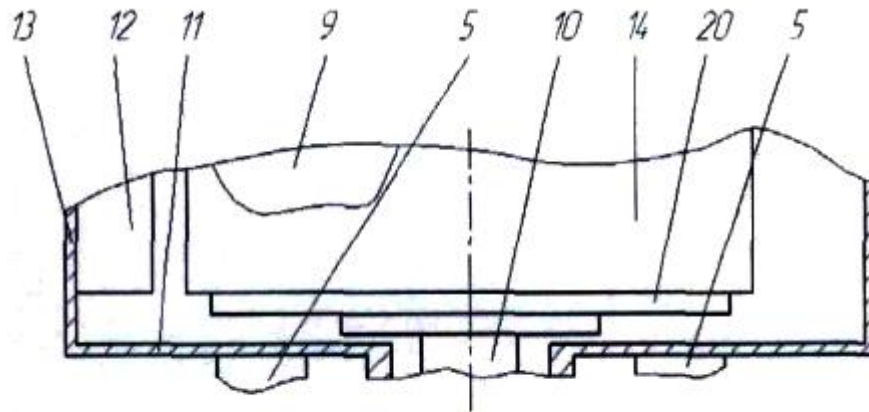


Fig. 5



Фіг. 6



Фіг. 7

Комп'ютерна верстка Л. Ціхановська

Міністерство економічного розвитку і торгівлі України, вул. М. Грушевського, 12/2, м. Київ, 01008, Україна

ДП "Український інститут інтелектуальної власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601