



ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
УКРАЇНИ

УКРАЇНА

(19) UA

(11) 107719

(13) C2

(51) МПК

G01M 1/32 (2006.01)

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВІНАХІД

(21)	Номер заявки:	а 2013 01213	(56)	Перелік документів, взятих до уваги експертизою:
(22)	Дата подання заявки:	01.02.2013		Філімоніхін Г.Б. Зрівноваження і віброзахист роторів автобалансирами з твердими коригувальними вантажами: Монографія. - Кіровоград: КНТУ, 2004. - С. 1-23
(24)	Дата, з якої є чинними права на винахід:	10.02.2015		Узагальнений емпіричний критерій стійкості основного руху і його застосування до ротора на двох осесиметричних пружних опорах / І.І. Філімоніхіна, Г.Б.Філімоніхін // Машинознавство. -2007. - №3. - С. 22-27
(41)	Публікація відомостей про заявку:	11.08.2014, Бюл.№ 15		UA 52429 A; 16.12.2002
(46)	Публікація відомостей про видачу патенту:	10.02.2015, Бюл.№ 3		UA 75189 C2; 15.03.2006
(72)	Винахідник(и): Філімоніхін Геннадій Борисович (UA), Гадяка Володимир Григорович (UA), Паненко Вадим Григорович (UA), Гончаров Валерій Володимирович (UA)			UA 75931 C2; 15.06.2006
(73)	Власник(и): КІРОВОГРАДСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ, пр. Університетський, 8, м. Кіровоград, 25006 (UA)			SU 541096 A; 10.01.1977
				SU 1167464 A; 15.07.1985
				US 2659243 A; 17.11.1953
				US 5850748 A; 22.12.1998
				US 4674356 A; 23.01.1987
				US 2984094 A; 16.05.1961
				Філімоніхін Г.Б. Универсальный стенд для исследования динамики пассивных автобаланси́ров и его апробация шаровым автобаланси́ром // Збірник наукових праць КДТУ. - 2001. - Вип. №9,- С.101-107
				Філімоніхін Г.Б. Невдаха Ю.А. Зменшення чутливості автобаланси́рів до сил ваги шляхом накладання в'язей // Збірник наукових праць КДТУ, - 2000. - Вип.№6, - С.55-59
				Филимонихин Г.Б. Уравновешивание и виброзащита роторов пассивными автобаланси́рами: Автореф. дис. на соиск. учен. степ. д-ра техн. наук: 05.02.09 – Динамика и прочность машин. / Национальный технический университет Украины "Киевский политехнический институт", К.: 2005. - 44 с.

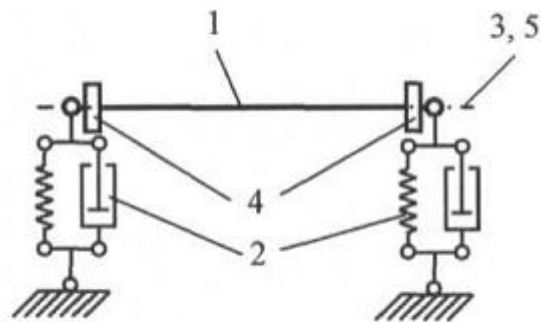
(54) СПОСІБ БАЛАНСУВАННЯ ГНУЧКОГО ДВООПОРНОГО РОТОРА ПАСИВНИМИ АВТОБАЛАНСИРАМИ

(57) Реферат:

Винахід може бути використаний при балансуванні на ходу в процесі експлуатації гнучких двоопорних роторів газотурбінних двигунів, турбоагрегатів для нафтової і газової промисловості тощо. Спосіб балансування гнучкого двоопорного ротора пасивними автобалансирами полягає у тому, що на гнучкий ротор, що встановлений на дві опори, співвісно поздовжній осі якого встановлюють пасивні автобалансири у кількості 2-х штук і гнучкий ротор розганяють до сталої експлуатаційної швидкості обертання, яка більша за першу критичну

UA 107719 C2

швидкість, при цьому пасивні автобалансири розміщують в площинах, близьких до опор, а опори виконують пружно-в'язкими. Винахід дозволяє забезпечити можливість експлуатації гнучкого ротора з допустимим рівнем вібрації на будь-якій сталій швидкості обертання, більшій за першу критичну швидкість.



Фиг. 1

Винахід належить до машинобудування і може бути використаний при балансуванні на ходу, в процесі експлуатації гнучких двоопорних роторів газотурбінних двигунів, турбоагрегатів для нафтової і газової промисловості тощо.

Найбільш близьким технічним рішенням, вибраним за прототип є відомий спосіб балансування гнучкого двоопорного ротора пасивними автобалансирами (Філімоніхін Г.Б. Зрівноваження і віброзахист роторів автобалансирами з твердими коригувальними вантажами: Монографія. - Кіровоград: КНТУ, 2004. - 352 с.), який полягає у тому, що на гнучкий ротор, встановлений на дві опори, що є жорсткими, співвісно поздовжній осі гнучкого ротора встановлюють пасивні автобалансири будь-якого типу у кількості 2-х штук в вузлах 3-ої форми головних коливань гнучкого ротора і гнучкий ротор розганяють до сталої експлуатаційної швидкості обертання, яка більша за першу критичну швидкість і лежить в діапазоні між 2-ю і 3-ю критичними швидкостями. Тип пасивного автобалансира не має принципового значення. Це може бути однорядний кульовий чи роликовий автобалансир, дворядний кульовий чи роликовий автобалансир, маятниковий автобалансир, рідинний автобалансир тощо. Зокрема два автобалансири можуть бути різних типів і різної балансувальної ємності. Також гнучкий ротор може бути зрівноважений до початку експлуатації як жорсткий ротор на сталій експлуатаційній швидкості обертання, або як жорсткий ротор у трьох площинах корекції, або як гнучкий ротор у трьох і більше площинах корекції тощо.

Основним недоліком відомого способу є те, що балансування гнучкого ротора пасивними автобалансирами відбувається тільки в діапазоні між 2-ю і 3-ю критичними швидкостями. Тому на інших швидкостях обертання гнучкого ротора (на яких балансування не відбувається) його вібрації виходять за допустимі.

Додатковим недоліком відомого способу є те, що під час розгону чи вибігу гнучкого ротора перехід через критичні швидкості відбувається при значних навантаженнях на опори.

Задача, яку вирішує винахід - забезпечення можливості експлуатації гнучкого ротора з допустимим рівнем вібрації на будь-якій сталій швидкості обертання, більшій за першу критичну, шляхом забезпечення балансування гнучкого ротора пасивними автобалансирами на будь-якій сталій швидкості обертання, більшій за першу критичну.

Суть винаходу полягає у тому, що у способі балансування гнучкого двоопорного ротора пасивними автобалансирами, в якому на гнучкий ротор, встановлений на дві опори співвісно поздовжній осі гнучкого ротора, встановлюють пасивні автобалансири будь-якого типу в кількості 2-х штук і гнучкий ротор розганяють до сталої експлуатаційної швидкості обертання, яка більша за першу критичну швидкість, з метою забезпечення можливості експлуатації гнучкого ротора з допустимим рівнем вібрації на будь-якій сталій швидкості обертання, більшій за першу критичну, пасивні автобалансири розміщують в площинах, близьких до опор, а опори закріплюють пружно-в'язко.

Як і у прототипі тип пасивного автобалансира не має принципового значення. Це може бути однорядний кульовий чи роликовий автобалансир, дворядний кульовий чи роликовий автобалансир, маятниковий автобалансир, рідинний автобалансир тощо. Зокрема два автобалансири можуть бути різних типів і різної балансувальної ємності. Також гнучкий ротор може бути зрівноважений до початку експлуатації як жорсткий ротор на сталій експлуатаційній швидкості обертання або як жорсткий ротор у трьох площинах корекції, або як гнучкий ротор у трьох і більше площинах корекції тощо.

На фіг. 1-8 показано реалізацію способу балансування для гнучкого двоопорного ротора пасивними автобалансирами, де 1 - гнучкий двоопорний ротор - міжопорний, 2 - дві пружно-в'язкі опори, 3 - подовжня вісь гнучкого ротора, 4 - пасивні автобалансири будь-якого типу у кількості 2-х штук, 5 - вісь обертання ротора. На фіг. 2-8 показані форми зігнутої подовжньої осі ротора при обертанні ротора з зарезонансними швидкостями, дещо меншими за: першу критичну швидкість - фіг. 2-4; другу - фіг. 5-6; третю - фіг. 7. На фіг. 8 зображено подовжню вісь гнучкого ротора при обертанні зі швидкостями, що знаходяться між i -ою і $(i+1)$ -ою критичними швидкостями на віддалі від них, або у випадку зрівноваженого ротора. На фіг. 9-10 показаний приклад реалізації способу для двоопорного ротора, що має як міжопорну, так і консольну частини. При цьому на фіг. 9 - ротор в нерухомому стані ($\omega=0$), а на фіг. 10 - ротор обертається зі сталою швидкістю, більшою за першу критичну ($\omega > \omega_{кр1}$). На фіг. 11-14 зображені пасивні автобалансири: фіг. 11 - однорядний кульовий чи роликовий, фіг. 12 - дворядний кульовий чи роликовий, фіг. 13 - маятниковий, фіг. 14 - рідинний.

Приклади конкретного виконання.

Приклад 1. Приклад реалізації способу балансування гнучкого двоопорного ротора пасивними автобалансирами показаний на фіг. 1-8. У способі (фіг. 1) гнучкий міжопорний ротор 1 встановлюють на дві пружно-в'язкі опори 2, співвісно поздовжній осі 3 гнучкого ротора

встановлюють пасивні автобалансири 4 будь-якого типу у кількості 2-х штук, причому пасивні автобалансири 4 розміщують як можна ближче до опор 2. Потім гнучкий ротор розганяють до сталої експлуатаційної швидкості обертання, яка більша за першу критичну швидкість.

Спосіб балансування гнучкого двоопорного ротора пасивними автобалансирами працює наступним чином. Відомо, що гнучкий двоопорний ротор на сталій швидкості обертання можна зрівноважити як жорсткий корегуванням мас у двох площинах корекції. Також відомо, що таке балансування за певних умов можуть забезпечити два пасивні автобалансири будь-якого типу, для чого їх необхідно встановити на ротор по одному у кожній площині корекції співвісно його поздовжній осі. Також відомо, що балансування у вигляді автоматичного зрівноваження гнучкого ротора двома автобалансирами може наставати тільки при обертанні ротора із сталою кутовою швидкістю. Оскільки у запропонованому способі на гнучкий ротор, встановлений на дві опори, співвісно його поздовжній осі встановлюють пасивні автобалансири будь-якого типу у кількості 2-х штук, гнучкий ротор розганяють до сталої експлуатаційної швидкості обертання, то виконуються необхідні умови, за яких можливо автоматично зрівноважити дисбаланс гнучкого ротора у двох площинах корекції цими пасивними автобалансирами.

Оскільки у запропонованому способі стала експлуатаційна швидкість обертання ротора більша за першу критичну швидкість, то ротор поводить як гнучкий.

Відповідно до винаходу пасивні автобалансири розміщують в площинах близьких до опор, тому вони будуть зрівноважувати ротор у двох площинах корекції, що практично співпадають із площинами опор. Відомо, що пасивні автобалансири можуть здійснювати балансування тільки, якщо вони встановлені податливо, тобто якщо вони можуть переміщуватися разом з ротором під дією поперечних щодо ротора сил. Тому у винаході запропоновано опори закріплювати пружно-в'язко.

При встановленні ротора на пружно-в'язкі опори у нього з'являються резонансні швидкості обертання, менші за першу критичну швидкість обертання ротора. Відомо, що при перевищенні резонансних швидкостей обертання ротора два пасивні автобалансири автоматично зрівноважують у своїх площинах корекції жорсткий ротор. Отже додатковим позитивним ефектом винаходу буде настання балансування на всьому діапазоні зарезонансних швидкостей обертання ротора, менших за першу критичну швидкість, на яких ротор поводить як жорсткий.

На фіг. 2 зображений гнучкий ротор при обертанні (навколо осі обертання 5) із сталою кутовою швидкістю ω_1 , що більша за найбільшу резонансну кутову швидкість обертання жорсткого ротора на пружно-в'язких (податливих) опорах ω_{pmax} і дещо менша за першу критичну швидкість ω_{kp1} ($\omega_{pmax} < \omega_1 < \omega_{kp1}$). В околі першої критичної швидкості починає проявлятися перша форма згину подовжньої осі ротора. Оскільки кутова швидкість обертання стала, то гнучкий ротор під час обертання поводить як псевдожорсткий. Він вигинається відповідно до першої форми згину і при подальшому обертанні зберігає цю форму. Оскільки ротор обертається із кутовою швидкістю, більшою за резонансні, то настає автоматичне балансування. При цьому кулі самі приходять у автобалансувальне положення і далі обертаються із гнучким ротором начебто одне ціле. Із збільшенням кутової швидкості обертання до значення ω_2 , такого, що $\omega_1 < \omega_2 < \omega_{kp1}$, прогин ротора за першою формою збільшується і тому кулі у автобалансирах ще більше збираються до купи при зрівноваженні дисбалансу, що утворився. Якщо ємності автобалансирів вистачає для зрівноваження дисбалансу (фіг. 3), то автобалансири повністю усувають дисбаланс ротора у двох площинах корекції, близьких до опор, і прогини в опорах практично відсутні. Якщо ємності автобалансирів не вистачає для зрівноваження дисбалансу (фіг. 4), то автобалансири неповністю усувають дисбаланс ротора у двох площинах корекції, близьких до опор, і прогини в опорах наявні. Для того, щоб ємності автобалансирів вистачало для зрівноваження ротора в околі першої критичної швидкості, доцільно до початку експлуатації зрівноважити гнучкий ротор як жорсткий ротор на сталій швидкості обертання в околі першої критичної швидкості, або як жорсткий ротор у трьох площинах корекції, або як гнучкий ротор у трьох і більше площинах корекції тощо. Подібне відбуватиметься і при обертанні гнучкого ротора із сталою кутовою швидкістю, дещо більшою за першу критичну швидкість ω_{kp1} .

Теж саме відбуватиметься при підході швидкості обертання ротора ω знизу до другої критичної швидкості обертання ω_{kp2} ($\omega_{kp1} < \omega < \omega_{kp2}$), тільки гнучкий ротор при цьому вигинається за другою формою (фіг. 5, 6). На фіг. 5 показаний випадок, коли балансувальної ємності автобалансирів вистачає для зрівноваження ротора, а на фіг. 6 - коли не вистачає. Для того, щоб ємності автобалансирів вистачало для зрівноваження ротора в околі другої критичної швидкості, доцільно попередньо зрівноважити гнучкий ротор як жорсткий ротор на сталій швидкості обертання в околі другої критичної швидкості або як жорсткий ротор у трьох площинах корекції, або як гнучкий ротор у трьох і більше площинах корекції тощо. Подібне

відбуватиметься і при обертанні гнучкого ротора із сталою кутовою швидкістю, дещо більшою за другу критичну швидкість $\omega_{кр2}$.

На фіг. 7 показаний випадок обертання гнучкого ротора при підході швидкості обертання ротора ω знизу до третьої критичної швидкості обертання $\omega_{кр3}$ ($\omega_{кр2} < \omega < \omega_{кр3}$), тільки гнучкий ротор при цьому вигинається за третьою формою.

Показаний випадок, коли балансувальної ємності автобалансирів вистачає для зрівноваження ротора. Для того, щоб ємності автобалансирів вистачало для зрівноваження ротора в околі третьої критичної швидкості доцільно попередньо зрівноважити гнучкий ротор як жорсткий ротор на сталій швидкості обертання в околі третьої критичної швидкості, або як гнучкий ротор у трьох і більше площинах корекції тощо. Подібне відбуватиметься і при обертанні гнучкого ротора із сталою кутовою швидкістю, дещо більшою за третю критичну швидкість $\omega_{кр3}$.

На фіг. 8 показаний випадок обертання гнучкого ротора із кутовою швидкістю ω , що лежить між критичними швидкостями $\omega_{кр, i}$ і $\omega_{кр, i+1}$ і знаходиться на віддалі від них $\omega_{кр, i} < \omega < \omega_{кр, i+1}$. В цьому випадку подовжня вісь ротора майже прямолінійна і кулі в автобалансирах розподілені так, що майже не вносять дисбалансу. Теж саме відбуватиметься при обертанні зрівноваженого гнучкого ротора із будь-якою сталою кутовою швидкістю, більшою за першу критичну швидкість.

Оскільки балансування буде наставати на будь-який сталій швидкості обертання ротора, більший за найвищу резонансну швидкість, то пропонується плавно розганяти чи гальмувати ротор на всьому діапазоні зарезонансних швидкостей обертання. При цьому зменшуються навантаження в опорах ротора при переході через критичні швидкості.

Зрівноваження ротора до початку експлуатації дозволяє меншими за балансувальною ємністю пасивними автобалансирами (автобалансирами менших габаритних розмірів і маси) зрівноважувати гнучкий ротор в околі критичних швидкостей.

Якщо ємності пасивних автобалансирів вистачає для зрівноваження гнучкого ротора, то при обертанні гнучкого ротора із будь-якою сталою зарезонансну кутовою швидкістю пасивні автобалансири повністю усувають прогини в опорах, тому опори поведуться начебто жорсткі і критичні швидкості гнучкого ротора з пасивними автобалансирами майже такі ж самі, як і критичні швидкості гнучкого ротора на жорстких опорах.

Приклад 2 за прикладом 1, який відрізняється тим, що гнучкий ротор має як міжопорну, так і консольну частини (фіг. 9, 10).

Приклад 3 за прикладом 1 чи 2, який відрізняється тим, що пасивні автобалансири однорядні кульові чи роликові (фіг. 11).

Приклад 4 за прикладом 1 чи 2, який відрізняється тим, що пасивні автобалансири дворядні кульові чи роликові (фіг. 12).

Приклад 5 за прикладом 1 чи 2, який відрізняється тим, що пасивні автобалансири маятникові (фіг. 13).

Приклад 6 за прикладом 1 чи 2, який відрізняється тим, що пасивні автобалансири рідинні (фіг. 14).

Приклад 7 за прикладами 1 чи 2, який відрізняється тим, що пасивні автобалансири різного типу - довільна комбінація автобалансирів (фіг. 11-14).

Приклад 8 за прикладом 1 чи 2, ..., чи 7, який відрізняється тим, що гнучкий ротор зрівноважують до початку експлуатації як жорсткий ротор на сталій експлуатаційній швидкості обертання, або як жорсткий ротор у трьох площинах корекції, або як гнучкий ротор у трьох і більше площинах корекції тощо.

Способи за прикладами 2-8 працюють так само, як і спосіб у прикладі 1. Тип пасивних автобалансирів не має принципового значення для роботи способу. Найкраще працюють кульові чи роликові автобалансири, бо їх відносним рухам перешкоджають сили опору коченню, що набагато менші за сили сухого тертя, що діють на маятники, а рідинний пасивний автобалансир не може повністю усунути дисбаланс ротора у своїй площині корекції.

У способі за прикладом 8 найкраще зрівноважувати ротор до початку експлуатації як гнучкий ротор у трьох і більше площинах корекції. При такому попередньому зрівноваженні гнучкого ротора ємності пасивних автобалансирів буде вистачати для зрівноваження ротора при переході через критичні швидкості обертання ротора.

ФОРМУЛА ВИНАХОДУ

Спосіб балансування гнучкого двоопорного ротора пасивними автобалансирами, який полягає у тому, що на гнучкий ротор, що встановлений на дві опори, співвісно поздовжній осі якого встановлюють пасивні автобалансири у кількості 2-х штук і гнучкий ротор розганяють до сталої

експлуатаційної швидкості обертання, яка більша за першу критичну швидкість, який **відрізняється** тим, що пасивні автобалансири розміщують в площинах, близьких до опор, а опори виконують пружно-в'язкими.

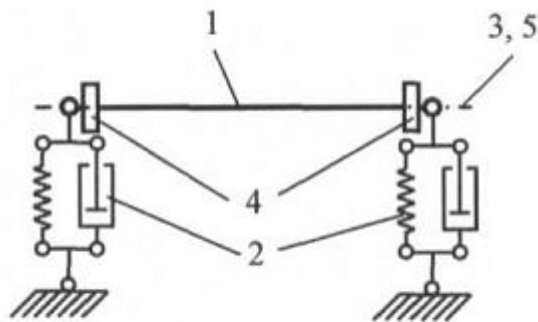


Fig. 1

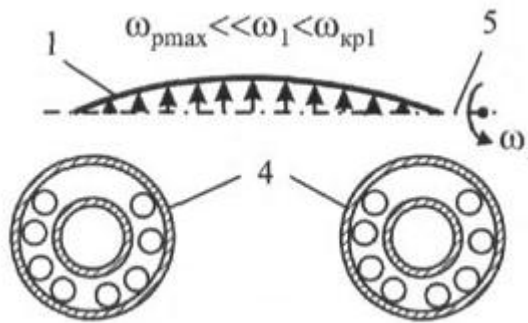


Fig. 2

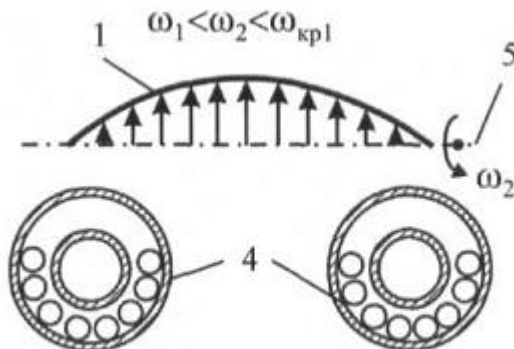
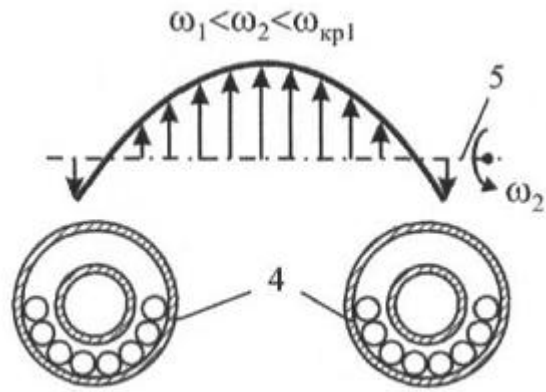
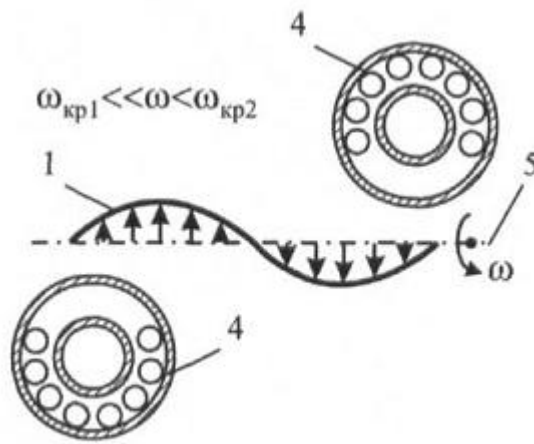


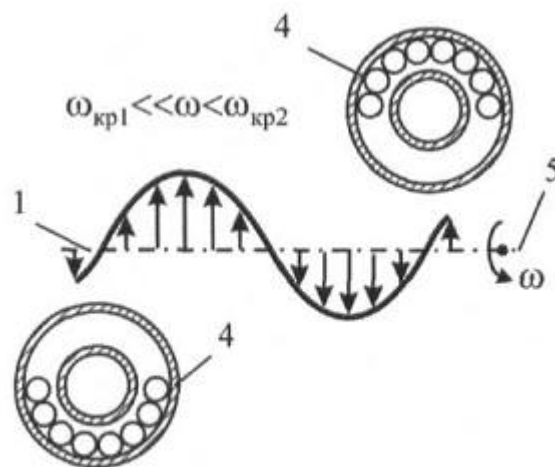
Fig. 3



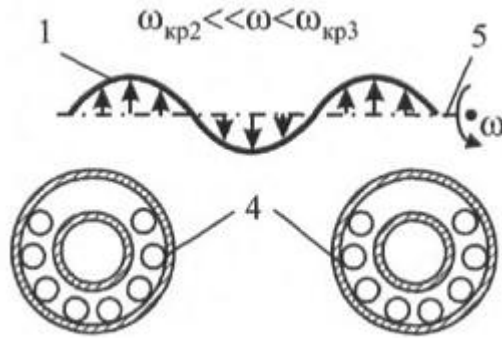
Фиг. 4



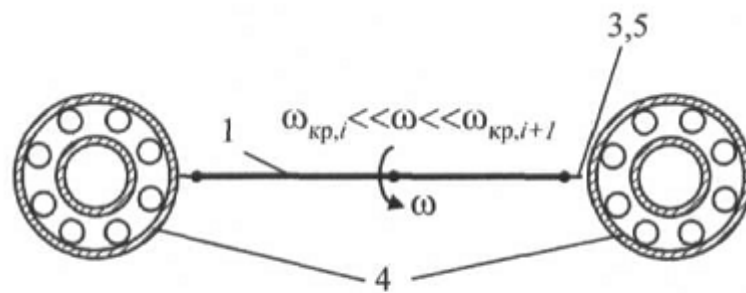
Фиг. 5



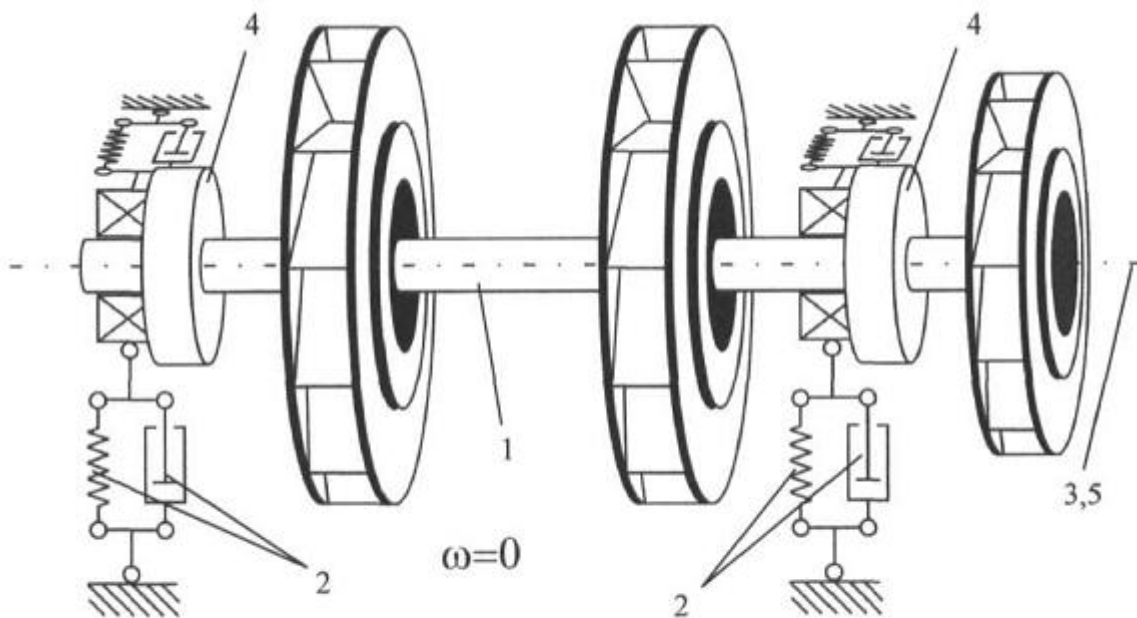
Фиг. 6



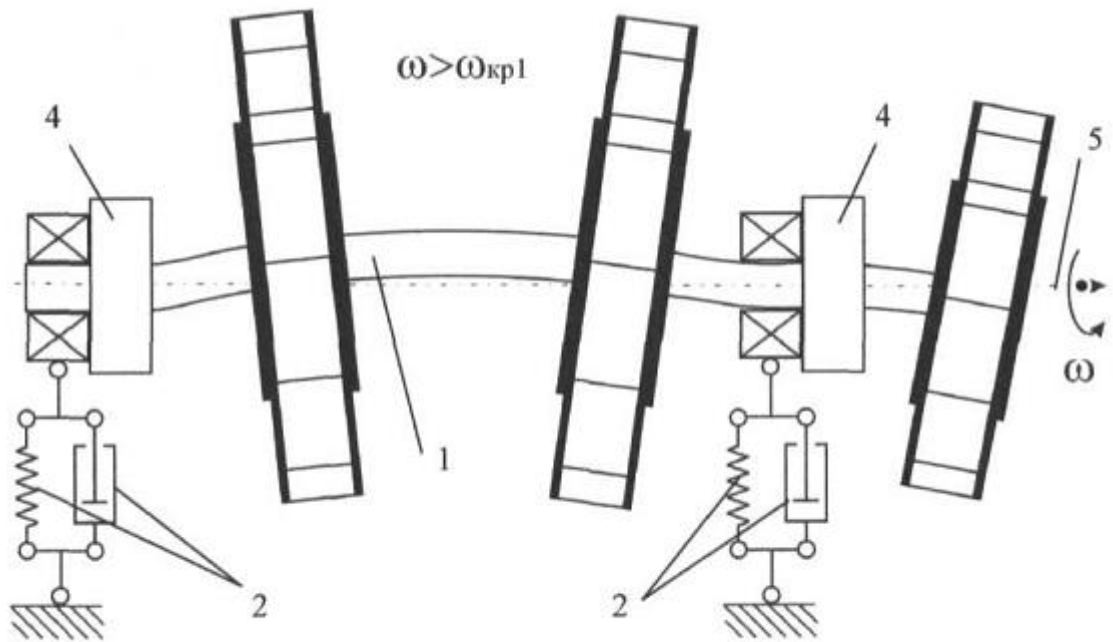
Фиг. 7



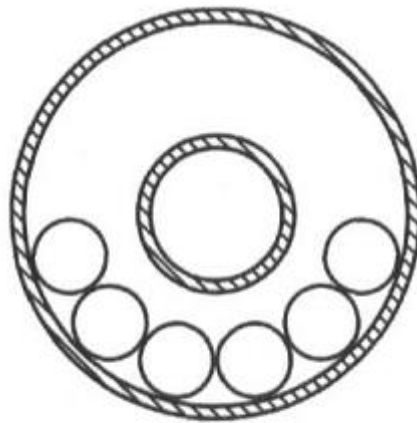
Фиг. 8



Фиг. 9



Фиг. 10



Фиг. 11

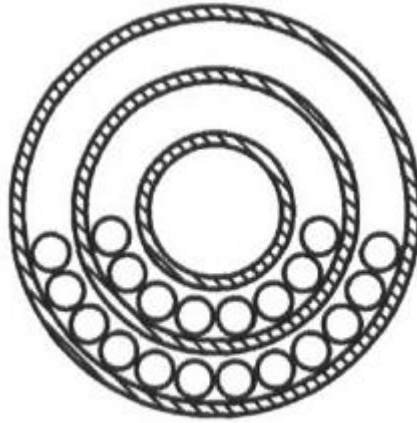


Fig. 12

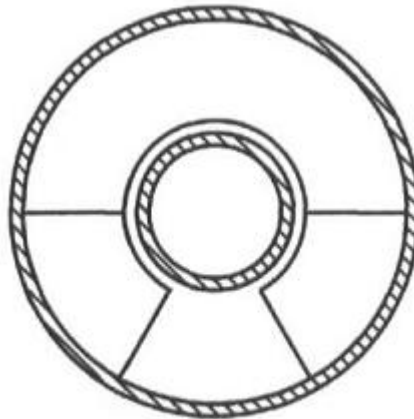


Fig. 13

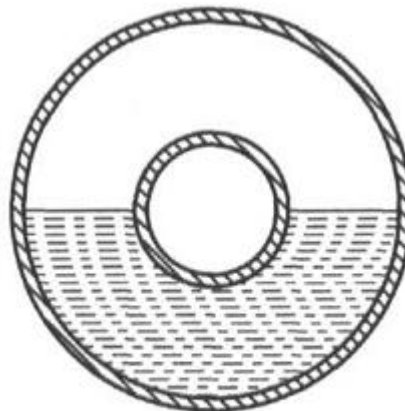


Fig. 14

Комп'ютерна верстка Д. Шеверун

Державна служба інтелектуальної власності України, вул. Урицького, 45, м. Київ, МСП, 03680, Україна

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