



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **78898** (13) **U**
(51) МПК (2013.01)
G01M 1/00
G01M 1/32 (2006.01)

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
УКРАЇНИ

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки: u 2012 08824	(72) Винахідник(и): Філімоніхін Геннадій Борисович (UA), Гадяка Володимир Григорович (UA), Паненко Вадим Григорович (UA), Гончаров Валерій Володимирович (UA)
(22) Дата подання заявки: 17.07.2012	
(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: 10.04.2013	
(46) Публікація відомостей про видачу патенту: 10.04.2013, Бюл.№ 7	(73) Власник(и): КІРОВОГРАДСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ, пр. Університетський, 8, м. Кіровоград, 25006 (UA)

(54) СПОСІБ БАЛАНСУВАННЯ ГНУЧКОГО ДВООПОРНОГО РОТОРА ПАСИВНИМИ АВТОБАЛАНСИРАМИ

(57) Реферат:

Спосіб балансування гнучкого двоопорного ротора пасивними автобалансирами, в якому на гнучкий ротор, встановлений на дві опори, співвісно поздовжній осі гнучкого ротора, в площинах, близьких до опор, які закріплюють пружно-в'язко, встановлюють пасивні автобалансири будь-якого типу, у кількості 2-х штук, і гнучкий ротор розганяють до сталої експлуатаційної швидкості обертання, яка більша за першу критичну швидкість.

U
78898
UA

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

Найбільш близьким технічним рішенням, вибраним як найближчий аналог, 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 корисна модель - 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 корисної моделі 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, у 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 найближчому аналозі 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 гнучкий двоопорний ротор 1 - міжопорний, дві пружно-в'язкі опори 2, подовжня вісь 3 гнучкого ротора, пасивні автобалансири 4 будь-якого типу у кількості 2-х штук, вісь обертання ротора 5. На фіг. 2-8 показані форми зігнутої подовжньої осі ротора при обертанні ротора з резонансними швидкостями, дещо меншими за: фіг. 2-4 - першу критичну швидкість; фіг. 5-6 - другу; фіг. 7 - третю. На фіг. 8 зображено подовжню вісь гнучкого ротора при обертанні із швидкостями, що знаходяться між i -ою і $(i+1)$ критичними швидкостями на віддалі від них, або у випадку зрівноваженого ротора. На фіг. 9-10 показаний приклад реалізації способу для двоопорного ротору, 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 з 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 корисної моделі пасивні автобалансири розміщують в площинах близьких до опор, тому вони будуть зрівноважувати ротор у двох площинах корекції, що 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 корисній моделі 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 корисної моделі 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} ($\omega_{pmax} \ll \omega_1 < \omega_{kp1}$). 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, але при обертанні ротора ця форма зберігається. Оскільки ротор обертається із кутовою швидкістю, більшою за резонансні, то настає автоматичне балансування. У наслідку цього кулі самі приходять у автобалансувальне положення і далі обертаються із гнучким ротором начебто одне ціле. Із збільшенням кутової швидкості обертання до 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, що знаходяться в опорах і прогини в опорах відсутні. Якщо ємності автобалансирів не вистачає для зрівноваження дисбалансу (фіг. 4), то автобалансири неповністю усувають дисбаланс ротора у двох площинах корекції, що знаходяться в опорах 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 спостерігається і при обертанні гнучкого ротора із сталою кутовою швидкістю, дещо більшою за першу критичну швидкість ω_{kp1} .

Теж саме спостерігається при підході швидкості обертання ротора ω знизу до другої критичної швидкості обертання ω_{kp2} ($\omega_{kp1} \ll \omega_2 < \omega_{kp2}$), 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

спостерігається 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 спостерігається 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 $\omega_{кр_i}$, $\omega_{кр_{i+1}}$ 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. Така ж картина спостерігається 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 зарезонансною кутовою швидкістю пасивні автобалансири повністю усувають прогини в опорах, тому опори поводяться 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 частину (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 8, 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 КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

Спосіб балансування гнучкого двоопорного ротора пасивними автобалансирами, який полягає у тому, що на гнучкий ротор, встановлений на дві опори, співвісно поздовжній осі гнучкого ротора встановлюють пасивні автобалансири будь-якого типу, 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 закріплюють пружно-в'язко.

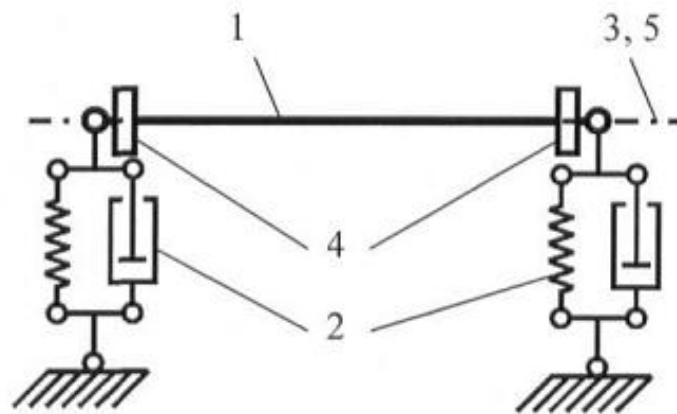


Fig. 1

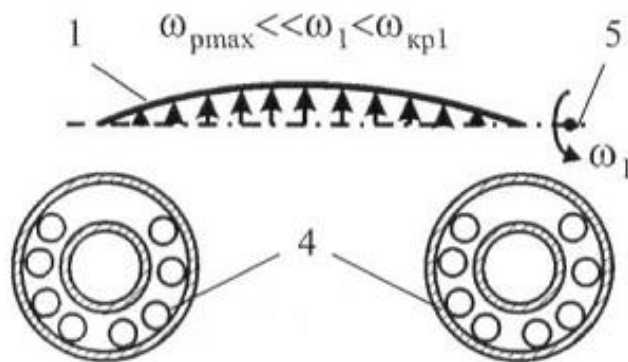


Fig. 2

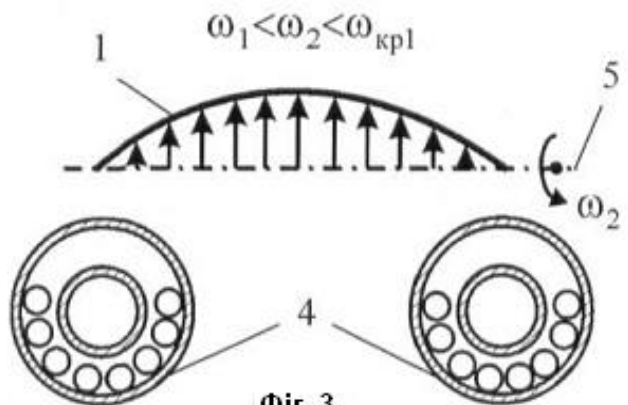
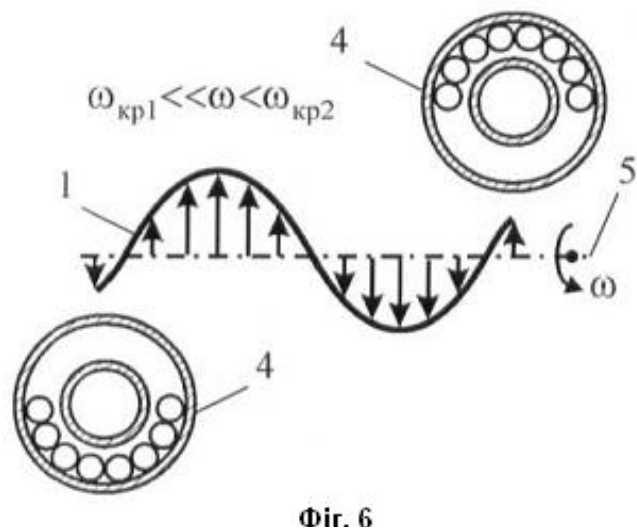
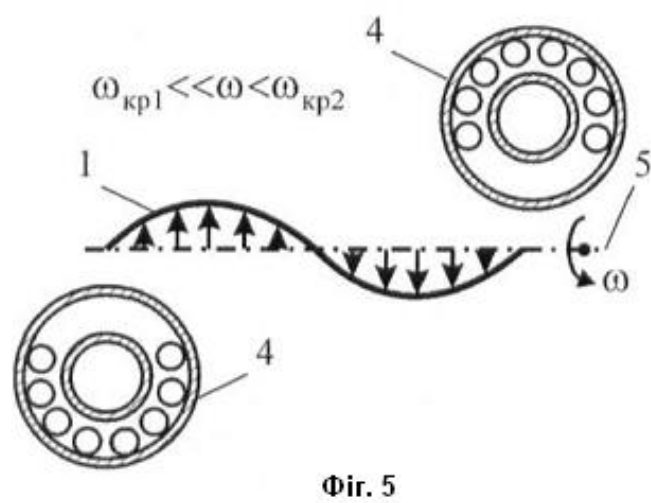
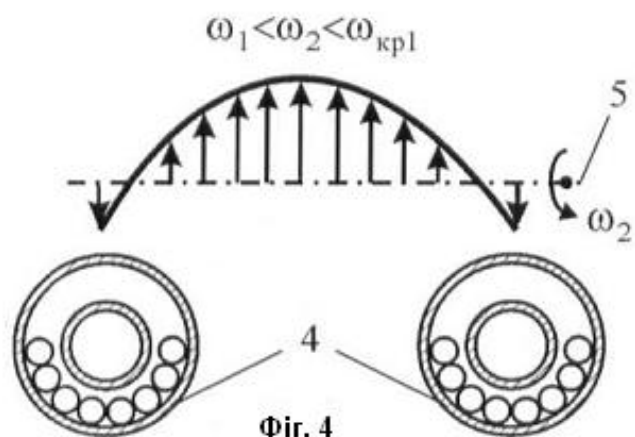


Fig. 3



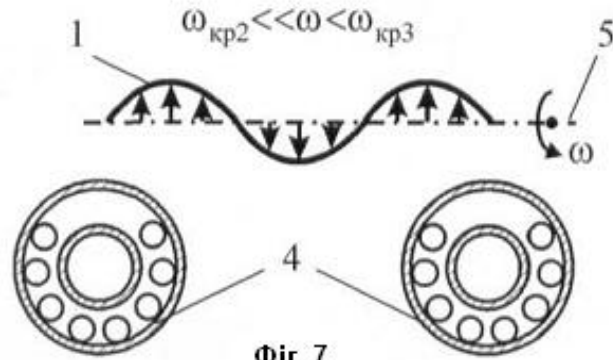


Fig. 7

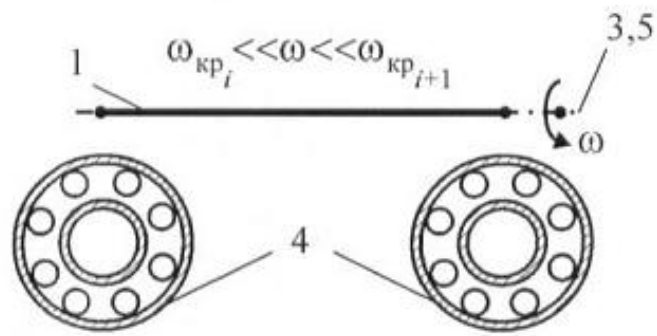


Fig. 8

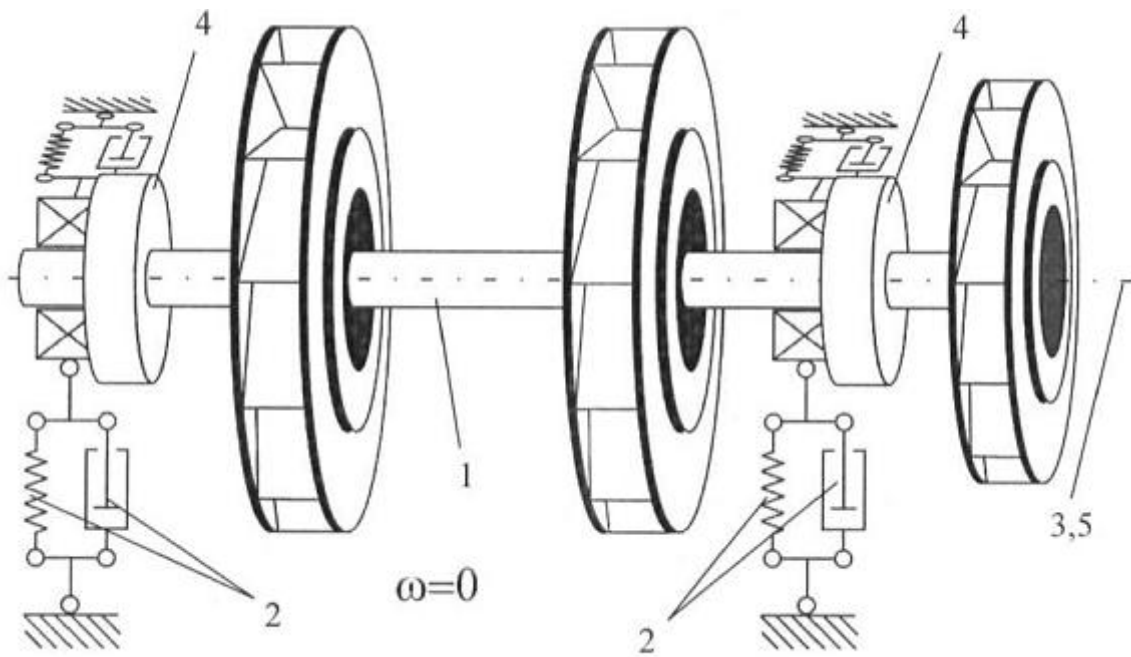


Fig. 9

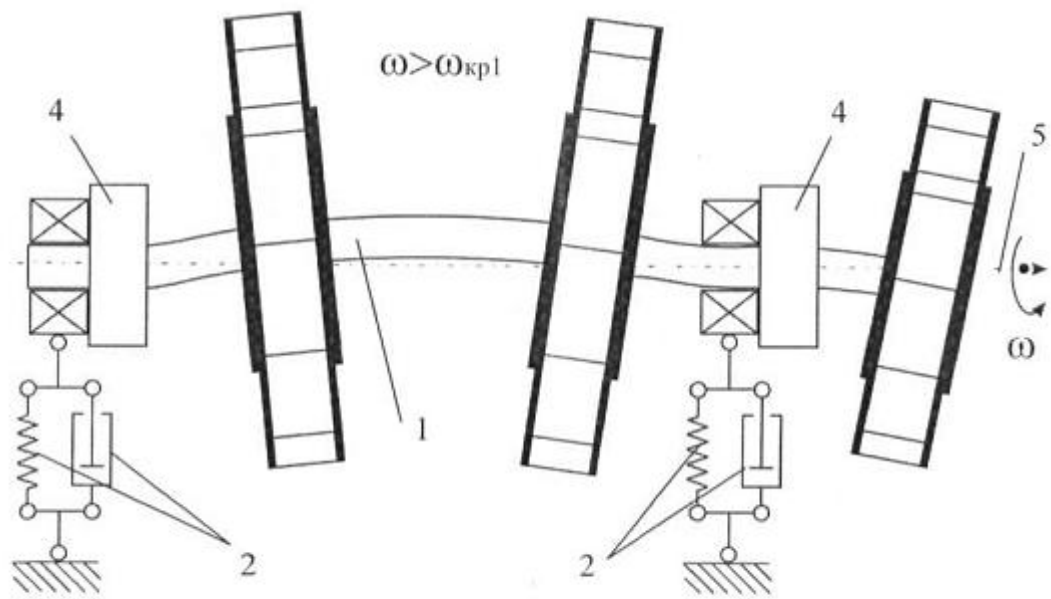


Fig. 10

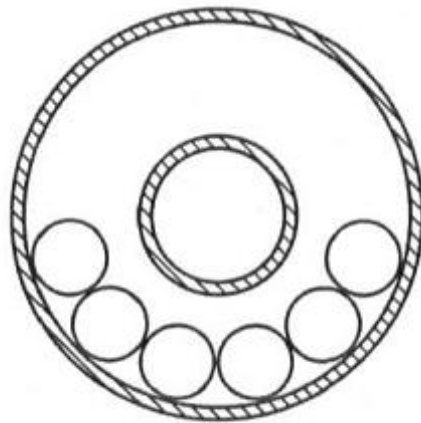


Fig. 11

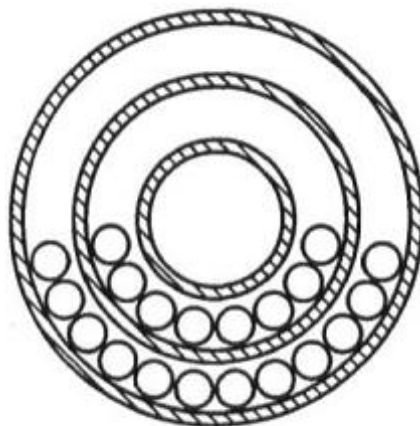


Fig. 12

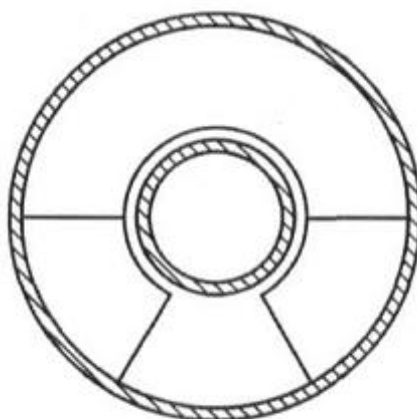


Fig. 13

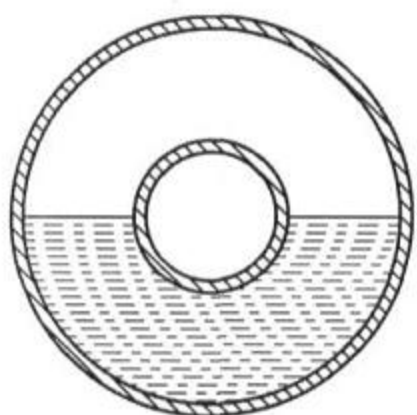


Fig. 14

Комп'ютерна верстка Л. Ціхановська

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