



(19) **RU** ⁽¹¹⁾ **2 156 025** ⁽¹³⁾ **C2**
(51) МПК⁷ **H 02 N 2/10, H 01 L 41/09**

РОССИЙСКОЕ АГЕНТСТВО
ПО ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

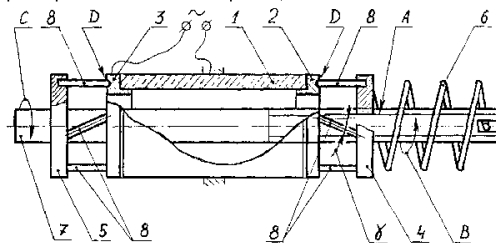
(21), (22) Заявка: 97109142/28, 27.05.1997
(24) Дата начала действия патента: 27.05.1997
(30) Приоритет: 26.11.1996 UA 96114432
(46) Дата публикации: 10.09.2000
(56) Ссылки: US 4453103 A, 05.07.1984. SU 1827708 A1, 15.07.1993. SU 483061 A, 10.10.1980. SU 576648 A, 07.09.1977. DE 3735623 A1, 03.05.1989.
(98) Адрес для переписки:
253175, г. Киев, ул.Тростянецкая, д.47,
кв.50, Боровику В.Г.

(71) Заявитель:
Боровик Валерий Григорьевич (UA)
(72) Изобретатель: Боровик Валерий Григорьевич (UA)
(73) Патентообладатель:
Боровик Валерий Григорьевич (UA)

(54) ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ДВИГАТЕЛЬ (ВАРИАНТЫ)

(57)
Изобретение относится к пьезоэлектрическим микродвигателям для приборов в системах автоматики, приборостроения, робототехники. Пьезоэлектрический двигатель содержит параллельный оси вращения ротора вибратор продольных колебаний с торцевыми прокладками, зажатый между двумя дисками ротора с помощью прижимного устройства. Один из дисков ротора жестко соединен с валом. Между торцами прокладок и дисков ротора под углом к ним расположены толкатели. Соединение второго диска с валом обеспечивает максимальную жесткость ротора в осевом направлении с возможностью перемещения этого диска по валу. Второй диск ротора может быть соединен с валом резьбой и подпружинен относительно вала торсионной пружиной, торсионная жесткость которой, по крайней мере, на порядок меньше торсионной жесткости вала. Второй диск может быть прижат к вибратору через толкатели гайкой, на которую в направлении затягивания воздействует податливая торсионная пружина. Толкатели могут быть закреплены с одной стороны на торцах дисков либо

закреплены в средней своей части в эластичных втулках. Угол каждого толкателя не превышает угла трения толкателей о прокладку или диск. Собственная частота первой формы изгибных колебаний толкателей близка к частоте возбуждения вибратора. Прокладки вибратора и диски ротора изготовлены из материала с износостойкостью меньшей, чем износостойкость материала толкателей. Незакрепленные концы толкателей опираются в кольцевые проточки на торцах прокладок вибратора. Изобретение позволяет повысить КПД, тяговые характеристики и ресурс пьезоэлектрических микродвигателей с вибратором, параллельным оси вращения ротора. 2 с. и 7 з.п. ф-лы, 2 ил.



Фиг. 1

RU 2 1 5 6 0 2 5 C 2

RU 2 1 5 6 0 2 5 C 2



(19) **RU** ⁽¹¹⁾ **2 156 025** ⁽¹³⁾ **C2**
 (51) Int. Cl.⁷ **H 02 N 2/10, H 01 L 41/09**

RUSSIAN AGENCY
 FOR PATENTS AND TRADEMARKS

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21), (22) Application: 97109142/28, 27.05.1997
 (24) Effective date for property rights: 27.05.1997
 (30) Priority: 26.11.1996 UA 96114432
 (46) Date of publication: 10.09.2000
 (98) Mail address:
 253175, g. Kiev, ul. Trostjanetskaja, d.47,
 kv.50, Boroviku V.G.

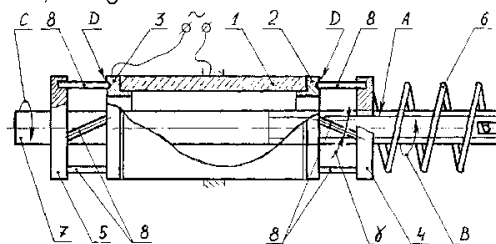
(71) Applicant:
 Borovik Valerij Grigor'evich (UA)
 (72) Inventor: Borovik Valerij Grigor'evich (UA)
 (73) Proprietor:
 Borovik Valerij Grigor'evich (UA)

(54) **PIEZOELECTRIC MOTOR (DESIGN VERSIONS)**

(57) Abstract:

FIELD: fractional-horsepower motors for automatic-control systems, instrumentation engineering, and robotics. SUBSTANCE: motor has longitudinal-vibration transducer mounted in parallel with rotor axis of revolution and provided with end gaskets fitted between two rotor disks and held in position by means of hold-down device. One of rotor disks is rigidly fixed on shaft. Push-rods are inserted between ends of gaskets and those of rotor disks at certain angle to them. Second-disk-to-shaft joint provides for utmost stiffness of rotor in axial direction for displacing mention disk over shaft. Second rotor disk may be fitted onto shaft through threaded joint and spring-loaded thereon by means of torsional spring whose torsional rigidity is at least an order of magnitude lower than that of shaft. Second disk may be tightly fitted to vibration transducer through push-rods by means of nut actuated by pliable torsional spring in turn-in direction. Push-rods may be secured on one side of disk ends or their

central parts may be secured within flexible bushings. Angle of each push-rod does not exceed angle of friction between push-rods and gasket or disk. Inherent frequency of first waveform of torsional vibrations of push-rods approaches excitation frequency of vibration transducer. Gaskets of the latter and rotor disks are made of material whose mechanical endurance is lower than that of push-rod material. Loose ends of push-rods are supported by annular drillings on ends of vibration transducer gaskets. EFFECT: improved efficiency, tractive characteristics, and service life of motor. 9 cl, 2 dwg



Фиг. 1

RU 2 1 5 6 0 2 5 C 2

RU 2 1 5 6 0 2 5 C 2

Изобретение относится к пьезоэлектрическим микродвигателям для приводов в системах автоматки, приборостроения, робототехники.

Спецификой миниатюрных пьезоэлектрических двигателей является необходимость эффективного использования габаритов двигателя и объема пьезоэлектрического элемента, повышения КПД, удельных характеристик двигателей и их стабильности в процессе эксплуатации.

Известен пьезоэлектрический двигатель [А. с. N 1278994, М.кп. N 02 N 2/00, N 01 L 41/08, G 11 B 15/40, 1986 г.], содержащий параллельный оси вращения ротора вибратор с прокладкой, ротор, состоящий из диска, жестко связанного с валом, а также толкатели, расположенные между прокладкой вибратора и диском ротора. Износостойкая прокладка закреплена на цилиндрической поверхности вибратора радиальных колебаний, а толкатели наклонены к плоскости, касательной к цилиндрической поверхности вибратора в точке контакта толкателей под углом меньшим 90° в плоскости диска ротора.

Работа двигателя заключается в следующем.

При подаче переменного электрического напряжения ротор двигателя начинает вращаться вследствие периодического, с частотой возбуждения, проскальзывания и заклинивания толкателей на цилиндрической поверхности прокладки вибратора.

Недостатком данного двигателя является то, что величина усилия прижима толкателей к прокладке вибратора задается при его сборке начальной деформацией толкателей. В процессе эксплуатации двигателя происходит износ толкателей и соответствующее уменьшение усилия прижима тем большее, чем выше изгибная жесткость толкателей. Это приводит к уменьшению крутящего момента двигателя. Кроме того, износ толкателей и соответствующее уменьшение их длины и массы приводит к увеличению частоты собственных изгибных колебаний толкателей, что, при неизменной собственной частоте вибратора, снижает эффективность преобразования его колебаний во вращение ротора и КПД двигателя.

Известен пьезоэлектрический двигатель [US N 4453103, N 01 L 41/08, 1984 г., фиг.18 (прототип)], содержащий параллельный оси вращения ротора вибратор продольных колебаний с торцевыми прокладками, зажатым между двумя дисками упомянутого ротора с помощью пружины, один из дисков жестко соединен с валом, второй диск соединен с валом с помощью подвижного соединения, а между, по крайней мере, одним из дисков и прокладкой вибратора расположены толкатели. Причем второй диск соединен с валом с использованием направляющего штифта (фиг. 14, f) или шпонки (фиг. 18), которая обеспечивает осевое перемещение упомянутого диска под действием пружины сжатия без возможности поворота этого диска относительно вала, а толкатели, длина которых составляет примерно $1/2$ длины волны их продольных колебаний, закреплены на торцах вибратора.

Работа двигателя заключается в следующем.

При подаче на пьезоэлектрический вибратор переменного электрического напряжения он удлиняется и сокращается с частотой подаваемого напряжения.

Амплитуда колебаний торцов вибратора максимальна при совпадении частоты электрического напряжения с частотой первого продольного резонанса вибратора. В толкателях, закрепленных на торцах вибратора, также возникают продольные колебания, частота которых кратна частоте колебаний вибратора. В результате косоуго соударения свободных концов толкателей с торцами дисков в толкателях возбуждаются изгибные колебания - поперечные колебания свободных концов толкателей. При некотором экспериментально выбранном усилии прижима дисков к толкателям, задаваемым пружиной, появляется однонаправленный импульс тангенциального усилия, которое прикладывается к ротору и, суммируясь с импульсами за другие периоды колебаний, создает ротору однонаправленное вращение.

Недостатком данного двигателя является то, что жесткость вибратора с толкателями в осевом направлении существенно больше жесткости ротора с дисками, прижимаемыми пружиной сжатия к свободным концам толкателей. Это обусловлено необходимостью использования пружины с низкой жесткостью, которая задает усилие прижима дисков к толкателям и, благодаря своей малой жесткости, сохраняет это усилие в оптимальном диапазоне в процессе работы двигателя и износе торцов дисков и толкателей. Кроме того, пружина с низкой жесткостью позволяет упростить процедуру экспериментального определения оптимального усилия прижима в процессе регулировки двигателя при его сборке. Резонансные частоты колебаний вибратора с толкателями и ротора с дисками и пружиной сжатия отличаются больше, чем на порядок. Поэтому эффективность передачи энергии от вибратора к ротору низкая и, соответственно низок КПД двигателя. Крепление толкателей на торцах вибратора приводит к тому, что в полупериоде удлинения вибратора уменьшается усилие прижима их свободных концов к торцам дисков, что снижает тяговое усилие двигателя и его КПД. Кроме того, толкатели, закрепленные на торцах вибратора, снижают его резонансную частоту и быстродействие двигателя и сдвигают спектр его акустических шумов в область более низких частот, слышимых человеческим ухом, что обуславливает необходимость использования звукопоглощающих и звукоизолирующих элементов.

В основу изобретения поставлена задача для пьезоэлектрического двигателя путем соединения второго диска с валом соединением, жестким в осевом направлении, но позволяющим при этом второму диску легко перемещаться по валу в осевом направлении, и крепления толкателей на торцах дисков ротора обеспечить повышение КПД двигателя, его тяговых характеристик, быстродействия и ресурса.

Согласно изобретению поставленная задача решается тем, что в пьезоэлектрическом двигателе, содержащем параллельный оси вращения ротора вибратор продольных колебаний с торцевыми

прокладками, зажатым между двумя дисками упомянутого ротора с помощью пружины, один из дисков жестко соединен с валом, второй диск соединен с валом с помощью подвижного соединения, а между, по крайней мере, вторым диском и прокладкой вибратора расположены толкатели, имеется также резьбовое соединение второго диска с валом и торсионная пружина, обеспечивающие максимальную жесткость ротора в осевом направлении с возможностью перемещения этого диска по валу.

Жесткое, в осевом направлении, резьбовое соединение второго диска с валом позволяет получить максимальную жесткость ротора в осевом направлении, благодаря чему амплитуда продольных колебаний вибратора более эффективно преобразуется во вращение ротора, повышаются тяговые характеристики и КПД двигателя. Осевое перемещение второго диска по валу на резьбе под действием торсионной пружины с низкой торсионной жесткостью позволяет увеличить ресурс двигателя за счет постоянного подкручивания этого диска по резьбе на величину износа толкателей и прокладок вибратора. Торсионная жесткость пружины меньшая, по крайней мере, на порядок торсионной жесткости вала позволяет в течение всего ресурса двигателя обеспечить практически неизменный закручивающий момент пружины - неизменные условия контакта толкателей с прокладками вибратора и, соответственно, неизменные тяговые характеристики и КПД двигателя. Кроме того, начальный момент закручивания пружины соответствует максимальному крутящему моменту двигателя, что позволяет упростить его регулировку при сборке и настраивать конкретный двигатель на требуемый в конкретном случае максимальный крутящий момент.

Возможен вариант двигателя, в котором поставленная задача решается тем, что в пьезоэлектрическом двигателе, содержащем параллельный оси вращения ротора вибратор продольных колебаний с торцевыми прокладками, зажатым между двумя дисками упомянутого ротора с помощью пружины, один из дисков жестко соединен с валом, второй диск соединен с валом с помощью подвижного соединения, а между, по крайней мере, вторым диском и прокладкой вибратора расположены толкатели, имеется также гайка, подпружиненная на затягивание относительно вала торсионной пружины. Прижим второго диска к вибратору, через толкатели, гайкой позволяет упростить конструкцию этого диска за счет выполнения внутреннего отверстия в нем гладким, что обеспечивает лучшее центрирование второго диска на валу, чем резьбовое соединение. Гайка обеспечивает только получение максимальной жесткости ротора в осевом направлении, а ее несоосность с валом и торцевое биение не оказывает влияния на постоянство угловой скорости вращения ротора.

Двигатель по п.1,2, отличающийся тем, что толкатели закреплены на торце, по крайней мере, второго диска. Крепление толкателей на торце, по крайней мере, второго диска приводит к тому, что усилие прижима свободных концов толкателей к прокладкам вибратора в полупериоде удлинения

вибратора увеличивается, что повышает тяговые характеристики двигателя. При этом снижается масса, сосредоточенная на концах вибратора, что повышает его резонансную частоту и, соответственно, быстродействие двигателя. Кроме того, спектр акустических шумов двигателя сдвигается в более высокочастотную, не воспринимаемую человеческим ухом, область.

Двигатель по п. 1, 2, отличающийся тем, что толкатели закреплены, по крайней мере, в одной эластичной втулке, расположенной между торцами прокладки вибратора и, по крайней мере, второго диска и изготовленной из материала с модулем упругости, по крайней мере, на порядок меньшим, чем модуль упругости материала толкателей. Крепление толкателей в эластичной втулке позволяет сделать съемной и легко заменяемой деталь двигателя, удерживающую толкатели в требуемом положении относительно прокладок вибратора и дисков ротора. Т.к. толкатели являются наиболее быстро изнашиваемыми элементами двигателя, то возможность их замены позволяет увеличить ресурс двигателя в целом.

Двигатель по п. 1, 2, отличающийся тем, что толкатели имеют собственную частоту первой формы изгибных колебаний, близкую к частоте возбуждения вибратора. При этом толкатели совершают изгибные колебания с частотой возбуждения вибратора в одной фазе с ним: в начале полупериода сокращения вибратора они отрываются от торцевой поверхности прокладок вибратора, а в конце этого полупериода - касаются ее, что снижает время проскальзывания свободных концов толкателей по торцевой поверхности прокладок вибратора и их относительные скорости в моменты соприкосновения и отрыва. Это повышает тяговые характеристики, КПД и ресурс двигателя.

Двигатель по п. 1, 2, отличающийся тем, что детали двигателя, с которыми взаимодействуют свободные концы толкателей, изготовлены из материала с износостойкостью меньшей, чем износостойкость материала толкателей. Это позволяет продлить период работы двигателя в оптимальном режиме, когда частота продольных колебаний вибратора близка к частоте первой формы изгибных колебаний толкателей. В процессе эксплуатации двигателя происходит износ толкателей, сопровождающийся уменьшением их длины и массы, что приводит к увеличению их собственной частоты, общего времени проскальзывания свободных концов толкателей и относительной скорости свободных концов толкателей и ответных деталей в моменты их отрыва и касания. Кроме того, происходит износ прокладок вибратора, что приводит к увеличению его собственной частоты. Площадь истирания толкателей меньше площади истирания прокладок. Поэтому изготовление последних из материала с меньшей износостойкостью, чем у материала толкателей, позволяет сблизить скорости изменения собственных частот вибратора и толкателей.

Предложенный двигатель поясняется следующими чертежами.

На фиг. 1 представлен общий вид пьезоэлектрического двигателя с

толкателями, закрепленными на дисках ротора, на фиг. 2 - общий вид двигателя с толкателями, закрепленными в податливых втулках и подвижным диском, прижатым гайкой.

Пьезоэлектрический двигатель (фиг. 1) содержит параллельный оси вращения ротора вибратор продольных колебаний 1 с торцевыми прокладками 2 и 3, ротор, состоящий из дисков 4 и 5, пружины 6 и вала 7. Один из дисков - 5 жестко соединен с валом 7. Между, по крайней мере, вторым диском 4, который соединен с валом 7 подвижно, и торцевой прокладкой 2 вибратора 1 расположены толкатели 8 под углом γ в плоскости, касательной к образующей цилиндрической поверхности, соосной с ротором, проходящей через точки контакта толкателей с прокладкой. Оптимальным является угол γ , близкий к углу трения материалов толкателей и прокладок [См., например, Испытательная техника: Справочник. В 2-х кн. / Под. ред. В.В. Крюева. М.: Машиностроение, 1982. Кн. 1, с. 190 - 222]. Собственная частота первой формы изгибных колебаний толкателей [см., например, Писаренко Г.С. и др. Справочник по сопротивлению материалов. - Киев: Наукова Думка, 1975 г., с. 533, 553] выбрана близкой к частоте возбуждения вибратора. Второй диск 4 соединен с валом 7 резьбой А с направлением затягивания В, противоположным направлению вращения С вала 7. Диск 4 подпружинен на затягивание пружиной 6 с торсионной жесткостью, по крайней мере, на порядок меньшей, чем торсионная жесткость вала, при этом начальный момент закручивания пружины соответствует максимальному крутящему моменту двигателя. С другой стороны вибратора 1, между прокладкой 3 и диском 5, также могут быть размещены толкатели 8. Толкатели 8 могут опираться незакрепленными концами в кольцевые проточки D, которые позволяют установить ротор в двигателе без подшипников.

Двигатель, представленный на фиг. 2, отличается от описанного выше варианта тем, что толкатели 8 закреплены в податливых втулках 10, изготовленных из материала, имеющего модуль упругости, по крайней мере, на порядок меньше, чем модуль упругости материала толкателей. В качестве материала для втулок в равной мере подходят полистирол, полиэтилен, фторопласт и другие термопластические полимеры, а также резина, эпоксидная смола. Второй диск 4 соединен с валом 7 с возможностью свободного перемещения вдоль его оси без поворота относительно вала, прижат гайкой 9 и торсионной пружиной с жесткостью, по крайней мере, на порядок меньшей, чем торсионная жесткость вала.

Двигатель работает следующим образом.

При подаче на пьезоэлектрический вибратор 1 переменного напряжения с частотой, близкой к собственной частоте его продольных механических колебаний, он начинает периодически удлиняться и сокращаться: происходят резонансные колебания вибратора.

В полупериоде удлинения вибратора прокладки движутся к дискам и прижимаются к толкателям. В результате этого на диски 4

и 5 передаются противоположно направленные силы, действующие по оси ротора. Первый диск 5 жестко соединен с валом 7, а второй диск 4 - с помощью резьбы, поэтому расстояние между ними не меняется под действием упомянутых сил и все удлинение вибратора 1 - уменьшение расстояния - между прокладками 2(3) и дисками 4(5) - преобразуется в поворот толкателей 8, увеличение угла γ и соответствующий поворот вала двигателя. При этом толкатели не проскальзывают в точках контакта с прокладками, т.к. угол γ не превышает угла трения материалов толкателей и прокладок. Кроме рассмотренной осевой силы на второй диск 4 действует крутящий момент, равный произведению трех множителей: осевой силы, тангенса угла γ и расстояния точки контакта толкателя с торцом прокладки до оси вращения вала. Этот момент действует в направлении отворачивания второго диска 4 по резьбе А вала 7 и уравнивается моментом закручивания торсионной пружины 6. Через эту пружину крутящий момент от второго диска 4 передается на вал 7 двигателя. Толкатели, расположенные с другой стороны вибратора 1 - между прокладкой 3 и диском 5, - также преобразуют возникающее осевое усилие в крутящий момент. Таким образом, крутящий момент двигателя равен сумме моментов, возникающих на обоих дисках 4 и 5.

В полупериоде сокращения вибратора до момента достижения им минимальной длины прокладки движутся в противоположном направлении и отжимаются от толкателей. В этом полупериоде ротор двигателя вращается по инерции. Так как собственная частота первой формы изгибных колебаний толкателей выбрана близкой к частоте возбуждения вибратора, то в конце этого полупериода (сокращения вибратора) толкатели, совершив полупериод свободных колебаний, опять касаются прокладок.

Далее наступает полупериод удлинения вибратора, и рабочий цикл двигателя повторяется.

При работе двигателя происходит износ прокладок вибратора и толкателей. Торсионная пружина 6 за счет начального момента закручивания, установленного при сборке двигателя, и малой торсионной жесткости, по крайней мере, на порядок меньшей, чем торсионная жесткость вала, постоянно подкручивает (затягивает) второй диск 4 по резьбе А вала 7, обеспечивая тем самым сохранение условий оптимального зацепления толкателей и прокладок двигателя в процессе его работы и связанного с ней износа упомянутых элементов. Причем, благодаря малой торсионной жесткости пружины, износ толкателей практически не изменяет установленного при сборке двигателя ее начального момента закручивания и соответствующего усилия прижима свободных концов толкателей.

В процессе износа толкателей и прокладок происходит уменьшение их длины и массы и изменяются собственные частоты колебаний вибратора и толкателей. изнашиваемая площадь прокладок вибратора больше суммарной изнашиваемой площади свободных концов толкателей. Поэтому

меньшая износостойкость материала прокладок по сравнению с износостойкостью материала толкателей позволяет продлить период эксплуатации двигателя, в течение которого собственная частота продольных колебаний вибратора близка к собственной частоте первой формы изгибных колебаний толкателей. Благодаря этому в течение упомянутого периода сохраняются тяговые характеристики двигателя и его КПД.

В процессе работы двигателя свободные концы толкателей перемещаются по кольцевым проточкам D прокладок вибратора и обеспечивают бесподшипниковое сохранение оси вращения ротора двигателя.

Таким образом, при использовании данного предлагаемого изобретения повышается КПД и ресурс двигателя с пьезоэлектрическим вибратором, параллельным оси вращения ротора, благодаря более полному преобразованию амплитуды колебаний вибратора во вращательное движение ротора за счет жесткого в осевом направлении соединения второго диска с валом и перемещения этого диска по валу с помощью резьбы под действием торсионной пружины с низкой торсионной жесткостью, крепления толкателей на торцах дисков ротора, выбора собственной частоты первой формы изгибных колебаний толкателей, близкой к частоте возбуждения вибратора.

Формула изобретения:

1. Пьезоэлектрический двигатель, содержащий параллельный оси вращения ротора вибратор продольных колебаний с торцевыми прокладками, зажатый между двумя дисками упомянутого ротора с помощью пружины, один из дисков жестко соединен с валом, а между, по крайней мере, одним из дисков и прокладкой вибратора расположены толкатели, отличающийся тем, что второй диск соединен с валом резьбой с направлением затягивания, противоположным направлению вращения вала, и подпружинен на затягивание относительно вала торсионной пружиной, торсионная жесткость которой, по крайней мере, на порядок меньше торсионной

жесткости вала.

2. Двигатель по п.1, отличающийся тем, что толкатели закреплены на торце, по крайней мере, второго диска.

5 3. Двигатель по п.1, отличающийся тем, что толкатели закреплены, по крайней мере, в одной эластичной втулке, расположенной между торцами прокладки вибратора и, по крайней мере, второго диска.

10 4. Двигатель по п.1, отличающийся тем, что толкатели имеют собственную частоту первой формы изгибных колебаний, близкую к частоте возбуждения вибратора.

15 5. Двигатель по п.1, отличающийся тем, что детали двигателя, с которыми взаимодействуют свободные концы толкателей, изготовлены из материала с износостойкостью меньшей, чем износостойкость материала толкателей.

20 6. Пьезоэлектрический двигатель, содержащий параллельный оси вращения ротора вибратор продольных колебаний с торцевыми прокладками, зажатый между двумя дисками упомянутого ротора с помощью пружины, один из дисков жестко соединен с валом, а между, по крайней мере, одним из дисков и прокладкой вибратора расположены толкатели, отличающийся тем, 25 что второй диск прижат со стороны, противоположной вибратору, гайкой, подпружиненной торсионной пружиной, торсионная жесткость которой, по крайней мере, на порядок меньше торсионной жесткости вала.

30 7. Двигатель по п.2, отличающийся тем, что толкатели закреплены, по крайней мере, в одной эластичной втулке, расположенной между торцами прокладки вибратора и, по крайней мере, одного из дисков.

35 8. Двигатель по п.2, отличающийся тем, что толкатели имеют собственную частоту первой формы изгибных колебаний, близкую к частоте возбуждения вибратора.

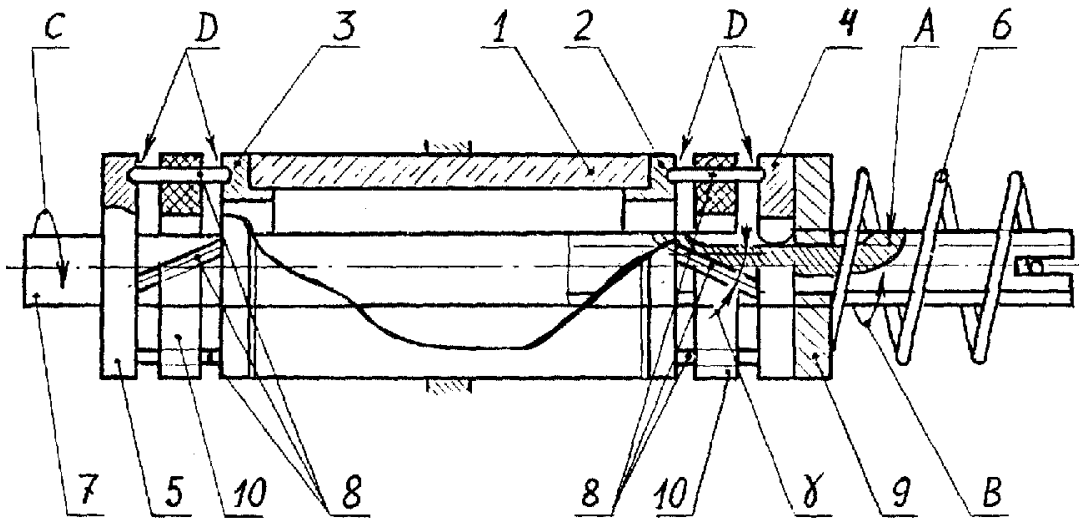
40 9. Двигатель по п.2, отличающийся тем, что детали двигателя, с которыми взаимодействуют свободные концы толкателей, изготовлены из материала с износостойкостью меньшей, чем износостойкость материала толкателей.

45

50

55

60



$\Phi_{u2.2}$.

RU 2156025 C2

RU 2156025 C2