



(51) МПК
F01D 15/08 (2006.01)
F01D 25/16 (2006.01)
F16C 17/04 (2006.01)
F16C 32/04 (2006.01)

**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
 ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ**

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2013137122/06, 07.08.2013

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
 07.08.2013

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 07.08.2013

(45) Опубликовано: 27.09.2014 Бюл. № 27

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: RU 2472946 C2, (КРИОСТАР САС), 20.01.2013 . RU 2461747 C2, (ДЖЕНЕРАЛ ЭЛЕКТРИК КОМПАНИ), 20.09.2012. RU 2403416 C1, (ЗАО "ИСКРА-АВИГАЗ"), 10.11.2010 . DE 10358953 A1, (MAN TURBO AG), 28.07.2005. US 6505837 B1, (MONARK INNOVATIVE TECHNOLOGY INC), 14.01.2003

Адрес для переписки:

690950, Приморский край, г. Владивосток, ГСП,
 ул. Суханова, 8, ДВФУ, отдел
 интеллектуальной собственности

(72) Автор(ы):

Дидов Владимир Викторович (RU),
 Сергеев Виктор Дмитриевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего
 профессионального образования
 "Дальневосточный федеральный
 университет" (ДВФУ) (RU)

(54) ГАЗОТУРБИННЫЙ ДВИГАТЕЛЬ

(57) Реферат:

Газотурбинный двигатель, на цилиндрической втулке которого со стороны, прилегающей к колесу турбины, надета первая чашеобразная цапфа-пята первого радиально-упорного магнитного подшипника, ориентированная своим дном к колесу турбины, при этом на свободном конце вала последовательно установлены с упором друг в друга, вторая чашеобразная цапфа-пята второго радиально-упорного магнитного подшипника, ориентированная своим дном к колесу компрессора, первый и второй упорные лепестковые газовые подшипники, колесо центробежного компрессора и балансировочная шайба, зафиксированные гайкой. Каждый радиальный магнитный подшипник включает в себя тонкостенную втулку, выполненную из немагнитного материала, на внешней поверхности которой равномерно по ее окружности расположены полюса, выполненные

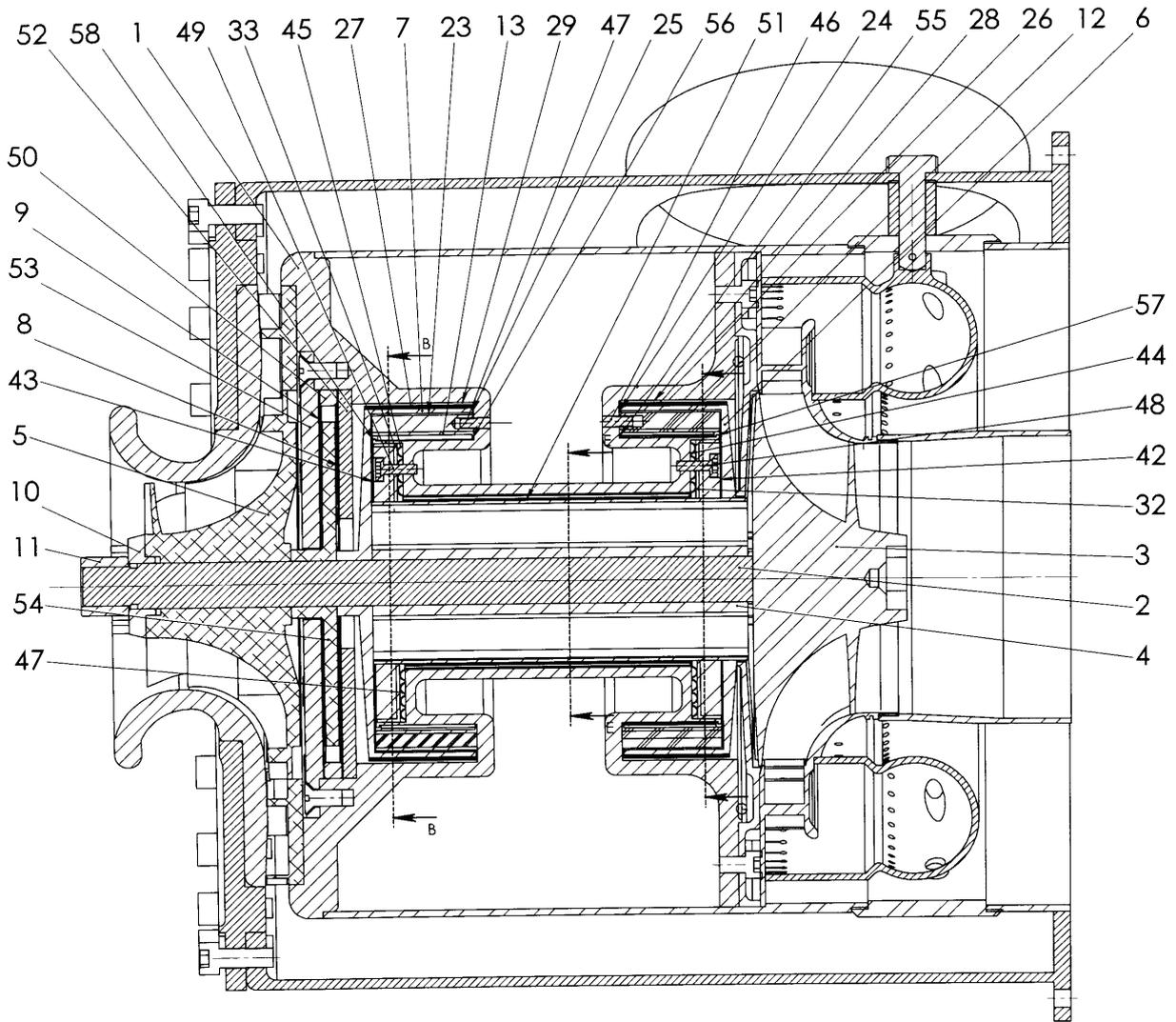
в виде планок трапециевидного сечения, из материала с высокой магнитной проницаемостью, между которыми размещены, контактируя с полюсами боковыми гранями, магнитные планки трапециевидного сечения из магнитного материала, которые по всей осевой длине намагничены в тангенциальном встречном направлении. Магнитные планки широким основанием своего сечения обращены к поверхности тонкостенной втулки, а со стороны их узкого основания размещены клинья, выполненные в виде полос из немагнитного материала, жестко и заподлицо скрепленные с боковыми гранями полюсов, контактирующих с соответствующей магнитной планкой, образуя цилиндрическую поверхность, выходящую в рабочий зазор радиального магнитного подшипника. Кольцевые выступы первой и второй чашеобразных цапф-пят, составляющих

радиальные магнитные подшипники, снабжены бандажом из высокопрочного волокна на связующем из твердеющих синтетических смол и размещены в кольцевых пазах соответствующего поперечного сечения, выполненных в проставке, размещенной между корпусами турбины и компрессора, при этом один из кольцевых пазов открыт к компрессору, а другой к турбине. Между поверхностью кольцевых пазов проставки и втулкой размещена гофрированная втулка с продольными гофрами, выполненная из упругого материала. Внутренние поверхности цапфы-пяты покрыты слоем меди и обработаны с высокой чистотой поверхности. Упорный магнитный подшипник содержит подпятник, выполненный из немагнитного материала, размещенный в цилиндрической выточке соответствующей цапфы-пяты, между дном которой и поверхностью подпятника закреплены сектора полюсов из материала с высокой магнитной проницаемостью. Сектора постоянных магнитов и сектора полюсов выполнены в виде планок трапециевидного сечения, контактирующих друг с другом боковыми кромками, при этом магнитные сектора широким основанием своего сечения обращены ко дну цилиндрической выемки, причем узкие основания магнитных секторов перекрыты плоскими клиньями из немагнитного материала, жестко скрепленных своими торцевыми поверхностями с торцевыми поверхностями соответствующих полюсов с образованием плоской поверхности, которая

образует с цапфой-пятой рабочий зазор упорного магнитного подшипника. Радиальный и упорный магнитный подшипники, размещенные со стороны турбины, выполнены с использованием магнитного материала с точкой Кюри не менее 900°C. Между подпятником и обращенным к нему дном выточки обоих магнитных подшипников установлена упругая шайба, выполненная в виде шайбообразной пластины из упругого материала, деформированной с образованием кольцевых гофров. Магнитные радиальные и упорные подшипники зафиксированы от поворота вокруг продольной оси вала. Осевой лепестковый газодинамический подшипник содержит проставку и уплотнение компрессора, между которыми размещено дистанционное кольцо, при этом в полости между ними размещены первый и второй упорные лепестковые газовые подшипники, разделенные общей пятой. В зазоре между поверхностью цилиндрической полости проставки и обращенной к ней поверхностью втулки размещен радиальный газодинамический лепестковый подшипник. Достигается обеспечение высокой несущей способности радиального и упорного подшипникового узлов в рабочем режиме при уменьшении в них потерь на трение, надежный запуск ГТД при низких температурах, повышение его надежности работы при высоких динамических нагрузках, а также повышение устойчивости ротора к «полускоростному вихрю», повышение механического КПД ГТД. 1 з.п. ф-лы, 6 ил.

RU 2 5 2 9 2 9 4 C 1

RU 2 5 2 9 2 9 4 C 1



RU 2529294 C1

RU 2529294 C1



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(51) Int. Cl.

F01D 15/08 (2006.01)*F01D 25/16* (2006.01)*F16C 17/04* (2006.01)*F16C 32/04* (2006.01)(12) **ABSTRACT OF INVENTION**(21)(22) Application: **2013137122/06, 07.08.2013**(24) Effective date for property rights:
07.08.2013

Priority:

(22) Date of filing: **07.08.2013**(45) Date of publication: **27.09.2014** Bull. № 27

Mail address:

**690950, Primorskiy kraj, g. Vladivostok, GSP, ul.
Sukhanova, 8, DVFU, otdel intellektual'noy
sobstvennosti**

(72) Inventor(s):

**Didov Vladimir Viktorovich (RU),
Sergeev Viktor Dmitrievich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**Federal'noe gosudarstvennoe avtonomnoe
obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego
professional'nogo obrazovanija
"Dal'nevostochnyj federal'nyj universitet"
(DVFU) (RU)**

(54) **GAS TURBINE ENGINE**

(57) Abstract:

FIELD: engines and pumps.

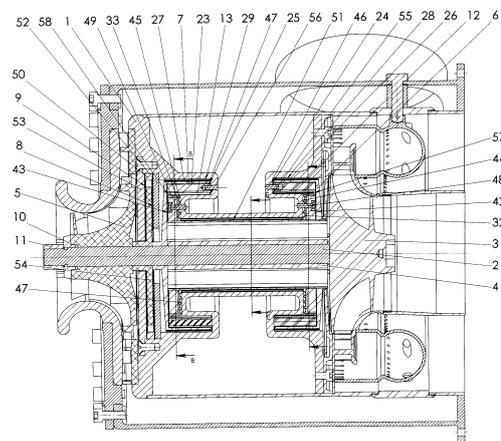
SUBSTANCE: first cup-like journal of the first magnetic bearing assembly directed by its bottom to turbine wheel is fitted on engine cylindrical bush adjoining the turbine wheel. Note here that second cup-like journal of the second radial thrust magnetic bearing directed with its bottom to compressor wheel is fitted on the shaft free end. First and second thrust gas bearings, centrifugal compressor wheel and equaliser washer are fitted thereon and locked by nut. Every radial magnetic bearing comprises thin-wall sleeve made of nonmagnetic material. Sleeve outer surface has poles arranged regularly in circle and shaped to trapezoid-like strips made of material with high magnetic permeability. Trapezoid-like strips made of magnetic material arranged between the latter to contact with said poles by side faces. The latter magnetised over axial length in tangentially opposite direction. Wide cross-section base of magnetic strips face the thin-wall surface. Wedges made of strips of nonmagnetic materials are arranged on narrow base side rigidly secured flush with side faces of the poles. Said wedges contact with magnetic strip to make the cylindrical surface extending in working clearance of radial magnetic bearing. Circular ledges of the first and second cup-like journals are fitted in circular recesses. Said ledges are furnished with ring of high-strength fibre on binder made of solidifying synthetic resin. Said ledges are fitted in

appropriate ring grooves made in spacer arranged between turbine and compressor casings. Note here that one of ring grooves is opened to compressor while another to turbine. Corrugated sleeve with lengthwise crimps is arranged between the surface of ring grooves and made of resilient material. Inner surfaces of cup-like journal is coated with copper layer and finished to high purity. Thrust magnetic bearing comprises toe bearing made of nonmagnetic material and arranged in cylindrical bore of cup-like journal. Sectors of poles of material with high magnetic permeability are secured between journal bottom and toe bearing surface. Sectors of permanent magnets and sectors of poles are composed by trapezoidal-section strips in contact by side edges. Note here that magnetic sectors face the cylindrical recess bottom by their section wide base. Their narrow bases are covered by flat wedges of nonmagnetic material. Their end surfaces are rigidly secured with end surfaces of appropriate poles to make flat surface which makes with cup-journal the working clearance of thrust magnetic bearing. Radial and thrust magnetic bearings are made of magnetic material with Curie point not lower than 900°C. Elastic washer made of resilient material deformed to make circular crimps is arranged between toe bearing and bottom of bore of both magnetic bearings. Magnetic radial and thrust bearings are locked in place. Axial gas-dynamic bearing comprises spacer and seal with spacer ring

arranged there between. Note that first and second thrust gas bearings separated by common toe bearing are fitted there between. Radial gas-dynamic bearing is arranged in clearance between the spacer cylindrical cavity and sleeve surface facing the latter.

EFFECT: reliable starting at low temperatures, higher reliability at high dynamic loads and operating efficiency.

2 cl, 6 dwg



Фиг. 1

R U 2 5 2 9 2 9 4 C 1

R U 2 5 2 9 2 9 4 C 1

Изобретение относится к области турбостроения и может быть использовано при проектировании, например, газотурбинных двигателей, турбокомпрессоров, турбодетандеров.

Известен газотурбинный двигатель, содержащий компрессор и осевую турбину с масляной полостью между ними, в которой расположены подшипники компрессора и турбины [Шварц В.А. Конструкции газотурбинных установок. М.: Машиностроение, 1970, стр.116, рис.72].

Недостатком такой конструкции является ее низкая надежность из-за увеличенной теплоотдачи в масляную полость, что приводит к перегреву и коксованию масла и выходу из строя подшипников.

Известен газотурбинный двигатель, компрессор которого содержит корпус с размещенными в нем несколькими рядами направляющих лопаток, ротор, содержащий обечайку с закрепленными на ней несколькими рядами рабочих лопаток. Две стальные крышки закрывают обечайку ротора с торцов и имеют цапфы, которыми ротор опирается на подшипники. Для уменьшения осевой силы к передней торцевой стенке ротора турбомшины из полости нагнетания компрессора подведен сжатый воздух. Чтобы уменьшить утечку воздуха из разгрузочной камеры, ее снабжают двумя уплотнениями, размещенными на периферии и у цапфы компрессора (см. Скубачевский Г.С. Авиационные газотурбинные двигатели. Конструкция и расчет деталей. М.: Машиностроение, 1969, рис.2.14).

Недостатком известного устройства является необходимость установки уплотнений на наружной и внутренней поверхностях газовой камеры, через которые происходит утечка рабочего тела ГТД.

Известен также газотурбинный двигатель, содержащий корпус, в цилиндрической полости которого установлен ротор с цилиндрической внешней поверхностью, включающий вал, один конец которого жестко скреплен с рабочим колесом турбины, на который насажена втулка ротора, выполненного с возможностью его газодинамического поддержания, а на свободном конце зафиксировано колесо центробежного компрессора, снабженный упорным подшипником (см. RU 2456482, МПК F04D 29/051; F01D 3/04, 2012 г.).

При использовании в транспортных газотурбинных двигателях (ГТД) подшипников с масляной смазкой необходима система смазки подшипников, что усложняет установку, увеличивает затраты на эксплуатацию, затрудняет запуск двигателей при низких температурах. Использование лепестковых газодинамических подшипников ограничено массой роторов до 10 кг.

Задачей, на решение которой направлено предлагаемое техническое решение, является повышение несущей способности радиального и упорного подшипниковых узлов ГТД, повышение надежности их работы при высоких динамических нагрузках, уменьшение потерь на трение в рабочем режиме, исключение загрязнения рабочего тела турбомшины маслом, повышение механического КПД ГТД.

Результат предлагаемого технического решения выражается в обеспечении высокой несущей способности радиального и упорного подшипникового узлов в рабочем режиме при уменьшении в них потерь на трение, надежном запуске ГТД при низких температурах, повышении его надежности работы при высоких динамических нагрузках, а также повышении устойчивости ротора к «полускоростному вихрю», повышении механического КПД ГТД.

Поставленная задача решается тем, что газотурбинный двигатель, содержащий корпус, в цилиндрической полости которого установлен ротор с цилиндрической

внешней поверхностью, включающий вал, один конец которого жестко скреплен с рабочим колесом турбины, на который насажена втулка ротора, выполненного с возможностью его газодинамического поддержания, а на свободном конце зафиксировано колесо центробежного компрессора, снабженный упорным подшипником, отличающийся тем, что на цилиндрической втулке со стороны, прилегающей к колесу турбины, надета первая чашеобразная цапфа-пята первого радиально-упорного магнитного подшипника, ориентированная своим дном к колесу турбины, при этом на свободном конце вала последовательно установлены с упором друг в друга, вторая чашеобразная цапфа-пята второго радиально-упорного магнитного подшипника, ориентированная своим дном к колесу компрессора, первый и второй упорные лепестковые газовые подшипники, колесо центробежного компрессора и балансировочная шайба, зафиксированные гайкой, при этом каждый радиальный магнитный подшипник включает в себя тонкостенную втулку, выполненную из немагнитного материала, на внешней поверхности которой равномерно по ее окружности расположены полюса, выполненные в виде планок трапецевидного сечения, из материала с высокой магнитной проницаемостью, между которыми размещены, контактируя с полюсами боковыми гранями, магнитные планки трапецевидного сечения из магнитного материала, которые по всей осевой длине намагничены в тангенциальном встречном направлении, при этом магнитные планки широким основанием своего сечения обращены к поверхности тонкостенной втулки, а со стороны их узкого основания размещены клинья, выполненные в виде полос из немагнитного материала, жестко и заподлицо скрепленные с боковыми гранями полюсов, контактирующих с соответствующей магнитной планкой, образуя цилиндрическую поверхность, выходящую в рабочий зазор радиального магнитного подшипника, кроме того, кольцевые выступы первой и второй чашеобразных цапф-пят, составляющих радиальные магнитные подшипники, снабжены бандажом из высокопрочного волокна на связующем из твердеющих синтетических смол и размещены в кольцевых пазах соответствующего поперечного сечения, выполненных в проставке, размещенной между корпусами турбины и компрессора, при этом один из кольцевых пазов открыт к компрессору, а другой к турбине, причем между поверхностью кольцевых пазов проставки и втулкой размещена гофрированная втулка с продольными гофрами, выполненная из упругого материала, при этом внутренние поверхности цапфы-пяты покрыты слоем меди и обработаны с высокой чистотой поверхности, причем упорный магнитный подшипник содержит подпятник, выполненный из немагнитного материала, размещенный в цилиндрической выточке соответствующей цапфы-пяты, между дном которой и поверхностью подпятника закреплены сектора полюсов из материала с высокой магнитной проницаемостью, при этом сектора постоянных магнитов и сектора полюсов выполнены в виде планок трапецевидного сечения, контактирующих друг с другом боковыми кромками, при этом магнитные сектора широким основанием своего сечения обращены ко дну цилиндрической выемки, причем узкие основания магнитных секторов перекрыты плоскими клиньями из немагнитного материала, жестко скрепленных своими торцевыми поверхностями с торцевыми поверхностями соответствующих полюсов с образованием плоской поверхности, которая образует с цапфой-пятой рабочий зазор упорного магнитного подшипника, кроме того, по меньшей мере, радиальный и упорный магнитный подшипники, размещенные со стороны турбины, выполнены с использованием магнитного материала с точкой Кюри не менее 900°С, при этом между подпятником и обращенным к нему дном выточки обоих магнитных подшипников, установлена упругая шайба, выполненная в виде

шайбообразной пластины из упругого материала, деформированной с образованием кольцевых гофров, кроме того, магнитные радиальные и упорные подшипники зафиксированы от поворота вокруг продольной оси вала, кроме того, осевой лепестковый газодинамический подшипник содержит проставку и уплотнение компрессора, между которыми размещено дистанционное кольцо, при этом в полости между ними размещены первый и второй упорные лепестковые газовые подшипники, разделенные общей пятой, при этом в зазоре между поверхностью цилиндрической полости проставки и обращенной к ней поверхностью втулки размещен радиальный газодинамический лепестковый подшипник.

Кроме того, гофры упругой шайбы, размещенной со стороны компрессора, заполнены эластичным материалом, скрепленным с ней.

Сопоставительный анализ существенных признаков предлагаемого технического решения с существенными признаками прототипа и аналогов свидетельствует о его соответствии критерию «новизна».

При этом существенные признаки отличительной части формулы изобретения решают следующие функциональные задачи.

Признаки, указывающие, что «на цилиндрической втулке со стороны, прилегающей к колесу турбины, надета первая чашеобразная цапфа-пята первого радиально-упорного магнитного подшипника, ориентированная своим дном к колесу турбины, при этом на свободном конце вала последовательно установлены с упором друг в друга вторая чашеобразная цапфа-пята второго радиально-упорного магнитного подшипника, ориентированная своим дном к колесу компрессора, первый и второй упорные лепестковые газовые подшипники, колесо центробежного компрессора и балансировочная шайба, зафиксированные гайкой» образуют радиальные и упорные магнитные подшипники в дополнение к лепестковым газодинамическим, что позволяет подшипникам воспринимать высокие динамические нагрузки при вибрации корпуса ГТД.

Признаки, указывающие, что «каждый радиальный магнитный подшипник включает в себя тонкостенную втулку, выполненную из немагнитного материала, на внешней поверхности которой равномерно по ее окружности расположены полюса, выполненные в виде планок трапециевидного сечения, из материала с высокой магнитной проницаемостью, между которыми размещены, контактируя с полюсами боковыми гранями, магнитные планки трапециевидного сечения из магнитного материала, которые по всей осевой длине намагничены в тангенциальном встречном направлении» обеспечивают возможность использования электродинамической силы для поддержания цапфы, т.е. позволяют дополнительно к газостатическим силам обеспечить электродинамические силы отталкивания при вращении цапфы без прилипания сегментов постоянных магнитов к цапфе. Это повышает несущую способность и жесткость радиального подшипникового узла.

Признаки, указывающие, что «магнитные планки широким основанием своего сечения обращены к поверхности тонкостенной втулки, а со стороны их узкого основания размещены клинья, выполненные в виде полос из немагнитного материала, жестко и заподлицо скрепленные с боковыми гранями полюсов, контактирующих с соответствующей магнитной планкой, образуя цилиндрическую поверхность, выходящую в рабочий зазор радиального магнитного подшипника» обеспечивают направление основной части магнитного потока в зону рабочего зазора радиального магнитного подшипника для получения значительных электродинамических сил и обеспечивают формирование рабочего зазора с поверхностью цапфы, а также

обеспечивают гладкую цилиндрическую поверхность магнитного подшипника.

Признаки, указывающие, что «кольцевые выступы первой и второй чашеобразных цапф-пят, составляющих радиальные магнитные подшипники, снабжены бандажом из высокопрочного волокна на связующем из твердеющих синтетических смол и размещены в кольцевых пазах соответствующего поперечного сечения, выполненных в проставке, размещенной между корпусами турбины и компрессора» повышают прочность цапфы, уменьшают деформации зазора магнитных подшипников.

Признаки, указывающие, что «между поверхностью кольцевых пазов проставки и втулкой размещена гофрированная втулка с продольными гофрами, выполненная из упругого материала» обеспечивают необходимую жесткость упругой подложки узла в рабочем состоянии и, соответственно, гашение вынужденных колебаний ротора.

Признаки, указывающие, что «внутренние поверхности цапфы-пяты покрыты слоем меди и обработаны с высокой чистотой поверхности» обеспечивают возникновение значительных электродинамических сил, обусловленных взаимодействием вихревых токов, наведенных в цапфе-пяте магнитным полем магнитных планок и секторов постоянных магнитов, с полем этих магнитов, что повышает несущую способность и жесткость радиального и упорного магнитных подшипников.

Признаки, указывающие, что «упорный магнитный подшипник содержит подпятник, выполненный из немагнитного материала, размещенный в цилиндрической выточке соответствующей цапфы-пяты, между дном которой и поверхностью подпятника закреплены сектора полюсов из материала с высокой магнитной проницаемостью, при этом сектора постоянных магнитов и сектора полюсов выполнены в виде планок трапецевидного сечения, контактирующих друг с другом боковыми кромками» формируют упорный магнитный подшипник.

Признаки, указывающие, что «магнитные сектора, широким основанием своего сечения обращены ко дну цилиндрической выемки, причем узкие основания магнитных секторов перекрыты плоскими клиньями из немагнитного материала, жестко скрепленных своими торцевыми поверхностями с торцевыми поверхностями соответствующих полюсов с образованием плоской поверхности, которая образует с цапфой-пятой рабочий зазор упорного магнитного подшипника» обеспечивают направление основной части магнитного потока в зону рабочего зазора упорного магнитного подшипника для получения значительных электродинамических сил и обеспечивают формирование рабочего зазора с поверхностью цапфы, а также обеспечивают гладкую цилиндрическую поверхность магнитного подшипника.

Признак, указывающий, что «по меньшей мере, радиальный и упорный магнитный подшипники, размещенные со стороны турбины, выполнены с использованием магнитного материала с точкой Кюри не менее 900°C» предотвращает размагничивание магнитных планок от действия высоких температур со стороны турбины и тем самым обеспечивает работоспособность магнитных подшипников во всем рабочем диапазоне температур.

Признаки, указывающие, что «между подпятником и обращенным к нему дном выточки обоих магнитных подшипников установлена упругая шайба, выполненная в виде шайбообразной пластины из упругого материала, деформированной с образованием кольцевых гофров» обеспечивают необходимую жесткость упругой подложки магнитного подшипника в рабочем состоянии, а также предотвращают заклинивание упорного магнитного подшипника в рабочем состоянии от неравномерности теплового расширения ротора и проставки.

Признак, указывающий, что «магнитные радиальные и упорные подшипники

зафиксированы от поворота вокруг продольной оси вала» препятствует вращению упорных магнитных подшипников под действием тормозных сил.

Признаки, указывающие, что «осевой лепестковый газодинамический подшипник содержит проставку и уплотнение компрессора, между которыми размещено дистанционное кольцо, при этом в полости между ними, размещены первый и второй упорные лепестковые газовые подшипники, разделенные общей пятой» позволяют воспринимать осевые нагрузки, действующие на ротор при пуске ГТД, гасить вынужденные осевые колебания ротора.

Признаки, указывающие, что «в зазоре между поверхностью цилиндрической полости проставки и обращенной к ней поверхностью втулки размещен радиальный газодинамический лепестковый подшипник» позволяют воспринимать радиальные нагрузки, действующие на ротор при пуске и останове ГТД, повышают устойчивость ротора за счет демпфирования лепестками.

Признак, указывающий, что «гофры упругой шайбы, размещенной со стороны компрессора, заполнены эластичным материалом, скрепленным с ней» обеспечивает необходимую жесткость и демпфирование упругой подложки узла в рабочем состоянии, а также гашение колебаний ротора, обусловленных осевыми газодинамическими силами турбины и компрессора за счет рассеивания энергии колебаний резиной или полиуретаном.

На фиг.1 показан продольный разрез ГТД, а на фиг.2, 3 - поперечные разрезы по радиально-осевом магнитным подшипникам, а на фиг.4 по радиальному лепестковому газодинамическому подшипнику. На фиг.5, 6 показаны местные сечения по осевым магнитным подшипникам.

На чертежах показаны проставка 1 корпуса ГТД, вал 2, рабочее колесо турбины 3, цилиндрическая втулка 4, колесо центробежного компрессора 5, первая чашеобразная цапфа-пята 6, цапфа-пята 7 второго радиально-упорного магнитного подшипника, первый 8 и второй 9 упорные лепестковые газодинамические подшипники (ЛГП), балансировочная шайба 10, гайка 11, тонкостенные втулки 12 и 13, полюса 14, 15 и 16, 17, магнитные планки 18 и 19, клинья 20 и 21, рабочие зазоры 22 и 23, кольцевые выступы 24 и 25, бандажи 26 и 27, кольцевые пазы 28 и 29, гофрированные втулки 30 и 31, корпуса 32 и 33 магнитных подпятников, сектора полюсов 34, 35 и 36, 37 упорных магнитных подшипников, сектора постоянных магнитов 38 и 39, плоские клинья 40 и 41, осевые зазоры 42 43, упругие шайбы 44 и 45, штифты 46 и 47, болты 48 и 49, дистанционное кольцо 50, радиальный газодинамический лепестковый подшипник 51, корпус 52 осевого ЛГП, уплотнение 53 центробежного компрессора 5, пята 54 упорного ЛГП, бурты 55 и 56 на тонкостенных втулках 12 и 13, бурты 57 и 58 на проставке 1.

Корпус газотурбинного двигателя содержит проставку 1, размещенную между корпусами турбины 3 и центробежного компрессора 5. В цилиндрической полости проставки 1 установлен ротор с цилиндрической внешней поверхностью. Ротор ГТД включает вал 2, один конец которого жестко скреплен с рабочим колесом турбины 3, (например, сваркой трением), на который насажена втулка 4 ротора, выполненного с возможностью его газодинамического поддержания, а на свободном конце зафиксировано колесо центробежного компрессора 5. Цилиндрическая втулка 4 выполнена из немагнитного материала, например алюминиевого сплава АК4-1, подвергнутая микродуговому окислению с последующей шлифовкой для получения высокой твердости и высокой чистоты поверхности. На цилиндрической втулке 4 со стороны, прилегающей к колесу турбины 3, размещена чашеобразная цапфа-пята 6 радиально-упорного магнитного подшипника, жестко скрепленная с цилиндрической

втулкой 4, например, сваркой, ориентированная своим выступом 24 к колесу центробежного компрессора 5, на наружную поверхность которой надет бандаж 26 из высокопрочного материала, выполненный, например, намоткой углеволокна с пропиткой твердеющими синтетическими смолами. На вал 2 со стороны центробежного компрессора 5 вплотную к торцу втулки 4 насажена цапфа-пята 7 второго радиально-упорного магнитного подшипника, ориентированная своим выступом 25 к колесу турбины 3, на наружную поверхность которой также надет бандаж 27 из высокопрочного материала.

Далее на вал 2 вплотную к торцам соответствующих поверхностей насажены следующие детали: пята 54 упорного ЛТП, колесо центробежного компрессора 5, балансировочная шайба 10 и гайка 11.

Между цилиндрической втулкой 4 и внутренней полостью проставки 1 установлен радиальный ЛПП 51. Симметрично с двух сторон в кольцевых пазах 28 и 29 проставки 1 размещены радиальные магнитные подшипники. Симметрично с двух сторон в цилиндрических выточках проставки 1 размещены упорные магнитные подшипники.

Каждый радиальный магнитный подшипник включает в себя тонкостенную втулку 12 и 13, выполненную из немагнитного материала, например нержавеющей немагнитной стали или титана, на внешней поверхности которой равномерно по ее окружности расположены полюса 14, 15, и 16, 17, выполненные в виде планок трапецевидного сечения, из материала с высокой магнитной проницаемостью, например из сплава 48КНФ, между которыми размещены магнитные планки 18 и 19, контактирующие с полюсами 14, 15 и 16, 17 соответственно. Магнитные планки 18 и 19 выполнены, например, из материала неодим-железо-бор или самарий-кобальт и по всей осевой длине намагничены в тангенциальном направлении (вдоль окружности). Магнитные планки 18 и 19 имеют трапецевидную форму поперечного сечения, их широкое основание обращено к поверхности тонкостенной втулки 12 и 13, а с узким основанием контактирует клин 20 и 21, выполненный в виде полосы из немагнитного материала, жестко и заподлицо скрепленный с двумя соседними полюсами 14, 15 и 16, 17. При этом поверхность, образованная клиньями 20 и 21 и полюсами 14, 15 и 16, 17, обращенная к внутренней поверхности цапфы 6 и 7, выполнена цилиндрической с образованием радиального зазора 22 и 23 с поверхностью цапфы 6 и 7. Между поверхностью проставки 1 и внутренней поверхностью тонкостенных втулок 12 и 13 размещены гофрированные втулки 30 и 31 с продольными гофрами, выполненные из сплава с заданными упругими свойствами, например 36НХТЮ8М. Каждый радиальный магнитный подшипник зафиксирован от перемещения вдоль продольной оси в пазу проставки 1 с одной стороны буртом 55 и 56 на тонкостенной втулке 12 и 13, а с другой стороны буртом 57 и 58 на проставке 1. Внутренние поверхности цапфы-пяты 6 и 7 покрыты слоем меди и обработаны с высокой чистотой поверхности.

Каждый упорный магнитный подшипник состоит из подпятника и пяты. Подпятник содержит корпус 32 и 33 в виде неглубокого цилиндра, выполненный из немагнитного материала, на дне которого закреплены (например, клеем), по меньшей мере, два сектора постоянных магнитов 38 и 39 трапецевидального сечения (выполненных, например, из сплава неодим-железо-бор), намагниченных в тангенциальном встречном для соседних секторов направлении (вдоль окружности), перекрытых плоскими клиньями 40 и 41, выполненных из немагнитного материала, жестко скрепленных своими торцевыми поверхностями с торцевыми поверхностями полюсов 34, 35 и 36, 37 и размещенных равномерно по окружности между полюсами 34, 35 и 36, 37 из сплава с высокой магнитной проницаемостью, например 48КНФ, закрепленными на дне корпуса

32 и 33 подпятника. Цапфа-пяты 6 и 7 выполнена чашеобразной поллой из немагнитного электропроводного материала и образует с подпятником осевой зазор 42 и 43.

Между подпятником и обращенным к нему дном выточки обоих магнитных подшипников установлены упругие шайбы 44 и 45, выполненные в виде шайбообразной пластины, деформированной с образованием кольцевых гофров, из упругого материала, например сплава 36НХТЮ8М, которые предотвращают заклинивание упорного магнитного подшипника в рабочем состоянии от неравномерности теплового расширения ротора и проставки 1. Гофры упругой шайбы 44 и 45, размещенной со стороны центробежного компрессора 5, заполнены эластичным материалом, скрепленным с ней.

Для предотвращения проворачивания радиальных магнитных подшипников под действием тормозных сил они зафиксированы от поворота вокруг продольной оси вала штифтом 46 и 47. Для предотвращения проворачивания упорных магнитных подшипников под действием тормозных сил вокруг продольной оси вала и их осевого смещения в сторону пяты при пуске они зафиксированы болтом 48 и 49.

Упорный ЛТП состоит из проставки 1, корпуса 52 упорного ЛТП, уплотнения 53 центробежного компрессора 5, двух упорных ЛГП 8 и 9, расположенных по разные стороны пяты 54, и дистанционного кольца 50.

Радиальный и упорный магнитные подшипники, размещенные со стороны турбины 3, выполнены с использованием магнитного материала с точкой Кюри не менее 900°С.

Изготавливают и собирают радиальный магнитный подшипник следующим образом. На наружной поверхности тонкостенной втулки 12 располагают по разметке равномерно по окружности полюса 14, 15, имитаторы магнитных планок, устанавливают между соседними полюсами 14, 15 немагнитные клинья 20 и приваривают их к полюсам, протачивают и шлифуют наружную поверхность на шлифовальном станке до получения нужного диаметра и шероховатости поверхности. Далее вместо имитаторов устанавливают на клей магнитные планки 18. Полученные комплекты полюсов 14, 15, магнитных планок 18 и немагнитных клиньев 20 в сборе устанавливают на клей на наружную поверхность тонкостенной втулки 12. В паз корпуса ГТД вставляют радиальные магнитные подшипники, между втулкой 12 магнитного подшипника и проставкой 1 вставляют гофрированную втулку 30 до упора в бурт 55 на втулке 12 с одной стороны и в бурт 57 на проставке 1 с другой стороны. Аналогично изготавливают и собирают второй радиальный магнитный подшипник.

Упорный магнитный подшипник собирают в следующем порядке. Предварительно изготавливают корпус подпятника 32 из немагнитного материала, например алюминиевого сплава АК4-1, в который между полюсами 34, 35 равномерно по окружности устанавливают имитаторы секторов постоянных магнитов, последние, в свою очередь, перекрывают немагнитными плоскими клиньями 40, сваривают их между собой с образованием плоской поверхности, шлифуют наружную поверхность. В выемки между полюсами 34, 35 клеивают секторы постоянных магнитов 38 и затем клеивают полученные комплекты в корпус 32 подпятника. В проставку 1 устанавливают лепестки радиального ЛГП 51. В проставку 1 устанавливают кольцевые упругие шайбы 44 и 45, на них устанавливают собранные магнитные подпятники и фиксируют болтами 48 и 49 от проворачивания и осевого смещения в сторону пяты 54. Аналогично собирают второй упорный магнитный подшипник.

Цапфу-пяту 6 и 7 подвергают микродуговому оксидированию, шлифуют и внутреннюю поверхность покрывают слоем меди и обрабатывают с высокой степенью чистоты поверхности. Ротор подвергают динамической балансировке.

Отбалансированный ротор разбирают по балансировочным меткам. В проставку 1 вставляют ротор, без съемных деталей. Закрепляют в проставке 1 ГТД теплозащитный экран, состоящий из двух половин, насаживают на вал цапфу-пяту 7, устанавливают на винты корпус 52 упорного ЛТП, далее один упорный ЛГП, дистанционное кольцо 50, второй упорный ЛГП и фиксируют винтами уплотнение 53 центробежного компрессора 5. Далее насаживают колесо центробежного компрессора 5, балансируют шайбу 10 и затягивают гайку 11 необходимым моментом. Остальные детали собирают согласно технологии сборки ГТД.

Радиально-упорный подшипниковый узел работает следующим образом. При вращении обечайки цилиндрической втулки 4 радиального ЛГП и пяты 54 упорного ЛГП появляются осевые и радиальные газодинамические реакции газового слоя и ротор всплывает на газовом смазочном слое. Кроме того, при вращении цапфы-пяты 6 и 7 дополнительно возникают электродинамические силы, обусловленные взаимодействием вихревых токов, наведенных магнитным полем магнитных планок 18 и 19 в цапфе-пяте 6 и 7 с этим полем. Радиальные составляющие электродинамических сил действуют отталкивающим образом между цапфой-пятой 6 и 7 и полюсами 14, 15 и 16, 17. Эти силы суммируются с силами радиального ЛГП, действующими на обечайку цилиндрической втулки 4. Гофры гофрированных втулок 30 и 31 и радиальные ЛГП демпфируют вынужденные и самовозбуждающиеся колебания ротора, значительно повышают устойчивость ротора в форме «полускоростного вихря». Тангенциальная составляющая электродинамической силы оказывает тормозящее воздействие, но она незначительна. С увеличением линейной скорости на поверхности цапфы-пяты 6, 7 отталкивающая составляющая электродинамической силы увеличивается, а тормозящая уменьшается.

Магнитная и газодинамическая части предлагаемого радиального подшипникового узла автоматически реализуют отрицательную обратную связь по отклонению обечайки цилиндрической втулки 4 и цапфы-пяты 6, 7 от соосного положения относительно точки подвижного равновесия обечайки цилиндрической втулки 4 и цапфы-пяты 6, 7 в подшипниковом узле и не требуют дополнительных устройств (датчиков отклонения и быстродействующих регуляторов).

Упорный подшипниковый узел работает следующим образом. В результате вращения ротора пята 54 всплывает на газовом смазочном слое. При вращении цапфы-пяты 6 и 7 дополнительно возникают электродинамические силы, обусловленные взаимодействием вихревых токов, наведенных в цапфе-пяте 6 и 7 магнитным полем сегментов постоянных магнитов 38 и 39 с полем этих магнитов. Осевая составляющая электродинамических сил действует отталкивающим образом между цапфой-пятой 6 и 7 и постоянными магнитами 38 и 39, и эта сила суммируется с газовыми силами, действующими на пяту 54. Тангенциальная составляющая электродинамической силы оказывает тормозящее воздействие, но она незначительна. С увеличением линейной скорости на поверхности цапфы-пяты 6 и 7 отталкивающая составляющая электродинамической силы увеличивается, а тормозящая - уменьшается. Для увеличения электродинамической силы осевого подшипникового узла можно применить омеднение поверхности цапфы-пяты 6 и 7, обращенной к секторам постоянных магнитов 38 и 39 и полюсам 34, 35 и 36, 37, а также подвергнуть ее последующей полировке.

При двусторонней симметричной конструкции осевого подшипникового узла магнитная и газодинамическая составляющие силы реакции предлагаемого подшипникового узла, действуя симметрично и противоположно направленно, автоматически реализуют отрицательную обратную связь по отклонению пяты 54 и

цапфы-пяты 6 и 7 от равновесного положения и не требуют дополнительных устройств (датчиков отклонения и быстродействующих регуляторов).

Формула изобретения

5 1. Газотурбинный двигатель, содержащий корпус, в цилиндрической полости которого установлен ротор с цилиндрической внешней поверхностью, включающий вал, один
конец которого жестко скреплен с рабочим колесом турбины, на который насажена
втулка ротора, выполненного с возможностью его газодинамического поддержания,
а на свободном конце зафиксировано колесо центробежного компрессора, снабженный
10 упорным подшипником, отличающийся тем, что на цилиндрической втулке со стороны,
прилегающей к колесу турбины, надета первая чашеобразная цапфа-пята первого
радиально-упорного магнитного подшипника, ориентированная своим дном к колесу
турбины, при этом на свободном конце вала, последовательно установлены, с упором
друг в друга, вторая чашеобразная цапфа-пята второго радиально-упорного магнитного
15 подшипника, ориентированная своим дном к колесу компрессора, первый и второй
упорные лепестковые газовые подшипники, колесо центробежного компрессора и
балансировочная шайба, зафиксированные гайкой, при этом каждый радиальный
магнитный подшипник включает в себя тонкостенную втулку, выполненную из
немагнитного материала, на внешней поверхности которой равномерно по ее
20 окружности расположены полюса, выполненные в виде планок трапецевидного
сечения, из материала с высокой магнитной проницаемостью, между которыми
размещены, контактируя с полюсами боковыми гранями, магнитные планки
трапецевидного сечения из магнитного материала, которые по всей осевой длине
намагничены в тангенциальном встречном направлении, при этом магнитные планки
25 широким основанием своего сечения обращены к поверхности тонкостенной втулки,
а со стороны их узкого основания размещены клинья, выполненные в виде полос из
немагнитного материала, жестко и заподлицо скрепленные с боковыми гранями
полюсов, контактирующих с соответствующей магнитной планкой, образуя
цилиндрическую поверхность, выходящую в рабочий зазор радиального магнитного
30 подшипника, кроме того, кольцевые выступы первой и второй чашеобразных цапф-
пят, составляющих радиальные магнитные подшипники, снабжены бандажом из
высокопрочного волокна на связующем из твердеющих синтетических смол и размещены
в кольцевых пазах соответствующего поперечного сечения, выполненных в проставке,
размещенной между корпусами турбины и компрессора, при этом один из кольцевых
35 пазов открыт к компрессору, а другой к турбине, причем между поверхностью кольцевых
пазов проставки и втулкой размещена гофрированная втулка с продольными гофрами,
выполненная из упругого материала, при этом внутренние поверхности цапфы-пяты
покрыты слоем меди и обработаны с высокой чистотой поверхности, причем упорный
магнитный подшипник содержит подпятник, выполненный из немагнитного материала,
40 размещенный в цилиндрической выточке соответствующей цапфы-пяты, между дном
которой и поверхностью подпятника закреплены сектора полюсов из материала с
высокой магнитной проницаемостью, при этом сектора постоянных магнитов и сектора
полюсов выполнены в виде планок трапецевидного сечения, контактирующих друг с
другом боковыми кромками, при этом магнитные сектора широким основанием своего
45 сечения обращены ко дну цилиндрической выемки, причем узкие основания магнитных
секторов перекрыты плоскими клиньями из немагнитного материала, жестко
скрепленных своими торцевыми поверхностями с торцевыми поверхностями
соответствующих полюсов с образованием плоской поверхности, которая образует с

- цапфой-пятой рабочий зазор упорного магнитного подшипника, кроме того, по меньшей мере, радиальный и упорный магнитные подшипники, размещенные со стороны турбины, выполнены с использованием магнитного материала с точкой Кюри не менее 900°C, при этом между подпятником и обращенным к нему дном выточки обоих
- 5 магнитных подшипников установлена упругая шайба, выполненная в виде шайбообразной пластины из упругого материала, деформированной с образованием кольцевых гофров, кроме того, магнитные радиальные и упорные подшипники зафиксированы от поворота вокруг продольной оси вала, кроме того, осевой лепестковый газодинамический подшипник содержит проставку и уплотнение
- 10 компрессора, между которыми размещено дистанционное кольцо, при этом в полости между ними размещены первый и второй упорные лепестковые газовые подшипники, разделенные общей пятой, при этом в зазоре между поверхностью цилиндрической полости проставки и обращенной к ней поверхностью втулки размещен радиальный газодинамический лепестковый подшипник.
- 15 2. Газотурбинный двигатель по п.1, отличающийся тем, что гофры упругой шайбы, размещенной со стороны компрессора, заполнены эластичным материалом, скрепленным с ней.

20

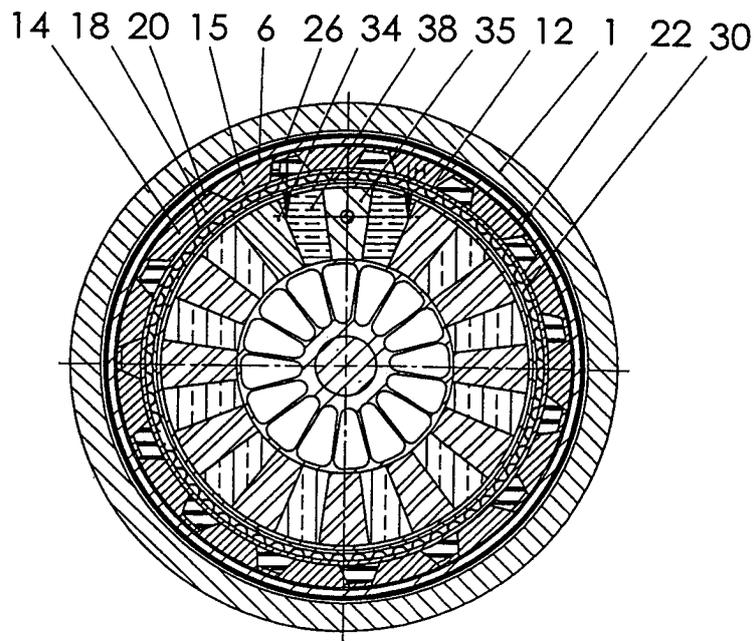
25

30

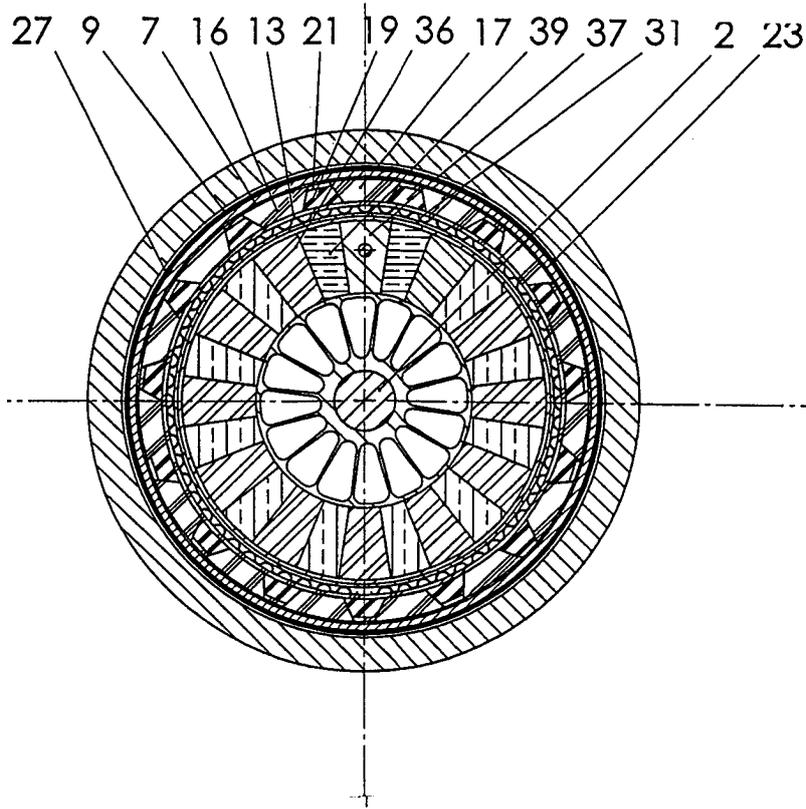
35

40

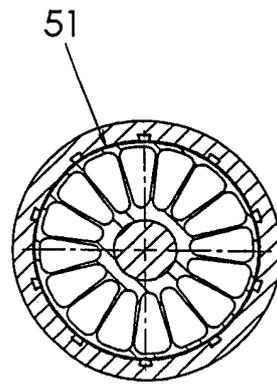
45



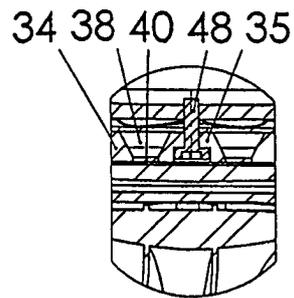
Фиг. 2



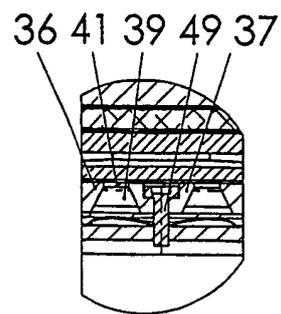
Фиг. 3



Фиг. 4



Фиг. 5



Фиг. 6