



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2013118350/06, 19.08.2011

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
19.08.2011

Приоритет(ы):

(30) Конвенционный приоритет:
20.09.2010 EP 10177625.0

(43) Дата публикации заявки: 27.10.2014 Бюл. № 30

(45) Опубликовано: 27.06.2015 Бюл. № 18

(56) Список документов, цитированных в отчете о
поиске: WO 02/01046 A1, 03.01.2002. WO 02/
48525 A2, 20.06.2002. EP 2053201 A2,
29.04.2009. EP 0532303 A1, 17.03.1993. US 2003/
0131602 A1, 17.07.2003. RU 2298654 C1,
10.05.2007(85) Дата начала рассмотрения заявки РСТ на
национальной фазе: 22.04.2013(86) Заявка РСТ:
EP 2011/064308 (19.08.2011)(87) Публикация заявки РСТ:
WO 2012/038165 (29.03.2012)

Адрес для переписки:

129090, Москва, ул. Б. Спасская, 25, строение 3,
ООО "Юридическая фирма Городиский и
Партнеры"

(72) Автор(ы):

ДЖЕЙМС Ричард (GB),
ТВЕЛЛ Филип (GB)

(73) Патентообладатель(и):

СИМЕНС АКЦИЕНГЕЗЕЛЛЬШАФТ (DE)

(54) ГАЗОТУРБИННЫЙ ДВИГАТЕЛЬ И СПОСОБ ЭКСПЛУАТАЦИИ ГАЗОТУРБИННОГО ДВИГАТЕЛЯ

(57) Реферат:

Газотурбинный двигатель содержит ротор, радиально наружную и внутреннюю статорные части, между которыми проходит воздушный канал компрессора, кольцевой зазор между ротором и радиально внутренней статорной частью, а также выпускной трубопровод. Ротор включает роторную часть подшипника, работающего на текучей среде, а радиально внутренняя статорная часть содержит его статорную часть. Кольцевой зазор образует кольцевой воздушный канал, сообщающийся с

воздушным каналом компрессора. В направлении потока воздуха в кольцевом воздушном канале площадь последнего уменьшается в первой части и затем увеличивается во второй части. Впуск выпускного трубопровода для ввода воздуха, прошедшего через вторую часть кольцевого воздушного канала, расположен аксиально между второй частью кольцевого воздушного канала и подшипником, работающим на текучей среде. При эксплуатации указанного выше газотурбинного двигателя вращают ротор

относительно радиально наружной и внутренней статорных частей. Пропускают сжатый воздух через воздушный канал компрессора в кольцевой воздушный канал, образованный частью кольцевого зазора между ротором и радиально

внутренней статорной частью. Группа изобретений позволяет исключить попадание жидкости из подшипниковой камеры в воздушный канал компрессора. 2 н. и 13 з.п. ф-лы, 2 ил.

R U 2 5 5 4 3 6 7 C 2

R U 2 5 5 4 3 6 7 C 2



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(19) **RU** (11) **2 554 367**⁽¹³⁾ **C2**

(51) Int. Cl.

F01D 25/16 (2006.01)

F02C 7/06 (2006.01)

F01D 11/02 (2006.01)

(12) ABSTRACT OF INVENTION

(21)(22) Application: 2013118350/06, 19.08.2011

(24) Effective date for property rights:
19.08.2011

Priority:

(30) Convention priority:
20.09.2010 EP 10177625.0

(43) Application published: 27.10.2014 Bull. № 30

(45) Date of publication: 27.06.2015 Bull. № 18

(85) Commencement of national phase: 22.04.2013

(86) PCT application:
EP 2011/064308 (19.08.2011)

(87) PCT publication:
WO 2012/038165 (29.03.2012)

Mail address:

129090, Moskva, ul. B. Spasskaja, 25, stroenie 3,
OOO "Juridicheskaja firma Gorodisskij i Partnery"

(72) Inventor(s):

DZhEJMS Richard (GB),
TVELL Filip (GB)

(73) Proprietor(s):

SIMENS AKT*s*IENGEZELL'ShAFT (DE)

(54) GAS TURBINE ENGINE AND METHOD OF ITS OPERATION

(57) Abstract:

FIELD: engines and pumps.

SUBSTANCE: gas turbine engine comprises rotor radial outer and inner stator parts with compressor air channel extending there between, circular clearance between rotor and radially inner stator part as well as discharge pipe. Rotor comprises fluid bearing rotor part while radially inner stator part comprises stator part. Circular clearance makes circular air channel communicated with compressor air channel. Cross-section of circular air channel decreases in airflow direction in first part and increases in second part.

Discharge pipeline air inlet extending through second part of circular air channel is arranged axially between second part of circular air channel second part and fluid bearing. In operation of said engine, rotor is driven relative to radially outer and inner walls of stator part. Compressed air is forced via compressor air channel into circular air channel composed by the part of circular gap between rotor and radially inner stator part.

EFFECT: ruled out fluid ingress from bearing chamber into compressor air channel.

15 cl, 2 dwg

Область техники, к которой относится изобретение

Настоящее изобретение относится к газотурбинному двигателю и к способу эксплуатации газотурбинного двигателя. В частности, настоящее изобретение относится к газотурбинному двигателю и к способу эксплуатации газотурбинного двигателя, в котором кольцевой зазор сформирован между ротором и статорной частью, которая спроектирована так, что потеря сжатого воздуха, направляемого в кольцевом зазоре, снижается.

Уровня техники

Как известно, газотурбинный двигатель содержит вал ротора или турбины, поддерживаемый с возможностью вращения подшипником, компрессорную часть, включающую в себя лопатки ротора, смонтированные на роторе, для сжатия воздуха, камеру сгорания для сжигания смеси топлива и сжатого воздуха и турбинную часть, которая преобразует энергию, содержащуюся в сожженной смеси топлива и сжатого воздуха, в механическую энергию для приведения в движение ротора. Газотурбинный двигатель можно использовать, например, для генерации электрической энергии путем приведения в действие генератора с использованием механической энергии.

В частности, воздух, сжатый компрессорной частью газотурбинного двигателя, может течь не только в воздушном канале компрессора, ведущем к камере сгорания, но и в зазоре между ротором и статорной частью газотурбинного двигателя. Такая утечка сжатого воздуха нежелательна, поскольку она приводит к уменьшению количества сжатого воздуха, поступающего в камеру сгорания. Поэтому, зазор между ротором и статорной частью газотурбинного двигателя, в который нежелательным образом поступает часть сжатого воздуха, герметизируется для уменьшения количества сжатого воздуха, поступающего в зазор. Однако было установлено, что уплотнительное свойство традиционных уплотнений является неудовлетворительным. Избыточное количество сжатого воздуха может просачиваться из воздушного канала компрессора в зазор между ротором и статорной частью газотурбинного двигателя. Таким образом, эффективность газотурбинного двигателя снижается.

В US 4993917 раскрыт газовый компрессор, имеющий сухие газовые уплотнения, в котором первичное сухое газовое уплотнение, расположенное рядом с нагнетательной стороной компрессора, имеет больший диаметр, чем соответствующее уплотнение на впускной стороне компрессора, так что газ высокого давления, действующий на соответствующую вращающуюся деталь сухих газовых уплотнений, толкает вал к нагнетательной стороне компрессора и, таким образом, противодействует динамическим силам на рабочем колесе.

В EP 2053201 A2 раскрыты узел гидростатического уплотнения и соответствующие компрессорный узел и газотурбинный двигатель, в котором часть потока первичного газа подается через жиклер внутреннего диаметра, расположенный после лопатки, в полость высокого давления, которая располагается в радиальном направлении внутрь лопасти.

В EP 0532303 A1 раскрыты система и способ для усовершенствованного охлаждения двигателя, в котором охлаждающий воздух для опорной конструкции в полости получается за счет утечки воздуха на выходе компрессора через лабиринтное уплотнение, в котором часть воздуха на выходе компрессора, которая не направляется в камеру сгорания, дросселируется через ряд кольцевых препятствий, сформированных в радиальном направлении рядом вращающихся зубьев лабиринта.

В US 2003/0131602 A1 раскрыта турбинная силовая установка, имеющая плавающее щеточное уплотнение осевой нагрузки, в котором в камеру в цилиндрической детали

подается охлаждающий воздух из последнего каскада компрессора за счет регулируемой величины утечки через лабиринтное уплотнение.

В WO 02/01046 A1 раскрыта уплотнительная система для газотурбинного двигателя, в которой воздух подается во внутренний цилиндр с использованием вентиляционного трубопровода опорного амортизатора, например, для создания потока воздуха, который начинается в промежуточном каскаде компрессора и поступает во внутренний цилиндр.

В WO 02/48525 A2 раскрыта система для подачи охлаждающего воздуха в газотурбинный двигатель, в которой охлаждающий воздух берется из источника высокого давления и переносится в радиальные ускорители, которые придают воздуху тангенциальное ускорение в направлении периферийного движения поверхности ротора. Охлаждающий воздух выпускается в пустотелый ротор с соответственно уменьшенным радиусом выпускного канала.

В US 2005/0058533 A1 раскрыто уплотнительное устройство для компрессора, которое включает в себя канал подачи сжатого воздуха для подачи сжатого воздуха в канал утечки, образованный между колесом компрессора и корпусом компрессора, причем канал утечки ведет из главного канала потока газа в подшипниковую зону компрессора, причем сжатый воздух подается под давлением, достаточным для того, чтобы гарантировать, что воздух и газообразное топливо не могут течь из главного канала потока газа через канал утечки в подшипниковую зону.

Может возникнуть необходимость в газотурбинном двигателе, обеспечивающем более высокую эффективность, в частности, обеспечивающем более высокую уплотняющую способность сжатого воздуха, просачивающегося из воздушного канала компрессора. Кроме того, может возникнуть необходимость в способе эксплуатации газотурбинного двигателя, например, для повышения эффективности газотурбинного двигателя, в частности, для более эффективного уплотнения зазора между ротором и статорной частью газотурбинного двигателя.

Сущность изобретения

Согласно варианту осуществления, предусмотрена газотурбинный двигатель, который содержит ротор, содержащий роторную часть (часть, которая связана с ротором или заключена в ротор) подшипника, работающего на текучей среде (в частности, масляного подшипника), для поддержки ротора с возможностью вращения (таким образом, удержания ротора таким образом, чтобы он мог вращаться, в частности, вокруг оси вращения); радиально наружную статорную часть (радиально наружная статорная часть располагается на большем удалении в радиальном направлении (дальше от оси вращения), чем радиально внутренняя статорная часть, причем радиальное направление может быть перпендикулярно к направлению оси, вокруг которой вращается ротор); радиально внутренняя статорная часть (располагается более в внутренне радиальном направлении (ближе к оси вращения), чем радиально наружная статорная часть), содержащая (или вмещающая в себя или образующая) статорную часть подшипника, работающего на текучей среде (статорная часть связана со статорной частью газотурбинного двигателя, ротор, вращающийся относительно статорной части газотурбинного двигателя), воздушный канал компрессора (для направления сжатого воздуха из компрессорной части газотурбинного двигателя в камеру сгорания, расположенную ниже по течению), проходящий между радиально наружной статорной частью и радиально внутренней статорной частью (в частности, воздушный канал компрессора может представлять собой кольцевой воздушный канал компрессора, проходящий в окружном направлении, перпендикулярном направлению оси и перпендикулярном радиальному направлению); и кольцевой зазор (или просвет, или

расстояние, образующий (ее) пустое пространство в твердом материале) между ротором и радиально внутренней статорной частью (кольцевой зазор может содержать часть, наполненную или, по меньшей мере, частично наполненную, или покрытую подшипниковой жидкостью, например, маслом, связанным с подшипником, работающим на текучей среде) частично формирующий кольцевой воздушный канал, сообщающийся с воздушным каналом компрессора (в частности, кольцевой зазор может ответвляться от воздушного канала компрессора, в результате чего, сжатый воздух просачивается из воздушного канала компрессора и поступает в, по меньшей мере, кольцевой воздушный канал кольцевого зазора), причем в направлении потока (направлении потока воздуха) воздуха, текущего в кольцевом воздушном канале, радиус (или диаметр, или площадь) воздушного канала уменьшается в первой части (в частности, расположенной выше по течению, чем вторая часть) и затем увеличивается во второй части (в частности, расположенной ниже по течению, чем первая часть, и, в частности, воздух, текущий в кольцевом воздушном канале, сначала достигает первой части и затем, в частности, достигает второй части). Кроме того, газотурбинный двигатель содержит выпускной трубопровод для выпуска воздуха, прошедшего через вторую часть кольцевого воздушного канала, причем впускной канал выпускного трубопровода для ввода воздуха, прошедшего через вторую часть кольцевого воздушного канала, располагается аксиально между второй частью кольцевого воздушного канала и подшипником, работающим на текучей среде.

Предусмотрен выпускной трубопровод (или трубопроводная система) для выпуска воздуха, прошедшего через вторую часть кольцевого воздушного канала. В частности, выпускной трубопровод может выходить в атмосферу. В частности, выпускной трубопровод может располагаться после уплотнения, размещенного в кольцевом воздушном канале. В частности, выпускной трубопровод может содержать одну или более трубок, труб и/или клапанов для регулировки количества воздуха, выходящего через выпускной трубопровод. Это позволяет эффективно выпускать остаточный воздух, текущий через уплотнение. Таким образом, можно уменьшить или даже предотвратить поступление этого остаточного воздуха в подшипник, работающий на текучей среде, в частности, в подшипниковую камеру подшипника, работающего на текучей среде.

Выпускная трубопроводная система для выпуска части подаваемого воздуха может содержать несколько выпускных труб, размещенных в разных осевых позициях и/или в разных окружных позициях турбины. Выпускная трубопроводная система может выпускать избыточный воздух, подаваемый через подшипник, работающий на текучей среде, и, в частности, чрезмерно горячий воздух; это позволяет предотвращать дополнительное ухудшение подшипниковой жидкости, в частности, масла, связанное с температурой. Выпускная трубопроводная система может выходить в атмосферу и/или в выпуск турбины.

Поскольку выпускной трубопровод для ввода воздуха, прошедшего через вторую часть кольцевого воздушного канала, располагается аксиально между второй частью кольцевого воздушного канала и подшипником, работающим на текучей среде, можно уменьшить или даже предотвратить поступление воздуха, текущего в кольцевом воздушном канале или текущего в кольцевом зазоре, в подшипниковую камеру.

Поскольку кольцевой зазор сообщается с воздушным каналом компрессора, сжатый воздух, истекающий из компрессорной части газотурбинного двигателя, может поступать в кольцевой зазор и, таким образом, подаваться в жидкостную подшипниковую камеру подшипника, работающего на текучей среде. Таким образом, можно эффективно

препятствовать поступлению жидкости, содержащейся в жидкостной подшипниковой камере, в кольцевой зазор или, по меньшей мере, в воздушный канал компрессора турбины, что оказывало бы негативное влияние на работу газотурбинного двигателя.

В частности, на кольцевом зазоре можно обеспечить уплотнение для герметизации
 5 кольцевого зазора или воспрепятствования поступлению туда сжатого воздуха из воздушного канала компрессора. В частности, уплотнение может располагаться в позиции на кольцевом зазоре, где кольцевой зазор имеет достаточно малый радиус или где кольцевой зазор имеет наименьший радиус. Обеспечение уплотнения в позиции наименьшего радиуса кольцевого зазора имеет преимущество в возможности
 10 усовершенствования уплотнительной функции, поскольку нужно герметизировать меньшую область, чем в случае, когда уплотнение располагается в позиции, имеющей больший радиус или диаметр. Таким образом, можно уменьшить количество сжатого воздуха, поступающего в кольцевой зазор или в кольцевой воздушный канал, для повышения эффективности газотурбинного двигателя. Таким образом, можно
 15 уменьшить утечку сжатого воздуха из воздушного канала компрессора.

Эффективность уплотнения может повышаться с уменьшением области, занимаемой уплотнением. В частности, область уплотнения можно определить как срез круглого кольца, в котором ширина (в радиальном направлении) кольца задается разностью
 20 радиуса радиально внутренней статорной части и радиуса ротора в конкретной осевой позиции, ограничивающего кольцевой воздушный канал кольцевого зазора.

Газотурбинный двигатель может содержать один ротор или два ротора, отделенные друг от друга. Поддерживаемый подшипником, работающим на текучей среде, ротор способен вращаться вокруг оси вращения, проходящей в осевом направлении. Подшипник, работающий на текучей среде, может содержать любую газообразную
 25 текучую среду или жидкую текучую среду, в частности масло. Текучая среда может подаваться под давлением, например, рабочей жидкостью насоса, в частности, маслом, в подшипниковую камеру подшипника, работающего на текучей среде. Таким образом, тонкий слой жидкости может заполнять просвет между опорной поверхностью ротора, также именуемый шейкой ротора или вала, и опорной поверхностью статорной части
 30 турбины в подшипниковой камере подшипника, работающего на текучей среде. Жидкость можно непрерывно нагнетать в подшипниковую камеру для поддержания тонкого слоя жидкости между опорными поверхностями, вращающимися относительно друг друга.

Согласно варианту осуществления, газотурбинный двигатель дополнительно
 35 содержит компрессор турбины, содержащий множественные лопатки ротора, установленные на роторе в разных осевых позициях, в котором система управления выполнена с возможностью подавать воздух, взятый из промежуточной осевой позиции компрессора турбины, в трубопроводную систему подачи воздуха. Кольцевой зазор также можно обозначать как кольцевой просвет, ограниченный поверхностью ротора
 40 с одной стороны и поверхностью статора с другой стороны. Поверхность ротора, а также поверхность статора, могут иметь неправильную форму и, в частности, могут не иметь плоскую или цилиндрическую форму, но могут иметь ступенчатую форму и, таким образом, разные диаметры в разных осевых позициях.

Согласно варианту осуществления, уменьшение радиуса воздушного канала в первой
 45 части воздушного канала больше, чем увеличение радиуса воздушного канала во второй части воздушного канала. В частности, воздушный канал компрессора располагается в радиальном направлении дальше наружу, чем кольцевой воздушный канал. В частности, кольцевой зазор ответвляется от воздушного канала компрессора в

радиальном направлении внутрь. В частности, роторная часть подшипника, работающего на текучей среде, располагается в радиальном направлении более внутрь, чем воздушный канал компрессора.

Согласно варианту осуществления наименьший радиус (наименьшая площадь) воздушного канала составляет от 0,1 до 0,5 наибольшего радиуса (наименьшей площади) воздушного канала. Чем меньше наименьший радиус (наименьшая площадь) воздушного канала, тем более эффективно можно препятствовать течению воздуха, поступающего из воздушного канала компрессора, в кольцевом воздушном канале или текущего в кольцевом зазоре, в частности, избегая течения в кольцевом зазоре к подшипнику, работающему на текучей среде. Таким образом, можно повысить эффективность уплотнения (в частности, расположенного, по меньшей мере, в части наименьшего радиуса кольцевого воздушного канала), таким образом, повышая эффективность газотурбинного двигателя. В частности, меньше сжатого воздуха, направляемого в воздушном канале компрессора, просачивается в кольцевой зазор.

Согласно варианту осуществления, кольцевой воздушный канал содержит уплотнение, препятствующее течению воздуха, отводимого из воздушного канала компрессора (или, по меньшей мере, уменьшающий поток) в кольцевом зазоре к подшипнику, работающему на текучей среде. В частности, уплотнение может содержать множественные лабиринтные уплотнения. В частности, уплотнение (в частности, включающее в себя множественные лабиринтные уплотнения) может располагаться, по меньшей мере, во второй части кольцевого воздушного канала. В частности, уплотнение может располагаться, по меньшей мере, в осевой позиции кольцевого воздушного канала или кольцевого зазора, имеющего наименьший радиус. Размещая уплотнение в позиции наименьшего радиуса можно повышать эффективность и улучшать уплотнительное свойство уплотнения, уменьшая утечку сжатого воздуха, просачивающегося из воздушного канала компрессора.

Согласно варианту осуществления, выпускная трубопроводная система сообщается с кольцевым зазором. Таким образом, избыточный воздух, поступающий к подшипнику, работающему на текучей среде, через кольцевой зазор или, по меньшей мере, частично текущий в кольцевом зазоре, может выходить через выпускную трубопроводную систему. Выпуск избыточного воздуха может требоваться, в частности, при нормальных условиях работы газотурбинного двигателя. Напротив, в ходе аварийного останова, система управления может блокировать выпускную трубопроводную систему или, по меньшей мере, снижать расход воздуха, выходящего через выпускную трубопроводную систему, для снижения потребности в воздухе, генерируемом внешним источником воздуха, например, внешним компрессором, активация которого может потребоваться, в частности, в ходе аварийного останова.

Выпускная трубопроводная система может сообщаться с кольцевым зазором, расположенным после выхода компрессора и до подшипника, работающего на текучей среде. Дополнительно или альтернативно, выпускная трубопроводная система может сообщаться с кольцевым зазором, расположенным после подшипника, работающего на текучей среде. Связь выпускной трубопроводной системы с кольцевым зазором может достигаться за счет обеспечения одной или более выпускных труб в разных осевых позициях и/или разных окружных позициях.

Согласно варианту осуществления, газотурбинный двигатель дополнительно содержит трубопроводную систему подачи воздуха для подачи воздуха к кольцевому зазору. Таким образом, воздух, подаваемый трубопроводной системой подачи воздуха, может функционировать как буферный воздух для буферизации связи жидкости в

подшипниковой камере и остаточного воздуха, текущего в кольцевом зазоре или кольцевом воздушном канале. В частности, часть воздуха, подаваемого трубопроводной системой подачи воздуха может течь к подшипниковой камере и другая его часть может течь в противоположном направлении, к впуску выпускного трубопровода и/или ко
 5 второй части кольцевого воздушного канала. Таким образом, можно уменьшить или даже предотвратить смешивание жидкости, содержащейся в жидкостной подшипниковой камере, и остаточного воздуха.

Трубопроводная система подачи воздуха для подачи воздуха к подшипнику, работающему на текучей среде, может содержать одну или более труб подачи воздуха
 10 в разных осевых позициях и/или в разных окружных позициях газотурбинного двигателя. Трубопроводную систему подачи воздуха также можно именовать подачей уплотняющего воздуха. Воздух может подаваться в трубопроводную систему подачи воздуха из разных источников. Например, в трубопроводную систему подачи воздуха может подаваться воздух, вытекающий из компрессора турбины или воздух,
 15 генерируемый внешним компрессором. Используя один или более клапанов, воздух из этих разных источников также можно смешивать или объединять для достижения нужного давления, температуры, объемного расхода и/или массового расхода при подаче в трубопроводную систему подачи воздуха, в частности в зависимости от режима работы газотурбинного двигателя.

Воздух, подаваемый через подшипник, работающий на текучей среде, с использованием трубопроводной системы подачи воздуха, может функционировать для предотвращения выхода жидкости из подшипника или, по меньшей мере, для предотвращения поступления жидкости в другие части двигателя, например, выход компрессора, где компрессор выдает воздух высокой температуры и высокого давления
 25 для смешивания с топливом, подлежащим сжиганию в камере сгорания газотурбинного двигателя. Поступление жидкости, в частности, масла, в выходной канал компрессора приводит к таким проблемам, как карбонизация и загрязнение, которые снижают долговечность и/или эффективность газотурбинного двигателя.

В нормальном режиме работы, дополнительный воздух высокого давления и высокой температуры, вытекающий из выхода компрессора, может подаваться к подшипнику,
 30 работающему на текучей среде, для предотвращения выхода жидкости из жидкостной подшипниковой камеры.

Согласно варианту осуществления, выпускной канал трубопроводной системы подачи воздуха для подачи воздуха к кольцевому зазору располагается аксиально
 35 ближе к подшипнику, работающему на текучей среде, чем впуск выпускного трубопровода. Таким образом, выпускной канал трубопроводной системы подачи воздуха может располагаться аксиально между подшипниковой камерой подшипника, работающего на текучей среде и впуском выпускного трубопровода. Таким образом, может достигаться нужный буферный эффект.

Согласно варианту осуществления, газотурбинный двигатель дополнительно содержит систему управления (потенциально содержит один или более клапанов в трубопроводной системе подачи воздуха и/или в выпускном трубопроводе), выполненную с возможностью изменять количество воздуха, выходящего через
 40 выпускной трубопровод, на основании режима работы газотурбинного двигателя. Таким образом, можно дополнительно повысить эффективность газотурбинного двигателя, в частности, за счет снижения количества воздуха, подаваемого в трубопроводную систему подачи воздуха (который можно брать из части сжатого воздуха, сжатого компрессорной частью газотурбинного двигателя).

Система управления может быть выполнена с возможностью изменять количество воздуха, выходящего через выпускную трубопроводную систему, причем количество может измеряться как расход, например, объемный расход воздуха, массовый расход воздуха или объем воздуха или масса воздуха, выпускаемого за определенный интервал времени, например, 1 секунду, 10 секунд, 1 минуту или 5 минут. Система управления может содержать механические компоненты, например, один или более клапанов, один или более регистрирующих устройств для регистрации количества воздуха, выпускаемого через выпускную трубопроводную систему, а также программные или аппаратные модули управления для считывания значений измерения регистрирующих устройств и для регулировки одного или более клапанов. Таким образом, регистрирующие устройства, в частности их датчики, могут располагаться в одном или более положениях в выпускной трубопроводной системе. Кроме того, один или более клапанов могут располагаться в одной или более выпускных трубах, содержащихся в выпускной трубопроводной системе и, в частности, в общей выпускной трубе, ведущей в выпускной канал, внешний по отношению к турбине.

Режим работы газотурбинного двигателя может характеризоваться подачей топлива в одну или более камер сгорания турбины, скоростью вращения ротора, количеством воздуха, выходящего из компрессора турбины и/или комбинацией вышеупомянутых параметров. В частности, система управления может содержать один или более измерительных датчиков для определения режима работы газотурбинного двигателя. Система управления может быть выполнена с возможностью обрабатывать измеренные значения и регулировать один или более клапанов путем активации одного или более приводов. В частности, система управления может быть выполнена с возможностью обнаруживать отказ газотурбинного двигателя и условие быстрого останова турбины, например, аварийного останова.

Согласно варианту осуществления система управления выполнена с возможностью уменьшения количества воздуха, выходящего через выпускную трубопроводную систему, если скорость вращения ротора меньше заранее определенного значения. В этом случае, можно уменьшить подачу воздуха, вытекающего из выхода компрессора, и также можно уменьшить количество воздуха, вытекающего из осевой позиции компрессора турбины, расположенной выше по течению, который поступает в трубопроводную систему подачи воздуха. Таким образом, может потребоваться, для предотвращения выхода жидкости из подшипника, работающего на текучей среде, дополнительно подавать воздух, генерируемый внешним компрессором, в трубопроводную систему подачи воздуха для подачи воздуха к подшипнику, работающему на текучей среде. В то же время, может не требоваться выпускать избыточный воздух, подаваемый через подшипник, работающий на текучей среде, с использованием выпускной трубопроводной системы. В других случаях, количество воздуха, выходящего через выпускную трубопроводную систему, можно, по меньшей мере, уменьшать, для снижения потребности в воздухе, подаваемом в трубопроводную систему подачи воздуха с использованием внешнего компрессора. Таким образом, можно повысить эффективность и снизить стоимость системы в целом.

Таким образом, в контексте настоящего изобретения, поток воздуха, отводимый из воздушного канала компрессора и текущий в кольцевом зазоре задает направление потока в прямом направлении, обеспечивая возможность задания относительных осевых позиций (позиций вдоль оси вращения вала ротора или турбины) двух элементов.

Согласно варианту осуществления, система управления дополнительно выполнена с возможностью регулировать количество воздуха, подаваемого через трубопроводную

систему подачи воздуха к подшипнику, работающему на текучей среде, и регулировать количество воздуха, выпускаемого через выпускную трубопроводную систему, чтобы предотвращать прохождение подшипниковой жидкости через зазор к выходу компрессора турбины. Кроме того, система управления может быть выполнена с
 5 возможностью минимизировать потребность в воздухе, подаваемом внешним компрессором, путем блокирования выпускной трубопроводной системы или, по меньшей мере, уменьшения расхода воздуха, выходящего через выпускную трубопроводную систему, в то же время, предотвращая прохождение подшипниковой жидкости через кольцевой зазор к выходу компрессора турбины. Таким образом, можно
 10 повысить безопасность и эффективность системы в целом.

Согласно варианту осуществления, система управления содержит клапан, размещенный в выпускной трубопроводной системе. Система управления может содержать один или более клапанов. В частности, один или более клапанов могут располагаться в общей выпускной трубе и/или в дополнительной общей выпускной
 15 трубе, и/или в одной или более из выпускных труб выпускной трубопроводной системы. В частности, один клапан может располагаться в месте выхода общей выпускной трубы из турбины, и один клапан может располагаться в месте, где дополнительная общая выпускная труба выходит из турбины.

Согласно варианту осуществления, система подачи воздуха содержит два комплекта
 20 труб подачи воздуха в разных осевых позициях, один из которых размещен на удалении от подшипника, работающего на текучей среде, в осевом направлении, и другой из которых размещен аксиально на удалении от подшипника, работающего на текучей среде, в направлении, противоположном осевому направлению. Как упомянуто выше, трубы подачи воздуха могут сообщаться с кольцевым зазором и с кольцевой полостью,
 25 размещенной в статорной части турбины в радиальном направлении дальше наружу, чем кольцевой зазор в соответствующей осевой позиции.

Согласно варианту осуществления, подшипник, работающий на текучей среде, содержит жидкостную подшипниковую камеру и трубу подачи подшипниковой жидкости для подачи подшипниковой жидкости в жидкостную подшипниковую камеру.
 30 Подшипниковая жидкость может заполнять просвет между опорной поверхностью (или роторной частью подшипника) ротора и опорной поверхностью (или статорной частью подшипника) статора турбины для обеспечения плавного вращения ротора относительно статора после смазывания опорных поверхностей. Кроме того, подшипниковая жидкость может способствовать отводу тепла от ротора.
 35 Подшипниковую жидкость можно непрерывно нагнетать через трубу подачи подшипниковой жидкости в подшипниковую камеру. Труба подачи подшипниковой жидкости может быть окружена кольцевой обратной трубой для возврата избыточной жидкости, в частности, масла. Подшипниковая жидкость может подаваться в жидкостную подшипниковую камеру через трубу подачи подшипниковой жидкости
 40 при нормальных условиях работы, а также в ходе аварийного останова, для отвода тепла, в частности, остаточного тепла, от ротора.

Согласно варианту осуществления, жидкостная подшипниковая камера сообщается с кольцевым зазором, причем кольцевой зазор выполнен (в частности, за счет своей геометрии) так, что жидкость стекает в жидкостную подшипниковую камеру (а не к
 45 позиции ответвления кольцевого зазора от воздушного канала компрессора). В частности, в нормальном режиме работы ротор вращается относительно радиально внутренней статорной части. В частности, под действием центробежной силы, часть жидкости, налипшая на роторную часть подшипника, работающего на текучей среде,

(сообщающуюся с кольцевым зазором) может принудительно направляться в позицию, более удаленную в радиальном направлении, например, чтобы быть принятой на статорной части из материала, образующего ограничение кольцевого зазора на статорной части. Поскольку радиус кольцевого воздушного канала уменьшается в первой части и затем увеличивается во второй части в направлении потока воздуха, текущего в кольцевом воздушном канале, подшипниковая жидкость стекает в жидкостную подшипниковую камеру вместо того, чтобы отводиться из подшипниковой камеры. Таким образом, конкретная геометрия кольцевого зазора и кольцевого воздушного канала позволяет более эффективно поддерживать или сохранять подшипниковую жидкость в подшипниковой камере. Таким образом, можно повысить эффективность подшипника, работающего на текучей среде, таким образом, повышая эффективность газотурбинного двигателя.

Согласно варианту осуществления кольцевой зазор содержит первую секцию и вторую секцию, причем подшипник, работающий на текучей среде, располагается аксиально между первой секцией и второй секцией. В частности, первая секция может быть, по меньшей мере, приближенно представлена зеркальной конструкцией (плоскость зеркала размещена в конкретной осевой позиции, проходящей перпендикулярно направлению оси) по сравнению со второй секцией. В частности, часть сжатого воздуха, отводимая из воздушного канала компрессора, может подаваться к первой секции кольцевого зазора, и другая часть может подаваться ко второй секции кольцевого зазора. В частности, части сжатого воздуха могут течь друг к другу в противоположных направлениях, каждая в направлении к жидкостной подшипниковой камере, расположенной между первой секцией кольцевого зазора и второй секцией кольцевого зазора. Таким образом, жидкостная подшипниковая камера может сообщаться с первой секцией, а также со второй секцией кольцевого зазора. Кроме того, можно эффективно препятствовать поступлению подшипниковой жидкости (или, по меньшей мере, достаточно глубокому ее проникновению) в первую секцию, а также вторую секцию кольцевого зазора, подавая воздух, отводимый из воздушного канала компрессора, через первую секцию кольцевого зазора, а также для второй секции кольцевого зазора.

Раскрытые признаки (по отдельности или в любой комбинации), описанные или объясненные в отношении газотурбинного двигателя, также можно применять к или использовать для (по отдельности или в любой комбинации) способа эксплуатации газотурбинного двигателя.

Согласно варианту осуществления, предусмотрен способ эксплуатации газотурбинный двигатель, причем способ содержит этапы, на которых обеспечивают поддержку с возможностью вращения ротора посредством подшипника, работающего на текучей среде, причем ротор содержит роторную часть подшипника, работающего на текучей среде; вращают ротор относительно радиально наружной статорной части и радиально внутренней статорной части, содержащей статорную часть подшипника, работающего на текучей среде; пропускают сжатый воздух через воздушный канал компрессора, проходящий между радиально наружной статорной частью и радиально внутренней статорной частью; пропускают воздух из воздушного канала компрессора через кольцевой воздушный канал, образованный частью кольцевого зазора между ротором и радиально внутренней статорной частью, причем в направлении потока воздуха, текущего в кольцевом воздушном канале, радиус воздушного канала уменьшается в первой части и затем увеличивается во второй части, причем выпускной трубопровод выпускает воздух, прошедший через вторую часть кольцевого воздушного канала, причем впуск выпускного трубопровода для ввода воздуха, прошедшего через вторую

часть кольцевого воздушного канала, располагается аксиально между второй частью кольцевого воздушного канала и подшипником, работающим на текучей среде.

В частности, кольцевой зазор может содержать уплотнение для уменьшения потока воздуха, отводимого из воздушного канала компрессора, для повышения эффективности газотурбинного двигателя. В частности, уплотнение можно обеспечить в позиции кольцевого воздушного канала, имеющего достаточно малый радиус (в частности, наименьший радиус), для улучшения уплотнительного свойства уплотнения. В частности, уплотнение может содержать множественные лабиринтные уплотнения в направлении потока воздуха, текущего в кольцевом воздушном канале.

Краткое описание чертежей

Фиг. 1 схематически иллюстрирует вид в разрезе части газотурбинного двигателя согласно варианту осуществления; и

фиг. 2 схематически иллюстрирует вид в разрезе части газотурбинного двигателя, представленной на фиг. 1.

Подробное описание

Иллюстрация на чертеже является схематической. Заметим, что в разных фигурах, аналогичные или идентичные элементы обозначены одинаковыми ссылочными позициями или ссылочными позициями, отличающимися от соответствующих ссылочных позиций только первой цифрой.

Фиг. 1 схематически показывает вид в разрезе части газотурбинного двигателя 1 согласно варианту осуществления. Газотурбинный двигатель 1 содержит ротор 2, который может вращаться вокруг оси 3 вращения (проходящей в осевом направлении). На роторе 2 установлены множественные держатели 4 лопаток ротора, между которыми зажаты множественные лопатки 5 ротора. В других вариантах осуществления лопатки ротора не требуется зажимать между двумя держателями лопаток ротора, но каждой лопатке ротора может соответствовать единичный держатель, к которому она прикрепена. При вращении ротора 2 лопатки 5 ротора вращаются в воздушном канале 10 компрессора для компрессора 7 турбины, входящего в состав газотурбинного двигателя 1. Кроме того, компрессор 7 содержит множественные направляющие лопасти 6, которые установлены на статорной части газотурбинного двигателя 1. Воздух поступает в компрессор 7 через вход 9 компрессора. Сжатый воздух поступает в камеру 17 сгорания.

Воздух поступает в компрессор 7 через вход 9 компрессора. Воздух, поступающий в компрессор 7, течет в воздушном канале 10 компрессора в направлении, указанном стрелкой 11. Стрелка 11 задает направление в прямом направлении. Направление стрелки 11, по меньшей мере, приближенно, соответствует осевому направлению 13, параллельному оси 3 вращения.

Вдоль этого канала, идущего через компрессор 7, воздух, поступающий на вход 9, сжимается вследствие вращения лопаток 5 ротора и выходит из компрессора 7 на выходе 15 компрессора. Затем сжатый воздух поступает в камеру 17 сгорания, содержащийся в камере 19 сгорания. В камере 17 сгорания сжатый воздух смешивается с топливом и обеспечивает сгорание. Затем сожженная смесь топлива и сжатого воздуха высокой температуры и высокого давления поступает в турбинную часть 21 газотурбинного двигателя 1, которая только частично показана на фиг. 1. Турбинная часть 21 содержит множественные направляющие лопасти 23, которые направляют текучую среду высокой температуры и высокого давления, выходящую из камеры 17 сгорания, к множественным лопаткам 25 ротора, которые соединены посредством держателей 27 лопаток ротора с ротором 2. Таким образом, ротор 2 приводится в движение, в результате чего, лопатки

ротора компрессора также вращаются для сжатия воздуха.

Чтобы ротор 2 мог плавно вращаться относительно статорной части 8 (см. фиг. 2) газотурбинного двигателя 1, ротор 2 установлен на нескольких подшипниках. Согласно варианту осуществления, представленному на фиг. 1 схематически показаны два подшипника, работающих на текучей среде, причем подшипник, работающий на текучей среде 29, располагается приблизительно в осевой позиции входа 9 компрессора, и подшипник 31, работающий на текучей (масляной) среде (также именуемый выходным подшипником турбины компрессора), располагается после выхода 15 компрессора турбины.

Часть фиг. 1 представлена на фиг. 2, таким образом, более подробно демонстрируя подшипник 31 и кольцевой воздушный канал 43. Подшипник 31 является подшипником, работающим на текучей среде, в котором в качестве жидкости используется масло. Подшипник 31 содержит статорную часть, содержащуюся в статорной части 8, и роторную часть, содержащуюся в роторе 2.

Согласно фиг. 2, часть воздушного канала 10 компрессора сформирована или ограничена радиально внутренней статорной частью 16 и радиально наружной статорной частью 18 газотурбинного двигателя 1. Отверстие 12 сформировано вблизи выхода 15 компрессора 7. На отверстии 12 кольцевой зазор 14 ответвляется от воздушного канала 10 компрессора. Кольцевой зазор 14 сформирован между ротором 2 и радиально внутренней статорной частью 16. Часть воздуха, сжатая в компрессоре 7, поступает через отверстие 12 в кольцевой зазор 14, таким образом, образуя кольцевой воздушный канал. Этот воздух, отводимый из воздушного канала 10 компрессора, уменьшает количество сжатого воздуха в воздушном канале 10 компрессора, который, в противном случае, мог бы использоваться для подачи в камеру 19 сгорания, в которой он мог бы смешиваться с топливом и участвовать в его сжигании в камере 17 сгорания. Таким образом, желательно уменьшать количество воздуха, отводимого из воздушного канала 10 компрессора через отверстие 12.

Для уменьшения количества воздуха, подаваемого или текущего через кольцевой зазор 14, кольцевому зазору 14 придается конкретная геометрическая форма. Кроме того, в кольцевом зазоре 14 в конкретных позициях размещены множественные лабиринтные уплотнения 41. Воздух, поступающий через отверстие 12 в кольцевой зазор 14, течет в направлении, указанном стрелкой 43. Из фиг. 2 следует, что в первой части 20 кольцевого зазора 14 радиус (измеренный от оси 3 вращения) сокращается или уменьшается от большего значения r_0 к меньшему значению r_1 . За пределами осевой позиции a_1 , соответствующей радиусу r_1 , кольцевой зазор 14 содержит множественные ступенчатые лабиринтные уплотнения 41. В то же время, радиус кольцевого зазора 14 увеличивается от значения r_1 до большего значения r_2 во второй части кольцевого зазора 14 в направлении потока воздуха, текущего в кольцевом зазоре 14. Таким образом, площадь, занятая лабиринтными уплотнениями 41 в осевой позиции a_1 , соответствующей радиусу r_1 , меньше, чем площадь лабиринтных уплотнений 41 в осевой позиции a_2 , соответствующей радиусу r_2 .

В частности, в ходе эксплуатации газотурбинного двигателя 1, давление воздуха, отводимого из воздушного канала 10 компрессора и подаваемого в кольцевой зазор 14, выше в осевой позиции a_1 (где радиус равен r_1), чем в осевой позиции a_2 (где радиус равен большему радиусу r_2). Таким образом, уплотнительное свойство лабиринтных уплотнений 41 в осевой позиции a_1 лучше, чем в осевой позиции a_2 , поскольку площадь уплотнения 41 в осевой позиции a_1 меньше, чем в осевой позиции a_2 . Таким образом, геометрия кольцевого зазора 14 спроектирована с возможностью обеспечения

уплотнения 41 в области кольцевого зазора 14, где площадь кольцевого зазора 14 особенно мала по сравнению с другими площадями кольцевого зазора 14.

Кроме того, вследствие геометрии кольцевого зазора 14, подшипниковая жидкость, содержащаяся в подшипниковой камере 33, эффективно сливается в подшипниковую камеру 33 вместо того, чтобы сливаться в отверстие 12, сообщающееся с воздушным каналом 10 компрессора. Таким образом, пролив подшипниковой жидкости, содержащейся в подшипниковой камере 33, в воздушный канал 10 компрессора снижается. Масло, содержащееся под давлением в жидкостной подшипниковой камере 33, используется для заполнения просвета 35 между опорной поверхностью 37 ротора 2 и опорной поверхностью 39 статорной части газотурбинного двигателя в жидкостной подшипниковой камере 33. Пленка масла, присутствующая в просвете 35, гарантирует, что ротор 2 может плавно вращаться относительно статорной части газотурбинного двигателя 1 в результате снижения трения.

В частности, радиус кольцевого зазора 14 в первой части 20 линейно уменьшается по мере увеличения осевой позиции, и радиус кольцевого зазора 14 во второй части 22 линейно увеличивается по мере увеличения осевой позиции. Согласно альтернативным вариантам осуществления, уменьшение и/или увеличение радиуса может происходить согласно другой форме или согласно другой математической функции с целью оптимизации уплотнительного свойства лабиринтных уплотнений 41.

Часть воздуха, отводимого из воздушного канала 10 компрессора, поступает в трубку 24 переноса для подачи в дополнительные лабиринтные уплотнения 42, содержащиеся в кольцевом зазоре 14. В частности, лабиринтные уплотнения размещены в направлении потока 4 3 воздуха таким образом, что уплотнения 42 размещены на радиусе r_3 . В первой части 26 кольцевого зазора 14 радиус уменьшается до радиуса r_3 , и за пределами соответствующей осевой позиции a_3 радиус ступенчатых уплотнений 42 увеличивается до радиуса r_4 во второй части 28 кольцевого зазора 14. В первой части 26 и также в первой части 20 кольцевого зазора уплотнения не предусмотрены. Однако уплотнение предусмотрено во вторых частях 22 и 28, соответственно.

В конфигурации кольцевого зазора 14 воздух наибольшего давления, отводимый из воздушного канала 10 компрессора, проходит через первый уплотнительный гребень (с наименьшим диаметром r_1 или r_3 , соответственно) лабиринтных уплотнений 41 и 42, соответственно.

В определенном режиме работы буферный воздух может отсутствовать или присутствовать в ограниченном количестве, т.е. в случае останова или низкой скорости вращения. В результате, распыленное масло из подшипниковой камеры 33 может поступать в уплотнительную систему в точке А. Любое масло, поступающее в точке А, будет распространяться к нижней мертвой точке, но ограничивается в продвижении к точке В и за ее пределы в силу конкретной геометрии кольцевого зазора 14. Таким образом, можно усовершенствовать работу газотурбинного двигателя 1.

Газотурбинный двигатель 1 содержит трубопроводную систему 45 подачи воздуха, 47 для подачи воздуха к кольцевому зазору 14 и к подшипнику 31, работающему на текучей среде. Масло можно непрерывно подавать в подшипник 31, работающий на текучей среде, для отвода остаточного тепла от газотурбинного двигателя 1. Это позволяет предотвращать любое тепловое повреждение, однако уплотнительный (буферный) воздух, подаваемый через трубопроводы 45 и 47 подачи воздуха, может требоваться для поддержания массового расхода через лабиринтные уплотнения 41, 42 и в подшипниковую камеру 33, и, таким образом, предотвращения проникновения масла в уплотнения и выпускные трубопроводы 57, 59, 61 и 63.

Трубы подачи воздуха, размещенные в осевой позиции трубопровода 45 подачи воздуха, сообщаются с кольцевой полостью 49, и множественные трубы подачи воздуха в осевой позиции трубопровода 47 подачи воздуха сообщаются с кольцевой полостью 51.

5 Воздух, поступающий в кольцевой зазор 14 (в направлении 43) через множественные лабиринтные уплотнения 41, 42, выпускается с использованием выпускной трубопроводной системы, содержащей множественные выпускные трубопроводы 57, 59, 61 и 63, как показано на фиг. 2. В частности, трубопроводами могут быть
10 проделанные с помощью станка отверстия или прорези в статоре. Выпускные трубопроводы 57, 59, 61 и 63 сообщаются с кольцевым зазором 14, включающим в себя уплотнения 41, 42, и проходят в радиальном направлении для выпуска избыточного воздуха в радиальном направлении наружу. Выпускные трубы, размещенные в осевых позициях, соответствующих выпускным трубопроводам 57 и 63, могут вести в общую
15 выпускную трубу. Аналогично, выпускные трубопроводы, размещенные в осевых позициях, соответствующих выпускным трубопроводам 59 и 61, могут вести в дополнительную общую выпускную трубу.

Следует отметить, что варианты осуществления изобретения были описаны со ссылкой на разные предметы. В частности, некоторые варианты осуществления были описаны со ссылкой на пункты способа, тогда как другие варианты осуществления
20 были описаны со ссылкой на пункты устройства. Однако специалист в данной области техники сможет понять, на основании вышеприведенного и нижеследующего описания, что, если не указано иное, помимо любой комбинации признаков, принадлежащих одному типу предмета, любую комбинацию признаков, относящихся к разным предметам, в частности, признаков пунктов способа и признаков пунктов устройства
25 также можно рассматривать как раскрытую в этом документе.

Формула изобретения

1. Газотурбинный двигатель, содержащий

- ротор (2), содержащий роторную часть подшипника (31), работающего на текучей
30 среде, для поддержки ротора с возможностью вращения,
- радиально наружную статорную часть (18),
- радиально внутреннюю статорную часть (16), содержащую статорную часть подшипника, работающего на текучей среде,
- воздушный канал (10) компрессора, проходящий между радиально наружной
35 статорной частью и радиально внутренней статорной частью,
- кольцевой зазор (14) между ротором и радиально внутренней статорной частью, частично образующий кольцевой воздушный канал, сообщаемый с воздушным каналом компрессора,
причем в направлении (43) потока воздуха, текущего в кольцевом воздушном канале,
40 площадь воздушного канала уменьшается в первой части (20, 26) и затем увеличивается во второй части (22, 28), и
- выпускной трубопровод (57, 63) для выпуска воздуха, прошедшего через вторую часть кольцевого воздушного канала,

причем впуск выпускного трубопровода для ввода воздуха, прошедшего через
45 вторую часть кольцевого воздушного канала, расположен аксиально между второй частью кольцевого воздушного канала и подшипником, работающим на текучей среде.

2. Двигатель по п. 1, в котором уменьшение площади воздушного канала в первой части больше, чем увеличение площади воздушного канала во второй части.

3. Двигатель по п. 1, в котором наименьшая площадь воздушного канала составляет от 0,1 до 0,5 наибольшей площади воздушного канала.

4. Двигатель по п. 2, в котором наименьшая площадь воздушного канала составляет от 0,1 до 0,5 наибольшей площади воздушного канала.

5. Двигатель по любому из пп. 1-4, в котором кольцевой воздушный канал содержит множественные лабиринтные уплотнения (41, 42), по меньшей мере, во второй части кольцевого воздушного канала.

6. Двигатель по любому из пп. 1-4, дополнительно содержащий
- трубопроводную систему (45, 47) подачи воздуха для подачи воздуха к кольцевому зазору.

7. Двигатель по п. 5, дополнительно содержащий
- трубопроводную систему (45, 47) подачи воздуха для подачи воздуха к кольцевому зазору.

8. Двигатель по п. 6, в котором выпускной канал трубопроводной системы (45, 47) подачи воздуха для подачи воздуха к кольцевому зазору расположен аксиально ближе к подшипнику, работающему на текучей среде, чем впуск выпускного трубопровода.

9. Двигатель по п. 7, в котором выпускной канал трубопроводной системы (45, 47) подачи воздуха для подачи воздуха к кольцевому зазору расположен аксиально ближе к подшипнику, работающему на текучей среде, чем впуск выпускного трубопровода.

10. Двигатель по п. 8, дополнительно содержащий
- систему управления, выполненную с возможностью изменять количество воздуха, выходящего через выпускной трубопровод, на основании режима работы двигателя.

11. Двигатель по п. 9, дополнительно содержащий
- систему управления, выполненную с возможностью изменять количество воздуха, выходящего через выпускной трубопровод, на основании режима работы двигателя.

12. Двигатель по любому из пп. 1-4, в котором подшипник (31), работающий на текучей среде, содержит жидкостную подшипниковую камеру (33) и трубу подачи подшипниковой жидкости для подачи подшипниковой жидкости в жидкостную подшипниковую камеру.

13. Двигатель по п. 12, в котором жидкостная подшипниковая камера (33) сообщается с кольцевым зазором (14), причем кольцевой зазор выполнен так, что жидкость стекает в жидкостную подшипниковую камеру.

14. Двигатель по любому из пп. 1-4, в котором кольцевой зазор содержит первую секцию (20, 22) и вторую секцию (26, 28), причем подшипник, работающий на текучей среде, располагается аксиально между первой секцией и второй секцией.

15. Способ эксплуатации газотурбинного двигателя, причем способ содержит этапы, на которых

- обеспечивают поддержку с возможностью вращения ротора посредством подшипника, работающего на текучей среде, причем ротор содержит роторную часть подшипника, работающего на текучей среде,

- вращают ротор относительно радиально наружной статорной части и радиально внутренней статорной части, содержащей статорную часть подшипника, работающего на текучей среде,

- пропускают сжатый воздух через воздушный канал компрессора, проходящий между радиально наружной статорной частью и радиально внутренней статорной частью,

- пропускают воздух из воздушного канала компрессора через кольцевой воздушный канал, образованный частью кольцевого зазора между ротором и радиально внутренней

статорной частью,

причем в направлении потока воздуха, текущего в кольцевом воздушном канале, площадь воздушного канала уменьшается в первой части и затем увеличивается во второй части, причем выпускной трубопровод (57, 63) выпускает воздух, прошедший
5 через вторую часть кольцевого воздушного канала, причем впуск выпускного трубопровода для ввода воздуха, прошедшего через вторую часть кольцевого воздушного канала, расположен аксиально между второй частью кольцевого воздушного канала и подшипником, работающим на текучей среде.

10

15

20

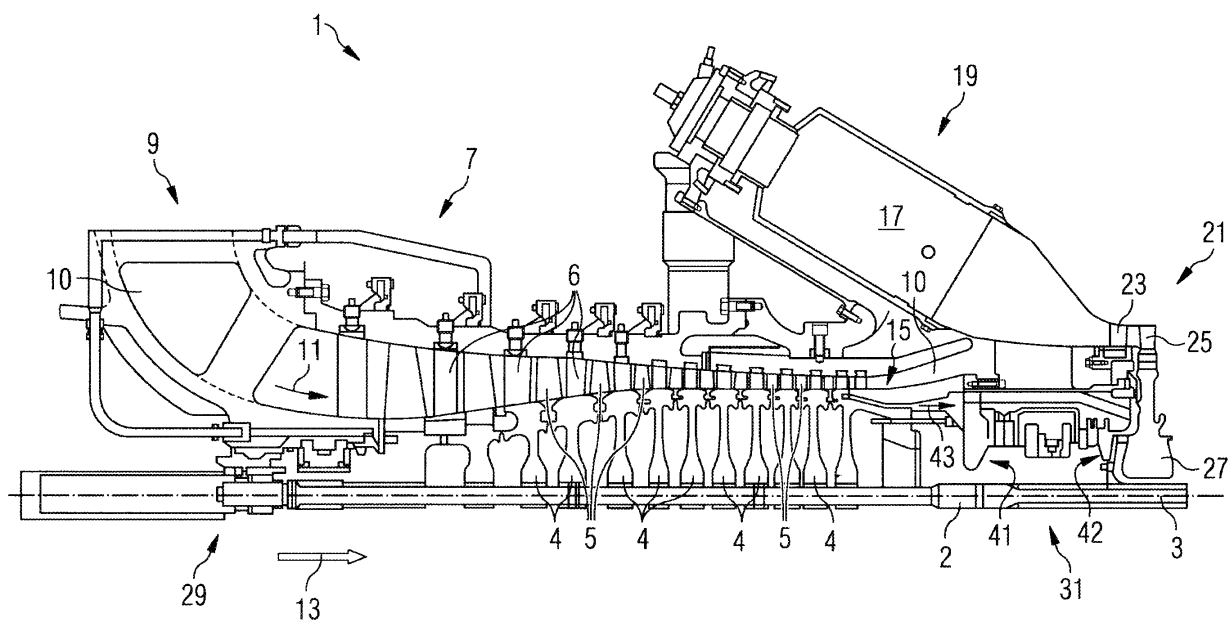
25

30

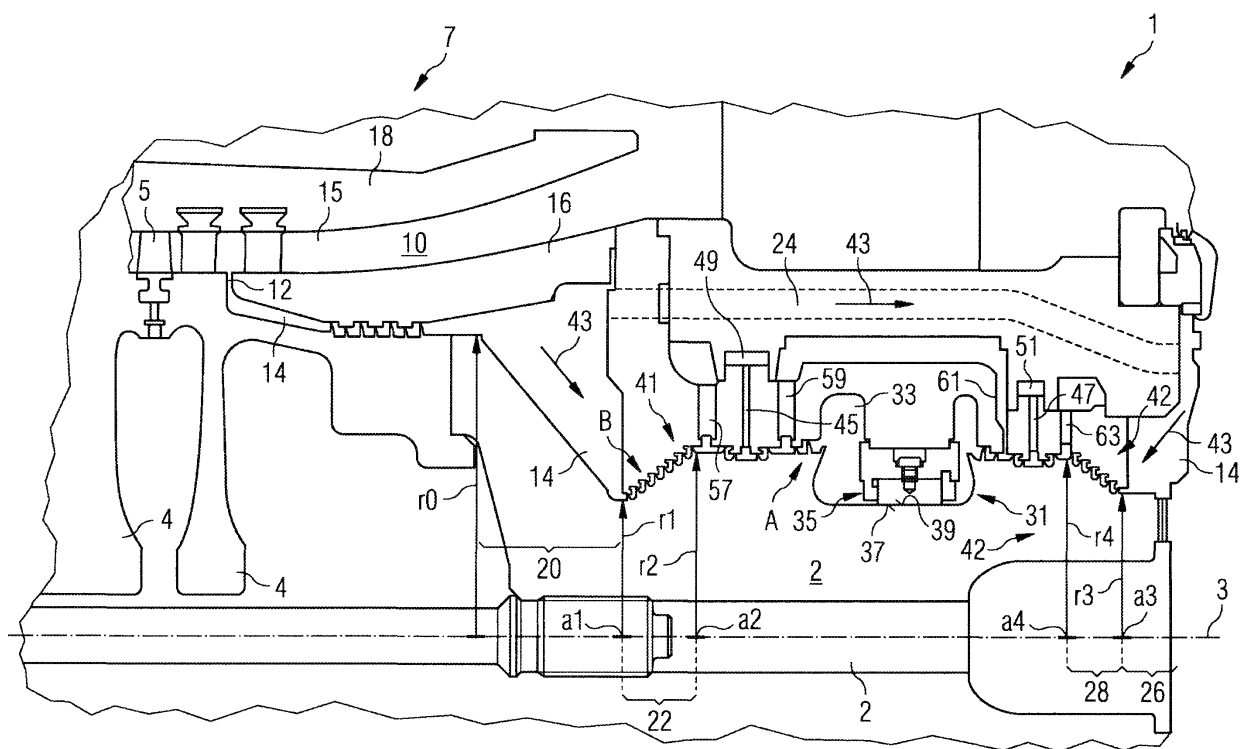
35

40

45



Фиг. 1



Фиг. 2