

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

## (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК  
F02C 9/28 (2023.05)

(21)(22) Заявка: 2021139242, 27.04.2020

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
27.04.2020Дата регистрации:  
03.10.2023

Приоритет(ы):

(30) Конвенционный приоритет:  
06.06.2019 FR 1906001

(43) Дата публикации заявки: 10.07.2023 Бюл. № 19

(45) Опубликовано: 03.10.2023 Бюл. № 28

(85) Дата начала рассмотрения заявки РСТ на  
национальной фазе: 10.01.2022(86) Заявка РСТ:  
FR 2020/050716 (27.04.2020)(87) Публикация заявки РСТ:  
WO 2020/245516 (10.12.2020)Адрес для переписки:  
101000, Москва, ул. Мясницкая, д. 13, стр. 5,  
ООО "Союзпатент", С.Б. Фелициной

(72) Автор(ы):

КЮВИЛЬЕ, Ромен, Гийом (FR),  
КАБРЕРА, Пьер (FR)

(73) Патентообладатель(и):

САФРАН ЭРКРАФТ ЭНДЖИНЗ (FR)

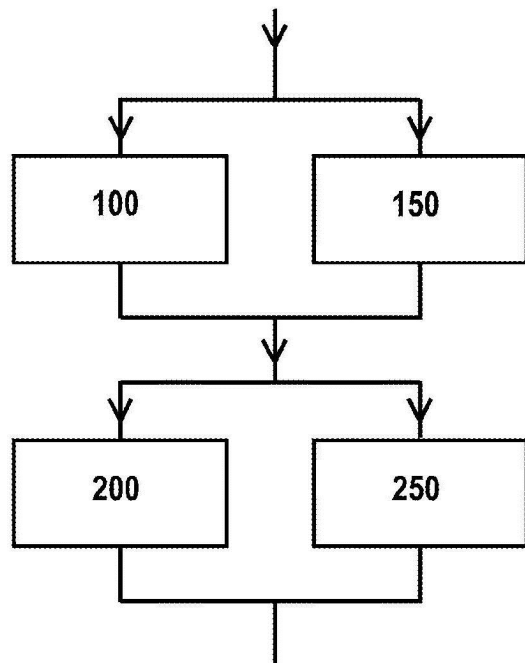
(56) Список документов, цитированных в отчете  
о поиске: WO 2005028832 A1, 31.03.2005. RU  
2403419 C1, 10.11.2010. RU 2607433 C2,  
10.01.2017.

## (54) СПОСОБ РЕГУЛИРОВАНИЯ УСКОРЕНИЯ ГАЗОТУРБИННОГО ДВИГАТЕЛЯ

(57) Реферат:

Изобретение относится к способу регулирования ускорения газотурбинного двигателя, причем газотурбинный двигатель содержит камеру сгорания, турбину высокого давления, расположенную ниже по потоку относительно камеры сгорания и приводящую во вращение вал высокого давления, и турбину низкого давления, расположенную ниже по потоку относительно турбины высокого давления и приводящую во вращение вал низкого давления.

Согласно изобретению способ включает в себя следующие этапы: подачу (100) механической мощности на вал высокого давления до тех пор, пока скорость вала высокого давления не достигнет заданного значения, затем отбор (200) механической мощности от вала высокого давления для поддержания заданной скорости вращения. Кроме того, также представлен газотурбинный двигатель для летательного аппарата. 2 н. и 9 з.п. ф-лы, 3 ил.



Фиг. 3

RU 2804671 C2

RU 2804671 C2



FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC  
*F02C 9/28* (2023.05)

(21)(22) Application: **2021139242, 27.04.2020**

(24) Effective date for property rights:  
**27.04.2020**

Registration date:  
**03.10.2023**

Priority:

(30) Convention priority:  
**06.06.2019 FR 1906001**

(43) Application published: **10.07.2023 Bull. № 19**

(45) Date of publication: **03.10.2023 Bull. № 28**

(85) Commencement of national phase: **10.01.2022**

(86) PCT application:  
**FR 2020/050716 (27.04.2020)**

(87) PCT publication:  
**WO 2020/245516 (10.12.2020)**

Mail address:  
**101000, Moskva, ul. Myasnitskaya, d. 13, str. 5,  
OOO "Soyuzpatent", S.B. Felitsinoj**

(72) Inventor(s):

**CUVILLIER, Romain, Guillaume (FR),  
CABRERA, Pierre (FR)**

(73) Proprietor(s):

**SAFRAN AIRCRAFT ENGINES (FR)**

(54) **GAS TURBINE ENGINE ACCELERATION CONTROL METHOD**

(57) Abstract:

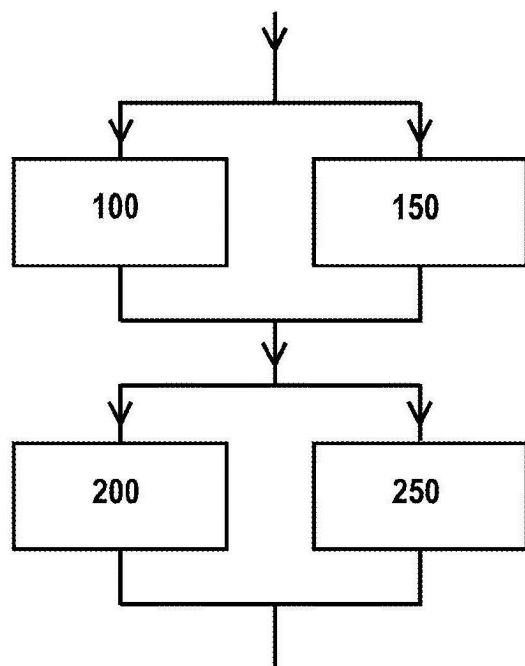
FIELD: gas turbine engines.

SUBSTANCE: invention relates to a method for controlling the acceleration of a gas turbine engine, wherein the gas turbine engine comprises a combustion chamber, a high-pressure turbine located downstream of the combustion chamber and driving a high-pressure shaft, and a low-pressure turbine located downstream of the high-pressure turbine and driving rotation of the low-pressure shaft. According to the invention, the

method includes the following steps: applying (100) mechanical power to the high-pressure shaft until the speed of the high-pressure shaft reaches a predetermined value, then extracting (200) mechanical power from the high-pressure shaft to maintain the set rotation speed. In addition, a gas turbine engine for an aircraft is also provided.

EFFECT: improved engine efficiency.

11 cl, 3 dwg



Фиг. 3

Область техники, к которой относится изобретение

Данное изобретение относится к общей области газотурбинных двигателей для летательных аппаратов.

Уровень техники

5 В общем, газотурбинный двигатель для летательного аппарата содержит вал высокого давления (вал ВД), приводимый во вращение турбиной высокого давления (ВД), и вал низкого давления (вал НД), приводимый во вращение от вала турбины низкого давления (НД), вал низкого давления приводит во вращение вентилятор газотурбинного двигателя.

10 Во время фазы ускорения газотурбинного двигателя может возникнуть задержка по времени между валом высокого давления (валом ВД) и валом низкого давления (валом НД) газотурбинного двигателя при достижении заданной скорости вращения. Действительно, заявитель отметил, что вал низкого давления имеет тенденцию ускоряться менее быстро, чем вал высокого давления, и, таким образом, вал низкого давления достигает своей заданной скорости вращения позже, чем вал высокого давления. Заявитель заметил, что задержка ускорения вала низкого давления сильно увеличивается, когда редуктор помещается между валом низкого давления и вентилятором.

Задержка ускорения вала низкого давления вызывает задержку ускорения вентилятора, таким образом увеличивая период между командой ускорения и моментом достижения заданной тяги.

Раскрытие сущности изобретения

Поэтому данное изобретение имеет своей целью предложить решение, отвечающее на ранее описанную проблему.

25 Согласно первому аспекту, изобретение относится к способу регулирования ускорения газотурбинного двигателя, при этом газотурбинный двигатель содержит камеру сгорания, турбину высокого давления, расположенную ниже по потоку относительно камеры сгорания и приводящую во вращение вал высокого давления, и турбину низкого давления, расположенную ниже по потоку относительно турбины высокого давления и приводящую во вращение вал низкого давления, при этом способ включает в себя следующие этапы:

- подачу механической мощности на вал высокого давления до тех пор, пока скорость вала высокого давления не достигнет заданного значения, затем  
- отбор механической мощности от вала высокого давления для поддержания скорости на заданном значении.

35 Способ регулирования такого типа позволяет уменьшить задержку между ускорением вала высокого давления и вала низкого давления. В начале фазы ускорения на вал высокого давления подается мощность, чтобы помочь ему разогнаться, затем ускорение вала высокого давления прекращается, чтобы позволить обеспечить сильное ускорение вала низкого давления: при этом вал низкого давления достигает своей заданной скорости быстрее, чем в известных технических решениях. В более общем плане продолжительность ускорения как вала высокого давления, так и вала низкого давления короче, чем в известных технических решениях.

40 Согласно одному возможному признаку, этап отбора механической мощности от вала высокого давления выполняется посредством первой электрической машины в режиме электрического генератора.

Согласно одному возможному признаку, этап подачи механической мощности на вал высокого давления выполняется первой электрической машиной в режиме

электродвигателя.

Согласно одному возможному признаку, способ включает в себя следующий этап, выполняемый параллельно с этапом отбора механической мощности из вала высокого давления: этап подачи механической мощности на вал низкого давления.

5 Согласно одному возможному признаку, способ включает в себя следующий этап, выполняемый параллельно с этапом подачи механической мощности на вал высокого давления: этап отбора механической мощности от вала низкого давления.

Согласно одному возможному признаку, этап подачи механической мощности на вал низкого давления выполняется с помощью второй электрической машины в режиме  
10 электродвигателя, а этап отбора механической мощности от вала низкого давления выполняется с помощью упомянутой второй электрической машины в режиме электрогенератора.

Согласно одному возможному признаку, газотурбинный двигатель содержит компрессор высокого давления, который расположен выше по потоку относительно  
15 камеры сгорания и приводится во вращение с помощью вала высокого давления, причем способ включает в себя следующий этап: мониторинг компрессора высокого давления путем определения параметра помпажа компрессора высокого давления, при этом этап подачи механической мощности на вал высокого давления выполняется, если параметр помпажа компрессора высокого давления достигает порогового значения.

20 Согласно второму аспекту, изобретение относится к газотурбинному двигателю для летательного аппарата, содержащему:

- турбину высокого давления, расположенную ниже по потоку относительно камеры сгорания и соединенную с валом высокого давления;
- турбину низкого давления, расположенную ниже по потоку относительно турбины  
25 высокого давления и соединенную с валом низкого давления;
- устройство подачи механической мощности на вал высокого давления;
- устройство отбора механической мощности от вала высокого давления;
- систему управления, соединенную с устройством подачи мощности и устройством отбора мощности, причем система управления выполнена с возможностью  
30 осуществления способа регулирования ускорения газотурбинного двигателя, в соответствии с любым из вышеперечисленных признаков.

Согласно одному возможному признаку, устройство подачи мощности представляет собой первую электрическую машину, выполненную с возможностью работы в режиме электродвигателя, а устройство отбора мощности представляет собой первую  
35 электрическую машину, выполненную с возможностью работы в режиме электрического генератора.

Согласно одному возможному признаку, газотурбинный двигатель содержит вторую электрическую машину, которая соединена с валом низкого давления, и которая  
40 выполнена с возможностью работы в режиме электродвигателя и подачи механической мощности на вал низкого давления.

Согласно одному возможному признаку, вторая электрическая машина выполнена с возможностью работы в режиме электрического генератора и отбора механической мощности от вала низкого давления.

Краткое описание чертежей

45 Другие признаки и преимущества данного изобретения будут раскрыты в приведенном ниже описании со ссылкой на прилагаемые чертежи, которые иллюстрируют вариант его осуществления, лишенный какого-либо ограничивающего характера.

На фиг. 1 схематично показан газотурбинный двигатель для летательного аппарата, согласно первому варианту осуществления изобретения;

на фиг. 2 схематично показан газотурбинный двигатель для летательного аппарата, согласно второму варианту осуществления изобретения;

5 на фиг. 3 схематично представлены этапы способа регулирования ускорения газотурбинного двигателя.

Осуществление изобретения

На фиг. 1 схематично показан двухконтурный двухроторный газотурбинный двигатель 1 для летательного аппарата, содержащий от входа к выходу относительно  
10 направления прохождения воздушного потока, вентилятор 2, компрессор 3 низкого давления (НД), компрессор 4 высокого давления (ВД), камеру 5 сгорания, турбину 6 высокого давления (ВД) и турбину 7 низкого давления (НД).

Турбина 6 высокого давления соединена с компрессором 4 высокого давления посредством вала 8 высокого давления, а турбина 7 низкого давления соединена с  
15 компрессором 3 низкого давления и вентилятором 2 посредством вала 9 низкого давления.

Кроме того, как показано на фиг. 1 и 2, газотурбинный двигатель 1 может содержать редуктор R, который соединяет вентилятор 2 с валом 9 низкого давления, редуктор R, таким образом, позволяет разделить скорости вращения вентилятора 2 и турбины 7  
20 низкого давления. Однако изобретение также может быть использовано для газотурбинного двигателя 1, в котором вентилятор 2 напрямую соединен с валом 3 низкого давления и, таким образом, напрямую соединен с турбиной 7 низкого давления. Однако изобретение является более предпочтительным, когда газотурбинный двигатель 1 содержит редуктор R, поскольку заявитель отметил, что инерция ротора низкого  
25 давления увеличивается, когда газотурбинный двигатель 1 содержит редуктор R.

Газотурбинный двигатель 1 содержит первую электрическую машину 11, которая соединена с валом 8 высокого давления. Первая электрическая машина 11 представляет собой реверсивную машину, которая выполнена как с возможностью работы в режиме электрического генератора и, таким образом, отвода механической энергии от вала 8  
30 высокого давления, так и для работы в режиме электродвигателя и, таким образом, подачи механической мощности на вал 8 высокого давления. Согласно другому возможному варианту, первая электрическая машина 11 представляет собой электрический генератор и не является реверсивной, причём в этом варианте указанная первая электрическая машина 11 не может работать как электродвигатель.

35 Как показано на фиг. 2, газотурбинный двигатель 1 может содержать вторую электрическую машину 12, которая соединена с валом 9 низкого давления. Вторая электрическая машина 12 может быть электродвигателем, выполненным с возможностью подачи механической мощности на вал 9 низкого давления. Вторая электрическая машина может быть реверсивной машиной, которая выполнена с возможностью работы  
40 как в режиме электрического генератора и, таким образом, с возможностью отбора механической мощности от вала 9 низкого давления, так и работы в режиме электродвигателя и, таким образом, подачи механической мощности на вал 9 низкого давления. Согласно другому возможному варианту, вторая электрическая машина 12 является электродвигателем и не является реверсивной, в этом варианте указанная  
45 вторая электрическая машина 12 не может работать как электрический генератор.

Газотурбинный двигатель 1 содержит систему 13 управления, которая соединена с первой электрической машиной 11 и со второй электрической машиной 12. Система 13 управления выполнена с возможностью реализации способа регулирования ускорения

газотурбинного двигателя 1 для сокращения времени, затрачиваемого на ускорение упомянутого газотурбинного двигателя 1. Другими словами, способ, реализованный системой 13 управления, позволяет уменьшить задержку между командой на ускорение и моментом, когда газотурбинный двигатель 1 производит тягу заданного значения.

5 Способ позволяет, в частности, уменьшить задержку достижения тяги, необходимой для взлета.

Способ регулирования ускорения газотурбинного двигателя 1, реализуемый системой 13 управления, включает в себя следующие этапы:

- подачу 100 механической мощности на вал 8 высокого давления до тех пор, пока 10 скорость вала 8 высокого давления не достигнет заданного значения, затем

- отбор 200 механической мощности от вала 8 высокого давления для поддержания скорости на заданном значении с помощью той же самой электрической машины 11.

Таким образом, первая электрическая машина 11, работающая в режиме электродвигателя, принимает команду от системы 13 управления на ускорение вала 8 15 высокого давления до тех пор, пока он не достигнет заданной скорости. Затем первая электрическая машина 11, работающая в режиме электрического генератора, принимает команду от системы 13 управления на отбор механической мощности от вала 8 высокого давления, когда вал 8 высокого давления достигает заданной скорости.

Заявитель обратил внимание на тот факт, что ограничение скорости вращения вала 20 8 высокого давления, когда ротор высокого давления газотурбинного двигателя 1 достиг заданной скорости (вследствие отбора механической мощности от вала высокого давления), позволяет ускорить увеличение скорости ротора низкого давления газотурбинного двигателя 1, что позволяет быстрее получить заданную тягу.

Фактически, при ограничении скорости вращения вала 8 высокого давления на вал 9 25 низкого давления передается дополнительная энергия.

Система 13 управления может регулировать ускорение газотурбинного двигателя, используя скорректированную скорость вала 8 высокого давления. Скорректированная скорость вала 8 высокого давления соответствует сбалансированной по температуре скорости вращения вала 8 высокого давления.

30 Согласно одному предпочтительному варианту, позволяющему дополнительно сократить продолжительность ускорения ротора низкого давления газотурбинного двигателя 1, когда упомянутый вал 8 высокого давления достигает заданной скорости, механическая мощность, которая отбирается от вала 8 высокого давления, подается на вал 9 низкого давления (этап 250).

35 Этот вариант может быть реализован с помощью системы 13 управления, которая управляет первой электрической машиной 11 таким образом, что она работает в режиме электрического генератора и снабжает электроэнергией вторую электрическую машину 12, которая работает в режиме электродвигателя. Преобразователь может быть 40 расположен между первой электрической машиной 11 и второй электрической машиной 12 для адаптации электрического тока.

Согласно одному из возможных решений, первая электрическая машина 11 снабжается электричеством от батареи 14, когда машина работает в режиме электродвигателя.

Согласно другому возможному решению, первая электрическая машина 11 45 снабжается электричеством, когда она работает в режиме электродвигателя, от второй электрической машины 12, которая работает в режиме 12 электрического генератора, при этом вторая электрическая машина 12 вырабатывает электричество, отбирая механическую мощность от вала 9 низкого давления (этап 150). Заявитель фактически

обратил внимание на тот факт, что предпочтительно сначала гарантировать быстрое ускорение ротора высокого давления, а затем ротора низкого давления. Трансформатор может быть позиционирован между первой электрической машиной 11 и второй электрической машиной 12, чтобы адаптировать электрический ток.

5 Согласно возможному варианту, позволяющему снизить риск помпажа компрессора 4 высокого давления, система 13 управления выполнена с возможностью реализации этапа мониторинга компрессора 4 высокого давления. Этот этап мониторинга компрессора 4 высокого давления выполняется путем определения параметра помпажа компрессора высокого давления и подачи механической мощности на вал 8 высокого  
10 давления, когда упомянутый параметр перекачивания компрессора 4 высокого давления достигает порогового значения. Помпаж – это явление, при котором происходит изменение направления потока воздуха из-за слишком большой разницы давлений между входом в компрессор и выходом из компрессора.

Параметр помпажа компрессора 4 высокого давления может быть определен на  
15 основе соотношения давлений указанного компрессора 4 высокого давления, то есть отношения между давлением на выходе компрессора 4 высокого давления и давлением на входе в указанный компрессор 4 высокого давления, и от расхода потока указанного компрессора 4 высокого давления. Таким образом, газотурбинный двигатель 1 может содержать первый датчик давления, который выполнен с возможностью измерения  
20 давления на входе компрессора 4 высокого давления, а также второй датчик давления, который выполнен с возможностью измерения давления на выходе компрессора 4 высокого давления, причем первый датчик давления и второй датчик давления подключены к системе 13 управления. Газотурбинный двигатель также может содержать измеритель расхода потока, который выполнен с возможностью измерения расхода  
25 потока воздуха в компрессоре 4 высокого давления, при этом расходомер подключен к системе 13 управления.

Таким образом, тот факт, что система 13 управления выполнена с возможностью мониторинга изменения параметра помпажа и управления подачей механической мощности в компрессор 4 высокого давления, когда значение параметра указывает на  
30 вероятность возникновения явления помпажа, позволяет уменьшить риск помпажа.

Этот этап мониторинга компрессора 4 высокого давления выполняется на протяжении всего способа и одновременно с другими этапами. Когда на компрессор 4 высокого давления подается механическая мощность, потому что параметр помпажа указанного компрессора 4 высокого давления достиг порогового значения, ограничение  
35 скорости вала 8 высокого давления временно прекращается до тех пор, пока параметр помпажа снова не перейдет в область значений ниже порогового значения.

#### (57) Формула изобретения

1. Способ регулирования ускорения газотурбинного двигателя (1), при этом  
40 газотурбинный двигатель (1) содержит камеру (5) сгорания, турбину (6) высокого давления, расположенную ниже по потоку относительно камеры (5) сгорания и выполненную с возможностью приведения во вращение вала (8) высокого давления, и турбину (7) низкого давления, расположенную ниже по потоку относительно турбины (6) высокого давления и выполненную с возможностью приведения во вращение вала  
45 (9) низкого давления, отличающийся тем, что включает в себя следующие этапы:  
- подачу (100) механической мощности на вал (8) высокого давления до тех пор, пока скорость вала (8) высокого давления не достигнет заданного значения, затем  
- отбор (200) механической мощности от вала (8) высокого давления так, чтобы

поддерживать скорость вращения на заданном значении.

2. Способ по п. 1, в котором этап отбора (200) механической мощности от вала (8) высокого давления выполняется посредством первой электрической машины (11) в режиме электрического генератора.

5 3. Способ по п. 2, в котором этап подачи механической мощности (100) на вал (8) высокого давления выполняется посредством первой электрической машины (11) в режиме электродвигателя.

4. Способ по одному из пп. 1-3, содержащий следующий этап, выполняемый параллельно с этапом отбора (200) механической мощности от вала (8) высокого давления: подача (250) механической мощности на вал (9) низкого давления.

10 5. Способ по любому из пп. 1-4, в котором способ включает в себя следующий этап, выполняемый параллельно с этапом подачи (100) механической мощности на вал (8) высокого давления: отбор (150) механической мощности от вала (9) низкого давления.

6. Способ по п. 5, содержащий следующий этап, выполняемый параллельно с этапом отбора (200) механической мощности от вала (8) высокого давления: подача (250) механической мощности на вал (9) низкого давления, при этом этап подачи (250) механической мощности на вал (9) низкого давления выполняется посредством второй электрической машины (12) в режиме электродвигателя, а этап отбора (150) механической мощности от вала (9) низкого давления выполняется посредством

15 упомянутой второй электрической машины (12) в режиме электрического генератора.

7. Способ по любому из пп. 1-6, в котором газотурбинный двигатель (1) содержит компрессор (4) высокого давления, расположенный выше по потоку относительно камеры сгорания (5) и приводимый во вращение валом (8) высокого давления, при этом способ включает в себя следующий этап: мониторинг компрессора (4) высокого давления

25 посредством определения параметра помпажа компрессора (4) высокого давления, при этом этап подачи (100) механической мощности на вал (8) высокого давления выполняется, если параметр помпажа компрессора (4) высокого давления достигает порогового значения.

8. Газотурбинный двигатель (1) для летательного аппарата, содержащий:

30 - турбину (6) высокого давления, расположенную ниже по потоку относительно камеры (5) сгорания и соединенную с валом (8) высокого давления;

- турбину (7) низкого давления, расположенную ниже по потоку относительно турбины (6) высокого давления и соединенную с валом (9) низкого давления;

- устройство (11) подачи механической мощности на вал (8) высокого давления;

35 - устройство (11) отбора механической мощности от вала (8) высокого давления;

- систему (13) управления, которая соединена с устройством (11) подачи и устройством (11) отбора механической мощности, при этом система (13) управления выполнена с возможностью осуществления способа регулирования ускорения газотурбинного двигателя по одному из пп. 1-7.

40 9. Газотурбинный двигатель (1) по п. 8, в котором устройство (11) подачи механической мощности представляет собой первую электрическую машину (11), выполненную с возможностью работы в режиме электродвигателя, а устройство (11) отбора механической мощности является первой электрической машиной (11), выполненной с возможностью работы в режиме электрического генератора.

45 10. Газотурбинный двигатель (1) по любому из пп. 8 или 9, содержащий вторую электрическую машину (12), которая соединена с валом (9) низкого давления и которая выполнена с возможностью работы в режиме электродвигателя и подачи механической мощности на вал (9) низкого давления.

11. Газотурбинный двигатель (1) по п. 10, в котором вторая электрическая машина (12) выполнена с возможностью работы в режиме электрического генератора и отбора механической мощности от вала (9) низкого давления.

5

10

15

20

25

30

35

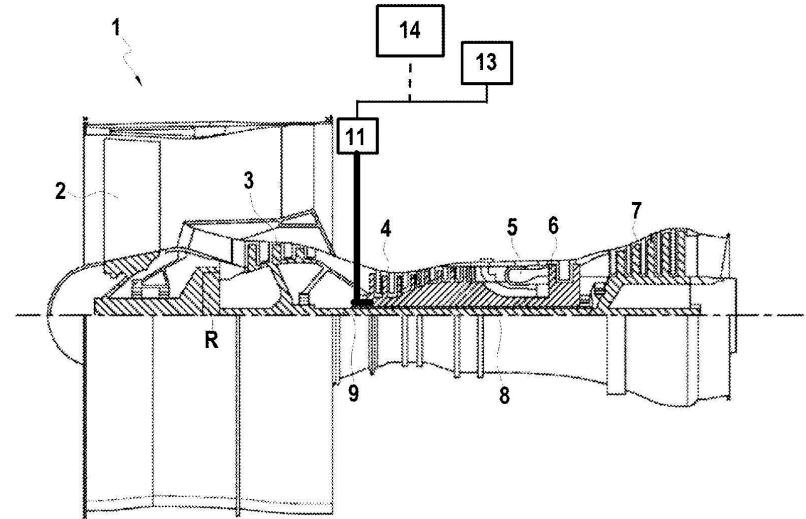
40

45

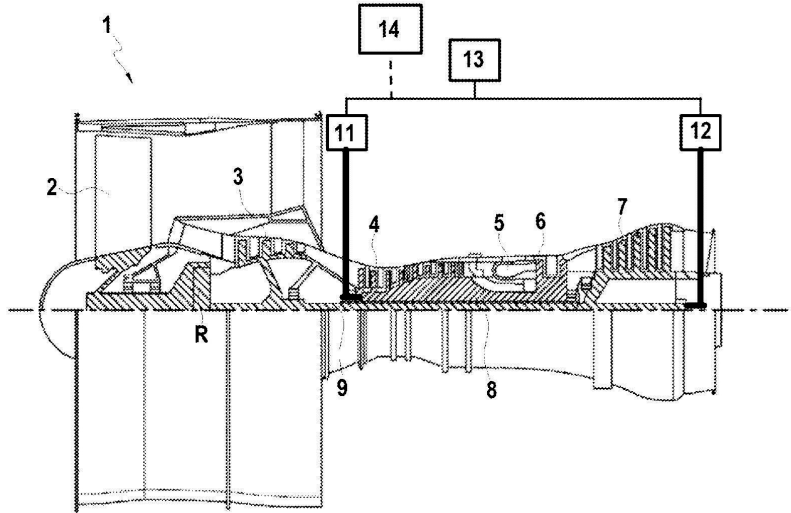
1

1/2

Фиг.1



Фиг.2



2

2/2

Фиг. 3

