



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК

F02K 3/06 (2019.08); F01D 15/10 (2019.08); F02C 3/113 (2019.08); F02C 7/268 (2019.08)

(21)(22) Заявка: 2017103126, 04.08.2015

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
04.08.2015

Дата регистрации:
09.12.2019

Приоритет(ы):

(30) Конвенционный приоритет:
08.08.2014 FR 1457703

(43) Дата публикации заявки: 10.09.2018 Бюл. № 25

(45) Опубликовано: 09.12.2019 Бюл. № 34

(85) Дата начала рассмотрения заявки РСТ на
национальной фазе: 09.03.2017

(86) Заявка РСТ:
FR 2015/052152 (04.08.2015)

(87) Публикация заявки РСТ:
WO 2016/020618 (11.02.2016)

Адрес для переписки:
129090, Москва, ул. Б. Спасская, 25, стр. 3, ООО
"Юридическая фирма Городисский и
Партнеры"

(72) Автор(ы):

РОБИК Бернар (FR),
ОБРЕХТ Тьерри Жан-Жак (FR),
РЕНО Батист Жан Мари (FR)

(73) Патентообладатель(и):

САФРАН ЭРКРАФТ ЭНДЖИНЗ (FR)

(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: EP 2584173 A1, 24.08.2013. EP
2604827 A2, 19.06.1997. US 2011/154827 A1,
30.06.2011. EP 1785614 A2, 16.05.2007. US 5694765
A, 09.12.1997. RU 2217601 C1, 27.11.2003.

(54) ГИБРИДИЗАЦИЯ КОМПРЕССОРОВ ТУРБОРЕАКТИВНОГО ДВИГАТЕЛЯ

(57) Реферат:

Двухкорпусный двухконтурный турбореактивный двигатель содержит вентилятор (S), расположенный на входе газогенератора и ограничивающий первичный поток и вторичный поток. Через упомянутый газогенератор проходит первичный поток, и он содержит компрессор низкого (1) давления, компрессор (2) высокого давления, камеру (3) сгорания, турбину (4) высокого давления и турбину (5) низкого давления. Турбина низкого давления соединена с компрессором низкого давления через вращающийся вал (10) низкого давления. Турбина

высокого давления соединена с компрессором высокого давления через вращающийся вал (20) высокого давления. Турбореактивный двигатель также содержит электрический двигатель подачи мощности, образующий устройство (8) подачи механической мощности, по меньшей мере, на один из вращающихся валов, устройство отбора мощности для отбора мощности, по меньшей мере, с одного из вращающихся валов, параметры которого рассчитаны таким образом, чтобы отбирать избыточную мощность относительно потребности приведения в действие

вспомогательных устройств турбореактивного двигателя и преобразовывать упомянутую избыточную мощность в электрическую энергию, и средство накопления электрической энергии, расположенное между устройством отбора мощности и электрическим двигателем. Отбор мощности производят на вращающемся валу

низкого давления и подачу мощности производят на вращающийся вал высокого давления. Изобретение направлено на оптимизацию запаса помпажа компрессоров и улучшение работы турбореактивного двигателя в режиме малого газа во время полета. 8 з.п. ф-лы, 7 ил.

RU 2708807 C2

RU 2708492 C2



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(51) Int. Cl.

F02K 3/06 (2006.01)*F01D 15/10* (2006.01)*F02C 3/113* (2006.01)*F02C 7/268* (2006.01)(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC

F02K 3/06 (2019.08); F01D 15/10 (2019.08); F02C 3/113 (2019.08); F02C 7/268 (2019.08)(21)(22) Application: **2017103126, 04.08.2015**(24) Effective date for property rights:
04.08.2015Registration date:
09.12.2019

Priority:

(30) Convention priority:
08.08.2014 FR 1457703(43) Application published: **10.09.2018 Bull. № 25**(45) Date of publication: **09.12.2019 Bull. № 34**(85) Commencement of national phase: **09.03.2017**(86) PCT application:
FR 2015/052152 (04.08.2015)(87) PCT publication:
WO 2016/020618 (11.02.2016)Mail address:
**129090, Moskva, ul. B. Spasskaya, 25, str. 3, OOO
"Yuridicheskaya firma Gorodisskij i Partnery"**

(72) Inventor(s):

**ROBIC, Bernard (FR),
OBRECHT, Thierry, Jean-Jacques (FR),
RENAULT, Baptiste, Jean, Marie (FR)**

(73) Proprietor(s):

SAFRAN AIRCRAFT ENGINES (FR)(54) **HYBRIDISATION OF TURBOJET ENGINE COMPRESSORS**

(57) Abstract:

FIELD: machine building.

SUBSTANCE: double-case double-flow turbojet engine comprises fan (S) located at gas generator inlet and limiting primary flow and secondary flow. Primary flow passes through said gas generator and comprises low pressure (1) compressor, high pressure compressor (2), combustion chamber (3), high pressure turbine (4) and low pressure turbine (5). Low-pressure turbine is connected to low pressure compressor via low-pressure rotary shaft (10). High-pressure turbine is connected to high pressure compressor via high-pressure rotating shaft (20). Turbojet engine also comprises electric power supply motor, which generates mechanical power supply device (8) to at least one of rotary shafts, power

take-off device for power take-off, at least, from one of the rotating shafts, the parameters of which are calculated so as to select excess power relative to the need for actuation of the auxiliary devices of the turbojet engine and to convert said excess power into electric energy, and electric energy accumulation facility located between power take-off device and electric motor. Power is extracted at low-pressure rotating shaft and power is supplied to high-pressure rotating shaft.

EFFECT: invention is aimed at optimization of surge margin of compressors and improvement of operation of turbojet engine in mode of low gas during flight.

9 cl, 7 dwg

ОБЛАСТЬ ТЕХНИКИ

Настоящее изобретение относится к области авиационных газотурбинных двигателей и, в частности, к области авиационных двигателей, выполненных в виде двухкорпусных двухконтурных турбореактивных двигателей с высокой степенью двухконтурности.

УРОВЕНЬ ТЕХНИКИ

Во время проектирования современных турбореактивных двигателей при определении параметров их компрессоров необходимо принимать в расчет достаточный запас в отношении так называемого явления помпажа. Это явление, которое возникает в результате попадания слишком большого воздушного потока на лопатки одного из компрессоров, приводит к значительным и быстрым флуктуациям давления на выходе соответствующего компрессора и может привести к выключению камеры сгорания. Кроме того, оно создает сильное биение на лопатках компрессора и может привести к механическим повреждениям. Поэтому следует всячески избегать его появления. Как правило, работу компрессора в ходе эксплуатации отображают в виде диаграммы, на которой показано соотношение давления, получаемое между входом и выходом, в зависимости от расхода проходящего через него воздушного потока; кроме того эта диаграмма построена в зависимости от скорости вращения компрессора. На этой диаграмме представлена линия помпажа, которая представляет собой максимальный предел степени сжатия, который не следует превышать, чтобы избежать риска появления помпажа. Здесь же определена так называемая линия работы, которая отображает получаемые степени сжатия в зависимости от расхода, когда двигатель работает в устоявшемся режиме. Положение этой линии работы определяет конструктор газотурбинного двигателя, и расстояние от этой линии до линии помпажа отображает запас помпажа.

Следует отметить, что КПД компрессора (отношение работы при сжатии воздуха к работе, необходимой для его приведения во вращение) в первом приближении (что будет детально рассмотрено ниже в настоящем описании) повышается по мере приближения к линии помпажа. С другой стороны, ускорения, задаваемые пилотом в устоявшемся режиме работы для увеличения тяги, выражаются на уровне компрессора смещением рабочей точки в направлении линии помпажа. Действительно, дополнительный впрыск топлива в камеру сгорания приводит к практически мгновенному увеличению степени сжатия, тогда как скорость вращения не успевает повыситься по причине инерции ротора, установленного на компрессоре. Изменение энтальпии текучей среды приводит к увеличению работы, производимой каждой турбиной, и, следовательно, к увеличению скорости вращения соответствующего вала. На уровне диаграммы компрессора это выражается возвращением рабочей точки на линии работы, когда режим опять стабилизируется, к точке, которая соответствует более высокому расходу, чем в предыдущей точке.

Следовательно, конструктор газотурбинного двигателя должен попытаться оптимизировать положение линии работы, располагая ее как можно выше, чтобы получать лучший КПД для компрессоров, одновременно сохраняя достаточное расстояние относительно линии помпажа для обеспечения надежных ускорений.

СУЩНОСТЬ ИЗОБРЕТЕНИЯ

Настоящее изобретение призвано преодолеть эти недостатки и предложить устройство для оптимизации запаса помпажа компрессоров, чтобы уменьшить ограничения, испытываемые конструкторами газотурбинных двигателей. Кроме того, его задачей является также улучшение работы турбореактивного двигателя во время фазы работы в режиме малого газа в полете.

В связи с этим объектом изобретения является двухкорпусный двухконтурный турбореактивный двигатель, содержащий вентилятор, расположенный на входе газогенератора и ограничивающий первичный поток и вторичный поток, при этом через упомянутый газогенератор проходит первичный поток, и он содержит компрессор
5 низкого давления, компрессор высокого давления, камеру сгорания, турбину высокого давления и турбину низкого давления, при этом упомянутая турбина низкого давления соединена с компрессором низкого давления через вращающийся вал низкого давления, и упомянутая турбина высокого давления соединена с компрессором высокого давления через вращающийся вал высокого давления, отличающийся тем, что упомянутый
10 турбореактивный двигатель содержит электрический двигатель, образующий устройство подачи механической мощности по меньшей мере на один из упомянутых вращающихся валов, устройство отбора мощности по меньшей мере на одном из упомянутых вращающихся валов, параметры которого рассчитаны таким образом, чтобы отбирать избыточную мощность относительно потребности приведения в действие
15 вспомогательных устройств турбореактивного двигателя и преобразовывать упомянутую избыточную мощность в электрическую энергию, и средство накопления электрической энергии, расположенное между упомянутым устройством отбора мощности и упомянутым электрическим двигателем.

Устройство подачи мощности содержит вал подачи мощности, который зацепляется
20 при помощи любого соответствующего средства с рассматриваемым вращающимся валом и который приводится во вращение приводным элементом, выполненным с возможностью подачи дополнительной мощности на этот вал.

Подача мощности, в частности, на вал ВД (высокого давления) позволяет улучшить запас помпажа как компрессора НД (низкого давления), так и компрессора ВД. Этот
25 запас, доступный во время применения устройства, позволяет турбореактивному двигателю работать в устоявшемся режиме с меньшими значениями запаса и, следовательно, использовать более высокие значения КПД компрессора.

Предпочтительно турбореактивный двигатель содержит устройство отбора мощности по меньшей мере на одном из вращающихся валов, параметры которого рассчитаны
30 для отбора избыточной мощности относительно потребности приведения в действие вспомогательных устройств турбореактивного двигателя.

Это устройство позволяет питать вышеупомянутое устройство подачи мощности.

Устройство подачи мощности и устройство отбора мощности могут быть
раздельными или могут быть образованы единым реверсивным устройством.

Предпочтительно электрический двигатель соединен с упомянутым устройством
35 отбора мощности и зацепляется с упомянутым или упомянутыми вращающимися валами для обеспечения упомянутой подачи мощности.

Предпочтительно электрическое средство накопления расположено параллельно между упомянутым устройством отбора мощности и упомянутым электрическим
40 двигателем. Это средство выполняет роль буфера в системе производства и распределения электрической энергии.

В частном варианте выполнения подачу мощности производят на вал высокого давления. Речь идет о более благоприятной конфигурации с точки зрения управляемости, то есть с точки зрения ускорений, допустимых для двигателя, так как она обеспечивает
45 улучшение запаса помпажа одновременно для компрессора НД и для компрессора ВД.

Предпочтительно вышеупомянутый турбореактивный двигатель дополнительно содержит устройство отбора мощности на валу низкого давления, рассчитанное таким образом, чтобы отбирать избыточную мощность относительно потребности приведения

в действие вспомогательных устройств турбореактивного двигателя.

В частном варианте использования подачу мощности осуществляют на скорости вращения вала высокого давления, превышающей или равной 80% скорости вращения в режиме полного газа. При этом двигатель может работать на больших оборотах и, в частности, в режиме полета на крейсерской скорости с меньшими значениями запаса и использовать оптимизацию расположения, с точки зрения КПД, линии работы в поле компрессора. Подача мощности может преследовать цель получения стабилизированных точек в условиях, когда компрессор имеет небольшой запас, для проектирования компрессора с еще меньшим запасом в отсутствие подачи мощности и использования лучшего КПД на рабочих точках без непрерывной подачи мощности.

В другом варианте использования подачу мощности осуществляют во время полета в режиме малого газа. Это позволяет уменьшить количество впрыскиваемого топлива и одновременно поддерживать скорости вращения, совместимые с нормальным использованием двигателя, и сохранять условия безопасности для быстрого повторного ускорения двигателя и его повторного запуска в случае отключения.

Предпочтительно турбореактивный двигатель дополнительно содержит устройство отключения между валом низкого давления и приводным валом вентилятора и содержит устройство отбора мощности на приводном валу вентилятора, соединенное с упомянутым устройством подачи мощности на вал высокого давления.

В частном варианте использования подачу мощности осуществляют в отключенном режиме устройства отключения. Мощность отбирают на вентиляторе при помощи устройства реверсирования шага лопастей, чтобы перевести вентилятор в режим турбины и опять направить эту мощность на вал ВД, чтобы он мог сохранить нормальный режим работы.

В другом частном варианте использования подачу мощности производят на вал низкого давления.

ОПИСАНИЕ ФИГУР

Изобретение, его другие задачи, детали, отличительные признаки и преимущества будут более очевидны из нижеследующего подробного описания нескольких вариантов выполнения изобретения, представленных в качестве иллюстративных и не ограничительных примеров, со ссылками на прилагаемые схематичные чертежи.

На этих чертежах:

Фиг. 1 - общий вид двухкорпусного и двухконтурного турбореактивного двигателя.

Фиг. 2 - общий вид турбореактивного двигателя, оборудованного устройствами улучшения управления запасом помпажа в соответствии с изобретением.

Фиг. 3 - общий вид турбореактивного двигателя, оборудованного устройствами улучшения, применяемыми на компрессоре низкого давления.

Фиг. 4 - общий вид турбореактивного двигателя, оборудованного устройствами улучшения, применяемыми на компрессоре высокого давления.

Фиг. 5 - общий вид турбореактивного двигателя, оборудованного устройствами улучшения управления режимом малого газа в полете и в режиме авторотации.

Фиг. 6 - диаграмма работы компрессора высокого давления турбореактивного двигателя.

Фиг. 7 - диаграммы работы компрессоров НД и ВД во время подачи мощности на вал ВД.

ПОДРОБНОЕ ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ

На фиг. 1 представлен общий вид двухкорпусного двухконтурного турбореактивного двигателя с вентилятором. Классически он содержит от входа к выходу в направлении

потока газов вентилятор S, компрессор 1 низкого давления, компрессор 2 высокого давления, камеру 3 сгорания, в которую поступает топливо с расходом Q_c , турбину 4 высокого давления, турбину 5 низкого давления и первичное выпускное сопло 6.

Компрессор 1 низкого давления (или НД) и турбина 5 низкого давления соединены валом 10 низкого давления и образуют вместе корпус низкого давления. Компрессор 2 высокого давления (или ВД) и турбина 4 высокого давления соединены валом 20 высокого давления и образуют вместе с камерой сгорания корпус высокого давления.

Вентилятор S, который приводится во вращение либо напрямую, либо через редуктор валом НД 10, сжимает воздух, поступающий из воздухозаборника. Этот воздух делится на выходе вентилятора на вторичный воздушный поток, который направляется напрямую во вторичное сопло (не показано), через которое он выходит, участвуя в тяге, производимой двигателем, и так называемый первичный поток, который поступает в газогенератор, образованный корпусами низкого и высокого давления, затем выходит в первичное сопло 6. Изобретение охватывает также случай, когда оба потока, первичный и вторичный, перед выходом смешиваются.

На фиг. 2 показан заявленный двухкорпусный двухконтурный турбореактивный двигатель, в котором механическую мощность отбирают на одном или на обоих валах турбореактивного двигателя через устройства отбора движения (не показаны). Как правило, эти устройства отбора движения установлены, с одной стороны, на валу, на котором они отбирают мощность и, с другой стороны, связаны с редуктором 17 для приведения их скорости вращения к значениям, совместимым с работой агрегатов, которые они вращают.

Схема на фиг. 2 показывает все возможные случаи отбора мощности на валах двухкорпусного двухконтурного турбореактивного двигателя, не привязываясь к конкретному варианту использования, при этом практические случаи будут подробно рассмотрены ниже со ссылками на следующие фигуры.

Что касается корпуса НД, мощность со значением w_3 отбирают через устройство отбора движения либо на уровне турбины, как показано на фиг. 2, либо в любом другом месте на валу НД 10 при помощи вала отбора мощности НД (не показан). Этот вал отбора мощности НД связан с редуктором 17, который, в свою очередь, соединен с электрическим генератором 7, преобразующим получаемую энергию w_3 в электрическую энергию. Последнюю можно накапливать в электрическом средстве 9 накопления, как показано на фиг. 2, или, как будет показано в случаях использования на следующих фигурах, можно направлять напрямую через электрический двигатель 8 подачи мощности на один из валов турбореактивного двигателя.

Классически, электрическое средство 9 накопления может быть литий-ионной батареей, суперконденсатором или топливным элементом. Энергия, производимая электрическим генератором 7 и поступающая в это электрическое средство 9 накопления, обозначена в виде количества w_4 .

Точно так же, можно отбирать мощность w_5 на валу ВД либо на уровне турбины, как показано на фигуре, или в любом другом месте вала ВД 20. В данном случае ее тоже отбирают при помощи вала отбора мощности ВД (не показан) через устройство отбора движения, установленного на этом валу. Вал отбора мощности ВД связан с редуктором 17, показанным в данном случае в целях упрощения как редуктор вала отбора мощности НД. Как и в предыдущем случае, редуктор 17 соединен с электрическим генератором 7, преобразующим получаемую механическую энергию w_5 в электрическую энергию w_4 .

Кроме того, классически осуществляют отбор механической мощности w_7 для

приведения во вращение агрегатов двигателя и обеспечения механической мощности для летательного аппарата при помощи коробки приводов агрегатов 19.

Согласно изобретению, мощность, отбираемая на одном или на обоих валах, независимо от того, накапливается она или нет, предназначена для подачи на один или
5 на оба вала при помощи следующих устройств:

Электрический двигатель 8 получает питание электрическим током либо напрямую от электрического генератора 7, либо от устройства 9 накопления и обеспечивает подачу механической мощности на вал подачи мощности (не показан), который зацепляется с одним или обоими валами турбореактивного двигателя через редуктор 18.

10 Механическая мощность, подаваемая на вал НД 10, обозначена в виде количества w_1 , и механическая мощность, подаваемая на вал ВД 20, обозначена в виде количества w_2 .

Далее со ссылками на фиг. 3 представлен вариант выполнения изобретения, в котором мощность подают напрямую механическим путем на вал НД 10.

В данном случае электрический генератор 7 приводится во вращение валом ВД 20,
15 на котором он отбирает мощность w_5 . Во время работы эту мощность подают на электрический двигатель 8, который механически связан с валом НД 10. Мощность w_5 распределяется между значением w_1 , выбранным конструктором турбореактивного двигателя для улучшения характеристик двигателя в рассматриваемой рабочей точке, и значением w_4 , которое направляют в средство 9 накопления. Последнее действует
20 как буфер в контуре обеспечения энергией рассматриваемого вала.

Аналогично, на фиг. 4 представлен вариант выполнения, в котором мощность подают механическим путем на вал ВД 20.

В данном случае электрический генератор 7 приводится во вращение валом НД 10, на котором он отбирает мощность w_3 . Во время работы эту мощность подают на
25 электрический двигатель 8, который механически связан с валом ВД 20. Мощность w_3 распределяется между значением w_2 , выбранным конструктором турбореактивного двигателя для запаса помпажа в рассматриваемой рабочей точке, и избыточным значением w_4 , которое направляют в средство 9 накопления в случае, когда получаемая мощность превышает потребность в мощности вала ВД. В противном случае, то есть
30 если мощность w_3 , которую можно отбирать на валу НД, является недостаточной, так как не достигает требуемого значения w_2 , происходит отбор количества энергии w_6 из средства 9 накопления и передача этой энергии в электрический двигатель 8.

На фиг. 5 показан частный случай подачи мощности на вал ВД, в котором на валу НД 10 между компрессором НД 1 и вентилятором S установлен электрический генератор
35 7. Между компрессором НД 1 и вентилятором S установлено устройство 11 включения и отключения для обеспечения работы в режиме авторотации вентилятора, и электрический генератор приводится во вращение от устройства отбора движения, которое находится со стороны вала вентилятора. Эту конфигурацию применяют, например, в случае работы на малом газу в полете или при выключении
40 турбореактивного двигателя, при этом вентилятор обеспечивает производство электрической энергии за счет своей авторотации.

В этой конфигурации электрический генератор 7 приводится во вращение валом вентилятора, который отсоединен от вала НД 10. Мощность w_3 , которую он отбирает на валу вентилятора, поступает на электрический двигатель 8, который механически
45 связан с валом ВД 20. Как и в предыдущем случае, мощность w_3 распределяется между значением w_2 , которое подается на вал ВД 20 для обеспечения его вращения и, в случае необходимости, повторного включения камеры сгорания, и избыточным значением w_4 , которое поступает в средство 9 накопления. В случае необходимости, если мощность

w3 оказывается недостаточной, происходит отбор количества энергии w6 из средства 9 накопления и передача этой энергии на электрический двигатель 8 для подачи дополнительной мощности на вал ВД.

На фиг. 6 показана диаграмма компрессора ВД двухкорпусного двухконтурного турбореактивного двигателя, оборудованного в соответствии с изобретением устройством подачи мощности на вал ВД.

На этой диаграмме классически показано изменение степени сжатия, обеспечиваемой компрессором, в зависимости от расхода проходящего через него потока, и его параметры рассчитаны в зависимости от скорости вращения, которая выражена в процентах от скорости вращения на взлете. В зависимости от рабочих параметров двигателя точка, характеризующая работу компрессора, перемещается на этой диаграмме, оставаясь ниже линии помпажа А, которая является характеристикой компрессора.

На этой диаграмме классически отмечается, что кривые изо-КПД компрессора имеют овальную форму, большая ось которой по существу расположена параллельно линии помпажа. Линия В, которая соединяет точки наилучших КПД, представляет собой оптимум для расположения линии работы. С другой стороны, такое расположение обеспечивает запас помпажа, который, как правило, является недостаточным, и в известных решениях обычно эту линию смещают вниз, чтобы обеспечивать работу при приемлемых значениях запаса, в ущерб КПД компрессора и, следовательно, удельного расхода турбореактивного двигателя.

Изобретением предложено оптимально располагать эту линию работы на уровне КПД компрессора, то есть при меньших значениях помпажа, но при этом применять по команде устройство подачи мощности, которое генерирует в течение необходимого времени повышенный запас помпажа, что будет пояснено со ссылками на фиг.7. В течение всего времени применения этого устройства линия работы смещена вниз в положение линии работы с повышенным запасом С.

На фиг. 7 в полях компрессоров НД и ВД показано влияние подачи мощности на вал ВД в режиме высоких оборотов (то есть практически при скорости вращения, превышающей или равной 80% скорости вращения в режиме полного газа) и влияние, которое она оказывает на положение линии работы двигателя в каждом из этих полей.

В режимах высоких оборотов поток газов в газогенераторе характеризуется двумя звуковыми критическими сечениями, одно из которых находится на уровне направляющего аппарата турбины ВД, а другое на уровне сечения первичного сопла. С точки зрения аэродинамики это выражается в блокировке потока в этих двух местах и, следовательно, в сохранении нагрузки узла двух турбин, независимо от изменений, произведенных на цикле на входе этих точек, если только сохраняются та же степень сжатия (соотношение между давлением на выходе компрессора ВД и на входе компрессора НД) и та же температура на выходе камеры сгорания.

Подача мощности на вал ВД, которая имеет такое же практическое влияние, что и величина сечения S6 направляющего аппарата НД, уже сама по себе приводит к уменьшению нагрузки турбины НД.

Уменьшение нагрузки турбины НД выражается в ее поле компрессора уменьшением, при постоянном режиме, степени сжатия НД и, следовательно, удалением линии работы Ввр от линии помпажа Авр (см. фигуру слева). Это удаление происходит при постоянной скорости вращения и, следовательно, по существу перпендикулярно к линии помпажа. Следовательно, подача мощности на вал ВД способствует улучшению запаса помпажа компрессора НД.

Что касается компрессора ВД, его нагрузка повышается, но, поскольку сечение направляющего аппарата ВД заблокировано на выходе, линия работы перемещается вправо при по существу постоянной степени сжатия. Учитывая восходящий характер линии работы, это перемещение вправо выражается удалением рабочей точки $V_{Нр}$ от

5 линии помпажа $A_{Нр}$ и, следовательно, увеличением соответствующего запаса компрессора ВД (см. фигуру справа).

Наконец, что касается работы вентилятора, который не подвергается явлению блокировки потока, его линия работы существенно не движется, и сохраняется такой же режим, что и в отсутствие подачи мощности.

10 Были оценены выигрыши, обеспечиваемые изобретением в режимах высоких оборотов, которые при подаче мощности 500 л.с. на вал ВД в режиме высоких оборотов выглядят следующим образом:

выигрыш в 1,7% запаса помпажа компрессора НД в режиме взлета,

15 выигрыш в 1,4% запаса помпажа компрессора ВД, и

выигрыш в 0,07% запаса помпажа вентилятора.

В конечном итоге отмечается, что подача мощности на вал ВД приводит к улучшению запасов как на компрессоре ВД, так и на компрессоре НД. Следовательно, предусмотрев устройство подачи мощности, конструктор турбореактивного двигателя может

20 расположить линию работы его двух компрессоров ближе к линии помпажа, чем в известных решениях, и получить таким образом оптимум их КПД. Связанное с этим уменьшение запаса помпажа компенсируется подачей мощности по запросу на вал ВД, как, например, во время запроса на увеличение мощности со стороны пилота.

Подачу мощности на вал ВД можно также предусмотреть на других режимах работы турбореактивного двигателя и, в частности, во время работы в режиме авторотации

25 вентилятора в ходе снижения или в режиме малого газа во время полета.

При отключении корпуса НД через устройство 11 включения/отключения, как описано со ссылками на фиг. 5, режим авторотации вентилятора позволяет рекуперировать энергию, связанную со скоростью самолета, и использовать эту энергию

30 для зарядки электрического средства 9 накопления с целью последующего использования для улучшения запаса помпажа или для обеспечения содействия режиму малого газа в полете. Кроме того, эта конфигурация позволяет подзаряжать любое электрическое средство накопления, которое может находиться на самолете.

Что касается содействия режиму малого газа во время полета, следует отметить, что эта фаза полета самолета на крейсерской скорости сопровождается расходом топлива,

35 поскольку, несмотря на поиски достижения минимальной возможной тяги, необходимо обеспечивать минимальную скорость вращения для корпусов ВД и НД. В противном случае камера сгорания может выключиться. Все это требует сохранения относительно высокого полетного режима малого газа и, следовательно, в известных решениях, расходования топлива для этой цели. Желательно уменьшить этот расход, если только

40 связанное с этим уменьшение остаточной тяги не приводит к необходимости чрезмерного продолжения полета на крейсерской скорости. С учетом оценки общего выигрыша в расходе во время полета подача дополнительной мощности на вал ВД может представлять собой интересное решение для снижения потребности в топливе в режиме

45 малого газа в полете и для снижения расхода топлива летательного аппарата.

При снижении в режиме малого газа в полете двигатель или двигатели летательного аппарата должны продолжать обеспечивать определенное число функций, а именно:

сохранять минимальную степень обогащения в камере сгорания, чтобы избежать так называемого выключения «при обеднении» по причине недостаточного количества

топлива по отношению к проходящему через нее воздушному потоку,

сохранять минимальный режим для обеспечения возможности повторного ускорения двигателя, если пилот подает соответствующую команду, и

обеспечивать наддув для летательного аппарата и, следовательно, сохранять скорости вращения валов ВД и НД, которые обеспечивают минимальный уровень статического давления на выходе компрессора ВД (или, по крайней мере, на уровне компрессорной ступени, где находится точка отбора воздуха).

Подача мощности на вал ВД при помощи электрического двигателя 8, такого как двигатель, предназначенный для улучшения запаса помпажа на режимах высоких оборотов, выдающего часть мощности, необходимую для обеспечения вышеупомянутых трех функций, позволяет уменьшить мощность, производимую при сгорании топлива, и, следовательно, количество топлива, впрыскиваемое в полетном режиме малого газа. В конечном итоге оба вала НД и ВД вращаются со скоростями вращения, аналогичными скоростям из известных решений, но с меньшим расходом топлива.

Поскольку энергетический выход при сгорании в режиме малого газа является относительно низким по сравнению с режимами на более высоких оборотах (то есть, когда, как правило, происходит подзарядка электрического средства 9 накопления), добавление мощности электрическим двигателем 8 в сочетании со снижением производства мощности газогенератором благоприятно сказывается на общем энергетическом балансе. Таким образом, изобретение позволяет улучшить расход летательного аппарата во время полета, не прибегая к установке дополнительных устройств, поскольку они уже были установлены для улучшения запаса помпажа компрессоров.

Таким образом, изобретение охватывает также устройство, позволяющее добавлять определенную мощность на один из валов турбореактивного двигателя, причем эту мощность можно отбирать непосредственно на одном из валов или на обоих валах или можно получить из средства накопления электрической энергии, которое получает эту энергию от генератора, вращаемого по меньшей мере одним из указанных валов.

Влияние отбора мощности и подачи мощности на различные валы можно вкратце выразить следующим образом:

Случай добавления мощности на валу ВД:

оно улучшает запас помпажа компрессоров ВД и НД и позволяет, таким образом, расположить линию работы двигателя в полях компрессоров ближе к линии помпажа, чем в известных решениях, и получать лучшие КПД,

оно позволяет уменьшить тягу в режиме малого газа в полете и снизить таким образом общий расход топлива за полет.

Случай добавления мощности на вал НД:

оно приводит к ухудшению помпажа компрессора НД, но позволяет снизить расход топлива на постоянной тяге, так как она частично производится системой подачи мощности на вал.

Случай отбора мощности на валу ВД (в дополнение к обычному отбору мощности w7 для вспомогательных систем):

он обеспечивает накопление энергии для последующего использования, причем это накопление происходит во время точек работы на достаточном расстоянии от линии помпажа,

с другой стороны, он ухудшает запас помпажа компрессора ВД во время его использования.

Случай отбора мощности на валу НД:

он обеспечивает накопление энергии для последующего использования, не влияя при этом на запас помпажа компрессоров как ВД, так и НД,

он увеличивает запас помпажа компрессора НД, но в ущерб тяге или удельному расходу двигателя,

5 он обеспечивает рекуперацию энергии на валу НД во время снижения, благодаря эффекту авторотации вентилятора.

Случай отбора мощности на одном валу и одновременное добавление этой мощности на другом валу:

он обеспечивает электрическое соединение двух валов во время снижения (отбор на 10 валу НД и добавление на валу ВД, чтобы избежать выключения камеры),

он обеспечивает связь между двумя валами для лучшего контроля ускорения двух корпусов и лучшего управления их скоростями вращения.

В конечном итоге понятно, что наиболее благоприятные конфигурации, хотя возможны и другие в рамках изобретения, состоят в отборе мощности на валу НД и в 15 подаче мощности на вал ВД. Эта конфигурация позволяет, с одной стороны, улучшить запас помпажа двух компрессоров в режимах высоких оборотов, что позволяет расположить линию работы ближе к значениям более высоких КПД и, с другой стороны, уменьшить количество топлива, необходимое в режиме малого газа во время полета, что улучшает общий расход во время полета.

20 Изменение электрической мощности бортовой сети летательного аппарата, связанное с потребностью в электрической энергии для вспомогательных систем летательного аппарата, выражается в запросе тока, который можно обнаружить и значение сигнала которого относительно определенных порогов может служить для регулирования 25 равновесия между газогенератором и электрическим двигателем путем изменения алгоритмов управления системы FADEC. Эта система может включать в себя часть управления силовой электроникой, которая обеспечивает контроль режимов электрического двигателя, и термическую часть управления, которая обеспечивает алгоритмы управления термической частью двигателя (газогенератором). Эта система может иметь гибридные алгоритмы управления с комбинированием режимов устройств, 30 которые переводятся вышеупомянутыми частями управления системы в соответствующие заданные значения. Система может также представлять собой единый блок, включающий в себя все алгоритмы, причем в зависимости от хронологии работы газогенератора, который подвергают гибридизации, или газотурбинного двигателя, спроектированного гибридным с самого начала.

35

(57) Формула изобретения

1. Двухкорпусный двухконтурный турбореактивный двигатель, содержащий вентилятор (S), расположенный на входе газогенератора и ограничивающий первичный поток и вторичный поток, при этом через упомянутый газогенератор проходит 40 первичный поток, и он содержит компрессор низкого (1) давления, компрессор (2) высокого давления, камеру (3) сгорания, турбину (4) высокого давления и турбину (5) низкого давления, при этом упомянутая турбина низкого давления соединена с упомянутым компрессором низкого давления через вращающийся вал (10) низкого давления, и упомянутая турбина высокого давления соединена с упомянутым 45 компрессором высокого давления через вращающийся вал (20) высокого давления, причем упомянутый турбореактивный двигатель содержит электрический двигатель подачи мощности, образующий устройство (8) подачи механической мощности по меньшей мере на один из упомянутых вращающихся валов - вал низкого давления и

вал высокого давления, устройство отбора мощности для отбора мощности по меньшей мере с одного из упомянутых вращающихся валов - вала низкого давления и вала высокого давления, параметры которого рассчитаны таким образом, чтобы отбирать избыточную мощность относительно потребности приведения в действие

5 вспомогательных устройств турбореактивного двигателя и преобразовывать упомянутую избыточную мощность в электрическую энергию, и средство накопления электрической энергии, расположенное между упомянутым устройством отбора мощности и упомянутым электрическим двигателем, при этом отбор мощности производят на вращающемся валу низкого давления и подачу мощности производят
10 на вращающийся вал высокого давления.

2. Турбореактивный двигатель по п. 1, в котором устройство подачи мощности и устройство отбора мощности образуют единое реверсивное устройство.

3. Турбореактивный двигатель по п. 1, в котором электрический двигатель соединен с упомянутым устройством отбора мощности и зацепляется с по меньшей мере одним
15 из упомянутых вращающихся валов - валом низкого давления и валом высокого давления для обеспечения упомянутой подачи мощности.

4. Турбореактивный двигатель по п. 3, в котором электрическое средство накопления расположено параллельно между упомянутым устройством отбора мощности и упомянутым электрическим двигателем.

20 5. Турбореактивный двигатель по п. 1, дополнительно содержащий устройство отбора мощности на вращающемся валу низкого давления, параметры которого рассчитаны для отбора избыточной мощности относительно потребности приведения в действие вспомогательных устройств турбореактивного двигателя.

6. Турбореактивный двигатель по п. 5, в котором подачу мощности осуществляют
25 на скорости вращения вала высокого давления, превышающей или равной 80% его скорости вращения в режиме полного газа.

7. Турбореактивный двигатель по п. 5, в котором подачу мощности осуществляют во время полета в режиме малого газа.

8. Турбореактивный двигатель по п. 5, дополнительно содержащий устройство
30 отключения между вращающимся валом низкого давления и приводным валом вентилятора (S) и содержащий устройство отбора мощности на приводном валу вентилятора, соединенное с упомянутым устройством подачи мощности на вращающийся вал высокого давления.

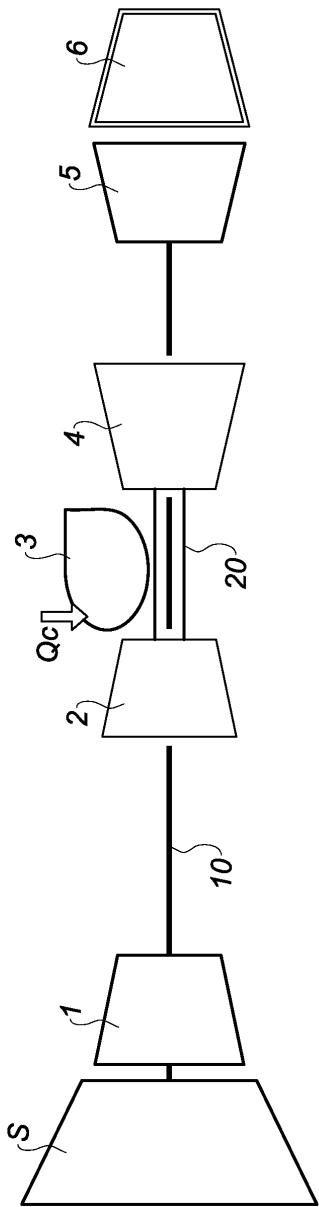
9. Турбореактивный двигатель по п. 8, в котором подачу мощности осуществляют
35 в отключенном режиме устройства (11) отключения.

10. Турбореактивный двигатель по п. 1, в котором подачу мощности (w_2) производят на вращающийся вал низкого давления.

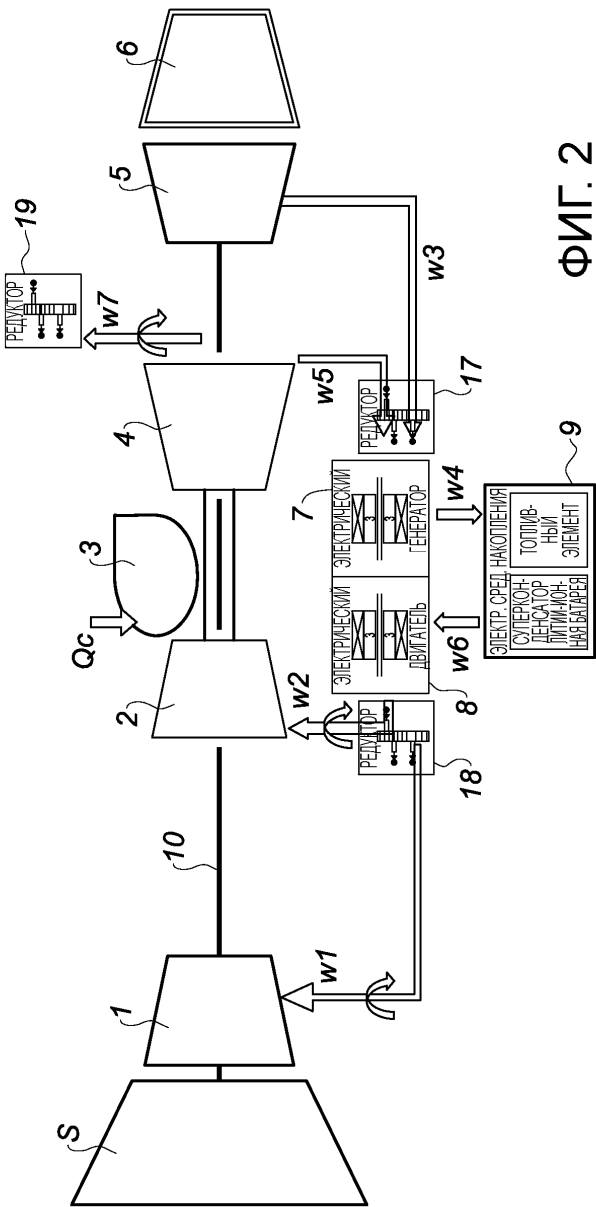
40

45

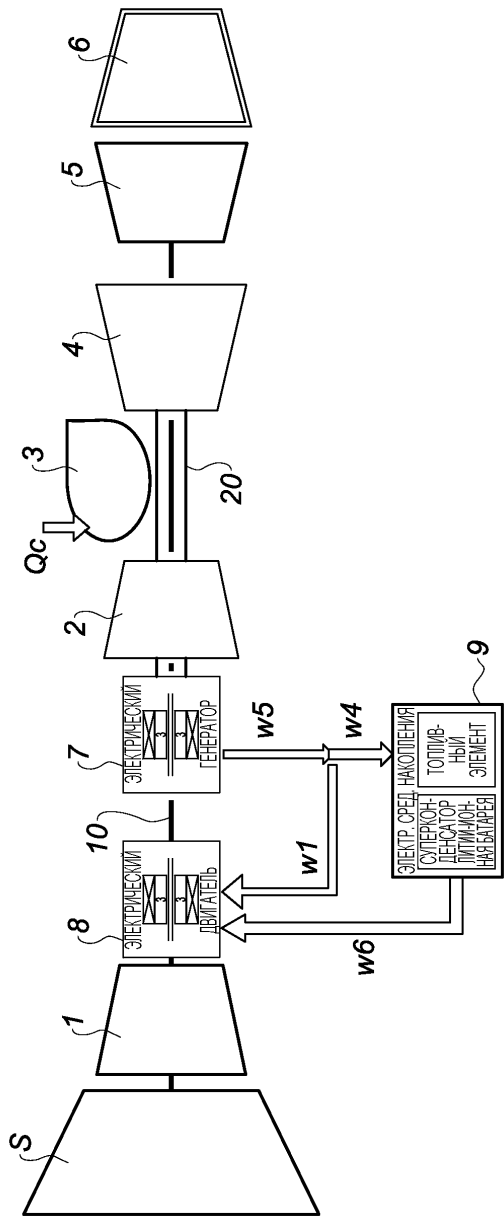
1/6



ФИГ. 1

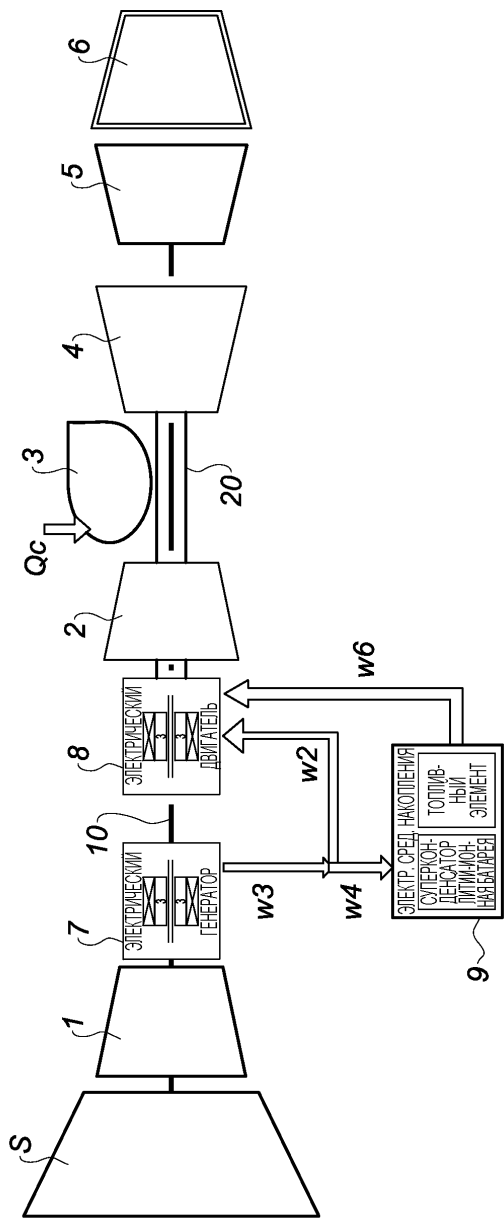


3/6



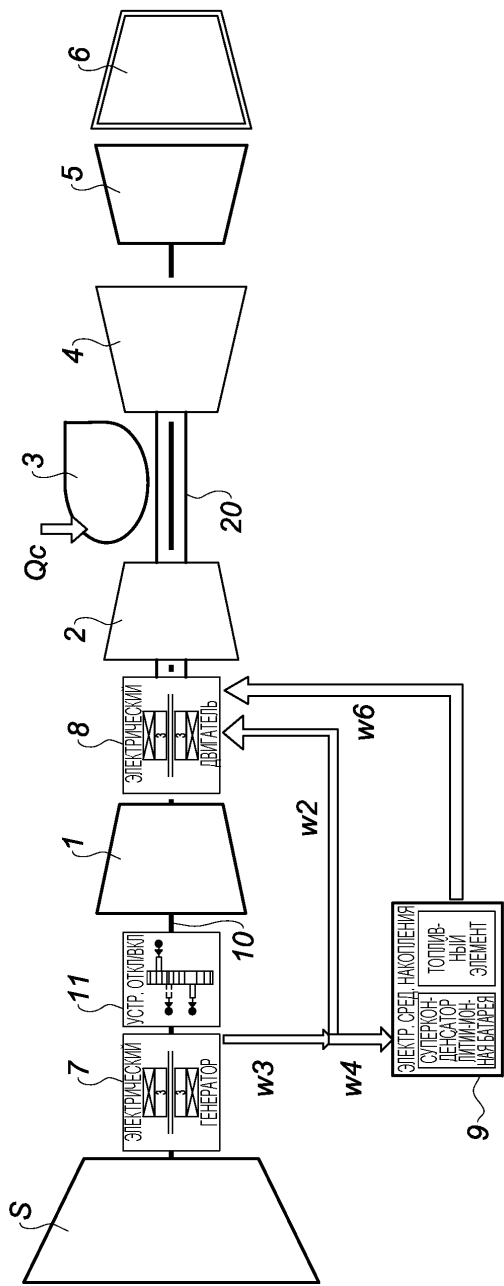
ФИГ. 3

4/6



ФИГ. 4

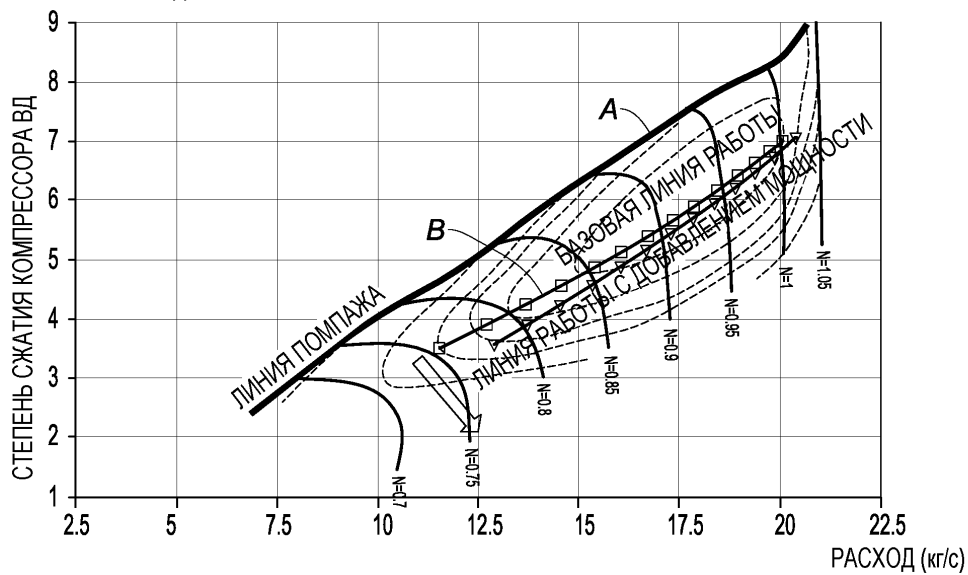
5/6



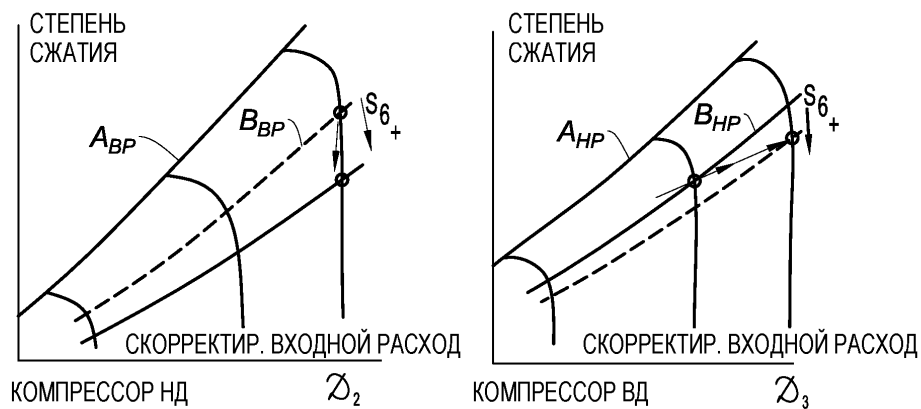
ФИГ. 5

6/6

КОМПРЕССОР ВД



ФИГ. 6



ФИГ. 7