РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(19) **RU** (11) **2 555 944**(13) **C2**

(51) МПК
F02K 3/00 (2006.01)
G01M 15/00 (2006.01)

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: **2013149930/06, 08.11.2013**

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
08.11.2013

Приоритет(ы):
(22) Дата подачи заявки: **08.11.2013**

(43) Дата публикации заявки: **20.05.2015** Бюл. № 14

(45) Опубликовано: **10.07.2015** Бюл. № 19

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: **RU 2199727 C2, 27.02.2003. RU 2371598 C2, 27.10.2009. RU 2222708 C2, 27.01.2004. EP 1756406 B1, 14.05.2008. RU 2447308 C2, 10.04.2012. RU 2456458 C2, 20.07.2012. US 3946554 A1, 30.03.1976. RU 2074968 C1, 10.03.1997. US 20130259672 A1, 03.10.2013**

Адрес для переписки:
129337, Москва, а/я 61, Селиванову С.Н.

(72) Автор(ы):
Артюхов Александр Викторович (RU),
Кондрашов Игорь Александрович (RU),
Куприк Виктор Викторович (RU),
Манапов Ирик Усманович (RU),
Марчуков Евгений Ювенальевич (RU),
Мовмыга Дмитрий Алексеевич (RU),
Симонов Сергей Анатольевич (RU),
Селиванов Вадим Николаевич (RU),
Селезнев Александр Сергеевич (RU),
Шабаев Юрий Геннадиевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):
Открытое акционерное общество "Уфимское моторостроительное производственное объединение" (ОАО "УМПО") (RU)

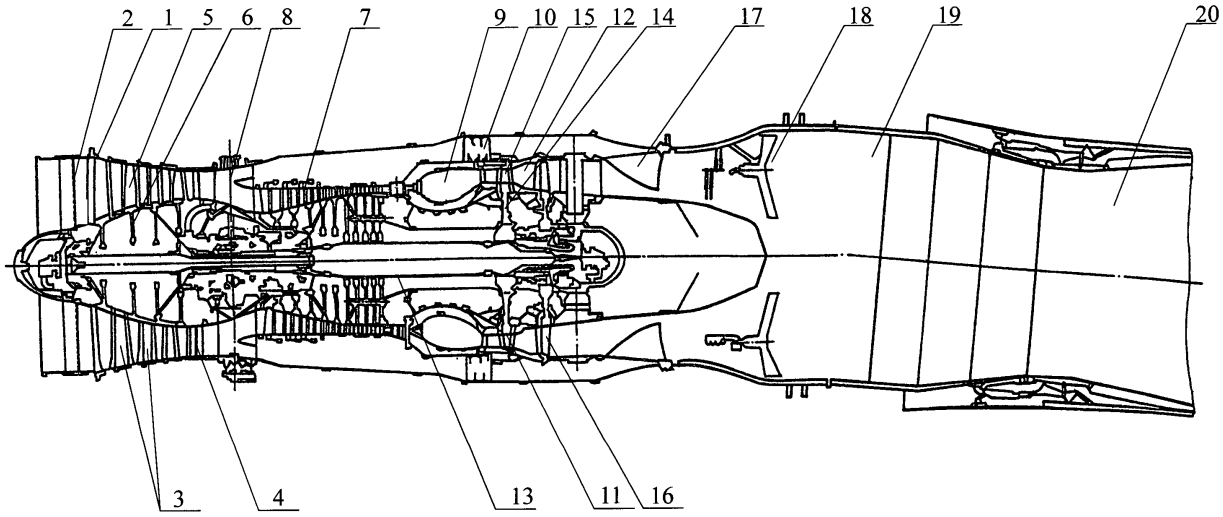
(54) СПОСОБ КАПИТАЛЬНОГО РЕМОНТА ТУРБОРЕАКТИВНОГО ДВИГАТЕЛЯ И ТУРБОРЕАКТИВНЫЙ ДВИГАТЕЛЬ, ОТРЕМОНТИРОВАННЫЙ ЭТИМ СПОСОБОМ (ВАРИАНТЫ), СПОСОБ КАПИТАЛЬНОГО РЕМОНТА ПАРТИИ, ПОПОЛНЯЕМОЙ ГРУППЫ ТУРБОРЕАКТИВНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ И ТУРБОРЕАКТИВНЫЙ ДВИГАТЕЛЬ, ОТРЕМОНТИРОВАННЫЙ ЭТИМ СПОСОБОМ (ВАРИАНТЫ)

(57) Реферат:

Изобретение относится к энергетике. Способ капитального ремонта авиационных турбореактивных двигателей, при котором создают ротационно обновляемый запас восстановленных деталей - модулей, узлов, сборочных единиц, оставшихся после замены от предыдущих ранее отремонтированных двигателей, и используют их в порядке замены на очередном ремонтируемом двигателе. В процессе испытаний применяют выдвижной интерцептор, исключающий промежуточные остановы и запуски капитально отремонтированного двигателя. Также представлены турбореактивный двигатель, отремонтированный согласно способу, а также способ капитального ремонта партии. Изобретение позволяет уменьшить трудозатраты, энергоемкость и длительность капитального ремонта, повысить эксплуатационные качества, а также надежность определения газодинамической устойчивости работы двигателя без введения двигателя в помпаж. 6 н. и 15 з.п. ф-лы, 3 ил.

RU 2555944 C2

RU 2555944 C2



Фиг. 1

RU 2555944 C2

RU 2555944 C2

RUSSIAN FEDERATION

FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(19) **RU** (11) **2 555 944**(13) **C2**

(51) Int. Cl.
F02K 3/00 (2006.01)
G01M 15/00 (2006.01)

(12) ABSTRACT OF INVENTION

(21)(22) Application: **2013149930/06, 08.11.2013**

(24) Effective date for property rights:
08.11.2013

Priority:
(22) Date of filing: **08.11.2013**

(43) Application published: **20.05.2015** Bull. № **14**

(45) Date of publication: **10.07.2015** Bull. № **19**

Mail address:
129337, Moskva, a/ja 61, Selivanovu S.N.

(72) Inventor(s):
Artjukhov Aleksandr Viktorovich (RU),
Kondrashov Igor' Aleksandrovich (RU),
Kuprik Viktor Viktorovich (RU),
Manapov Irik Usmanovich (RU),
Marchukov Evgenij Juvenal'evich (RU),
Movmyga Dmitrij Alekseevich (RU),
Simonov Sergej Anatol'evich (RU),
Selivanov Vadim Nikolaevich (RU),
Seleznev Aleksandr Sergeevich (RU),
Shabaev Jurij Gennadievich (RU)

(73) Proprietor(s):
Otkrytoe aktsionernoe obshchestvo "Ufimskoe motorostroitel'noe proizvodstvennoe ob"edinenie" (OAO "UMPO") (RU)

(54) OVERHAUL METHOD OF JET TURBINE ENGINE, AND JET TURBINE ENGINE REPAIRED BY MEANS OF THIS METHOD (VERSIONS); OVERHAUL METHOD OF BATCH THAT COMPLETES GROUPS OF JET TURBINE ENGINES, AND JET TURBINE ENGINE REPAIRED BY MEANS OF THIS METHOD (VERSIONS)

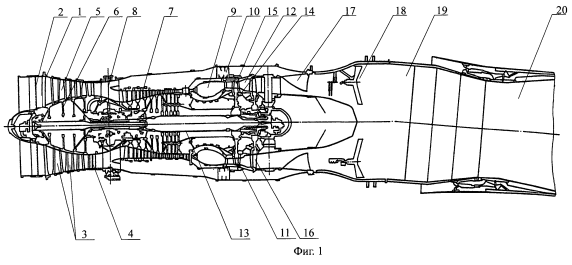
(57) Abstract:

FIELD: power industry.

SUBSTANCE: invention relates to power industry. An overhaul method of aircraft jet turbine engines, at which rotationally renewable stock of reworked parts - modules, assemblies, assembly units which remained after replacement from the previous early repaired engines is created and used for replacement on the next engine being repaired. During tests, a retractable interceptor is used, which excludes intermediate stops and starts of the thoroughly repaired engine. Besides, a jet turbine engine repaired according to the method, as well as an overhaul method of a batch is presented.

EFFECT: invention allows reducing labour costs, power consumption and duration of an overhaul, improving operating characteristics, as well as reliable determination of gas-dynamic stability of engine operation without any transition of the engine to surging.

21 cl, 3 dwg



Фиг. 1

RU 2555944 C2

RU 2555944 C2

Изобретение относится к области авиадвигателестроения, а именно, к способам капитального ремонта авиационных турбореактивных двигателей.

Известна система эксплуатации и ремонта газотурбинных двигателей, выполняемого по одной из следующих причин, а именно выработки установленного ресурса по числу запусков; по исчерпании нормативного количества часов работы, либо допустимого межремонтного времени складского хранения, либо после получения ремонтопригодных повреждений двигателя (Н.Н. Сиротин и др. Основы конструирования производства и эксплуатации авиационных газотурбинных двигателей и энергетических установок в системе CALS технологий. Книга 3. Москва, изд. «Наука», 2012 г., стр. 40-54).

Известен двухконтурный, двухвальный турбореактивный двигатель (ТРД), включающий турбокомпрессорные комплексы, один из которых содержит установленные на одном валу компрессор и турбину низкого давления, а другой содержит аналогично объединенные на другом валу, соосном с первым, компрессор и турбину высокого давления, промежуточный разделительный корпус между упомянутыми компрессорами, наружный и внутренние контуры, основную и форсажную камеры сгорания, камеру смешения газовоздушных потоков рабочего тела и регулируемое сопло (Н.Н. Сиротин и др. Основы конструирования производства и эксплуатации авиационных газотурбинных двигателей и энергетических установок в системе CALS технологий. Книга 1. Москва, изд. «Наука», 2011 г., стр. 41-46, рис. 1.24).

Известен турбореактивный двигатель, который выполнен двухконтурным, содержит корпус, опертые на него компрессоры и турбины, охлаждаемую камеру сгорания, топливно-насосную группу, реактивные сопла, а также систему управления с командными и исполнительными органами (Шульгин В.А., Гайсинский С.Я. Двухконтурные турбореактивные двигатели малошумных самолетов. М., изд. Машиностроение, 1984, стр. 17-120).

Известен способ разработки и испытаний авиационных двигателей типа турбореактивных, включающий отработку заданных режимов, контроль параметров и оценку по ним ресурса и надежности работы двигателя. С целью сокращения времени испытаний при доводке двигателей 10-20% испытания проводят с температурой газа перед турбиной, превышающей максимальную рабочую температуру на 45-65°С (SU 1151075 A1, опубл. 10.08.2004).

Известен способ испытаний турбореактивного двигателя, заключающийся в создании на входе в двигатель неравномерности потока воздуха путем установления сеток во входном канале для определения границы устойчивой работы компрессора. Для введения компрессора двигателя в помпаж требуется набор сеток, которые устанавливаются во входной канал поочередно плавно увеличивая неравномерность, что приводит к увеличению количества запусков и времени для установки сеток во входной канал (Ю.А. Литвинов, В.О. Боровик. Характеристики и эксплуатационные свойства авиационных турбореактивных двигателей. Москва: Машиностроение, 1979, 288 с, стр. 13-15).

Известен стенд для испытания турбокомпрессора двигателя внутреннего сгорания, который дополнительно оборудован регулируемым нагревателем, вторым рекуперативным теплообменником, теплообменником-охладителем и регулируемым интерцептором, выполненным в виде корпуса с центральным каналом для прохода газа и расположенными по образующей корпуса сквозными отверстиями, соединенными с атмосферой через управляемые клапаны. Регулируемый интерцептор установлен на входе в компрессор испытуемого турбокомпрессора (RU 2199727 C1, 27.12.2004).

Известен способ эксплуатации и ремонта турбореактивного двигателя по

техническому состоянию. В основу эксплуатации двигателя по техническому состоянию положено техническое диагностирование как средство получения объективной информации о состоянии конкретного двигателя. Это означает, что реальное техническое состояние практически всех узлов, агрегатов и систем двигателя с определенной периодичностью и точностью можно оценить по изменению их параметров. (Н.Н. Сиротин и др. Основы конструирования производства и эксплуатации авиационных газотурбинных двигателей и энергетических установок в системе CALS технологий. Книга 1. Москва, изд. «Наука», 2011 г., стр.44-50).

Недостатками указанных известных технических решений являются повышенная трудо, энергоемкость и длительность выполнения капитального ремонта, а также испытаний отремонтированных двигателей, выполняемых известными способами, и, как следствие, недостаточно высокая надежность оценки важнейших параметров двигателя в широком диапазоне режимов и условий эксплуатации. Наиболее существенным из указанных недостатков является увеличение длительности капитального ремонта на отрезок времени, необходимый для выполнения восстановительного ремонта деталей, узлов и модулей конкретного ремонтируемого двигателя, а также необходимость многократного останова двигателя в процессе испытаний и многократной замены интерцепторов с различной аэродинамической прозрачностью, создающих ту или иную степень аэродинамических помех и снижения или увеличения потока воздуха, поступающего в испытуемый двигатель. Известная технология испытаний приводит к необходимости многократных запусков двигателя в процессе испытания и связана с пережогом топлива и непроизводительными затратами времени и труда испытателей.

Задача группы изобретений, связанных единым творческим замыслом, заключается в вариантной разработке способов капитального ремонта в процессе эксплуатации турбореактивного двигателя и вариантно отремонтированного указанными способами ТРД, совокупность технических решений которых обеспечивает возможность повышения качества и сокращения длительности капитального ремонта, а также повышения надежности оценки газодинамической устойчивости при сокращении времени и энергоемкости испытания отремонтированного двигателя и качества послеремонтной работы двигателя с оптимальным регулированием допустимой тяги в полном диапазоне газодинамической устойчивости работы компрессора без вхождения двигателя в помпаж.

Поставленная задача в части первого варианта способа капитального ремонта турбореактивного двигателя, выполненного двухконтурным, двухвальным, решается тем, что капитальный ремонт, согласно изобретению, производят при возникновении, по меньшей мере, одной из следующих причин, а именно выработки установленного ресурса по числу запусков; по исчерпании нормативного количества часов работы, либо допустимого межремонтного времени складского хранения, либо после получения ремонтопригодных повреждений любой совокупности жизненно важных частей, модулей, узлов и деталей двигателя, без устранения неисправности которых невозможно продолжение эксплуатации двигателя; при этом в составе капитального ремонта производят внешний осмотр двигателя, монтаж двигателя на испытательный стенд, проверку наличия и характера дефектов, передачу двигателя в сборочный цех, в котором производят необходимый по содержанию ремонта демонтаж наружных коммуникаций и разборку двигателя на функциональные модули, узлы и сборочные единицы, в том числе при необходимости демонтируют и разбирают любой из модулей, включая компрессор низкого давления (КНД) с входным направляющим аппаратом, промежуточными направляющими и выходным спрямляющим аппаратами статора и

с ротором, включающим до четырех наделенных рабочими лопатками дисков рабочих колес, количество которых принято возрастающим в каждом последующем колесе КНД в соотношении (31÷41):(38÷50):(48÷63):(65÷85); при необходимости разбирают требующие капитального ремонта узлы газогенератора - компрессор высокого давления (КВД), соединяющий указанные компрессоры промежуточный корпус; и/или основную камеру сгорания, в том числе с возможностью детального обследования корпусов камеры и жаровой трубы, системы коллекторов и каждой из топливных форсунок, равномерно разнесенных по замкнутому кольцу входного торца последней с угловой частотой (2,38÷3,35) ед./рад; обследуют состоящий не менее чем из шестидесяти четырех трубчатых блок-модулей кольцевой воздухо-воздушный теплообменник; турбину высокого давления, имеющую сопловый аппарат, ротор с валом и не менее чем одно рабочее колесо с диском, на котором съемно с возможностью охлаждения закреплены рабочие лопатки, равномерно разнесенные по периметру с угловой частотой (11,1÷14,3) ед./рад; производят контроль состояния опор двигателя, турбины низкого давления, а также обследуют смеситель, фронтовое устройство и корпус форсажной камеры сгорания, реактивное сопло, коробку приводов сервисных двигательных агрегатов; в необходимой степени, предусмотренной регламентом, обследуют электрическую, воздушную, гидравлические топливную и масляную системы; производят промывку, контроль состояния и дефектацию модулей, узлов и деталей, направляют двигатель на механосборочные/механические посты и выполняют восстановительный ремонт, при необходимости конструктивно-технологическую доработку или постдефектационную замену деталей на новые; комплектование прошедших ремонт и новых деталей и сборочных единиц, сборку и цеховые испытания узлов, модулей и сборку двигателя.

При этом при запуске двигателя в ремонт и подготовке деталей к нанесению восстановительных покрытий могут выполнять химическую, ультразвуковую промывку и/или пескоструйную обработку деталей, микрометрические обмеры, определение прочности неразрушающими видами контроля и выбраковку дефектных деталей.

В процессе капитального ремонта двигателя нанесение на детали при необходимости восстановительных покрытий могут выполнять вариантно хромированием, цинкованием, кадмированием, меднением, оксидированием, алитированием, оксидным фосфатированием, серебрением, химическим никелированием, пассивированием и/или нанесением лакокрасочных покрытий.

Нанесение на детали восстановительных покрытий в процессе капитального ремонта для повышения износостойкости поверхностей восстанавливаемых деталей при необходимости могут выполнять вариантно электроискровым легированием поверхностей, детонационным или плазменным напылением порошковых композитов.

На завершающей стадии капитального ремонта ТРД могут проводить испытания на газодинамическую устойчивость (ГДУ), при этом испытания ТРД производят на стенде, имеющем входное аэродинамическое устройство, снабженное выдвижным, преимущественно, дистанционно управляемым интерцептором, регулируемо пересекающим воздушный поток, подводят к двигателю и создают на входе неравномерность воздушного потока, затрудняющую подачу воздуха и доводят двигатель до помпажа, фиксируют границу устойчивой работы двигателя, засекая при появлении признаков помпажа отметку критического положения интерцептора, при этом не доводят двигатель до останова; градуируют шкалу положений интерцептора, соответствующих росту неравномерностей в аэродинамическом потоке и снижению поступления потока в двигатель в долях от критического помпажного значения, затем по результатам определения границы устойчивой работы компрессора испытуемого

двигателя определяют для одного, а при необходимости для выбранного объема репрезентативных режимов пограничную и промежуточные неравномерности, которые задают путем последовательного установления выдвижного интерцептора в положения, соответствующие определенной неравномерности потока, и при положениях, последовательно приближенных к критическому, выполняют встречную приемистость по регламенту: выдержка на максимальном режиме, сброс частоты вращения путем установки рычага управления двигателем в положение «малый газ», и при достижении значения частоты вращения, соответствующего значению отрабатываемой неравномерности, выполняют приемистость отремонтированного двигателя на максимальный режим путем перевода рычага управления двигателем в положение «максимальные обороты» и определяют запасы по газодинамической устойчивости компрессора двигателя.

При необходимости выполнения повторных статистических испытаний на ГДУ на завершающей стадии капитального ремонта вариантно могут производить проверку газодинамической устойчивости работы двигателя в ускоренном цикле испытаний на режиме или режимах с заданием уровня неравномерности и общего снижения поступления воздушного потока в двигатель, максимально приближенных к критическому помпажному уровню с сокращением или исключением промежуточных режимов.

Поставленная задача в части турбореактивного двигателя, выполненного двухконтурным, двухвальным, решается тем, что турбореактивный двигатель, согласно изобретению, капитально отремонтирован по любому техническому решению указанного способа.

Поставленная задача в части второго варианта способа капитального ремонта турбореактивного двигателя, выполненного двухконтурным, двухвальным, решается тем, что в составе капитального ремонта, согласно изобретению, производят осмотр двигателя, необходимый по содержанию ремонта демонтаж наружных коммуникаций и разборку двигателя на функциональные модули, узлы и сборочные единицы, в том числе при необходимости демонтируют и разбирают любой из модулей, включая компрессор низкого давления с входным направляющим аппаратом, промежуточными направляющими и выходным спрямляющим аппаратами статора и с ротором, включающем до четырех наделенных рабочими лопатками дисков рабочих колес, количество которых принято возрастающим в каждом последующем колесе КНД; при необходимости разбирают требующие капитального ремонта узлы газогенератора; производят контроль состояния опор двигателя, турбины низкого давления, а также обследуют смеситель, фронтовое устройство и корпус форсажной камеры сгорания, реактивное сопло, коробку приводов сервисных двигательных агрегатов; в необходимой степени, предусмотренной регламентом, обследуют электрическую, воздушную, гидравлические топливную и масляную системы; производят промывку, контроль состояния и дефектацию модулей, узлов и деталей, направляют двигатель на механосборочные/механические посты и выполняют восстановительный ремонт, при необходимости конструктивно-технологическую доработку или постдефектационную замену деталей на новые; комплектование прошедших ремонт и новых деталей и сборочных единиц, сборку и цеховые испытания узлов, модулей и сборку двигателя; после чего двигатель подвергают стендовым испытаниям, при необходимости производят послеремонтную доводку, в процессе которой выполняют испытания отремонтированного двигателя, по меньшей мере, на газодинамическую устойчивость, для этого испытуемый двигатель размещают на стенде с входным, аэродинамическим

устройством, которое снабжают регулируемо пересекающим воздушный поток, преимущественно, дистанционно управляемым выдвижным интерцептором с отградуированной шкалой положений интерцептора в потоке воздуха, подаваемого в двигатель, имеющей фиксированную критическую точку, отделяющую двигатель на 2-5% от перехода в помпаж; повторяют испытания на определенном по регламенту наборе режимов, соответствующих режимам, характерным для последующей реальной работы ТРД в полетных условиях; экспериментально подтверждают область газодинамической устойчивости работы и, по меньшей мере, в режиме с наименьшим запасом газодинамической устойчивости выполняют встречную приемистость по регламенту: выдержка на максимальном режиме, сброс частоты вращения путем установки рычага управления двигателем в положение «малый газ», и при достижении значения частоты вращения, соответствующего значению отрабатываемой неравномерности, выполняют приемистость двигателя на максимальный режим путем перевода рычага управления двигателем в положение «максимальные обороты» и определяют запасы газодинамической устойчивости компрессора двигателя.

При этом капитальный ремонт двигателя могут производить при возникновении, по меньшей мере, одной из следующих причин, а именно выработки установленного ресурса по числу запусков; по исчерпании нормативного количества часов работы, либо допустимого межремонтного времени складского хранения, либо после получения ремонтопригодных повреждений любой совокупности жизненно важных частей, модулей, узлов и деталей двигателя, без устранения неисправности которых невозможно продолжение эксплуатации двигателя.

В процессе капитального ремонта могут производить регламентно необходимые обследование и демонтаж модулей и узлов двигателя, в том числе газогенератора, включая компрессор высокого давления, соединяющий указанные компрессоры промежуточный корпус; и/или основную камеру сгорания, в том числе с возможностью детального обследования корпусов камеры и жаровой трубы, системы коллекторов и каждой из топливных форсунок, равномерно разнесенных по замкнутому кольцу входного торца последней с угловой частотой (2,38÷3,35) ед./рад; обследуют состоящий не менее чем из шестидесяти четырех трубчатых блок-модулей кольцевой воздухо-воздушный теплообменник; турбину высокого давления, имеющую сопловый аппарат, ротор с валом и не менее чем одно рабочее колесо с диском, на котором съемно с возможностью охлаждения закреплены рабочие лопатки, равномерно разнесенные по периметру с угловой частотой (11,1÷14,3) ед./рад.

Поставленная задача в части данного варианта турбореактивного двигателя, выполненного двухконтурным, двухвальным, решается тем, что турбореактивный двигатель, согласно изобретению, капитально отремонтирован по любому техническому решению указанного способа.

Поставленная задача в части способа капитального ремонта партии, пополняемой группы турбореактивных двигателей, конструктивно однотипных либо имеющих взаимозаменяемые модули, узлы и/или детали, решается тем, что в составе капитального ремонта, согласно изобретению, производят внешний осмотр и монтаж каждого ремонтируемого двигателя в вариабельно устанавливаемой последовательности на испытательный стенд, при этом производят проверку наличия и характера дефектов, передачу двигателя или двигателей в сборочный цех, в котором производят необходимый по содержанию капитального ремонта демонтаж наружных коммуникаций и разборку двигателя на функциональные модули, узлы и сборочные единицы, в том числе при необходимости демонтируют и разбирают любой из модулей, включая компрессор

низкого давления с входным направляющим аппаратом, промежуточными направляющими и выходным спрямляющим аппаратами статора и с ротором КНД, требующие капитального ремонта узлы газогенератора, в необходимой степени, предусмотренной регламентом, обследуют электрическую, воздушную, гидравлические топливную и масляную системы; до или в процессе капитального ремонта создают ротационно пополняемый текущий резервный запас снятых с заменой с предыдущих капитально отремонтированных двигателей и восстановленных в процессе ремонта модулей, узлов, деталей, сборочных единиц и устанавливаемых с заменой по мере необходимости на последующие из упомянутой партии, группы капитально ремонтируемые двигатели, направляют двигатель на механосборочные/механические посты и производят комплектацию необходимых для установки в конкретный ремонтируемый двигатель, восстановленных или новых частей, в том числе из упомянутого текущего резервного запаса, выполняют сборку и цеховые испытания узлов, модулей и сборку двигателя; после сборки двигатель подвергают стендовым испытаниям, при необходимости производят доводку, в процессе которой выполняют испытания отремонтированного двигателя, по меньшей мере, на газодинамическую устойчивость, для этого испытуемый двигатель размещают на стенде с входным, аэродинамическим устройством, которое снабжают регулируемо пересекающим воздушный поток, преимущественно, дистанционно управляемым выдвижным интерцептором с отградуированной шкалой положений интерцептора в потоке воздуха, подаваемого в двигатель, имеющей фиксированную критическую точку, отделяющую двигатель на 2-5% от перехода в помпаж; повторяют испытания на определенном по регламенту наборе режимов, соответствующих режимам, характерным для последующей реальной работы ТРД в полетных условиях; экспериментально подтверждают область газодинамической устойчивости работы и, по меньшей мере, в режиме с наименьшим запасом газодинамической устойчивости выполняют встречную приемистость по регламенту: выдержка на максимальном режиме, сброс частоты вращения путем установки рычага управления двигателем в положение «малый газ», и при достижении значения частоты вращения, соответствующего значению отрабатываемой неравномерности, выполняют приемистость двигателя на максимальный режим путем перевода рычага управления двигателем в положение «максимальные обороты» и определяют запасы газодинамической устойчивости компрессора двигателя.

При этом капитальный ремонт партии, пополняемой группы ТРД могут производить при возникновении, по меньшей мере, одной из следующих причин, а именно, выработки установленного ресурса по числу запусков; по исчерпании нормативного количества часов работы, либо допустимого межремонтного времени складского хранения, либо после получения ремонтопригодных повреждений любой совокупности жизненно важных частей, модулей, узлов и деталей двигателя, без устранения неисправности которых невозможно продолжение эксплуатации двигателя.

Могут производить осмотр и при необходимости обследуют любой из следующих узлов - компрессор высокого давления, промежуточный корпус, соединяющий указанные компрессоры и/или основную камеру сгорания при необходимости с детальным обследованием корпусов упомянутой камеры и жаровой трубы, системы коллекторов и каждой из топливных форсунок, равномерно разнесенных по замкнутому кольцу входного торца последней, преимущественно, с угловой частотой (2,38÷3,35) ед./рад; турбину высокого давления, имеющую сопловый аппарат, ротор с валом и не менее чем одно рабочее колесо с диском, на котором съемно с возможностью охлаждения закреплены рабочие лопатки, равномерно разнесенные по периметру с угловой частотой

(11,1÷14,3) ед./рад; при необходимости аналогично обследуют и производят замену любого из не менее чем шестидесяти четырех трубчатых блок-модулей кольцевой воздухо-воздушного теплообменника; выполняют контроль состояния опор двигателя, турбины низкого давления, а также обследуют смеситель, фронтовое устройство и корпус форсажной камеры сгорания, реактивное сопло, коробку приводов сервисных двигательных агрегатов.

После разборки капитально ремонтируемого двигателя могут производить промывку, контроль состояния и при необходимости дефектацию модулей, узлов и деталей, и выполняют восстановительный ремонт, при необходимости конструктивно-технологическую доработку или постдефектационную замену по регламенту деталей на новые; комплектование прошедших ремонт и новых деталей и сборочных единиц.

При запуске двигателя в ремонт и подготовке деталей к нанесению восстановительных покрытий могут выполнять химическую, ультразвуковую промывку и/или пескоструйную обработку деталей, микрометрические обмеры, определение прочности неразрушающими видами контроля и выбраковку дефектных деталей.

В процессе капитального ремонта двигателя нанесение на детали при необходимости восстановительных покрытий могут выполнять вариантно хромированием, цинкованием, кадмированием, меднением, оксидированием, алитированием, оксидным фосфатированием, серебрением, химическим никелированием, пассивированием и/или нанесением лакокрасочных покрытий.

Нанесение на детали восстановительных покрытий в процессе капитального ремонта для повышения износостойкости поверхностей восстанавливаемых деталей при необходимости могут выполнять вариантно электроискровым легированием поверхностей, детонационным или плазменным напылением порошковых композитов.

Испытания ТРД на ГДУ на завершающей стадии капитального ремонта могут производить на стенде, имеющем входное аэродинамическое устройство, снабженное выдвижным, преимущественно, дистанционно управляемым интерцептором, регулируемо пересекающим воздушный поток, подводят к двигателю и создают на входе неравномерность воздушного потока, затрудняющую подачу воздуха и доводят двигатель до помпажа, фиксируют границу устойчивой работы двигателя, засекая при появлении признаков помпажа отметку критического положения интерцептора, при этом не доводят двигатель до останова; градуируют шкалу положений интерцептора, соответствующих росту неравномерностей в аэродинамическом потоке и снижению поступления потока в двигатель в долях от критического помпажного значения, затем по результатам определения границы устойчивой работы компрессора испытуемого двигателя определяют для одного, а при необходимости для выбранного объема репрезентативных режимов пограничную и промежуточные неравномерности, которые задают путем последовательного установления выдвижного интерцептора в положения, соответствующие определенной неравномерности потока, и при положениях, последовательно приближенных к критическому, выполняют встречную приемистость по регламенту: выдержка на максимальном режиме, сброс частоты вращения путем установки рычага управления двигателем в положение «малый газ», и при достижении значения частоты вращения, соответствующего значению отрабатываемой неравномерности, выполняют приемистость отремонтированного двигателя на максимальный режим путем перевода рычага управления двигателем в положение «максимальные обороты» и определяют запасы по газодинамической устойчивости компрессора двигателя.

При необходимости выполнения повторных статистических испытаний на ГДУ на

завершающей стадии капитального ремонта проверку газодинамической устойчивости работы отремонтированного двигателя из упомянутой партии пополняемой группы вариантно могут производить в ускоренном цикле испытаний на режиме или режимах с заданием уровня неравномерности и общего снижения поступления воздушного потока в двигатель, максимально приближенных к критическому помпажному уровню с сокращением или исключением промежуточных режимов.

Поставленная задача в части данного варианта турбореактивного двигателя из партии, пополняемой группы турбореактивных двигателей, конструктивно однотипных либо имеющих взаимозаменяемые модули, узлы и/или детали, выполненный двухконтурным, двухвальным, решается тем, что турбореактивный двигатель, согласно изобретению, капитально отремонтирован по любому техническому решению указанного способа.

Технический результат, обеспечиваемый группой изобретений, связанных единым творческим замыслом, состоит в разработке вариантов способа капитального ремонта турбореактивного двигателя, партии, пополняемой группы турбореактивных двигателей с улучшенными качеством ремонта и эксплуатационными характеристиками отремонтированного двигателя, с более надежной оценкой газодинамической устойчивости в широком диапазоне режимов работы без введения двигателя в помпаж и получении указанных результатов группы изобретений при сокращении длительности ремонта, испытаний и энергоемкости при улучшении экономических показателей капитального ремонта.

Это достигается за счет применения в капитальном ремонте ТРД, выполняемом в соответствии с группой изобретений, восполняемого в процессе ремонта резервного запаса восстановленных модулей, узлов, сборочных единиц и ротационной замены ими соответствующих элементов, частей конкретного ремонтируемого двигателя, а также за счет применения в процессе испытания отремонтированного двигателя на газодинамическую устойчивость выдвижного интерцептора, исключающего промежуточные остановы и повторные запуски двигателя в процессе испытаний.

Сущность изобретения поясняется чертежами, где:

на фиг. 1 изображен турбореактивный двигатель, продольный разрез;

на фиг. 2 - входное устройство аэродинамической установки для испытаний двигателя, снабженной интерцептором, вид сбоку;

на фиг. 3 - разрез по А-А на фиг. 2, где $H_и$ - высота интерцептора, $D_{кан}$ - диаметр канала входного устройства;

По первому варианту способ капитального ремонта турбореактивного двигателя осуществляют следующим образом.

Капитальный ремонт турбореактивного двигателя, выполненного двухконтурным, двухвальным, производят при возникновении, по меньшей мере, одной из следующих причин, без устранения неисправности которых невозможно продолжение эксплуатации двигателя: выработки установленного ресурса по числу запусков; по исчерпании нормативного количества часов работы, либо допустимого межремонтного времени складского хранения; после получения ремонтопригодных повреждений любой совокупности жизненно важных частей, модулей, узлов и деталей двигателя.

В составе капитального ремонта производят внешний осмотр двигателя, монтаж двигателя на испытательный стенд, проверку наличия и характера дефектов, передачу двигателя в сборочный цех. В сборочном цехе производят необходимый по содержанию ремонта демонтаж наружных коммуникаций и разборку двигателя на функциональные модули, узлы и сборочные единицы. При необходимости демонтируют и разбирают

любой из модулей, включая компрессор 1 низкого давления с входным направляющим аппаратом 2, промежуточными направляющими аппаратами 3 и выходным спрямляющим аппаратом 4 статора и с ротором. Ротор включает до четырех наделенных рабочими лопатками 5 дисков рабочих колес 6, количество которых принято возрастающим в каждом последующем колесе КНД в соотношении (31÷41):(38÷50):(48÷63):(65÷85). При необходимости разбирают требующие капитального ремонта узлы газогенератора - компрессор 7 высокого давления, соединяющий КНД и КВД промежуточный корпус 8 и/или основную камеру 9 сгорания, в том числе с возможностью детального обследования корпусов камеры 9 и жаровой трубы, системы коллекторов и каждой из топливных форсунок, равномерно разнесенных по замкнутому кольцу входного торца последней с угловой частотой (2,38÷3,35) ед./рад.

Обследуют кольцевой воздухо-воздушный теплообменник 10, состоящий не менее чем из шестидесяти четырех трубчатых блок-модулей. Также обследуют турбину 11 высокого давления, имеющую сопловый аппарат 12, ротор с валом 13 и не менее чем одно рабочее колесо 14 с диском, на котором съемно с возможностью охлаждения закреплены рабочие лопатки 15. Рабочие лопатки 15 равномерно разнесены по периметру с угловой частотой (11,1÷14,3) ед./рад.

Производят контроль состояния опор двигателя, турбины 16 низкого давления. Также обследуют смеситель 17, фронтовое устройство 18 и корпус форсажной камеры 19 сгорания, реактивное сопло 20, коробку приводов сервисных двигательных агрегатов. В необходимой степени, предусмотренной регламентом, обследуют электрическую, воздушную, гидравлические топливную и масляную системы.

Производят промывку, контроль состояния и дефектацию модулей, узлов и деталей. Направляют двигатель на механосборочные/механические посты и выполняют восстановительный ремонт, при необходимости конструктивно-технологическую доработку или постдефектационную замену деталей на новые. Выполняют комплектование прошедших ремонт и новых деталей и сборочных единиц, сборку и цеховые испытания узлов, модулей и сборку двигателя.

При запуске двигателя в ремонт и подготовке деталей к нанесению восстановительных покрытий выполняют химическую, ультразвуковую промывку и/или пескоструйную обработку деталей, микрометрические обмеры, определение прочности неразрушающими видами контроля и выбраковку дефектных деталей.

Причем в процессе капитального ремонта двигателя нанесение на детали при необходимости восстановительных покрытий выполняют вариантно хромированием, цинкованием, кадмированием, меднением, оксидированием, алитированием, оксидным фосфатированием, серебрением, химическим никелированием, пассивированием и/или нанесением лакокрасочных покрытий.

Нанесение на детали восстановительных покрытий в процессе капитального ремонта для повышения износостойкости поверхностей восстанавливаемых деталей при необходимости выполняют вариантно электроискровым легированием поверхностей, детонационным или плазменным напылением порошковых композитов.

На завершающей стадии капитального ремонта ТРД проводят испытания на газодинамическую устойчивость (ГДУ). Испытания ТРД производят на стенде, имеющем входное аэродинамическое устройство 21. Устройство 21 снабжено выдвижным, преимущественно, дистанционно управляемым интерцептором 22, регулируемо пересекающим воздушный поток. Подводят к двигателю воздушный поток и создают на входе неравномерность, затрудняющую подачу воздуха. Доводят двигатель до помпажа, фиксируют границу устойчивой работы двигателя, засекая при появлении

признаков помпажа отметку критического положения интерцептора 22. При этом не доводят двигатель до останова.

Градуируют шкалу положений интерцептора 22, соответствующих росту неравномерностей в аэродинамическом потоке и снижению поступления потока в двигатель в долях от критического помпажного значения. Затем по результатам определения границы устойчивой работы компрессора испытуемого двигателя определяют для одного, а при необходимости для выбранного объема репрезентативных режимов пограничную и промежуточные неравномерности. Неравномерности задают путем последовательного установления выдвижного интерцептора 22 в положения, соответствующие определенной неравномерности потока. При положениях, последовательно приближенных к критическому, выполняют встречную приемистость по регламенту: выдержка на максимальном режиме, сброс частоты вращения путем установки рычага управления двигателем в положение «малый газ».

При достижении значения частоты вращения, соответствующего значению отрабатываемой неравномерности, выполняют приемистость отремонтированного двигателя на максимальный режим путем перевода рычага управления двигателем в положение «максимальные обороты» и определяют запасы по газодинамической устойчивости компрессора двигателя.

При необходимости выполнения повторных статистических испытаний на ГДУ на завершающей стадии капитального ремонта вариантно производят проверку газодинамической устойчивости работы двигателя в ускоренном цикле испытаний на режиме или режимах с заданием уровня неравномерности и общего снижения поступления воздушного потока в двигатель, максимально приближенных к критическому помпажному уровню с сокращением или исключением промежуточных режимов.

Турбореактивный двигатель, выполненный двухконтурным, двухвальным, капитально отремонтирован описанным выше способом.

По второму варианту способ капитального ремонта турбореактивного двигателя осуществляют следующим образом.

В составе капитального ремонта производят осмотр двигателя, необходимый по содержанию ремонта демонтаж наружных коммуникаций и разборку двигателя на функциональные модули, узлы и сборочные единицы. При необходимости демонтируют и разбирают любой из модулей, включая компрессор 1 низкого давления с входным направляющим аппаратом 2, промежуточными направляющими аппаратами 3 и выходным спрямляющим аппаратом 4 статора и с ротором. Ротор включает до четырех наделенных рабочими лопатками 5 дисков рабочих колес 6, количество которых принято возрастающим в каждом последующем колесе КНД.

При необходимости разбирают требующие капитального ремонта узлы газогенератора. Производят контроль состояния опор двигателя, турбины 16 низкого давления. Также обследуют смеситель 17, фронтовое устройство 18 и корпус форсажной камеры 19 сгорания, реактивное сопло 20, коробку приводов сервисных двигательных агрегатов. В необходимой степени, предусмотренной регламентом, обследуют электрическую, воздушную, гидравлические топливную и масляную системы.

Производят промывку, контроль состояния и дефектацию модулей, узлов и деталей. Направляют двигатель на механосборочные/механические посты и выполняют восстановительный ремонт, при необходимости конструктивно-технологическую доработку или постдефектационную замену деталей на новые. Производят комплектование прошедших ремонт и новых деталей и сборочных единиц, сборку и

цеховые испытания узлов, модулей и сборку двигателя.

После чего двигатель подвергают стендовым испытаниям. При необходимости производят послеремонтную доводку, в процессе которой выполняют испытания отремонтированного двигателя, по меньшей мере, на газодинамическую устойчивость. Для этого испытуемый двигатель размещают на стенде с входным аэродинамическим устройством 21. Входное устройство 21 снабжают регулируемо пересекающим воздушный поток, преимущественно, дистанционно управляемым выдвижным интерцептором 22 с отградуированной шкалой положений интерцептора 22 в потоке воздуха, подаваемого в двигатель, имеющей фиксированную критическую точку, отделяющую двигатель на 2-5% от перехода в помпаж. Повторяют испытания на определенном по регламенту наборе режимов, соответствующих режимам, характерным для последующей реальной работы ТРД в полетных условиях. Экспериментально подтверждают область газодинамической устойчивости работы. По меньшей мере, в режиме с наименьшим запасом газодинамической устойчивости выполняют встречную приемистость по регламенту: выдержка на максимальном режиме, сброс частоты вращения путем установки рычага управления двигателем в положение «малый газ». При достижении значения частоты вращения, соответствующего значению отрабатываемой неравномерности, выполняют приемистость двигателя на максимальный режим путем перевода рычага управления двигателем в положение «максимальные обороты». После определяют запасы газодинамической устойчивости компрессора двигателя.

Капитальный ремонт двигателя производят при возникновении, по меньшей мере, одной из следующих причин, без устранения неисправности которых невозможно продолжение эксплуатации двигателя: выработки установленного ресурса по числу запусков; по исчерпании нормативного количества часов работы, либо допустимого межремонтного времени складского хранения; либо после получения ремонтопригодных повреждений любой совокупности жизненно важных частей, модулей, узлов и деталей двигателя.

В процессе капитального ремонта производят регламентно необходимые обследование и демонтаж модулей и узлов двигателя, в том числе газогенератора, включая компрессор 7 высокого давления, соединяющий КНД 1 и КВД 7 промежуточный корпус 8 и/или основную камеру 9 сгорания. Детально обследуют корпусы основной камеры 9 сгорания и жаровой трубы, системы коллекторов и каждой из топливных форсунок, равномерно разнесенных по замкнутому кольцу входного торца последней с угловой частотой (2,38÷3,35) ед/рад. Обследуют кольцевой воздухо-воздушный теплообменник 10, состоящий не менее чем из шестидесяти четырех трубчатых блок-модулей. Также обследуют турбину 11 высокого давления, имеющую сопловый аппарат 12, ротор с валом 13 и не менее чем одно рабочее колесо 14 с диском, на котором съемно с возможностью охлаждения закреплены рабочие лопатки 15, равномерно разнесенные по периметру с угловой частотой (11,1÷14,3) ед/рад.

Выполненный двухконтурным, двухвальным турбореактивный двигатель по второму варианту капитально отремонтирован описанным выше способом.

В способе капитального ремонта партии, пополняемой группы турбореактивных двигателей, конструктивно однотипных либо имеющих взаимозаменяемые модули, узлы и/или детали, в составе капитального ремонта производят внешний осмотр и монтаж каждого ремонтируемого двигателя. В вариабельно устанавливаемой последовательности размещают двигатель на испытательном стенде. Производят проверку наличия и характера дефектов. Передают двигатель или двигатели в сборочный

цех, в котором производят необходимый по содержанию капитального ремонта демонтаж наружных коммуникаций и разборку двигателя на функциональные модули, узлы и сборочные единицы. При необходимости демонтируют и разбирают любой из модулей, включая компрессор 1 низкого давления с входным направляющим аппаратом 2, промежуточными направляющими аппаратами 3 и выходным спрямляющим аппаратом 3 статора и с ротором КНД. Также демонтируют и разбирают требующие капитального ремонта узлы газогенератора. В необходимой степени, предусмотренной регламентом, обследуют электрическую, воздушную, гидравлические топливную и масляную системы.

До или в процессе капитального ремонта создают ротационно пополняемый текущий резервный запас снятых с заменой с предыдущих капитально отремонтированных двигателей и восстановленных в процессе ремонта модулей, узлов, деталей, сборочных единиц и устанавливаемых с заменой по мере необходимости на последующие из упомянутой партии, группы капитально ремонтируемые двигатели. Направляют двигатель на механосборочные/механические посты и производят комплектацию необходимых для установки в конкретный ремонтируемый двигатель, восстановленных или новых частей, в том числе из упомянутого текущего резервного запаса. Выполняют сборку и цеховые испытания узлов, модулей и сборку двигателя.

После сборки двигатель подвергают стендовым испытаниям. При необходимости производят доводку, в процессе которой выполняют испытания отремонтированного двигателя, по меньшей мере, на газодинамическую устойчивость. Для этого испытуемый двигатель размещают на стенде с входным аэродинамическим устройством 21, которое снабжают регулируемо пересекающим воздушный поток, преимущественно, дистанционно управляемым выдвижным интерцептором 22 с отградуированной шкалой положений интерцептора 22 в потоке воздуха, подаваемого в двигатель, имеющей фиксированную критическую точку, отделяющую двигатель на 2-5% от перехода в помпаж. Повторяют испытания на определенном по регламенту наборе режимов, соответствующих режимам, характерным для последующей реальной работы ТРД в полетных условиях. Экспериментально подтверждают область газодинамической устойчивости работы и, по меньшей мере, в режиме с наименьшим запасом газодинамической устойчивости выполняют встречную приемистость по регламенту: выдержка на максимальном режиме, сброс частоты вращения путем установки рычага управления двигателем в положение «малый газ». При достижении значения частоты вращения, соответствующего значению отрабатываемой неравномерности, выполняют приемистость двигателя на максимальный режим путем перевода рычага управления двигателем в положение «максимальные обороты». Затем определяют запасы газодинамической устойчивости компрессора двигателя.

Капитальный ремонт двигателя производят при возникновении, по меньшей мере, одной из следующих причин, без устранения неисправности которых невозможно продолжение эксплуатации двигателя: выработки установленного ресурса по числу запусков; по исчерпании нормативного количества часов работы, либо допустимого межремонтного времени складского хранения; либо после получения ремонтопригодных повреждений любой совокупности жизненно важных частей, модулей, узлов и деталей двигателя.

Производят осмотр и при необходимости обследуют любой из следующих узлов - компрессор 7 высокого давления, промежуточный корпус 8, соединяющий указанные компрессоры 1 и 7 и/или основную камеру 9 сгорания. При необходимости детально обследуют корпусы упомянутой камеры 9 и жаровой трубы, системы коллекторов и

каждой из топливных форсунок, равномерно разнесенных по замкнутому кольцу входного торца последней, преимущественно, с угловой частотой (2,38÷3,35) ед/рад. Также при необходимости обследуют турбину 11 высокого давления, имеющую сопловый аппарат 12, ротор с валом 13 и не менее чем одно рабочее колесо 14 с диском, на котором съемно с возможностью охлаждения закреплены рабочие лопатки 15, равномерно разнесенные по периметру с угловой частоты (11,1÷14,3) ед/рад. Аналогично обследуют и производят замену любого из не менее чем шестидесяти четырех трубчатых блок-модулей кольцевой воздухо-воздушного теплообменника 10. Выполняют контроль состояния опор двигателя, турбины 16 низкого давления. Также обследуют смеситель 17, фронтовое устройство 18 и корпус форсажной камеры 19 сгорания, реактивное сопло 20, коробку приводов сервисных двигательных агрегатов.

После разборки капитально ремонтируемого двигателя производят промывку, контроль состояния и при необходимости дефектацию модулей, узлов и деталей. Выполняют восстановительный ремонт, при необходимости конструктивно-технологическую доработку или постдефектационную замену по регламенту деталей на новые. Производят комплектование прошедших ремонт и новых деталей и сборочных единиц.

При запуске двигателя в ремонт и подготовке деталей к нанесению восстановительных покрытий выполняют химическую, ультразвуковую промывку и/или пескоструйную обработку деталей, микрометрические обмеры, определение прочности неразрушающими видами контроля и выбраковку дефектных деталей.

В процессе капитального ремонта двигателя нанесение на детали при необходимости восстановительных покрытий выполняют вариантно хромированием, цинкованием, кадмированием, меднением, оксидированием, алитированием, оксидным фосфатированием, серебрением, химическим никелированием, пассивированием и/или нанесением лакокрасочных покрытий.

Нанесение на детали восстановительных покрытий в процессе капитального ремонта для повышения износостойкости поверхностей восстанавливаемых деталей при необходимости выполняют вариантно электроискровым легированием поверхностей, детонационным или плазменным напылением порошковых композитов.

Испытания ТРД на ГДУ на завершающей стадии капитального ремонта производят на стенде, имеющем входное аэродинамическое устройство 21. Входное устройство 21 снабжено выдвижным, преимущественно, дистанционно управляемым интерцептором 22, регулируемо пересекающим воздушный поток. Подводят к двигателю воздушный поток и создают на входе неравномерность, затрудняющую подачу воздуха. Доводят двигатель до помпажа. Фиксируют границу устойчивой работы двигателя, засекая при появлении признаков помпажа отметку критического положения интерцептора 22. При этом не доводят двигатель до останова. Градуируют шкалу положений интерцептора 22, соответствующих росту неравномерностей в аэродинамическом потоке и снижению поступления потока в двигатель в долях от критического помпажного значения. Затем по результатам определения границы устойчивой работы компрессора испытуемого двигателя определяют для одного, а при необходимости для выбранного объема репрезентативных режимов пограничную и промежуточные неравномерности. Указанные неравномерности задают путем последовательного установления выдвижного интерцептора 22 в положения, соответствующие определенной неравномерности потока. При положениях, последовательно приближенных к критическому, выполняют встречную приемистость по регламенту: выдержка на максимальном режиме, сброс частоты вращения путем установки рычага управления

двигателем в положение «малый газ». При достижении значения частоты вращения, соответствующего значению отрабатываемой неравномерности, выполняют приемистость отремонтированного двигателя на максимальный режим путем перевода рычага управления двигателем в положение «максимальные обороты». Затем определяют запасы по газодинамической устойчивости компрессора двигателя.

При необходимости выполнения повторных статистических испытаний на ГДУ на завершающей стадии капитального ремонта проверку газодинамической устойчивости работы отремонтированного двигателя из упомянутой партии, пополняемой группы вариантно производят в ускоренном цикле испытаний на режиме или режимах с заданием уровня неравномерности и общего снижения поступления воздушного потока в двигатель, максимально приближенных к критическому помпажному уровню с сокращением или исключением промежуточных режимов.

Пример реализации испытания турбореактивного двигателя.

На стадии эксплуатации после сборки испытанию подвергают турбореактивный двигатель с минимальной проектной газодинамической устойчивостью на частоте вращения ротора 0,8 Макс, где Макс - максимальные допустимые обороты ротора данного двигателя.

Устанавливают двигатель на испытательном стенде (условно не показан) и сообщают с входным аэродинамическим устройством 21 через фланец 23. Устройство 21 снабжено регулируемо-управляемым выдвижным интерцептором 22, установленным с возможностью пересечения подаваемого в двигатель воздушного потока. Интерцептор 22 выполнен с возможностью создания неравномерности и регулирования количества поступающего в двигатель воздуха в интервале от 0 до 100% путем нулевого, промежуточного или полного перекрытия площади рабочего сечения входного аэродинамического устройства 21. Для этого интерцептор 22 снабжен электроприводом, содержащим приводной шток 24 с гидроцилиндром 25, и шкалой выдвижения интерцептора 22, отградуированной с шагом в 1% от площади входного сечения воздушного потока, подаваемого в двигатель.

Выводят испытуемый ТРД на режимы вращения ротора от «малого газа» (МГ) до Макс с шагом изменения оборотов от режима к режиму 0,05 Макс и с последовательной итерацией к границе потери газодинамической устойчивости. Для этого на каждом из режимов последовательно выдвигают интерцептор 22 в сечение воздушного потока с шагом (1-5)% от площади указанного сечения, доводя до признаков появления помпажа. В результате данного этапа испытания определяют граничное значение частоты вращения ротора с минимальным запасом газодинамической устойчивости, составляющее 0,8 Макс при выдвижении интерцептора 22 на 73%.

Затем путем обратного перемещения интерцептора 22 в интервале до 7% от максимального положения, при котором произошел срыв в помпаж с потерей газодинамической устойчивости устанавливают, что при смещении интерцептора 22 на 5% признаки помпажа отсутствуют. Двигатель работает устойчиво.

Проводят анализ результатов испытаний, принимая во внимание, что результирующие испытания выполнены без срыва в помпаж при максимальном введении интерцептора 22 на оборотах ротора, создающих минимальный запас устойчивости, устанавливают границу газодинамической устойчивости работы данного типа ТРД в полном диапазоне рабочих оборотов ротора двигателя.

Таким образом, изобретение позволяет улучшить эксплуатационные характеристики капитально отремонтированного двигателя и обеспечить более надежное определение границ возможного варьирования тяги в пределах допустимого диапазона

газодинамической устойчивости работы турбореактивного двигателя при меньших энергетических и трудовых затратах и сокращении длительности ремонта и испытаний двигателя.

Формула изобретения

1. Способ капитального ремонта турбореактивного двигателя (ТРД), выполненного двухконтурным, двухвальным, характеризующийся тем, что капитальный ремонт двигателя производят при возникновении по меньшей мере одной из следующих причин, а именно выработки установленного ресурса по числу запусков; по исчерпании нормативного количества часов работы, либо допустимого межремонтного времени складского хранения, либо после получения ремонтопригодных повреждений модулей, узлов и деталей двигателя, без устранения неисправности которых невозможно продолжение эксплуатации двигателя; при этом в составе капитального ремонта производят внешний осмотр двигателя, монтаж двигателя на испытательный стенд, проверку наличия и характера дефектов, передачу двигателя в сборочный цех, в котором производят необходимый по содержанию ремонта демонтаж наружных коммуникаций и разборку двигателя на функциональные модули, узлы и сборочные единицы, в том числе при необходимости демонтируют и разбирают любой из модулей, включая компрессор низкого давления (КНД) с входным направляющим аппаратом, промежуточными направляющими и выходным спрямляющим аппаратами статора и с ротором, включающим до четырех наделенных рабочими лопатками дисков рабочих колес, количество которых принято возрастающим в каждом последующем колесе КНД в соотношении (31÷41):(38÷50):(48÷63):(65÷85); при необходимости разбирают требующие капитального ремонта узлы газогенератора - компрессор высокого давления (КВД), соединяющий указанные компрессоры промежуточный корпус; и/или основную камеру сгорания, в том числе с возможностью детального обследования корпусов камеры и жаровой трубы, системы коллекторов и каждой из топливных форсунок, равномерно разнесенных по замкнутому кольцу входного торца последней с угловой частотой (2,38÷3,35) ед./рад; обследуют состоящий не менее чем из шестидесяти четырех трубчатых блок-модулей кольцевой воздухо-воздушный теплообменник; турбину высокого давления, имеющую сопловый аппарат, ротор с валом и не менее чем одно рабочее колесо с диском, на котором съемно с возможностью охлаждения закреплены рабочие лопатки, равномерно разнесенные по периметру с угловой частотой (11,1÷44,3) ед./рад; производят контроль состояния опор двигателя, турбины низкого давления, а также обследуют смеситель, фронтовое устройство и корпус форсажной камеры сгорания, реактивное сопло, коробку приводов сервисных двигательных агрегатов; в необходимой степени, предусмотренной регламентом, обследуют электрическую, воздушную, гидравлические топливную и масляную системы; производят промывку, контроль состояния и дефектацию модулей, узлов и деталей, направляют двигатель на механосборочные/механические посты и выполняют восстановительный ремонт, при необходимости конструктивно-технологическую доработку или постдефектационную замену деталей на новые; комплектование прошедших ремонт и новых деталей и сборочных единиц, сборку и цеховые испытания узлов, модулей и сборку двигателя.

2. Способ капитального ремонта турбореактивного двигателя по п. 1, отличающийся тем, что при запуске двигателя в ремонт и подготовке деталей к нанесению восстановительных покрытий выполняют химическую, ультразвуковую промывку и/или пескоструйную обработку деталей, микрометрические обмеры, определение прочности неразрушающими видами контроля и выбраковку дефектных деталей.

3. Способ капитального ремонта турбореактивного двигателя по п. 2, отличающийся тем, что в процессе капитального ремонта двигателя нанесение на детали при необходимости восстановительных покрытий выполняют вариантно хромированием, цинкованием, кадмированием, меднением, оксидированием, алитированием, оксидным фосфатированием, серебрением, химическим никелированием, пассивированием и/или нанесением лакокрасочных покрытий.

4. Способ капитального ремонта турбореактивного двигателя по п. 2, отличающийся тем, что нанесение на детали восстановительных покрытий в процессе капитального ремонта для повышения износостойкости поверхностей восстанавливаемых деталей при необходимости выполняют вариантноэлектроискровым легированием поверхностей, детонационным или плазменным напылением порошковых композитов.

5. Способ капитального ремонта турбореактивного двигателя по п. 1, отличающийся тем, что на завершающей стадии капитального ремонта ТРД проводят испытания на газодинамическую устойчивость (ГДУ), при этом испытания ТРД производят на стенде, имеющем входное аэродинамическое устройство, снабженное выдвижным дистанционно управляемым интерцептором, регулируемо пересекающим воздушный поток, подводят к двигателю и создают на входе неравномерность воздушного потока, затрудняющую подачу воздуха, и доводят двигатель до помпажа, фиксируют границу устойчивой работы двигателя, засекая при появлении признаков помпажа отметку критического положения интерцептора, при этом не доводят двигатель до останова; градуируют шкалу положений интерцептора, соответствующих росту неравномерностей в аэродинамическом потоке и снижению поступления потока в двигатель в долях от критического помпажного значения, затем по результатам определения границы устойчивой работы компрессора испытуемого двигателя определяют для одного, а при необходимости для выбранного объема репрезентативных режимов пограничную и промежуточные неравномерности, которые задают путем последовательного установления выдвижного интерцептора в положения, соответствующие определенной неравномерности потока, и при положениях, последовательно приближенных к критическому, выполняют встречную приемистость по регламенту: выдержка на максимальном режиме, сброс частоты вращения путем установки рычага управления двигателем в положение «малый газ», и при достижении значения частоты вращения, соответствующего значению отрабатываемой неравномерности, выполняют приемистость отремонтированного двигателя на максимальный режим путем перевода рычага управления двигателем в положение «максимальные обороты» и определяют запасы по газодинамической устойчивости компрессора двигателя.

6. Способ капитального ремонта турбореактивного двигателя по п. 5, отличающийся тем, что при необходимости выполнения повторных статистических испытаний на ГДУ на завершающей стадии капитального ремонта вариантно производят проверку газодинамической устойчивости работы двигателя в ускоренном цикле испытаний на режиме или режимах с заданием уровня неравномерности и общего снижения поступления воздушного потока в двигатель, максимально приближенных к критическому помпажному уровню с сокращением или исключением промежуточных режимов.

7. Турбореактивный двигатель, выполненный двухконтурным, двухвальным, характеризующийся тем, что капитально отремонтирован способом по любому из пп. 1-6.

8. Способ капитального ремонта турбореактивного двигателя, выполненного двухконтурным, двухвальным, характеризующийся тем, что в составе капитального

ремонта производят осмотр двигателя, необходимый по содержанию ремонта демонтаж наружных коммуникаций и разборку двигателя на функциональные модули, узлы и сборочные единицы, в том числе при необходимости демонтируют и разбирают любой из модулей, включая компрессор низкого давления с входным направляющим аппаратом, промежуточными направляющими и выходным спрямляющим аппаратами статора и с ротором, включающим до четырех наделенных рабочими лопатками дисков рабочих колес, количество которых принято возрастающим в каждом последующем колесе КНД; при необходимости разбирают требующие капитального ремонта узлы газогенератора; производят контроль состояния опор двигателя, турбины низкого давления, а также обследуют смеситель, фронтовое устройство и корпус форсажной камеры сгорания, реактивное сопло, коробку приводов сервисных двигательных агрегатов; в необходимой степени, предусмотренной регламентом, обследуют электрическую, воздушную, гидравлические топливную и масляную системы; производят промывку, контроль состояния и дефектацию модулей, узлов и деталей, направляют двигатель на механосборочные/механические посты и выполняют восстановительный ремонт, при необходимости конструктивно-технологическую доработку или постдефектационную замену деталей на новые; комплектование прошедших ремонт и новых деталей и сборочных единиц, сборку и цеховые испытания узлов, модулей и сборку двигателя; после чего двигатель подвергают стендовым испытаниям, при необходимости производят послеремонтную доводку, в процессе которой выполняют испытания отремонтированного двигателя, по меньшей мере, на газодинамическую устойчивость, для этого испытуемый двигатель размещают на стенде с входным, аэродинамическим устройством, которое снабжают регулируемо пересекающим воздушный поток дистанционно управляемым выдвижным интерцептором с отградуированной шкалой положений интерцептора в потоке воздуха, подаваемого в двигатель, имеющей фиксированную критическую точку, отделяющую двигатель на 2-5% от перехода в помпаж; повторяют испытания на определенном по регламенту наборе режимов, соответствующих режимам, характерным для последующей реальной работы ТРД в полетных условиях; экспериментально подтверждают область газодинамической устойчивости работы и, по меньшей мере, в режиме с наименьшим запасом газодинамической устойчивости выполняют встречную приемистость по регламенту: выдержка на максимальном режиме, сброс частоты вращения путем установки рычага управления двигателем в положение «малый газ», и при достижении значения частоты вращения, соответствующего значению отрабатываемой неравномерности, выполняют приемистость двигателя на максимальный режим путем перевода рычага управления двигателем в положение «максимальные обороты» и определяют запасы газодинамической устойчивости компрессора двигателя.

9. Способ капитального ремонта турбореактивного двигателя по п. 8, отличающийся тем, что капитальный ремонт двигателя производят при возникновении по меньшей мере одной из следующих причин, а именно выработки установленного ресурса по числу запусков; по исчерпании нормативного количества часов работы, либо допустимого межремонтного времени складского хранения, либо после получения ремонтопригодных повреждений модулей, узлов и деталей двигателя, без устранения неисправности которых невозможно продолжение эксплуатации двигателя.

10. Способ капитального ремонта турбореактивного двигателя по п. 8, отличающийся тем, что в процессе капитального ремонта производят регламентно необходимые обследование и демонтаж модулей и узлов двигателя, в том числе газогенератора, включая компрессор высокого давления, соединяющий указанные компрессоры

промежуточный корпус; и/или основную камеру сгорания, в том числе с возможностью детального обследования корпусов камеры и жаровой трубы, системы коллекторов и каждой из топливных форсунок, равномерно разнесенных по замкнутому кольцу входного торца последней с угловой частотой (2,38÷3,35) ед./рад; обследуют состоящий не менее чем из шестидесяти четырех трубчатых блок-модулей кольцевой воздухо-воздушный теплообменник; турбину высокого давления, имеющую сопловый аппарат, ротор с валом и не менее чем одно рабочее колесо с диском, на котором съемно с возможностью охлаждения закреплены рабочие лопатки, равномерно разнесенные по периметру с угловой частотой (11,1÷14,3) ед./рад.

11. Турбореактивный двигатель, выполненный двухконтурным, двухвальным, характеризующийся тем, что капитально отремонтирован способом по любому из пп. 8-10.

12. Способ капитального ремонта партии, пополняемой группы турбореактивных двигателей, конструктивно однотипных либо имеющих взаимозаменяемые модули, узлы и/или детали, характеризующийся тем, что в составе капитального ремонта производят внешний осмотр и монтаж каждого ремонтируемого двигателя в вариабельно устанавливаемой последовательности на испытательный стенд, при этом производят проверку наличия и характера дефектов, передачу двигателя или двигателей в сборочный цех, в котором производят необходимый по содержанию капитального ремонта демонтаж наружных коммуникаций и разборку двигателя на функциональные модули, узлы и сборочные единицы, в том числе при необходимости демонтируют и разбирают любой из модулей, включая компрессор низкого давления с входным направляющим аппаратом, промежуточными направляющими и выходным спрямляющим аппаратами статора и с ротором КНД, требующие капитального ремонта узлы газогенератора, в необходимой степени, предусмотренной регламентом, обследуют электрическую, воздушную, гидравлические топливную и масляную системы; до или в процессе капитального ремонта создают ротационно пополняемый текущий резервный запас снятых с заменой с предыдущих капитально отремонтированных двигателей и восстановленных в процессе ремонта модулей, узлов, деталей, сборочных единиц и устанавливаемых с заменой по мере необходимости на последующие из упомянутой партии, группы капитально ремонтируемых двигателей, направляют двигатель на механосборочные/механические посты и производят комплектацию необходимых для установки в конкретный ремонтируемый двигатель, восстановленных или новых частей, в том числе из упомянутого текущего резервного запаса, выполняют сборку и цеховые испытания узлов, модулей и сборку двигателя; после сборки двигатель подвергают стендовым испытаниям, при необходимости производят доводку, в процессе которой выполняют испытания отремонтированного двигателя, по меньшей мере, на газодинамическую устойчивость, для этого испытуемый двигатель размещают на стенде с входным, аэродинамическим устройством, которое снабжают регулируемо пересекающим воздушный поток дистанционно управляемым выдвижным интерцептором с отградуированной шкалой положений интерцептора в потоке воздуха, подаваемого в двигатель, имеющей фиксированную критическую точку, отделяющую двигатель на 2-5% от перехода в помпаж; повторяют испытания на определенном по регламенту наборе режимов, соответствующих режимам, характерным для последующей реальной работы ТРД в полетных условиях; экспериментально подтверждают область газодинамической устойчивости работы и, по меньшей мере, в режиме с наименьшим запасом газодинамической устойчивости выполняют встречную приемистость по регламенту: выдержка на максимальном режиме, сброс частоты вращения путем

установки рычага управления двигателем в положение «малый газ», и при достижении значения частоты вращения, соответствующего значению отрабатываемой неравномерности, выполняют приемистость двигателя на максимальный режим путем перевода рычага управления двигателем в положение «максимальные обороты» и определяют запасы газодинамической устойчивости компрессора двигателя.

13. Способ капитального ремонта партии, пополняемой группы турбореактивных двигателей по п. 12, отличающийся тем, что капитальный ремонт партии, пополняемой группы ТРД производят при возникновении по меньшей мере одной из следующих причин, а именно выработки установленного ресурса по числу запусков; по исчерпании нормативного количества часов работы, либо допустимого межремонтного времени складского хранения, либо после получения ремонтопригодных повреждений модулей, узлов и деталей двигателя, без устранения неисправности которых невозможно продолжение эксплуатации двигателя.

14. Способ капитального ремонта партии, пополняемой группы турбореактивных двигателей по п. 12, отличающийся тем, что производят осмотр и при необходимости обследуют любой из следующих узлов - компрессор высокого давления, промежуточный корпус, соединяющий указанные компрессоры и/или основную камеру сгорания при необходимости с детальным обследованием корпусов упомянутой камеры и жаровой трубы, системы коллекторов и каждой из топливных форсунок, равномерно разнесенных по замкнутому кольцу входного торца последней с угловой частотой (2,38÷3,35) ед./рад; турбину высокого давления, имеющую сопловый аппарат, ротор с валом и не менее чем одно рабочее колесо с диском, на котором съемно с возможностью охлаждения закреплены рабочие лопатки, равномерно разнесенные по периметру с угловой частотой (11,1÷14,3) ед./рад; при необходимости аналогично обследуют и производят замену любого из не менее чем шестидесяти четырех трубчатых блок-модулей кольцевого воздухо-воздушного теплообменника; выполняют контроль состояния опор двигателя, турбины низкого давления, а также обследуют смеситель, фронтовое устройство и корпус форсажной камеры сгорания, реактивное сопло, коробку приводов сервисных двигательных агрегатов.

15. Способ капитального ремонта партии, пополняемой группы турбореактивных двигателей по п. 12, отличающийся тем, что после разборки капитально ремонтируемого двигателя производят промывку, контроль состояния и при необходимости дефектацию модулей, узлов и деталей и выполняют восстановительный ремонт, при необходимости конструктивно-технологическую доработку или постдефектационную замену по регламенту деталей на новые; комплектование прошедших ремонт и новых деталей и сборочных единиц.

16. Способ капитального ремонта партии, пополняемой группы турбореактивных двигателей по п. 12, отличающийся тем, что при запуске двигателя в ремонт и подготовке деталей к нанесению восстановительных покрытий выполняют химическую, ультразвуковую промывку и/или пескоструйную обработку деталей, микрометрические обмеры, определение прочности неразрушающими видами контроля и выбраковку дефектных деталей.

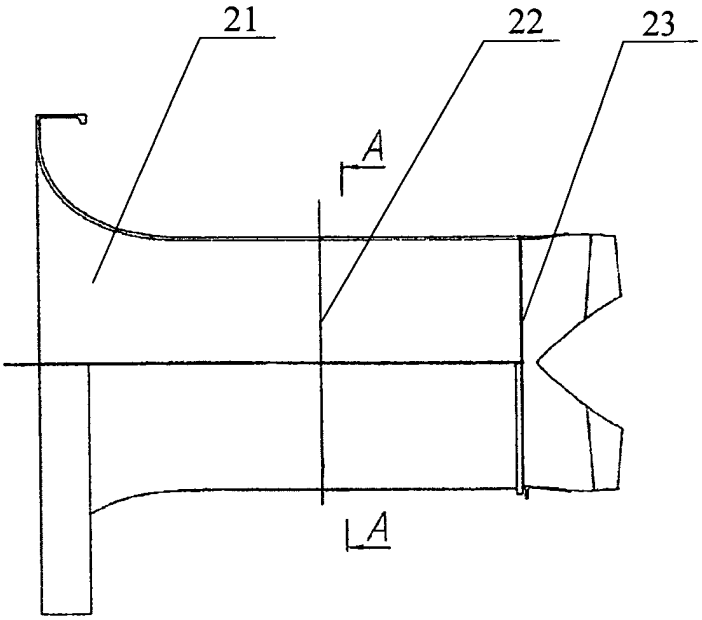
17. Способ капитального ремонта партии, пополняемой группы турбореактивных двигателей по п. 16, отличающийся тем, что в процессе капитального ремонта двигателя нанесение на детали при необходимости восстановительных покрытий выполняют вариантно хромированием, цинкованием, кадмированием, меднением, оксидированием, алитированием, оксидным фосфатированием, серебрением, химическим никелированием, пассивированием и/или нанесением лакокрасочных покрытий.

18. Способ капитального ремонта партии, пополняемой группы турбореактивных двигателей по п. 16, отличающийся тем, что нанесение на детали восстановительных покрытий в процессе капитального ремонта для повышения износостойкости поверхностей восстанавливаемых деталей при необходимости выполняют вариантно электроискровым легированием поверхностей, детонационным или плазменным напылением порошковых композитов.

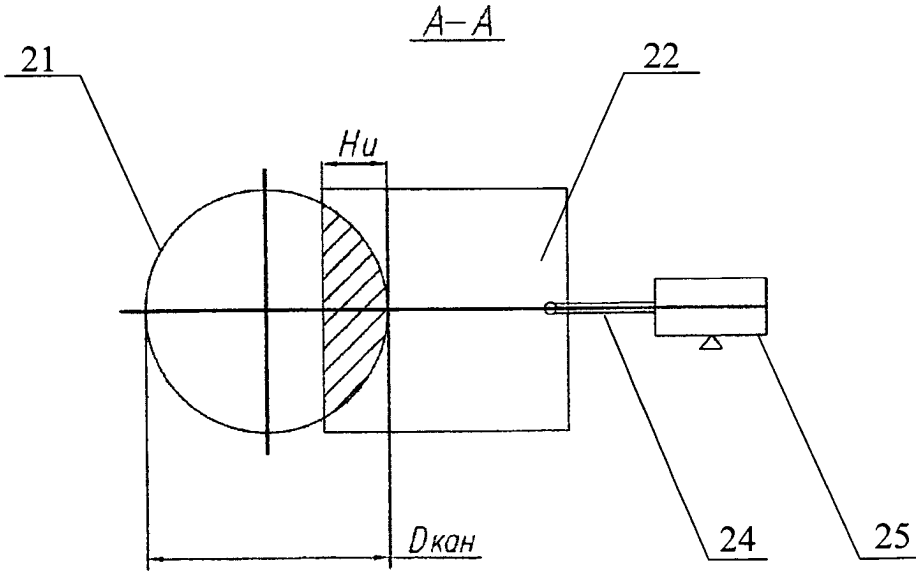
19. Способ капитального ремонта партии, пополняемой группы турбореактивных двигателей по п. 12, отличающийся тем, что испытания ТРД на ГДУ на завершающей стадии капитального ремонта производят на стенде, имеющем входное аэродинамическое устройство, снабженное выдвижным дистанционно управляемым интерцептором, регулируемо пересекающим воздушный поток, подводят к двигателю и создают на входе неравномерность воздушного потока, затрудняющую подачу воздуха и доводят двигатель до помпажа, фиксируют границу устойчивой работы двигателя, засекая при появлении признаков помпажа отметку критического положения интерцептора, при этом не доводят двигатель до останова; градуируют шкалу положений интерцептора, соответствующих росту неравномерностей в аэродинамическом потоке и снижению поступления потока в двигатель в долях от критического помпажного значения, затем по результатам определения границы устойчивой работы компрессора испытуемого двигателя определяют для одного, а при необходимости для выбранного объема репрезентативных режимов пограничную и промежуточные неравномерности, которые задают путем последовательного установления выдвижного интерцептора в положения, соответствующие определенной неравномерности потока, и при положениях, последовательно приближенных к критическому, выполняют встречную приемистость по регламенту: выдержка на максимальном режиме, сброс частоты вращения путем установки рычага управления двигателем в положение «малый газ», и при достижении значения частоты вращения, соответствующего значению отрабатываемой неравномерности, выполняют приемистость отремонтированного двигателя на максимальный режим путем перевода рычага управления двигателем в положение «максимальные обороты» и определяют запасы по газодинамической устойчивости компрессора двигателя.

20. Способ капитального ремонта партии, пополняемой группы турбореактивных двигателей по п. 12, отличающийся тем, что при необходимости выполнения повторных статистических испытаний на ГДУ на завершающей стадии капитального ремонта проверку газодинамической устойчивости работы отремонтированного двигателя из упомянутой партии пополняемой группы вариантно производят в ускоренном цикле испытаний на режиме или режимах с заданием уровня неравномерности и общего снижения поступления воздушного потока в двигатель, максимально приближенных к критическому помпажному уровню с сокращением или исключением промежуточных режимов.

21. Турбореактивный двигатель из партии, пополняемой группы турбореактивных двигателей, конструктивно однотипных либо имеющих взаимозаменяемые модули, узлы и/или детали, выполненный двухконтурным, двухвальным, характеризующийся тем, что капитально отремонтирован способом по любому из пп. 12-20.



Фиг. 2



Фиг. 3