

Предисловие

В связи с увеличивающимися требованиями по обеспечению высокой надёжности авиационных газотурбинных двигателей (ГТД) всё большее значение приобретают методы параметрического контроля их технического состояния, в том числе и с использованием ЭВМ. Методы параметрического контроля технического состояния авиационных ГТД в процессе стендовых испытаний и эксплуатации рассмотрены во многих отечественных и зарубежных работах [3, 4, 11, 13–23, 25, 33, 35, 36, 39, 41, 42]. Однако в ряде работ приведены методы параметрического контроля для конкретных типов двигателей.

Эффективность методов параметрического контроля серийных двигателей как при стендовых испытаниях, так и в эксплуатации могут быть значительно улучшены применением методов математической статистики, позволяющей выявить закономерности изменения параметров двигателей.

В настоящее время нет ни одной книги, рассматривающей в совокупности вопросы параметрического контроля технического состояния авиационных ГТД. Автор надеется, что настоящее пособие поможет восполнить этот недостаток.

Настоящая книга направлена на то, чтобы дать читателю сведения о методах параметрического контроля технического состояния авиационных ГТД в процессе стендовых испытаний и эксплуатации.

Книга состоит из трёх частей.

В первой части книги (главы 1–4) рассмотрены общие вопросы технического контроля и технической диагностики авиационных двигателей.

В главе 1 рассмотрены понятия технического контроля и технической диагностики и их взаимосвязь, а также дефекты, неисправности и отказы авиационных ГТД.

В главе 2 рассмотрены задачи технической диагностики ГТД и методы их решения.

В главе 3 рассмотрена параметрическая контролепригодность ГТД и её показатели (критерии).

В главе 4 приведены контролируемые параметры ГТД при стендовых испытаниях и в эксплуатации, рассмотрена их информативность, точность измерения и методы их регистрации.

Во второй части пособия (главы 5–15) рассмотрены вопросы параметрического контроля технического состояния авиационных ГТД при стендовых испытаниях.

В главе 5 рассмотрены вопросы измерения параметров ГТД при стендовых испытаниях, в том числе виды, методы и средства измерений, виды погрешности измерений, а также методы и способы уменьшения погрешностей измерения экспериментальных данных.

В главе 6 рассмотрена обработка экспериментальных данных по результатам испытаний ГТД, в том числе определение параметров рабочего процесса ГТД для разных типов двигателей. Рассмотрено влияние атмосферных условий на параметры ГТД, указаны стандартные атмосферные условия и методы приведения термодинамических параметров ГТД к стандартным атмосферным условиям.

В главе 7 указаны методы статистического определения уточняющих коэффициентов к формулам приведения.

В главе 8 рассмотрены методы построения дроссельной характеристики ТРДД по результатам испытаний различных типов двигателей. Указан метод построения индивидуальной дроссельной характеристики конкретного двигателя с использованием сводной дроссельной характеристики.

В главе 9 указаны методы определения основных технических данных авиационных ГТД различных типов двигателей по результатам стендовых испытаний ГТД.

В главе 10 рассмотрены методы построения сводной дроссельной характеристики серийных ГТД по результатам стендовых испытаний, включая определение, назначение и функции сводной дроссельной характеристики.

В главе 11 рассмотрены методы отладки серийных ГТД, и приведен подробный пример отладки ТРДД для самолётов гражданской авиации. Предложен метод совмещённой отладки ГТД на предъявительских и приёмо-сдаточных испытаниях для экономии энергоресурсов при испытаниях ГТД.

В главе 12 рассмотрены актуальные для серийного производства методы экспериментального и статистического сравнения испытательных стендов с использованием методов математической статистики.

В главе 13 рассмотрен экспериментально-статистический метод оценки влияния наработки в эксплуатации на характеристики ГТД, а также метод оценки влияния износа узлов с наработкой на характеристики ГТД.

В главе 14 рассмотрены актуальные для серийного производства методы оценки стабильности качества двигателей в процессе серийного производства, включая оценку эффективности вводимых мероприятий на стабильность качества серийно выпускаемых двигателей.

В главе 15 рассмотрены методы контроля и диагностирование технического состояния ГТД по термогазодинамическим параметрам при стендовых испытаниях с использованием корреляционных связей термогазодинамических и геометрических параметров ГТД и математической модели двигателя. Приведен алгоритм автоматизированного термогазодинамического анализа результатов испытаний ГТД.

В третьей части пособия (главы 16–26) рассмотрены вопросы параметрического контроля технического состояния авиационных ГТД в процессе эксплуатации.

В главе 16 рассмотрены общие вопросы параметрических методов технической диагностики ГТД в эксплуатации, а также вопросы автоматической регистрации и обработки параметров в эксплуатации, включая бортовые системы регистрации полётной информации и системы диагностирования (бортовые, наземные и наземно-бортовые).

В главе 17 рассмотрены вопросы контроля технического состояния узлов проточной части ГТД (компрессора, камеры сгорания, турбины) параметрическими методами.

В главе 18 рассмотрены требования и классификация математических моделей ГТД. Приведен пример простейшей математической модели и решения системы уравнений линейной математической модели.

В главе 19 рассмотрены методы диагностирования технического состояния проточной части ГТД с использованием математических моделей. Кратко описаны назначение, концепция построения системы и функциональные возможности программных комплексов «ГРАД» и DVIGw.

В главе 20 рассмотрено диагностирование технического состояния проточной части ГТД с использованием диагностических матриц, включая построение, применение и практическое использование диагностических матриц.

В главе 21 рассмотрены методы контроля технического состояния ГТД по параметрам вибрации экипажем в полёте и при наземном опробовании двигателя.

В главе 22 рассмотрены статистические методы контроля технического состояния ГТД в эксплуатации: методы распознавания технического состояния ГТД (метод Байеса и метод статистических решений: метод Неймана — Пирсона), а также статистическое сглаживание и контроль вибросостояния ТРДД с использованием статистических методов и принятие решений по результатам контроля вибросостояния и оценки технического состояния двигателя.

В главе 23 рассмотрены методы контроля выработки ресурса ГТД посредством оценки эквивалентной наработки двигателя в эксплуатации по регистрируемым параметрам, а также рассмотрено влияние условий эксплуатации на выработку ресурса.

В главе 24 рассмотрены методы контроля технического состояния по результатам наземного опробования. Приведен пример контроля технического состояния по результатам наземного опробования отечественного ТРДД и метод оценки и регулировки параметров ТРДД с большой наработкой в эксплуатации.

В главе 25 рассмотрены методы контроля технического состояния ТРДД по параметрической полётной информации на примере информационно-программной системы «Анализ-86». Приведены примеры решения отдельных задач контроля технического состояния.

В главе 26 рассмотрены различные методы контроля технического состояния деталей ГТД, омываемых маслом, в эксплуатации.

Автор благодарен коллективу кафедры реактивных двигателей и энергетических установок Казанского научно-исследовательского технического университета (КНИТУ-КАИ) за ценные советы и замечания при обсуждении пособия. В учебном пособии использованы результаты работ, выполненных автором самостоятельно и совместно с сотрудниками КПБМ «Авиамотор» А. Н. Королёвым, Т. А. Семёновой, Р. Ш. Юсуповым.

Введение. Технический контроль, техническая диагностика, виды технического состояния

Для поддержания высокого уровня характеристик современных авиационных ГТД, достигнутых за счёт их технического усложнения, близкого к предельным уровням параметров термодинамического цикла, а также для обеспечения высоких показателей ГТД по надёжности и безопасности полётов необходима оценка и контроль технического состояния (ТС) каждого экземпляра ГТД как в процессе испытаний, так и в эксплуатации. Значительный рост ресурсов ГТД, внедрение методов эксплуатации по техническому состоянию (ЭТС) могут быть обеспечены также при оценке ТС каждого экземпляра ГТД. Контроль технического состояния ГТД необходим и для контроля стабильности серийного производства и ремонта авиационных двигателей.

Надёжность авиационных ГТД, безопасность и регулярность полётов в значительной степени обусловлены совершенством методов контроля технического состояния ГТД, позволяющих обнаруживать неисправности элементов ГТД на ранней стадии их развития.

Технический контроль, согласно [8], — это *проверка соответствия продукции или процесса, от которых зависит качество продукции, установленным техническим требованиям*. Следует отличать *технический контроль* от *технического диагностирования*, под которым, согласно [9], понимают «*процесс определения технического состояния объекта диагностирования с определённой точностью*». «Результатом диагностирования (технического диагноза) является заключение о техническом состоянии объекта с указанием, при необходимости, места, вида и причины дефекта» [9].

Контроль *технического состояния* ГТД осуществляется *техническим диагностированием*.

В общем смысле *контроль* — это процесс получения информации, состоящий в обнаружении происходящих в объекте контроля каких-либо событий [42].

В зависимости от этапа жизненного цикла технического изделия различают *производственный контроль* и *эксплуатационный контроль*.

Производственный контроль выполняется на этапе производства изделия и включает [43]:

- 1) контроль технических процессов (технологических сред, режимов, параметров, процессов);
- 2) операционный контроль продукции или процесса во время выполнения или после завершения определённой операции;
- 3) приёмочный контроль готовой продукции.

Под *эксплуатационным контролем* ГТД понимается технический контроль, осуществляемый на стадии его эксплуатации.

К основным видам эксплуатационного контроля ГТД относятся:

- 1) контроль целостности элементов узлов и систем ГТД визуальным осмотром и с помощью инструментальных средств и методов (бороскопов, уль-

тразвукового контроля, вихретокового контроля, рентгеноскопии и других методов неразрушающего контроля);

2) контроль параметров рабочего процесса ГТД с помощью различных инструментальных средств и методов (фотоэлектрических пирометров для измерения бесконтактным методом температуры ($T_{РЛ}$) рабочих лопаток (РЛ) турбины, электростатических зондов для обнаружения металлических частиц в потоке, ионизационных сигнализаторов горения в форсажной камере (ФК), специальных методов диагностического анализа шумов и вибраций ГТД (вибро-акустическая диагностика) и др.);

3) контроль параметров функционирующего ГТД на основных режимах его работы с использованием штатных приборов контроля;

4) периодический контроль правильности функционирования и исправного технического состояния ГТД с использованием штатных сигнализаторов, имеющихся на приборном пульте;

5) контроль с целью обнаружения отклонений в работе ГТД с использованием штатных бортовых средств контроля и средств предупредительной и аварийной сигнализации:

– в полёте с использованием информации средств сигнализаторов или специальных логических анализаторов информации бортовых средств контроля;

– на земле с использованием специальных устройств анализа полётной информации — экспресс-анализ информации бортовых регистраторов;

6) диагностика технического состояния ГТД, использующая с применением специальных диагностических алгоритмов совокупность полётной и наземной информации, а также результаты анализа ТС рабочих жидкостей (топлива, масла) и органолептического контроля.

К параметрическим методам контроля относятся методы, указанные в пунктах 3–6, включающие и вибродиагностику ГТД, и контроль ТС деталей ГТД, омываемых маслом.

Контроль выполняется в три этапа:

1) получение информации о фактическом техническом состоянии ГТД (первичной информации);

2) обработка первичной информации, которая включает:

– исключение сбойной (недостоверной) информации,
– анализ информации по заданным алгоритмам контроля,
– сопоставление результатов анализа информации с установленными требованиями, нормами, критериями;

3) представление результатов контроля.

Техническое состояние объекта, в свою очередь, определяется как «совокупность подверженных изменению в процессе производства или эксплуатации свойств объекта, характеризуемая в определённый момент времени признаками, установленными технической документацией на этот объект» [10]. «Вид технического состояния изделия», в свою очередь, определяется как «категория технического состояния, характеризуемая соответствием или несоответствием

качества объекта определённым техническим требованиям, установленным технической документацией на этот объект» [9].

Различают виды технического состояния: *исправность и неисправность, работоспособность и неработоспособность, правильное функционирование и неправильное* [9].

Под *функционированием* объекта следует понимать «выполнение предписанного объекту алгоритма функционирования при применении объекта по назначению».

Исправность — «состояние объекта, при котором он соответствует всем требованиям нормативно-технической и (или) конструкторской (проектной) документации» (НТД).

Неисправность — «состояние объекта, при котором он не соответствует хотя бы одному из требований НТД».

Работоспособность — «состояние объекта, при котором значения всех параметров, характеризующие способность выполнять заданные функции, соответствуют требованиям НТД».

Неработоспособность — «состояние объекта, при котором значение хотя бы одного параметра, характеризующего способность выполнять заданные функции, не соответствует требованиям НТД».

Правильное функционирование — «вид технического состояния, в котором применяемое по назначению изделие в целом или его составная часть выполняют в текущий момент времени предписанные им алгоритмы функционирования со значениями параметров, соответствующими установленным требованиям».

В технической диагностике рассматриваются следующие задачи:

- а) определение и виды технического состояния;
- б) прямые и обратные задачи технического диагностирования (ТД) ГТД;
- в) принципы построения алгоритмов технического диагностирования;
- г) контролепригодность ГТД, критерии контролепригодности и требования к контролепригодности ГТД;
- д) основные методы и средства ТД ГТД: методы и средства инструментального контроля ТС ГТД, параметрические методы ТД;
- е) методы и средства ТД ГТД при стендовых испытаниях;
- ж) методы и средства виброакустической диагностики ГТД;
- з) диагностирование ТС деталей ГТД, омываемых маслом;
- и) диагностирование ТС ГТД по термогазодинамическим параметрам (ТГДП), разработка и использование математических моделей (ММ) и диагностических матриц (ДМ);
- к) диагностирование ТС ГТД по полётной информации;
- л) системы диагностирования;
- м) контроль ТС ГТД по наземной и полётной информации.

В настоящем пособии рассмотрены основные детерминированные и параметрические методы контроля и диагностирования технического состояния авиационных газотурбинных двигателей в процессе стендовых испытаний и эксплуатации, основанные на обработке и анализе измеряемых параметров двигателей.

Основные условные обозначения и индексы

Сокращения

АДТ	— агрегат дозировки топлива;
АЦПУ	— алфавитно-цифровое устройство для печати;
АУ	— атмосферные условия;
БАЗ	— блок агрегата запуска;
БД	— база данных;
БСКД	— бортовая система диагностирования двигателя;
БСРПД	— бортовая система регистрации полётных данных;
ВСУ	— высотно-скоростные условия; вспомогательная силовая установка;
ВСХ	— высотно-скоростные характеристики;
ГА	— гражданская авиация;
ГВТ	— газовоздушный тракт;
ГГ	— газогенератор;
ГДУ	— газодинамическая устойчивость компрессора;
ГСМ	— горюче-смазочные материалы;
ГТД	— газотурбинный двигатель;
ГТД СТ	— газотурбинный двигатель со свободной турбиной;
ДМ	— диагностическая матрица;
ДМП	— динамометрическая платформа;
ДС	— диагностическое сообщение;
ДХ	— дроссельная характеристика;
ДХАС	— дроссельная характеристика акта сдачи;
ЗИП	— запас инструментов и приспособлений;
ИВ	— измеряемая величина;
ИДХ	— индивидуальная дроссельная характеристика;
ИКМ	— измеритель крутящего момента;
ИПС	— информационно-программная система;
ИС	— испытательный стенд, информационное сообщение;
КВД	— компрессор высокого давления;
КНД	— компрессор низкого давления;
КНИТУ	— Казанский научно-исследовательский технический университет;
КПВ	— клапан перепуска воздуха;
КПД	— коэффициент полезного действия;
КС	— камера сгорания;
ЛА	— летательный аппарат;
ЛД	— лаборатория диагностики;
ЛММ	— линейная математическая модель;
ЛРР	— линия рабочих режимов;
МГ	— режим малого газа;
МЛ	— магнитная лента;

ММ	— математическая модель;
ММО	— метод малых отклонений;
МНК	— метод наименьших квадратов;
МО	— математическое обеспечение, математическое ожидание;
МП	— максимальный продолжительный режим;
МСРП	— магнитный самопишущий регистратор параметров;
НА	— направляющий аппарат компрессора;
НЗП	— нормальное значение параметра;
НММ	— нелинейная математическая модель;
НТД	— нормативно-техническая документация;
НТП	— неравномерность температурного поля;
ОДХ	— отладочная дроссельная характеристика;
ОП	— обобщённый параметр;
ОПЦ	— обобщённый полётный цикл;
ОСС	— ограничитель степени сжатия;
ОТД	— основные технические данные;
ПИ	— приёмочные испытания;
ПМД	— параметрические методы диагностирования;
ПОС	— противообледенительная система;
ПСИ	— приёмо-сдаточные испытания;
РАУ	— расчётные атмосферные условия;
РК	— разовая команда;
РЛ	— рабочие лопатки турбины;
РНА	— рабочий направляющий аппарат;
РТЭ	— руководство по технической эксплуатации;
РС	— реактивное сопло;
РСТ	— регулятор средней температуры;
РУД	— рычаг управления двигателем;
РУР	— рычаг управления реверсом;
СА	— сопловой аппарат, стандартная атмосфера;
САР	— система автоматического регулирования;
САУ	— стандартные атмосферные условия;
СГАУ	— Самарский государственный аэрокосмический университет;
СД	— система диагностирования;
СДХ	— сводная дроссельная характеристика;
СИ	— стендовые испытания;
СКО	— среднее квадратичное отклонение;
СССТ	— статистическое сравнение стендов;
СТ	— свободная турбина;
СУ	— силовая установка;
СФД	— система функционального диагностирования;
ТВД	— турбовинтовой двигатель; турбина высокого давления;
ТГДП	— термогазодинамический параметр;
ТД	— техническая диагностика;

ТДХ	— текущая дроссельная характеристика;
ТМР	— топливомасляный радиатор;
ТН	— техническая норма;
ТНД	— турбина низкого давления;
ТО	— техническое обслуживание;
ТП	— температурное поле;
ТПЦ	— типовой полётный цикл;
ТРДД	— двухконтурный турбореактивный двигатель;
ТС	— техническое состояние;
ТУ	— технические условия;
УВЗ	— установка воздушного запуска;
УГАТУ	— Уфимский государственный авиационный технический университет;
ФДХ	— формулярная дроссельная характеристика;
ФК	— форсажная камера;
ФН	— фактическая наработка;
ХП	— холодная прокрутка;
ЦБР	— центробежный регулятор оборотов;
ЦИАМ	— Центральный институт авиационного моторостроения;
ЭН	— эквивалентная наработка;
ЭРО	— электронный регулятор оборотов;
ЭСУД	— электронная система управления двигателем;
ЭТС	— эксплуатация по техническому состоянию;
ЭЦИ	— эквивалентно-циклические испытания.

Условные обозначения

A_T	— пропускная способность турбины;
НД	— низкое давление;
P	— параметр;
P_0	— удельная повреждаемость, 1/ч;
\bar{P}	— среднее арифметическое значение параметра;
a	— скорость звука, м/с; свободный член регрессии;
b	— угловой коэффициент регрессии;
C	— стоимость; затраты; расходы; скорость истечения газа из реактивного сопла, м/с;
$C_{уд}$	— удельный расход топлива, кг/кгс·ч;
C_e	— эффективный удельный расход топлива турбовального (турбовинтового) двигателя, кг/кВт·ч;
c_p	— теплоёмкость, Дж/(кг·град);
D	— диагноз технического состояния; диаметр, м; повреждаемость детали;
d	— абсолютная влажность;
E	— частная погрешность результата косвенного измерения;
F	— площадь, м ² ; сила, Н; функция эмпирического распределения, критерий дисперсионного анализа;

$F(x)$	— интегральная функция распределения;
f	— функция; число степеней свободы;
G_B	— массовый расход воздуха, кг/с; масла, кг/мин;
G_T	— массовый расход газа, кг/с;
$G_{дв}$	— масса двигателя, кг;
G_T	— массовый расход топлива, кг/ч;
g	— ускорение свободного падения, м/с ² , критерий Кохрана;
H	— энтропия, геометрическая высота, м, км;
H_6	— барометрическая высота, м;
H_T	— геопотенциальная высота, м;
H_u	— низшая удельная теплота сгорания топлива, Дж/кг;
$h_{лон}$	— высота лопатки, мм;
i	— сигнал (разовая команда);
J	— количество информации о техническом состоянии объекта;
K	— коэффициент; критерий; класс точности прибора;
K_y	— запас устойчивости компрессора;
$K_{x, y}$	— относительный коэффициент влияния погрешности;
k	— показатель адиабаты; уровень повреждений; признак состояния объекта;
L	— работа, Дж/кг; дальность полёта, км;
L_s	— адиабатическая работа;
L_0	— количество воздуха, теоретически необходимое для полного сжигания 1 кг топлива, кг возд/кг топл;
l	— множество элементов;
M	— число Маха;
$M_{кр}$	— крутящий момент;
$M[x]$	— математическое ожидание;
N	— мощность, общее число параметров, элементов, неисправностей, состояний объекта; повреждаемость диска турбины;
N_e	— эффективная мощность, кВт;
$N_э$	— эквивалентная мощность, кВт;
n	— частота вращения, об/мин; количество элементов, параметров, неисправностей, состояний объекта; порядковый номер;
P	— тяга, Н;
P_c	— коэффициент тяги;
p	— вероятность; статическое давление, Па, кгс/см ² ; порядок регрессионной зависимости; параметр Ларсона — Миллера;
p^*	— давление заторможенного потока, Па (мм рт. ст.);
$p(x)$	— плотность вероятностей, дифференциальная функция распределения;
Δp	— перепад давления, Па, кгс/см ² ;
Q	— количество тепла, ккал;
q	— вероятность отказа; уровень значимости; поправка;
q_T	— относительный расход топлива;
$q(\lambda)$	— газодинамическая функция расхода газа;

R	— газовая постоянная, кДж/(кгК); критерий корреляционного анализа исключения грубых ошибок; коэффициент множественной корреляции; назначенный ресурс, ч, ц;
$R_{и}$	— коэффициент использования реверса;
$R_{рев}$	— коэффициент реверсирования;
Re	— число Рейнольдса;
R^2	— коэффициент корреляции;
r	— критерий Хальда —Аббе;
r_{j0}	— коэффициент парной корреляции;
S	— энтропия, кДж/кг; объект диагностирования; абсолютная чувствительность средства измерения; среднее квадратичное отклонение;
S_k	— сглаженное значение k -го измерения;
$S^2(x)$	— выборочная дисперсия;
T	— наработка до отказа, время работы, температура, К; трудозатраты, Ресурс, ч, ц;
t	— температура, °С; время; квантиль распределения Стьюдента;
$t'_{огр}$	— температура ограничения;
U	— вектор режимных параметров;
U	— напряжение питания, критерий исключения грубых ошибок; окружная скорость, м/с;
V	— скорость, м/с; виброскорость, мм/с;
$V_б$	— базовое значение виброскорости, мм/с;
V_m	— уровень масла в баке, л;
V_o	— опорное значение виброскорости, мм/с;
$V_{пр}$	— приборная скорость, м/с;
\hat{u}	— оценка фактического момента изменения свойств контролируемого параметра;
u	— фактический момент изменения свойств контролируемого параметра;
W	— множество управляющих переменных;
$W_{п}$	— прокачка масла, л/мин;
X	— вектор параметров схемы;
\bar{x}	— параметр; аргумент; независимая переменная;
\bar{x}	— выборочное среднее значение;
Y	— вектор констант;
Y	— множество выходных сигналов;
Z	— вектор выходной информации;
z	— нормированная случайная величина;
z_γ	— квантиль нормированного нормального распределения для вероятности γ ;
α	— доверительная вероятность; коэффициент регуляризации; положение рычага управления, град; угол атаки самолёта, град; постоянная сглаживания;
α_0	— коэффициент избытка воздуха;

β	— коэффициент доверия;
χ^2	— критерий Пирсона;
γ	— доверительная вероятность;
γ_d	— предел допускаемой приведенной основной погрешности;
Δ	— абсолютная погрешность, отклонение, диапазон измерения, невязка; абсолютное отклонение;
Δr	— величина радиального зазора, мм;
δ	— относительная погрешность, относительное отклонение, критерий регрессионного анализа исключения грубых ошибок, допуск;
δv	— утечки воздуха (газа);
$\frac{\delta P_j}{\delta \Theta_i}$	— коэффициент влияния i -го параметра узла на j -й параметр двигателя;
ε	— внешнее возмущение;
η_r	— коэффициент полноты сгорания топлива;
η^*	— коэффициент полезного действия;
η_e	— термический КПД ГТД;
ε	— внешние возмущения;
Φ	— нормированная функция Лапласа;
ϕ	— критерий эффективности выявления неисправности;
φ	— относительная влажность, угол установки лопаток, град; угол установки винта, град;
$\varphi(z)$	— дифференциальная функция нормированного нормального распределения;
λ	— параметр γ -распределения, интенсивность отказа, приведенная скорость;
λ_{1-q}	— критерий Колмогорова;
$\lambda_{\text{тепл}}$	— коэффициент теплопроводности;
μ	— параметр логарифмически нормального распределения, математическое ожидание случайной величины;
μ_c	— коэффициент расхода сопла;
ν	— кинематическая вязкость газа;
π^*	— степень повышения (понижения) давления;
$\pi(\lambda)$	— газодинамическая функция;
Θ	— параметр узла двигателя;
θ	— систематическая погрешность, степень подогрева воздуха в двигателе;
ρ	— плотность;
σ	— среднее квадратичное отклонение, коэффициент восстановления полного давления, коэффициент гидравлических потерь;
$\sigma_{\text{кв}}$	— коэффициент восстановления полного давления в камере сгорания;
$\sigma_{\text{са}}$	— коэффициент гидравлических потерь в сопловом аппарате турбины;
$\sigma[x]$	— среднее квадратичное отклонение;
$\sigma^2[x]$	— дисперсия;

σ_z	— напряжение в опасном сечении рабочей лопатки на эквивалентном режиме;
$\sigma_{э.пр}$	— эквивалентный предел длительной прочности;
$\tau(\lambda)$	— газодинамическая функция;
τ_p	— долговечность до разрушения, ч;
$\tau_{жв}$	— эквивалентная наработка, ч;
ω	— круговая частота;
$\omega(t)$	— параметр потока отказов;
ξ	— случайная величина;
ξ	— коэффициент трения.

Индексы

в	— воздух, вход, винт, сечение перед компрессором;
ВВ	— верхняя граница возможного уровня;
ВД	— верхняя граница допустимого уровня;
взл	— взлётный режим;
ВД	— ротор высокого давления;
вн	— вентилятор;
ВНА	— входной направляющий аппарат;
всп	— вспомогательный;
вх	— вход, входной;
вых	— выход, выходной;
г	— сечение перед турбиной;
д	— диагностирование;
дв	— двигатель;
доп	— допустимое значение;
е	— эффективный;
зип	— запас инструментов и приспособлений;
зо	— задняя опора;
и	— использование;
изм	— измеренное значение;
к	— компрессор;
кр	— крейсерский режим, критическое значение;
кс	— камера сгорания;
лоп	— лопатка;
м	— масло;
мб	— маслобак;
мг	— малый газ;
на	— направляющий аппарат;
нач	— начальное значение;
НВ	— нижняя граница возможного уровня;
НД	— нижняя граница допустимого уровня;
норм	— нормальное значение параметра;
обр	— обратная тяга;

опр	— опробование двигателя;
осн	— основной;
оц	— оценочное значение параметра;
п	— полёт, прокачка;
по	— передняя опора;
повр	— повреждение;
ппр	— после последнего ремонта;
пр	— приведенное к стандартным атмосферным условиям значение параметра;
расч	— расчётное значение параметра;
рев	— реверс;
реж	— режим;
РЛ	— рабочая лопатка;
РВД	— ротор высокого давления;
РНД	— ротор низкого давления;
рт	— рычаг управления агрегатом дозировки топлива;
РУД	— рычаг управления двигателем;
с	— реактивное сопло;
са	— сопловой аппарат;
скв	— система кондиционирования воздуха;
т	— топливо, сечение за турбиной;
тепл	— теплопроводность;
ТНД	— турбина низкого давления;
ТО	— техническое обслуживание;
тф	— топливная форсунка;
уд	— удельный;
физ	— физический;
ФОРМ	— формуляр;
цб	— центробежный;
э	— элемент двигателя;
экв	— эквивалентный, эквивалентный режим;
max	— максимальное значение;
<i>P</i>	— оператор;
Σ	— суммарный;
1	— сечение на входе в двигатель;
2	— сечение за компрессором;
4	— сечение перед турбиной;
6	— сечение за турбиной двигателя;
30	— 30°C.

Конец ознакомительного фрагмента.

Приобрести книгу можно

в интернет-магазине

«Электронный универс»

e-Univers.ru