

# ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>ПРЕДИСЛОВИЕ .....</b>	<b>13</b>
<b>ОСНОВНЫЕ УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ И ИНДЕКСЫ.....</b>	<b>18</b>
<b>ЧАСТЬ 1</b>	
<b>УСЛОВИЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ АВИАЦИОННЫХ ГТД.....</b>	<b>27</b>
<b>ГЛАВА 1. СИЛОВАЯ УСТАНОВКА ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА. ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ФАКТОРЫ .....</b>	<b>28</b>
1.1. Силовая установка летательного аппарата .....	28
1.1.1. Определение и состав силовой установки.....	28
1.1.2. Требования к силовой установке летательного аппарата .....	29
1.1.3. Силовые установки с несколькими ГТД.....	31
1.1.4. Компоновка ГТД на летательном аппарате.....	32
1.1.5. Крепление ГТД к летательному аппарату .....	33
1.2. Эксплуатационные факторы.....	34
Контрольные вопросы .....	36
<b>ГЛАВА 2. ВНЕШНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ФАКТОРЫ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ПАРАМЕТРЫ АВИАЦИОННЫХ ГТД .....</b>	<b>37</b>
2.1. Атмосферные условия .....	37
2.2. Климатические зоны земного шара .....	39
2.3. Параметры состояния атмосферы .....	40
2.4. Стандартная атмосфера.....	43
2.5. Число Рейнольдса .....	46
2.6. Скорость полёта .....	46
2.7. Диапазон изменения внешних эксплуатационных факторов.....	47
2.8. Зависимость характеристик элементов ГТД от эксплуатационных факторов.....	49
2.9. Влияние атмосферных условий на термогазодинамические параметры ГТД .....	52
2.10. Обледенение элементов двигателя и силовой установки.....	54
2.11. Запылённость атмосферы .....	55
2.12. Попадание в воздухозаборник посторонних предметов.....	56
2.13. Мероприятия по обеспечению работоспособности ГТД при воздействии посторонних предметов .....	58
2.14. Попадание в воздухозаборник птиц .....	59
Контрольные вопросы .....	61
<b>ГЛАВА 3. ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ФАКТОРЫ, ОБУСЛОВЛЕННЫЕ ОСОБЕННОСТЯМИ РАБОТЫ ГТД В КАЧЕСТВЕ СИЛОВОЙ УСТАНОВКИ НА ЛЕТАТЕЛЬНОМ АППАРАТЕ .....</b>	<b>63</b>
3.1. Особенности работы авиационных ГТД в качестве силовой установки на летательном аппарате .....	63

3.1.1. Отбор мощности .....	63
3.1.2. Отбор воздуха .....	64
3.1.3. Неравномерность полей и нестационарность параметров рабочего тела .....	65
3.1.4. Тепловое состояние ГТД .....	67
3.2. Нарботка авиационного ГТД в эксплуатации .....	68
3.2.1. Износ деталей авиационного ГТД в эксплуатации. Виды изнашивания .....	68
3.2.2. Изменение параметров ГТД с наработкой .....	71
Контрольные вопросы .....	75

## **ЧАСТЬ 2**

### **ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И РЕЖИМЫ РАБОТЫ АВИАЦИОННОГО ГТД ..... 77**

#### **ГЛАВА 4. ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АВИАЦИОННОГО ГТД ..... 78**

4.1. Виды эксплуатационных характеристик .....	78
4.2. Дроссельные характеристики ГТД .....	78
4.2.1. Определение дроссельной характеристики .....	78
4.2.2. Влияние атмосферных условий на дроссельные характеристики .....	80
4.2.3. Приведение измеренных термогазодинамических параметров к стандартным атмосферным условиям. Формулы приведения .....	82
4.2.4. Способы регистрации значений параметров .....	85
4.2.5. Контроль достоверности результатов измерений .....	85
4.3. Высотно-скоростные характеристики ГТД .....	89
4.4. Климатические характеристики ГТД .....	90
Контрольные вопросы .....	94

#### **ГЛАВА 5. УСТАНОВИВШИЕСЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ РЕЖИМЫ РАБОТЫ АВИАЦИОННОГО ГТД ..... 95**

5.1. Определение режима работы ГТД. Классификация режимов .....	95
5.2. Форсированные режимы .....	97
5.3. Максимальные нефорсированные режимы .....	98
5.4. Крейсерские режимы .....	99
5.5. Режим малого газа .....	100
5.5.1. Определение режима. Режимы земного и полётного малого газа .....	100
5.5.2. Зависимость тяги на режиме малого газа от скорости полета .....	101
5.5.3. Зависимость тяги на режиме малого газа от высоты полета .....	102
5.6. Режимы реверсирования тяги .....	103
5.6.1. Реверсирование тяги .....	103
5.6.2. Конструктивные схемы реверсивных устройств .....	104
5.6.3. Классификация реверсивных устройств .....	105
5.6.4. Параметры реверсивных устройств .....	106
5.6.5. Коэффициент реверсирования реверсивного устройства .....	107
5.6.6. Коэффициент использования реверса .....	109
5.6.7. Условия применения реверса тяги .....	110

5.6.8. Параметры использования реверса .....	111
5.6.9. Влияние числа реверсивных устройств .....	113
5.6.10. Реверсовооружённость самолета .....	113
5.7. Режим холодной прокрутки .....	115
5.8. Режим авторотации .....	116
5.8.1. Определение и общая характеристика режима авторотации .....	116
5.8.2. Физическая сущность режима авторотации .....	116
5.8.3. Зависимость авторотации от скорости и высоты полёта .....	117
5.8.4. Минимальная частота вращения при авторотации .....	118
5.8.5. Максимальная приведенная частота вращения на режиме авторотации .....	119
5.8.6. Особенности авторотации многовальных ГТД .....	122
5.8.7. Внутреннее сопротивление авторотирующего ГТД .....	123
5.8.8. Скорость полёта, при которой устанавливается максимальная допустимая физическая частота вращения авторотации .....	125
5.8.9. Выход ГТД на режим авторотации .....	125
Контрольные вопросы .....	126
<b>ГЛАВА 6. НЕУСТАНОВИВШИЕСЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ РЕЖИМЫ РАБОТЫ ГТД .....</b>	<b>129</b>
6.1. Особенности переходных неуставившихся режимов работы ГТД .....	129
6.2. Приёмистость и сброс газа ГТД .....	130
6.2.1. Общие требования к приёмистости ГТД .....	130
6.2.2. Уравнение движения ротора при переходных процессах .....	132
6.2.3. Продолжительность переходного процесса .....	133
6.2.4. Коэффициент динамичности .....	134
6.2.5. Минимальное время приёмистости .....	135
6.2.6. Программа подачи топлива и регулирования ГТД на режимах приёмистости .....	136
6.2.7. Влияние условий эксплуатации на приёмистость ГТД .....	137
6.2.8. Регулирование геометрически изменяемых элементов ГТД .....	139
6.2.9. Особенности приёмистости ГТД различных конструктивных схем .....	139
6.2.10. Форсажная приёмистость .....	141
6.3. Запуск ГТД .....	142
6.3.1. Определение и назначение запуска .....	142
6.3.2. Требования к запуску ГТД .....	143
6.3.3. Общая характеристика процесса запуска .....	145
6.3.4. Типы пусковых устройств ГТД .....	149
6.3.5. Продолжительность запуска .....	150
6.3.6. Запуск ГТД в полёте .....	151
Контрольные вопросы .....	154
<b>ГЛАВА 7. УСТОЙЧИВОСТЬ ГТД .....</b>	<b>155</b>
7.1. Понятие устойчивости ГТД .....	155

7.2. Газодинамическая устойчивость работы компрессора .....	155
7.3. Количественная оценка устойчивости работы компрессора .....	162
7.4. Определение запаса устойчивости работы авиационного ГТД .....	164
7.5. Проверка запаса устойчивости работы авиационного ГТД .....	166
7.6. Определение границы устойчивости работы ГТД .....	167
7.7. Влияние эксплуатационных факторов на ГДУ компрессора .....	168
7.7.1. Эксплуатационные факторы, влияющие на ГДУ компрессора .....	168
7.7.2. Влияние неоднородности потока на входе в компрессор .....	168
7.7.3. Влияние неравномерности поля скоростей .....	169
7.7.4. Влияние пульсаций потока воздуха .....	170
7.7.5. Влияние общего воздухозаборника .....	171
7.7.6. Влияние механизации крыла .....	172
7.7.7. Влияние атмосферных возмущений .....	173
7.7.8. Влияние числа Рейнольдса .....	173
7.7.9. Влияние обледенения .....	174
7.7.10. Влияние запылённости атмосферы .....	174
7.7.11. Влияние попадания в воздухозаборник птиц .....	175
7.7.12. Влияние механизации компрессора .....	175
7.7.13. Влияние приёмистости ГТД .....	176
7.7.14. Влияние прогрева и производственных отклонений ГТД .....	177
7.7.15. Влияние наработки ГТД .....	178
7.7.16. Влияние температуры воздуха $T_H$ .....	178
7.7.17. Влияние влажности воздуха .....	180
Контрольные вопросы .....	181

## **ЧАСТЬ 3**

## **ОСНОВНЫЕ СИСТЕМЫ АВИАЦИОННОГО ГТД ..... 183**

### **ГЛАВА 8. СИСТЕМЫ ТОПЛИВОПИТАНИЯ ГТД.**

#### **ВЛИЯНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ТОПЛИВА**

#### **НА ПАРАМЕТРЫ ГТД ..... 184**

8.1. Назначение и требования к системе топливо-питания .....	184
8.2. Схема системы топливо-питания .....	184
8.3. Основные агрегаты системы топливо-питания .....	186
8.3.1. Подкачивающие топливные насосы .....	186
8.3.2. Основные топливные насосы .....	187
8.3.3. Топливные форсунки .....	189
8.4. Эксплуатационные свойства топлив .....	192
8.5. Влияние характеристик топлива на основные параметры ГТД .....	194
8.5.1. Влияние теплоты сгорания на основные параметры ГТД .....	194
8.5.2. Влияние характеристик топлива на запуск ГТД .....	195
8.5.3. Нагарообразующие характеристики топлива .....	196
8.5.4. Коррозионная активность топлива .....	197
8.5.5. Свойства топлива при высотных и сверхзвуковых полётах .....	198

8.5.6. Свойства топлив при низких температурах .....	199
8.5.7. Поведение воды в топливе .....	200
8.5.8. Изменение свойств топлива при хранении .....	202
8.6. Обеспечение надёжности подачи топлива к ГТД в эксплуатации .....	204
8.7. Новые топлива .....	206
Контрольные вопросы .....	208
<b>ГЛАВА 9. МАСЛОСИСТЕМА ГТД. ВЛИЯНИЕ СВОЙСТВ МАСЕЛ НА РАБОТУ ГТД .....</b>	<b>209</b>
9.1. Назначение маслосистемы и системы суфлирования .....	209
9.2. Схемы маслосистемы .....	210
9.3. Суфлирование .....	213
9.4. Агрегаты маслосистемы .....	213
9.5. Основные сведения о трении, смазке и условиях работы авиамасел .....	217
9.6. Требования к маслам и применяемые масла .....	218
9.7. Эксплуатационные свойства масел .....	219
9.7.1. Вязкость и вязкостно-температурные характеристики масел .....	219
9.7.2. Смазывающая способность масел .....	221
9.7.3. Термостабильность масел .....	221
9.7.4. Коррозионная активность масел .....	223
9.7.5. Нагарообразование в масле .....	223
9.7.6. Механические примеси в масле .....	224
9.7.7. Влияние воздуха на свойства масла .....	225
9.8. Нагрев подшипников .....	229
9.9. Прокачка масла .....	230
Контрольные вопросы .....	230
<b>ГЛАВА 10. СИСТЕМЫ И ПРОГРАММЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ГТД .....</b>	<b>232</b>
10.1. Функциональное назначение системы автоматического регулирования .....	232
10.2. Классификация САР. Некоторые понятия теории автоматического регулирования .....	233
10.3. Основные элементы агрегатов САР .....	234
10.4. Гидромеханическая САР .....	235
10.5. Гидромеханическая САР с электронными ограничителями параметров .....	239
10.6. Электронная система автоматического регулирования .....	241
10.7. Комбинированная система автоматического регулирования ТРДД .....	243
10.7.1. Гидромеханическая система САР .....	243
10.7.2. Электронная система управления двигателем .....	245
10.8. Термодинамические основы автоматического регулирования .....	246
10.9. Программы регулирования ГТД .....	248

10.10. Программа регулирования ТРДД для пассажирского самолёта.....	251
10.11. Построение программы регулирования конкретного экземпляра ТРДД по результатам наземного опробования .....	253
Контрольные вопросы .....	255

## **ЧАСТЬ 4**

### **НЕИСПРАВНОСТИ АВИАЦИОННЫХ ГТД**

#### **В ЭКСПЛУАТАЦИИ. РЕСУРС ГТД..... 257**

### **ГЛАВА 11. ОСНОВНЫЕ ВИДЫ ДЕФЕКТОВ**

#### **И НЕИСПРАВНОСТЕЙ ГТД В ЭКСПЛУАТАЦИИ ..... 258**

11.1. Общий анализ дефектов и неисправностей ГТД в эксплуатации .....	258
11.2. Неисправности компрессора.....	263
11.2.1. Эксплуатационные факторы, приводящие к неисправностям компрессора .....	263
11.2.2. Трещины, обрывы и разрушения лопаток .....	265
11.2.3. Повреждение лопаток компрессора посторонними предметами.....	269
11.2.4. Обледенение деталей входной части ГТД.....	271
11.2.5. Абразивный износ деталей проточной части .....	272
11.2.6. Трещины и разрушение дисков .....	273
11.2.7. Потеря газодинамической устойчивости работы компрессора .....	274
11.2.8. Сводка основных повреждений компрессора .....	275
11.3. Неисправности камеры сгорания .....	277
11.3.1. Эксплуатационные факторы, приводящие к неисправностям камеры сгорания .....	277
11.3.2. Основные неисправности камеры сгорания в эксплуатации.....	277
11.4. Неисправности турбины.....	281
11.4.1. Эксплуатационные факторы, приводящие к неисправностям турбины .....	281
11.4.2. Основные неисправности турбины в эксплуатации .....	284
11.5. Неисправности выходных устройств .....	291
11.6. Неисправности элементов системы регулирования и топливо-питания .....	293
11.7. Неисправности элементов трансмиссии, узлов опор, маслосистемы .....	295
11.7.1. Общая характеристика неисправностей .....	295
11.7.2. Неисправности подшипников опор роторов .....	295
11.7.3. Неисправности маслосистемы .....	297
11.8. Неисправности приводов и силовых редукторов ГТД .....	301
11.9. Неисправности узлов подвески, корпусов .....	302
11.10. Повреждения и разрушения трубопроводов .....	302
11.11. Повышенные вибрации ГТД.....	302
11.12. Незапуск ГТД .....	303

Контрольные вопросы .....	304
<b>ГЛАВА 12. РЕСУРС ГТД .....</b>	<b>307</b>
12.1. Влияние прочности типовых деталей ГТД на их надёжность и безопасность полётов .....	307
12.2. Нагруженность деталей и узлов ГТД в реальных условиях эксплуатации .....	308
12.3. Основные правила эксплуатации, обеспечивающие прочность деталей ГТД .....	315
12.4. Понятие ресурса ГТД .....	318
12.5. Виды ресурсов .....	320
12.6. Порядок установления ресурса ГТД .....	324
12.7. Типовой полётный цикл ГТД .....	327
Контрольные вопросы .....	330
<b>ГЛАВА 13. ЭКВИВАЛЕНТНАЯ НАРАБОТКА. РАСЧЕТ ВЫРАБОТКИ РЕСУРСА ГТД ПО ЛИМИТИРУЮЩЕМУ КОНСТРУКТИВНОМУ ЭЛЕМЕНТУ .....</b>	<b>331</b>
13.1. Определение эквивалентной наработки .....	331
13.2. Расчёт выработки ресурса по эквивалентной наработке .....	331
13.3. Оценка эквивалентной наработки в эксплуатации .....	333
13.4. Влияние условий эксплуатации на выработку ресурса .....	337
Контрольные вопросы .....	339
<b>ЧАСТЬ 5</b>	
<b>ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ И МЕТОДЫ ЭКСПЛУАТАЦИИ АВИАЦИОННЫХ ГТД В ЭКСПЛУАТАЦИИ .....</b>	<b>341</b>
<b>ГЛАВА 14. ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ ГТД В ЭКСПЛУАТАЦИИ .....</b>	<b>342</b>
14.1. Система технического обслуживания ГТД в эксплуатации .....	342
14.2. Эксплуатационная технологичность ГТД .....	343
14.3. Основное содержание работ по обслуживанию и ремонту ГТД .....	348
14.4. Работы при плановом техническом обслуживании .....	350
14.5. Эксплуатационная нормативная документация .....	353
14.6. Формы технического обслуживания .....	355
14.7. Техническое обслуживание на оперативных формах .....	356
14.8. Техническое обслуживание на периодических формах .....	358
14.9. Организация технического обслуживания ГТД в эксплуатации .....	360
Контрольные вопросы .....	360
<b>ГЛАВА 15. МЕТОДЫ ЭКСПЛУАТАЦИИ ГТД .....</b>	<b>362</b>
15.1. Эксплуатация по ресурсу .....	362
15.2. Эксплуатация по техническому состоянию .....	365
15.3. Эксплуатация агрегатов, узлов и систем по уровню надежности .....	370
15.4. Оптимизация системы эксплуатации .....	372
15.5. Особенности эксплуатации ГТД в различных климатических условиях .....	373

15.5.1. Особенности эксплуатации ГТД при низких температурах атмосферного воздуха .....	373
15.5.2. Особенности эксплуатации ГТД в условиях запыленного воздуха .....	375
15.5.3. Эксплуатация ГТД в условиях влажного климата .....	375
Контрольные вопросы .....	376

## **ЧАСТЬ 6**

### **КОНТРОЛЬ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ**

#### **АВИАЦИОННЫХ ГТД В ПРОЦЕССЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ..... 377**

### **ГЛАВА 16. ВИЗУАЛЬНЫЕ И ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ**

#### **МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ ЦЕЛОСТНОСТИ ДЕТАЛЕЙ**

#### **И УЗЛОВ АВИАЦИОННЫХ ГТД ..... 378**

16.1. Оптические приборы .....	378
16.1.1. Эндоскопы на линзовой оптике.....	380
16.1.2. Эндоскопы на волоконной оптике .....	381
16.2. Ультразвуковой и токовихревой контроль .....	382
16.2.1. Ультразвуковой контроль.....	383
16.2.2. Токовихревые приборы .....	383
16.3. Рентгеноскопия .....	385
16.4. Оптические (фотоэлектрические) пирометры .....	386
16.5. Обнаружение металлических частиц в потоке .....	386
16.6. Ионизационные сигнализаторы горения.....	386
16.7. Инструментальные методы контроля технического состояния узлов проточной части ГТД .....	387
16.7.1. Контроль технического состояния компрессора .....	387
16.7.2. Контроль технического состояния подшипников ротора компрессора.....	391
16.7.3. Контроль технического состояния камеры сгорания.....	392
16.7.4. Контроль технического состояния турбины .....	393
16.8. Другие методы контроля технического состояния авиационных ГТД .....	395
16.8.1. Счетчики наработки и числа циклов.....	395
16.8.2. Контроль выбега ротора .....	396
Контрольные вопросы .....	396

### **ГЛАВА 17. КОНТРОЛЬ ТС ГТД ПО ПАРАМЕТРАМ**

#### **ВИБРАЦИИ ..... 398**

17.1 Основные принципы и положения.....	398
17.1.1. Общие положения .....	398
17.1.2. Причины изменения уровня вибрации ГТД в полёте .....	399
17.1.3. Средства виброконтроля ГТД в эксплуатации .....	399
17.1.4. Наружные вибродатчики .....	400
17.1.5. Бортовые средства виброконтроля ГТД .....	400
17.2. Контроль вибросостояния ГТД в эксплуатации .....	401
17.2.1. Основные признаки (эталон) неисправностей .....	401



17.2.2. Причины изменения вибрации ТРДД по передней и задней опорам .....	406
17.2.3. Визуальный анализ вибрации .....	407
17.2.4. Алгоритм принятия решений при появлении диагностических признаков .....	407
17.2.5. Первоначальное появление признака в полёте .....	407
17.2.6. Второй этап — диагностические признаки сохраняются или повторяются в последующих полётах .....	408
17.2.7. Третий этап — при дальнейшей эксплуатации диагностические признаки сохраняются и имеется тенденция к их росту .....	409
17.3. Виды контроля вибросостояния ГТД в эксплуатации .....	409
17.3.1. Допусковый контроль по предельным уровням вибрации.....	410
17.3.2. Контроль наработки ГТД с повышенным уровнем вибрации .....	410
17.3.3. Контроль тренда параметров вибрации .....	411
17.3.4. Контроль вибросостояния ТРДД экипажем в полёте .....	411
17.3.5. Контроль вибросостояния ТРДД при наземном опробовании .....	412
Контрольные вопросы .....	413
<b>ГЛАВА 18. КОНТРОЛЬ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ДЕТАЛЕЙ ГТД, ОМЫВАЕМЫХ МАСЛОМ .....</b>	<b>415</b>
18.1. Эксплуатационный износ трущихся деталей ГТД, омываемых маслом .....	415
18.2. Обнаружение неисправностей деталей, омываемых маслом, по изменению свойств масла в маслосистеме .....	416
18.2.1. Контроль ТС деталей ГТД, омываемых маслом, с помощью магнитных пробок.....	417
18.2.2. Контроль ТС деталей ГТД, омываемых маслом, с помощью фильтров-сигнализаторов .....	418
18.2.3. Контроль ТС деталей ГТД, омываемых маслом, путем отбора и исследования проб масла .....	420
18.2.4. Контроль характеристик частиц продуктов износа.....	423
18.2.5. Оптический метод контроля состояния масла .....	424
18.2.6. Контроль омического сопротивления масляной пленки .....	425
18.3. Контроль долива масла .....	425
18.4. Контроль технического состояния маслосистемы по параметрам маслосистемы .....	425
18.5. Контроль технического состояния маслосистемы по обобщенным характеристикам .....	426
18.6. Схема системы контроля ТС деталей ГТД, омываемых маслом .....	427
Контрольные вопросы .....	428

<b>ГЛАВА 19. КОНТРОЛЬ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ</b>	
<b>АВИАЦИОННЫХ ГТД ПО РЕЗУЛЬТАТАМ НАЗЕМНОГО</b>	
<b>ОПРОБОВАНИЯ .....</b>	<b>430</b>
19.1. Контролепригодность авиационных ГТД .....	430
19.2. Контролируемые параметры .....	431
19.3. Контроль параметров ГТД по результатам	
наземного опробования на формах технического обслуживания .....	433
19.3.1. Назначение наземного опробования ГТД .....	433
19.3.2. Порядок выполнения наземного опробования ГТД .....	433
19.3.3. Подготовка ГТД к запуску .....	434
19.3.4. Запуск ТРДД .....	435
19.3.5. Прогрев, проверка систем и опробование ТРДД .....	436
19.3.6. Контроль правильности функционирования ТРДД .....	441
19.4. Оценка и регулировка параметров ТРДД с большой	
наработкой в эксплуатации .....	443
19.4.1. Общие положения .....	443
19.4.2. Построение текущей дроссельной характеристики	
по результатам наземного опробования .....	445
19.4.3. Порядок оценки и регулировки параметров ТРДД .....	448
19.4.4. Построение программы регулирования двигателя на взлётном	
режиме по результатам его наземного опробования .....	457
Контрольные вопросы .....	459
<b>ГЛАВА 20. КОНТРОЛЬ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ</b>	
<b>АВИАЦИОННЫХ ГТД ПО ПОЛЁТНОЙ ИНФОРМАЦИИ .....</b>	<b>460</b>
20.1. Бортовые системы регистрации полётной информации .....	460
20.2. Контроль технического состояния ГТД по полётной	
информации с использованием АСД «Анализ-86» .....	467
20.2.1. Общая характеристика АСД «Анализ-86» .....	467
20.2.2. Обработка полётной информации .....	468
20.2.3. Параметры и сигналы, регистрируемые в полёте .....	469
20.2.4. Признаки режимов работы ТРДД и этапов полёта .....	470
20.2.5. Задачи, решаемые АСД «Анализ-86» .....	472
20.2.6. Представление результатов решения задач .....	473
20.2.7. Анализ результатов обработки полётной информации .....	474
Контрольные вопросы .....	475
<b>ОСНОВНЫЕ ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ .....</b>	<b>477</b>
<b>СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ .....</b>	<b>494</b>

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Эксплуатация — стадия жизненного цикла изделия с момента принятия его эксплуатирующей организацией от завода-изготовителя или ремонтного предприятия, являющаяся совокупностью этапов ввода в эксплуатацию, приведения в установленную степень готовности к применению по назначению, поддержания в установленной степени готовности к нему, использования по назначению, хранения и транспортирования.

Вопросы эксплуатации авиационных газотурбинных двигателей (ГТД), основного и наиболее ответственного этапа их жизненного цикла, приобретают всё более существенное значение. Это вызвано значительным ростом ресурсов двигателей, повышением уровня параметров их термодинамического цикла при сохранении жёстких требований по безопасности полётов и надёжности. Многообразие задач, требующих решения в процессе эксплуатации, различающихся по физическим, техническим, организационным и экономическим аспектам, позволяет выделить эксплуатацию авиационных ГТД в самостоятельную инженерную дисциплину, знание которой необходимо авиационному инженеру не только на этапе эксплуатации, но и на этапах проектирования и испытаний ГТД (стендовых, лётных, экспериментальных и серийных). Актуальность изучения вопросов эксплуатации значительно увеличивается в связи с использованием в авиации в настоящее время различных типов авиационных ГТД, в том числе и зарубежных.

Настоящее пособие рассчитано на студентов, изучивших теорию и конструкцию авиационных ГТД, и направлено на то, чтобы дать учащимся сведения об эксплуатации авиационных ГТД как самостоятельной инженерной дисциплины, охватывающей следующие вопросы:

- условия эксплуатации, обусловленные использованием авиационных ГТД в качестве основной составляющей силовой установки (СУ) летательного аппарата (ЛА);
- эксплуатационные характеристики и режимы работы (установившиеся и неуставившиеся) ГТД;
- влияние разнообразных эксплуатационных факторов (в том числе свойств топлив и масел) на характеристики ГТД;
- устойчивая работа ГТД в эксплуатации;
- системы и программы автоматического регулирования ГТД;
- основные виды дефектов и неисправностей ГТД, его узлов и систем в эксплуатации;
- техническое обслуживание (ТО) ГТД в эксплуатации;
- ресурс ГТД, в том числе влияние прочности типовых деталей ГТД на безопасность полётов и нагруженности деталей и узлов ГТД в реальных условиях эксплуатации;
- оценка эквивалентной наработки ГТД в эксплуатации;
- методы эксплуатации ГТД;

- основные методы контроля технического состояния ГТД, в том числе визуальные и с помощью оптических приборов;
- методы контроля состояния масла и топлива;
- методы параметрического контроля технического состояния ГТД по наземной и полётной информации.

Методы эксплуатации авиационных ГТД и контроля их технического состояния в процессе эксплуатации рассмотрены во многих отечественных и зарубежных работах [1–6, 9, 10, 13–20, 22, 24–27, 31–33]. Однако в ряде работ эти методы приведены для конкретных типов двигателей.

В настоящее время нет ни одной книги, рассматривающей в совокупности указанные вопросы, что затрудняет изучение данной дисциплины. Автор надеется, что настоящее пособие поможет восполнить этот недостаток.

Книга состоит из шести частей.

В *первой части* книги (главы 1–3) рассмотрены условия эксплуатации авиационных ГТД.

В *первой главе* пособия дано определение силовой установки летательного аппарата, указан состав и требования к СУ, рассмотрены варианты компоновки СУ на ЛА, изложены условия использования авиационного ГТД в качестве основной и наиболее важной составляющей СУ.

Надёжная работа авиационного двигателя в эксплуатации может быть обеспечена тщательным учётом влияния разнообразных эксплуатационных факторов. В первой главе приведена классификация эксплуатационных факторов, влияющих на работу ГТД в процессе эксплуатации.

Во *второй главе* рассмотрены внешние эксплуатационные факторы, обусловленные состоянием атмосферы и условиями полёта ЛА, и их влияние на параметры авиационных ГТД.

В качестве внешних атмосферных эксплуатационных факторов рассмотрены параметры атмосферного воздуха в зависимости от высоты полета и климатических зон земного шара, параметры стандартной атмосферы.

Исследовано влияние атмосферных условий на термогазодинамические параметры ГТД.

Показано влияние таких внешних эксплуатационных факторов, как обледенение элементов ГТД и СУ, запылённость атмосферы, попадание в воздухозаборник посторонних предметов и птиц, на работоспособность ГТД. Приведены мероприятия по обеспечению работоспособности ГТД при воздействии посторонних предметов.

В *третьей главе* рассмотрено влияние эксплуатационных факторов, обусловленных особенностями работы авиационных ГТД в качестве СУ на ЛА. К этим факторам относятся: отбор мощности и воздуха от компрессора ГТД, неравномерность полей и нестационарность параметров рабочего тела, тепловое состояние ГТД и наработка ГТД в эксплуатации.

Во *второй части* (главы 4–7) рассмотрены эксплуатационные характеристики и режимы работы авиационного ГТД.

В *четвёртой главе* описаны эксплуатационные характеристики ГТД: дроссельные, высотно-скоростные и климатические. Рассмотрены вопросы

влияния атмосферных условий на дроссельные характеристики, построение универсальных дроссельных характеристик.

Указаны способы регистрации измеренных значений параметров, методы контроля достоверности результатов измерений и формулы приведения измеренных термогазодинамических параметров к стандартным атмосферным условиям. Проведён анализ методов построения дроссельной характеристики.

В *пятой главе* приведена классификация установившихся эксплуатационных режимов работы ГТД. Рассмотрены форсированные, максимальные нефорсированные, крейсерские режимы, режим малого газа, режимы реверсирования тяги, авторотации и холодной прокрутки.

Для каждого режима (или группы режимов) указано назначение и особенности использования в связи с этапами полёта ЛА, а также указан уровень основных параметров ГТД на рассматриваемом режиме.

Неустановившиеся эксплуатационные режимы работы ГТД рассмотрены в *шестой главе*. Дано определение неустановившихся переходных режимов и указаны их особенности. Подробно рассмотрены назначение и характеристики режимов приёмистости (сброса газа) и запуска, описаны физические процессы, происходящие в ГТД на неустановившихся режимах. Указано влияние условий эксплуатации на приёмистость и запуск ГТД.

Существенно важные для эксплуатации вопросы газодинамической устойчивости (ГДУ) работы компрессора ГТД рассматриваются в *седьмой главе*. Дано определение ГДУ и запаса устойчивости работы ГТД, методов количественной оценки ГДУ, проверки запаса ГДУ и определения границы устойчивости работы ГТД. Здесь же исследуется влияние различных эксплуатационных факторов на устойчивость работы компрессора.

В *третьей части* (главы 8–10) рассмотрены основные системы авиационного ГТД.

*Восьмая глава* посвящена рассмотрению систем топливо-питания авиационного ГТД. Указано назначение, функциональная схема и основные агрегаты системы топливо-питания. Рассмотрены эксплуатационные свойства и влияние характеристик топлива на основные параметры ГТД.

В *девятой главе* указано назначение, функциональная схема и основные агрегаты маслосистемы. Приведены основные сведения о трении, смазке и условиях работы авиамасел. Рассмотрены эксплуатационные свойства масел, требования к маслам и применяемые масла, проведён анализ влияния свойств масел на параметры ГТД.

В *десятой главе* рассмотрены системы и программы автоматического регулирования ГТД. Даны основные понятия и термодинамические основы теории автоматического регулирования. Указано функциональное назначение систем автоматического регулирования (САР), приведена классификация САР, описаны основные типы САР и их элементов. Рассмотрены программы регулирования ГТД исходя из функционального назначения ГТД. В качестве примера приведены программы регулирования турбореактивного двухконтурного двигателя (ТРДД) для пассажирского самолёта на основных установившихся экс-

плутационных режимах работы ГТД. Указаны графический и расчётный методы построения программ регулирования конкретных экземпляров ГТД.

В *четвёртой части* (главы 11–13) рассмотрены неисправности авиационных ГТД в эксплуатации и ресурс ГТД.

В *одиннадцатой главе* описаны основные виды дефектов и неисправностей ГТД в эксплуатации. Проведён общий анализ неисправностей ГТД на основе статистических данных по выявленным в эксплуатации дефектам и неисправностям ГТД. Подробно описаны выявляемые в эксплуатации дефекты и неисправности основных узлов и систем ГТД: компрессора, камеры сгорания, турбины, выходных устройств, систем регулирования и топливо-питания, трансмиссии, узлов опор, маслосистемы, а также повышенные вибрации и незапуск. Для каждого узла или системы ГТД рассмотрены эксплуатационные факторы, приводящие к неисправностям этого узла или системы, указаны признаки проявления, возможные причины и последствия, методы устранения неисправностей.

*Двенадцатая глава* посвящена ресурсу ГТД, в значительной степени определяющему объём и содержание работ при техническом обслуживании ГТД. Рассмотрены вопросы влияния прочности типовых деталей ГТД на безопасность полётов, нагруженности их деталей и узлов в реальных условиях эксплуатации. Дано определение понятия типового полётного цикла ГТД и указаны основные правила эксплуатации, обеспечивающие прочность деталей. Указаны виды ресурсов и порядок установления ресурса.

*Тринадцатая глава* посвящена эквивалентной наработке ГТД в эксплуатации, неразрывно связанной с его ресурсом. Дано определение эквивалентной наработки, приведён порядок расчёта выработки ресурса по эквивалентной наработке и оценки эквивалентной наработки в эксплуатации. Рассмотрено влияние условий эксплуатации на выработку ресурса.

В *пятой части* (главы 14–15) рассмотрены техническое обслуживание и методы эксплуатации авиационных ГТД.

В *четырёхнадцатой главе* рассмотрены вопросы технического обслуживания ГТД в эксплуатации. Приведены определения понятий эксплуатационной технологичности и ремонтпригодности ГТД. Указано основное содержание работ по обслуживанию и ремонту и организация ТО в эксплуатации, эксплуатационная нормативная документация и работы, выполняемые на разных формах ТО. Рассмотрены вопросы обслуживания ГТД по техническому состоянию.

В *пятнадцатой главе* описаны методы эксплуатации ГТД, включая эксплуатацию по ресурсу, эксплуатацию по техническому состоянию, эксплуатацию узлов и агрегатов ГТД по надёжности. Рассмотрены вопросы оптимизации системы эксплуатации, а также особенности эксплуатации ГТД в различных климатических условиях.

В *шестой части* (главы 16–20) рассмотрены методы контроля технического состояния авиационных ГТД в процессе эксплуатации.

В *шестнадцатой главе* описаны визуальные и инструментальные методы контроля целостности деталей и узлов авиационных ГТД. Указаны методы контроля с использованием оптических эндоскопов, методы ультразвукового и то-

Конец ознакомительного фрагмента.

Приобрести книгу можно

в интернет-магазине

«Электронный универс»

[e-Univers.ru](http://e-Univers.ru)