

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие.....	3
Условные обозначения и сокращения.....	4
Введение. Общие сведения и принцип действия транспортного газотурбинного двигателя	6
Часть 1. ТЕОРИЯ И РАСЧЕТ ЛОПАТОЧНЫХ МАШИН	
1. Основные понятия и определения.....	20
2. Основные уравнения турбомашин.....	23
2.1. Уравнение момента, мощности и удельной работы турбомашин при установившемся движении. Уравнение Эйлера.....	23
2.2. Уравнение равновесия газа в проточной части турбомашин.....	25
3. Термодинамические принципы компрессорных машин.....	29
4. Коэффициенты полезного действия компрессоров.....	36
5. Теория и расчет ступени центробежного компрессора.....	42
5.1. Схема ступени центробежного компрессора. Процесс сжатия газа в элементах, образующих ступень.....	42
5.2. Степень реактивности ступени компрессора.....	46
5.3. Течение газа на входе в рабочее колесо центробежного компрессора. Неподвижный направляющий аппарат (Н.Н.А.). Вращающийся направляющий аппарат (В.Н.А.).....	48
5.4. Рабочее колесо центробежного компрессора.....	58
5.4.1. Рабочее колесо с бесконечным числом лопаток.....	58
5.4.2. Влияние конечного числа лопаток.....	63
5.4.3. Потери в рабочем колесе центробежного компрессора.....	74
5.4.4. Выбор окружной скорости на периферийном диаметре рабочего колеса и относительного диаметра на входе в колесо.....	77
5.4.5. Выбор меридиональной составляющей скорости на выходе из рабочего колеса.....	79
5.5. Безлопаточный диффузор.....	82
5.5.1. Течение газа в безлопаточном диффузоре.....	82
5.5.2 Выбор геометрических параметров диффузора.....	86
5.5.3 Расчет потерь в безлопаточном диффузоре.....	88
5.6. Лопаточный диффузор.....	90
5.6.1 Выбор геометрических параметров и числа лопаток диффузора.....	94
5.6.2. Расчет потерь в лопаточном диффузоре.....	94
5.7. Выходные устройства центробежного компрессора.....	95
5.7.1. Радиально – осевой поворот.....	95
5.7.2. Спиральная камера.....	97
5.8 Согласование компрессора и турбины его привода. Определение частоты вращения ротора компрессора.....	101
5.9. Газодинамический расчет ступени центробежного компрессора.....	107
5.9.1. Ограничения, принимаемые при расчете.....	107
5.9.2. Исходные данные для расчета ступени.....	109

5.9.3. Расчет неподвижного направляющего аппарата (Н.Н.А.) и параметров газа на входе в рабочее колесо.....	109
5.9.4. Расчет рабочего колеса.....	113
5.9.4.1. Оценка коэффициента полезного действия рабочего колеса и коэффициента сохранения полного давления системы диффузоров.....	113
5.9.4.2. Уточнение принятого коэффициента напора компрессора.	
5.9.4.3. Расчет параметров потока газа на выходе из рабочего колеса.....	116
5.9.5. Расчет безлопаточного диффузора.....	119
5.9.6. Расчет лопаточного диффузора.....	121
5.9.7. Расчет параметров газа на выходе из компрессора.....	123
и проверка основных показателей спроектированной ступени.	
6. Теория и расчет осевого компрессора.....	125
6.1. Схема ступени осевого компрессора. Течение газа в элементах ступени.....	125
6.2. Степень реактивности и работа осевого компрессора.....	130
6.3. Геометрические и кинематические параметры решеток компрессора.....	135
6.4. Аэродинамические силы при обтекании профиля в решетке.....	136
6.5. Использование экспериментальных результатов продувок плоских решеток при проектировании осевого компрессора.....	140
6.6. Изменение параметров потока газа по высоте лопаток осевого компрессора.....	147
6.6.1. Ступень с постоянной циркуляцией.....	147
6.6.2. Ступень с постоянной степенью реактивности и постоянной работой.....	152
6.6.3. Общий случай профилирования по высоте лопаток.....	157
6.7. Расчет ступени осевого компрессора.....	162
7. Характеристики компрессоров.....	171
7.1. Характеристики в натуральных (физических) переменных.....	171
7.2. Характеристика компрессора в обобщенных переменных.....	177
7.3. Характеристики компрессора в приведенных и относительных ко- ординатах.....	181
7.4. Неустойчивые режимы компрессора.....	183
7.4.1. Модель статической устойчивости работы компрессора.....	183
7.4.2. Вращающийся срыв.....	185
7.4.3. Явление помпажа.....	187
8. Регулирование компрессоров.....	190
8.1. Дросселирование на нагнетании.....	191
8.2. Дросселирование на всасывании.....	192
8.3. Регулирование изменением частоты вращения.....	195

8.4. Регулирование поворотом лопаток неподвижного направляющего аппарата (Н.Н.А.).....	196
8.5. Регулирование поворотом лопаток диффузора.....	198
9. Теория и расчет ступени турбины.....	200
9.1. Схема ступени осевой турбины. Изменение параметров газа в элементах ступени.....	200
9.2. Термодинамический процесс расширения газа в ступени турбины.....	206
9.3. Степень реактивности турбины.....	213
9.4. Коэффициенты полезного действия турбин.....	215
9.5. Расчет потерь, связанных с диссипацией энергии в сопловом аппарате и в рабочем колесе ступени турбины.....	221
9.6. Влияние различных параметров на коэффициент полезного действия турбины. Выбор расчетных параметров при проектировании ступни.....	223
9.7. Особенности выбора расчетных параметров центростремительной турбины.....	233
9.8. Изменение параметров газа по высоте лопатки осевой турбины.....	242
9.8.1. Степень осевой турбины при постоянной циркуляции скорости.	245
9.8.2. Степень осевой турбины с постоянным углом вектора скорости на выходе из соплового аппарата	247
9.9. Выбор основных геометрических характеристик решеток профилей и расчет потерь в ступени турбины.....	253
9.9.1. Расчет потерь в ступени осевой турбины.....	254
9.9.1.1. Профильные потери.....	254
9.9.1.1.1. Потери на трение.....	254
9.9.1.1.2. Кромочные потери.....	257
9.9.1.1.3. Влияние режима обтекания решеток профилей на профильные потери.....	258
9.9.1.1.4. Влияние угла атаки.....	260
9.9.1.1.5. Учет влияния шероховатости поверхностей лопаток.....	262
9.9.1.2. Концевые потери.....	262
9.9.1.2.1. Вторичные потери.....	262
9.9.1.2.2. Потери в радиальном зазоре.....	264
9.9.1.3. Дополнительные потери.....	265
9.9.1.3.1. Потери от парциальности турбины.....	265
9.9.1.3.2. Потери от трения диска.....	267
9.9.2 Расчет потерь в ступени радиальной турбины.....	267
9.9.2.1. Профильные потери.....	267
9.9.2.1.1. Потери на трение.....	267

9.9. 2.1.2. Кромочные потери.....	270
9.9.2.1.3. Влияние режима обтекания решеток на профильные потери.....	270
9.9.2.1.4. Влияние угла атаки.....	270
9.9.2.1.5. Учет влияния шероховатости поверхности лопаток.....	271
9.9.2.2. Концевые потери.....	272
9.9.2.2.1. Вторичные потери.....	272
9.9.2.2.2. Потери в радиальном зазоре.....	272
9.9.2.3. Дополнительные потери.....	273
9.9.2.3.1. Потери от парциальности турбины.....	273
9.9.2.3.2. Потери от трения диска.....	273
9.9.2.4. Расчет потерь в комбинированном сопловом аппарате центростремительной турбины.....	274
9.9.2.5. Расчет потерь в безлопаточном направляющем аппарате центростремительной турбины.....	276
9.9.2.6. Расчет потерь в затурбинном диффузоре.....	279
9.10. Газодинамический расчет ступени турбины.....	280
9.10.1. Исходные данные для расчета турбины.....	280
9.10.2 Расчет турбины по среднему диаметру.....	281
9.11. Особенности расчета охлаждаемой турбины.....	292
9.12. Характеристики турбин.....	297
9.12.1. Характеристика мощности и крутящего момента турбины.....	298
9.12.2. Характеристики турбины в обобщенных переменных.....	302
9.12.3. Универсальные характеристики турбин.....	306
9.12.4. Характеристики турбины с регулируемым сопловым аппаратом.....	307
Приложения к 1 части.....	310
Приложение 1. Пример расчета ступени центробежного компрессора.....	310
Приложение 2. Пример расчета ступени осевой тяговой турбины с диффу- зором для АГТД.....	322

часть 2. ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ ЦИКЛЫ ТРАНСПОРТНЫХ ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ.

СХЕМЫ И ХАРАКТЕРИСТИКИ АВТОТРАКТОРНЫХ ГТД.

10. Показатели, характеризующие циклы ГТД.....	336
11. Идеальный цикл простейшего ГТД с подводом тепла при постоянном давлении.....	338
12. Цикл простейшего ГТД с учетом потерь в компрессоре и турбине.....	347
13. Учет различных факторов, влияющих на показатели действительных циклов ГТД.....	355
13.1. Учет изменения теплоемкости рабочего тела.....	356
13.2. Учет изменения массы рабочего тела в проточной части ГТД.....	358
13.3. Коэффициент, учитывающий добавку топлива.....	359

13.4. Коэффициент выделения тепла в камере сгорания.....	360
13.5. Расчет относительного расхода топлива.....	360
13.6. Эффективная работа и эффективный к.п.д. двигателя.....	361
14. Цикл ГТД с внешней регенерацией тепла.....	362
15. Циклы с изотермическим сжатием и расширением.....	373
16. Циклы со ступенчатым сжатием, расширением и промежуточным охлаждением или подводом тепла.....	381
17. Схемы и характеристики автотракторных ГТД.....	387
17.1. Виды характеристик автотракторных ГТД.....	387
17.2. Характеристики двухвального ГТД со свободной силовой турбиной.....	388
17.2.1. Скоростные характеристики двухвального ГТД.....	388
17.2.2. Нагрузочные характеристики двухвального ГТД.....	392
17.2.2.1. Нагрузочные характеристики при постоянной частоте вращения тяговой турбины.....	392
17.2.2.2. Оптимальные нагрузочные характеристики.....	392
17.2.3. Характеристики двухвального ГТД с регулируемым проходным сечением проточной части.....	393
17.2.4. Характеристики двухвального ГТД со свободной силовой турбиной, расположенной перед турбиной привода компрессора.....	398
17.3. Характеристики одновального ГТД.....	400
17.4. Характеристики ГТД сложного цикла.....	404
17.5. Климатические характеристики транспортных ГТД.....	408
18. Выбор основных параметров и расчет цикла двухвального транспортного ГТД.....	415
18.1. Оптимизация параметров цикла ГТД.....	415
18.2. Режимы работы автотракторных двигателей.....	419
18.3. Выбор основных параметров ГТД на номинальном режиме работы.....	420
18.4. Последовательность вариантных расчетов цикла ГТД.....	422
18.4.1. Исходные данные, задаваемые для расчета.....	422
18.4.2. Методика вариантных расчетов цикла двухвального ГТД.....	424
18.5. Тепловой расчет ГТД на заданные параметры.....	428
18.5.1. Исходные данные для выполнения теплового расчета ГТД.....	429
18.5.2. Последовательность теплового расчета ГТД.....	431
Приложение к 2 части. Пример расчета цикла двухвального ГТД с регенерацией тепла.....	437
Список использованных источников.....	441