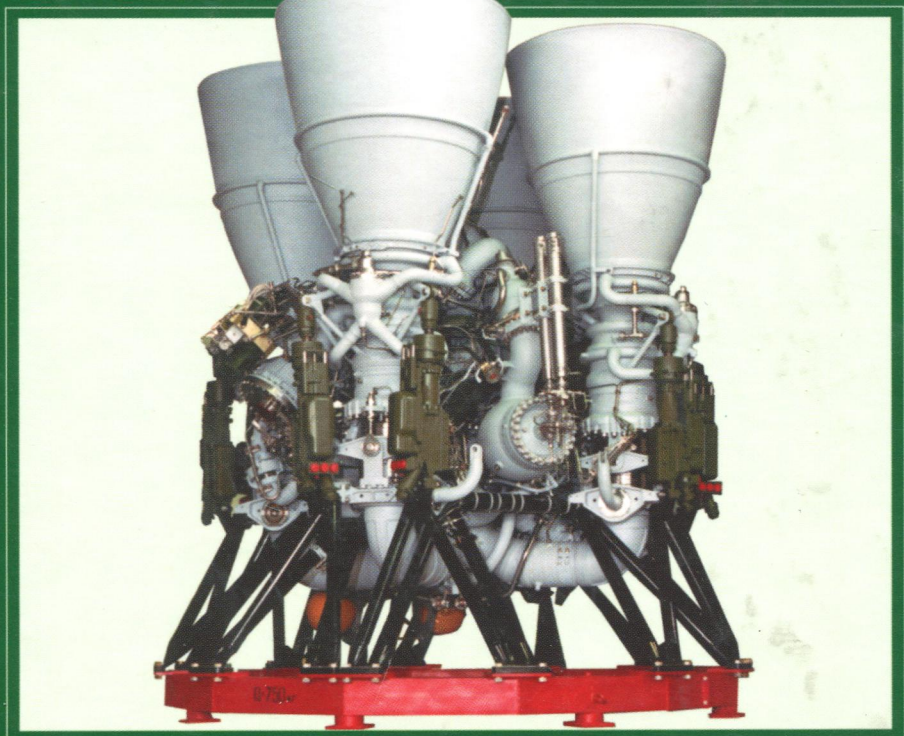


А.А.Дорофеев

Основы теории тепловых ракетных двигателей



Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана

А.А. Дорофеев

Основы теории тепловых ракетных двигателей

Теория, расчет и проектирование

Издание 3-е, переработанное и дополненное

*Рекомендовано Учебно-методическим объединением вузов
по университетскому политехническому образованию
в качестве учебника для студентов высших учебных заведений,
обучающихся по направлению подготовки бакалавров
и магистров 160400.62.68 «Ракетные комплексы
и космонавтика» и инженеров по специальности 160700.65
«Проектирование авиационных и ракетных двигателей»*

Москва
Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана
2014

УДК 621.455(075.8)

ББК 39.65

Д69

Рецензенты:

кафедра «Ракетные двигатели» Московского авиационного института (национального исследовательского университета) (зам. зав. кафедрой канд. техн. наук, проф. *А.И. Коломенцев*); советник президента Ракетно-космической корпорации «Энергия» им. С.П. Королева д-р техн. наук, проф. *Б.А. Соколов*

Дорофеев А. А.

Д69 Основы теории тепловых ракетных двигателей. Теория, расчет и проектирование : учебник / А. А. Дорофеев. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2014. – 571, [5] с. : ил.

ISBN 978-5-7038-3746-7

Содержание учебника, состоящего из трех частей, соответствует курсу лекций, которые автор читает в МГТУ им. Н.Э. Баумана. В ч. I представлены общие основы и понятийный аппарат теории идеальных тепловых ракетных двигателей, а также их классификация.

В ч. II изложены физико-химические механизмы реальных рабочих процессов, протекающих в тепловых ракетных двигателях, и методики количественной оценки их влияния на выходные параметры двигателя при отличии этих процессов от идеальных. Приведены методики решения задач термодинамического расчета состава продуктов сгорания и изменения их параметров при движении по соплу как химически активного потока. В ч. III представлены методические указания и полный комплект контрольно-измерительных материалов по блочно-модульным образовательным технологиям.

Для студентов технических вузов авиационного и ракетного профилей в качестве пропедевтического курса программ подготовки дипломированных инженеров, магистров и бакалавров, также может представлять интерес для инженерно-технических работников в области проектирования и эксплуатации ракетной техники.

УДК 621.455(075.8)

ББК 39.65

В оформлении обложки использовано фото жидкостного ракетного двигателя с дожиганием генераторного газа РД170 разработки НПО «Энергомаш» им. академика В.П. Глушко

© Дорофеев А.А., 1999

© Дорофеев А.А., 2014, с изменениями

© Оформление. Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2013

ISBN 978-5-7038-3746-7

Оглавление

Предисловие к первому изданию	6
От автора (ко второму изданию)	9
Предисловие к третьему изданию	13
Основные условные обозначения	15
Сокращения	19
Введение	20
Часть I. Теория идеального теплового ракетного двигателя . . .	23
<i>Глава 1.</i> Введение в дисциплину. Терминология. Виды ракетных двигателей	25
<i>Глава 2.</i> Тяга ракетного двигателя	38
<i>Глава 3.</i> Основы теории сверхзвукового сопла	50
<i>Глава 4.</i> Режимы работы сверхзвукового сопла. Дроссельные (расходные) характеристики идеального ракетного двигателя	59
<i>Глава 5.</i> Высотная характеристика ракетного двигателя.	69
<i>Глава 6.</i> Усилия, действующие на проточную часть ракетного двигателя	79
<i>Глава 7.</i> Составляющие тяги. Место приложения тяги ракетного двигателя	91
<i>Глава 8.</i> Дроссельные характеристики двигательной установки, состоящей из нескольких идентичных автономных ЖРД, при синхронном и последовательном дросселировании камер	100
<i>Глава 9.</i> Элементы внутренней баллистики РДТТ и твердотопливных газогенераторов. Совместная работа камеры сгорания и сопла.	107
<i>Глава 10.</i> Идеальный ядерный ракетный двигатель	121
<i>Глава 11.</i> Ракетный двигатель со скоростной камерой сгорания. Полутепловое сопло	129
<i>Глава 12.</i> Камера сгорания ракетного двигателя с распределенным подводом рабочего тела. Полурасходное сопло	139
<i>Глава 13.</i> Классификация ракетных двигателей. Из истории ракетных двигателей.	154
Часть II. Теория неидеального теплового ракетного двигателя	167
<i>Глава 14.</i> Основные различия между реальными рабочими процессами и их идеальным представлением в теории ракетного двигателя	169

Глава 15. Система коэффициентов учета потерь в ракетном двигателе. Удельный импульс камеры ракетного двигателя и двигательной установки	177
Глава 16. Химические реакции и понятие о равновесном составе гетерогенной смеси. Основы термодинамического расчета. . .	192
Глава 17. Термодинамический расчет. Запись закона сохранения массы вещества через элементный состав топлива и парциальные давления компонентов продуктов сгорания . . .	212
Глава 18. Закон сохранения энергии в системе уравнений термодинамического расчета	223
Глава 19. Система уравнений термодинамического расчета с использованием констант равновесия	243
Глава 20. Принцип максимума энтропии и его использование при термодинамическом расчете	251
Глава 21. Модели течения в соплах. Термодинамический расчет состава продуктов сгорания в произвольном сечении сопла. . .	270
Глава 22. Влияние давления в камере сгорания и степени расширения рабочего тела в сопле на термодинамические характеристики продуктов сгорания типовых ракетных топлив. . . .	286
Глава 23. Термодинамический расчет термодинамического разложения гидразина и водных растворов пероксида водорода . . .	301
Глава 24. Особенности и результаты термодинамического расчета при большом различии между соотношением компонентов и их стехиометрическим соотношением. Задача балластировки	314
Глава 25. Камеры сгорания, их параметры и оценка совершенства рабочих процессов	328
Глава 26. Сопла ракетных двигателей. Понятия, термины и определения. Потери в соплах	346
Глава 27. Расчет потерь в соплах ракетных двигателей	350
Глава 28. Профилирование сопел. Задачи выбора профиля сопла . .	384
Глава 29. Работа сопел на режимах перерасширения при больших степенях нерасчетности. Дроссельные (расходные) и высотные характеристики ракетных двигателей	400
Глава 30. Штыревое сопло: основы профилирования и особенности работы при переменном давлении окружающей среды . . .	413
Глава 31. Тарельчатое сопло: основы профилирования и особенности работы при переменном давлении окружающей среды . . .	427
Глава 32. Состояние и перспективы развития теории ракетных двигателей.	433

Часть III. Методические указания и контрольно-измерительные материалы	443
1. Методические указания.	445
1.1. Дидактические функции учебной дисциплины и их отражение в учебнике.	446
1.2. Особенности методик изложения материала, его преподавания и изучения	450
1.3. Состав контрольно-измерительных материалов и курсовых заданий	456
2. Контрольно-измерительные материалы к части I	463
2.1. Рубежный контроль 1	463
2.2. Рубежный контроль 2	469
3.3. Вопросы к зачету по части I	476
3. Контрольно-измерительные материалы к части II.	485
3.1. Рубежный контроль 3	485
3.2. Рубежный контроль 4	501
3.3. Вопросы к зачету по части II	515
4. Примерное содержание курсового домашнего задания.	534
5. Примерное содержание курсового проекта	537
6. Вопросы экзаменационных билетов.	542
7. Примеры к разделу «Термодинамические расчеты».	545
8. Контрольные вопросы к защите лабораторных работ по курсу «Общая теория ракетных двигателей».	548
Лабораторная работа № 1 «Изучение лабораторного комплекса. Запуск стендовой жидкостной ракетной двигательной установки (ЖРДУ)»	548
Лабораторная работа № 2 «Исследование влияния соотношения компонентов топлива на основные показатели характеристики ракетного двигателя»	549
Лабораторная работа № 3 «Экспериментальное определение дроссельной характеристики ЖРД».	551
Лабораторная работа № 4 «Работа сопла Лаваля при больших степенях перерасширения»	552
9. Типовые вопросы к защите курсового проекта	554
Литература	559
Электронные источники информации	561
Предметный указатель	562
Именной указатель	569
<i>Приложение 1. Параметры стандартной атмосферы по ГОСТ 4401-81</i>	572
<i>Приложение 2. Параметры экстремального контура сопла.</i>	573