

# МАШИНОСТРОЕНИЕ

## ЭНЦИКЛОПЕДИЯ

### MECHANICAL ENGINEERING

#### Encyclopedia

Главный редактор академик РАН

**К.В. Фролов**

Книга 1





УДК 621.01/03  
ББК 34.44  
М 38

**Авторы:** Аджян А.П., Аким Э.Л., Алифанов О.М., Андреев А.Н., Антонов В.Ф., Аншаков Г.П., Архангельский В.И., Асюшкин В.А., Ахметов Р.Н., Баранов А.А., Безвербый В.К., Белицкий Д.С., Белоногов О.Б., Белошенко Б.Г., Белошицкий А.В., Богушев В.Ю., Бодин Б.В., Борзых С.В., Буканов В.Т., Вахниченко В.В., Веселов В.Н., Веселов М.В., Вязов С.М., Герасимов Ю.И., Голиков А.Р., Горбенко А.В., Громько Б.М., Гущин В.Н., Дементьев В.К., Денисов К.П., Душин В.К., Дядькин А.А., Жарков М.Н., Жирников Б.Л., Заборский С.А., Задонский С.М., Заславский Г.С., Золотов А.А., Ивашкин В.В., Ишин С.В., Кадашевич А.С., Казаков М.И., Каменский С.Д., Каналин Ю.И., Капитонов В.А., Карраск В.К., Каторгин Б.И., Кашкарев А.М., Кириллин А.Н., Клепиков И.А., Козлов Д.И., Кокушкин В.В., Конюхов С.Н., Костромин С.Ф., Кошелев И.М., Крылов А.Н., Кузнецов Н.В., Лебедев В.И., Лебедев Г.В., Либерман В.В., Матвеев Е.М., Матвеев Ю.А., Межирицкий Е.Л., Мишин В.В., Мишин В.П., Мишина Л.В., Моисеев А.А., Морозов В.В., Назаренко А.И., Нестеров В.Е., Никитин Н.Д., Новиков В.Н., Овчинников М.Ю., Панасюк М.И., Панкратов Б.М., Петров Н.К., Петроковский С.А., Половнев А.Л., Полушин В.Г., Попов К.К., Разумный Ю.Н., Решетин А.Г., Ровинский Д.Д., Рыбак С.П., Сафронов А.В., Симакова Т.В., Сихарулидзе Ю.Г., Старков В.К., Степаньянц В.А., Стернин Л.Е., Сытин О.Г., Тесленко Н.М., Токарев В.А., Улыбышев Ю.П., Уманский А.П., Федоров В.В., Фомин Г.Е., Хаспеков В.Г., Хотулев В.А., Хохулин В.С., Хренов И.И., Цветова А.В., Чайкина Л.В., Чванов В.К., Чернов А.А., Шатров Я.Т., Швед Т.Н., Шилов Л.А., Шувалова Т.В.

**Машиностроение. Энциклопедия.** Ред совет: К.В. Фролов (пред.) и др. — М38 М.: Машиностроение. **Ракетно-космическая техника.** Т. IV-22 / А.П. Аджян, Э.Л. Аким, О.М. Алифанов и др.; под ред. В.П. Легостаева. В 2 кн. Кн. 1. 2012, 925 с.

ISBN 978-5-94275-589-8 (т. IV-22, кн. 1)  
ISBN 5-217-01949-2

Изложены физические условия космического полета, основы механики полета, аэродинамика ракет-носителей, классификация ракетно-космических аппаратов и особенности ракетно-космического машиностроения, вопросы проектирования ракет-носителей и баллистических ракет. Приведены средства выведения, жидкостные ракетные двигатели для ракет-носителей и их стендовые испытания, системы ракет-носителей.

Для инженерно-технических работников и специалистов ракетно-космической и авиационной промышленности, а также полезна студентам и преподавателям вузов.

УДК 621.01/03  
ББК 34.44

ISBN 978-5-94275-589-8 (т. IV-22, кн. 1)  
ISBN 5-217-01949-2

© ООО «Издательство Машиностроение», 2012

Перепечатка, все виды копирования и воспроизведения материалов, опубликованных в данной книге, допускаются только с разрешения издательства и со ссылкой на источник информации.



# ОГЛАВЛЕНИЕ

<p><b>ПРЕДИСЛОВИЕ К ТОМУ</b> (<i>В.П. Легостаев</i>) . . . 11</p> <p><b>СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ СОКРАЩЕНИЙ</b> . . . . . 13</p> <p><b>Раздел 1. ФИЗИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ КОСМИЧЕСКОГО ПОЛЕТА</b> (<i>под ред. Э.Л. Акима</i>) . . . . . 15</p> <p><b>Глава 1.1. Время и системы координат</b> (<i>В.А. Степаньянц</i>) . . . . . 15</p> <p>1.1.1. Время . . . . . 15</p> <p>1.1.2. Системы координат . . . . . 18</p> <p>1.1.3. Преобразования между системами координат . . . . . 20</p> <p>Список литературы . . . . . 26</p> <p><b>Глава 1.2. Солнечная система</b> (<i>М.А. Вашковьяк</i>) . . . . . 27</p> <p>1.2.1. Солнце . . . . . 27</p> <p>1.2.2. Планеты . . . . . 27</p> <p>1.2.3. Спутники и кольца планет . . . . . 28</p> <p>1.2.4. Астероиды и карликовые планеты . . . . . 29</p> <p>1.2.5. Объекты пояса Койпера. Кометы . . . . . 29</p> <p>Список литературы . . . . . 30</p> <p><b>Глава 1.3. Физические особенности Земли</b> (<i>Ю.Г. Сихарулидзе</i>) . . . . . 30</p> <p>1.3.1. Гравитационное поле и фигура Земли (<i>Степаньянц В.А.</i>) . . . . . 30</p> <p>Список литературы . . . . . 33</p> <p>1.3.2. Атмосфера Земли (<i>Ю.Г. Сихарулидзе</i>) . . . . . 33</p> <p>1.3.3. Магнитное поле Земли (<i>М.Ю. Овчинников</i>) . . . . . 36</p> <p>Список литературы . . . . . 40</p> <p>1.3.4. Корпускулярная радиация в околоземном космическом пространстве (<i>Н.В. Кузнецов, М.И. Панасюк</i>) . . . . . 40</p> <p>Список литературы . . . . . 46</p> <p>1.3.5. Космический мусор и его характеристики (<i>А.И. Назаренко</i>) . . . . . 46</p> <p>Список литературы . . . . . 51</p> <p><b>Раздел 2. МЕХАНИКА ПОЛЕТА</b> (<i>под ред. Ю.П. Улыбышева</i>) . . . . . 53</p> <p><b>Глава 2.1. Динамика полета ракет-носителей</b> (<i>С.А. Заборский</i>) . . . . . 53</p> <p>2.1.1. Способы выведения космических аппаратов на орбиту . . . . . 53</p> <p>2.1.2. Уравнения движения многоступенчатых ракет-носителей . . . . . 53</p> <p>2.1.3. Принципы выбора траекторий и их оптимизации . . . . . 56</p> <p>Список литературы . . . . . 59</p> <p><b>Глава 2.2. Орбитальное движение</b> (<i>под ред. М.А. Вашковьяка</i>) . . . . . 59</p> <p>2.2.1. Невозмущенное орбитальное движение (<i>Н.М. Тесленко</i>) . . . . . 59</p> <p>2.2.1.1. Задача двух тел (<i>Н.М. Тесленко</i>) . . . . . 59</p>	<p>2.2.1.2. Интегралы и уравнение Кеплера (<i>Н.М. Тесленко</i>) . . . . . 60</p> <p>Список литературы . . . . . 62</p> <p>2.2.1.3. Орбитальные элементы (<i>А.Р. Голиков</i>) . . . . . 62</p> <p>2.2.1.4. Определение орбит в задаче двух тел (<i>А.Р. Голиков</i>) . . . . . 64</p> <p>2.2.2. Возмущенное орбитальное движение (<i>М.А. Вашковьяк</i>) . . . . . 67</p> <p>2.2.2.1. Методы теории возмущений. Оскулирующие элементы орбиты (<i>М.А. Вашковьяк</i>) . . . . . 67</p> <p>2.2.2.2. Влияние сжатия и атмосферы Земли на движение ИСЗ (<i>М.А. Вашковьяк</i>) . . . . . 70</p> <p>2.2.2.3. Баллистические модели движения ИСЗ (<i>А.Р. Голиков</i>) . . . . . 73</p> <p>Список литературы . . . . . 76</p> <p>2.2.3. Относительное движение и сближение ИСЗ (<i>О.Г. Сытин</i>) . . . . . 76</p> <p>Список литературы . . . . . 83</p> <p>2.2.4. Баллистические условия полета КА (<i>Ю.П. Улыбышев</i>) . . . . . 83</p> <p>2.2.5. Особые орбиты искусственных спутников Земли (<i>Ю.П. Улыбышев</i>) . . . . . 92</p> <p>2.2.5.1. Геостационарные орбиты (<i>Ю.П. Улыбышев</i>) . . . . . 92</p> <p>2.2.5.2. Орбиты с повторяющимися трассами (<i>Ю.П. Улыбышев</i>) . . . . . 95</p> <p>2.2.5.3. Солнечно-синхронные орбиты (<i>А.А. Чернов</i>) . . . . . 96</p> <p>2.2.5.4. Круговые кратные солнечно-синхронные орбиты (<i>А.А. Чернов</i>) . . . . . 101</p> <p>2.2.5.5. Околокруговые орбиты со стабильным высотным профилем (<i>Ю.П. Улыбышев</i>) . . . . . 108</p> <p>2.2.5.6. Критическое наклонение и орбиты типа «Молния» (<i>Ю.П. Улыбышев</i>) . . . . . 109</p> <p>Список литературы . . . . . 110</p> <p><b>Глава 2.3. Межорбитальные перелеты космических аппаратов</b> (<i>под ред. В.В. Ивашкина</i>) . . . . . 111</p> <p>2.3.1. Понятие космического перелета. Перелет с конечной тягой, импульсный перелет (<i>В.В. Ивашкин</i>) . . . . . 111</p> <p>Список литературы . . . . . 113</p> <p>2.3.2. Реактивная сила. Формула Циолковского (<i>В.В. Ивашкин</i>) . . . . . 113</p> <p>Список литературы . . . . . 116</p> <p>2.3.3. Уравнения движения управляемого перелета космического аппарата (<i>В.В. Ивашкин</i>) . . . . . 116</p> <p>Список литературы . . . . . 118</p> <p>2.3.4. Необходимые условия оптимальности перелета (<i>В.В. Ивашкин</i>) . . . . . 118</p> <p>Список литературы . . . . . 121</p>
---	--



2.3.5. Случай центрального ньютоновского гравитационного поля (В.В. Ивашкин) . . . . .	122	2.5.3.4. Некоторые закономерности оптимальных решений . . . . .	209
Список литературы . . . . .	124	Список литературы . . . . .	215
2.3.6. Некоторые импульсные перелеты (В.В. Ивашкин) . . . . .	125	2.5.4. Спутниковые системы непрерывного локального обзора на эллиптических орбитах (Ю.Н. Разумный) . . . . .	216
Список литературы . . . . .	141	Список литературы . . . . .	219
2.3.7. Перелеты между околокруговыми орбитами (А.А. Баранов) . . . . .	141	2.5.5. Управление спутниковыми системами на круговых орбитах (Ю.П. Улыбышев) . . . . .	219
Список литературы . . . . .	151	Список литературы . . . . .	224
2.3.8. Оптимальные перелеты с конечной тягой (В.В. Ивашкин) . . . . .	151	<b>Глава 2.6. Лунные и межпланетные траектории (под ред. Г.С. Заславского) . . . . .</b>	<b>225</b>
Список литературы . . . . .	155	2.6.1. Лунные траектории космических аппаратов (В.В. Ивашкин) . . . . .	225
<b>Глава 2.4. Управление и поддержание орбит космических аппаратов (под ред. Ю.П. Улыбышева) . . . . .</b>	<b>155</b>	Список литературы . . . . .	237
2.4.1. Управление геостационарной орбитой (Ю.П. Улыбышев) . . . . .	155	2.6.2. Траектории полета к планетам, астероидам, кометам (Г.С. Заславский) . . . . .	239
2.4.2. Поддержание высокоэллиптических орбит (Ю.П. Улыбышев) . . . . .	160	Список литературы . . . . .	253
Список литературы . . . . .	165	<b>Раздел 3. АЭРОГАЗОДИНАМИКА РАКЕТ-НОСИТЕЛЕЙ (под ред. А.А. Дядькина) . . . . .</b>	<b>255</b>
2.4.3. Поддержание высотного профиля полета Международной космической станции (Л.В. Чайкина) . . . . .	166	<b>Глава 3.1. Типы (классификация) аэродинамических компоновок (А.А. Дядькин) . . . . .</b>	<b>255</b>
2.4.4. Поддержание солнечной синхронности круговой орбиты (А.А. Чернов) . . . . .	168	3.1.1. Моноблочные компоновки ракет-носителей . . . . .	255
2.4.5. Поддержание стабильности местного времени прохождения восходящего узла круговой ССО (А.А. Чернов) . . . . .	170	3.1.2. Многоблочные компоновки с поперечным делением ступеней . . . . .	255
2.4.6. Управление высотой и трассой низкой круговой орбиты (А.А. Чернов) . . . . .	173	3.1.3. Многоблочные компоновки с продольным разделением ступеней . . . . .	256
2.4.7. Разведение спутников на круговой орбите (А.А. Чернов) . . . . .	177	3.1.4. Многоблочные компоновки с продольным делением ступеней и навесными полезными грузами . . . . .	257
Список литературы . . . . .	180	3.1.5. Выступающие и отделяемые элементы конструкции . . . . .	257
<b>Глава 2.5. Спутниковые системы (под ред. Ю.Н. Разумного) . . . . .</b>	<b>180</b>	Список литературы . . . . .	257
2.5.1. Спутниковые системы и их баллистическое проектирование (Ю.Н. Разумный) . . . . .	180	<b>Глава 3.2. Исследования аэрогазодинамики в процессе создания ракет-носителей (А.А. Дядькин) . . . . .</b>	<b>258</b>
2.5.2. Спутниковые системы непрерывного зонального обзора на круговых орбитах (Ю.Н. Разумный) . . . . .	184	Список литературы . . . . .	260
2.5.2.1. Спутниковые системы на основе полос непрерывного обзора (Ю.П. Улыбышев) . . . . .	185	<b>Глава 3.3. Методы определения аэрогазодинамических характеристик . . . . .</b>	<b>261</b>
Список литературы . . . . .	192	3.3.1. Экспериментальные методы исследований (А.А. Дядькин) . . . . .	261
2.5.2.2. Кинематически правильные спутниковые системы (Ю.Н. Разумный) . . . . .	192	Список литературы . . . . .	276
Список литературы . . . . .	197	3.3.2. Инженерные методы расчета аэродинамических характеристик ракет (Т.В. Симакова) . . . . .	276
2.5.3. Спутниковые системы периодического зонального обзора на круговых орбитах (Ю.Н. Разумный) . . . . .	198	3.3.3. Аналоговые испытания (А.В. Белошицкий, Т.Н. Швед) . . . . .	283
2.5.3.1. Предпосылки создания современной теории периодического обзора . . . . .	198	Список литературы . . . . .	289
Список литературы . . . . .	201	3.3.4. Численные методы расчета аэродинамических характеристик ракет (А.А. Дядькин, Т.В. Симакова) . . . . .	289
2.5.3.2. Регулярные спутниковые системы . . . . .	202	<b>Глава 3.4. Аэрогазодинамика моно- и многоблочных ракет-носителей с поперечным делением ступеней . . . . .</b>	<b>293</b>
Список литературы . . . . .	205	3.4.1. Ветровое воздействие на ракету при старте и транспортировании. Влияние стартовых сооружений и транспортировочных агрегатов (А.А. Дядькин) . . . . .	294
2.5.3.3. Элементы маршрутной теории оптимизации спутниковых систем периодического обзора . . . . .	205	Список литературы . . . . .	299
Список литературы . . . . .	208		



3.4.2. Ветровые нагрузки вблизи земли (Б.Л. Жирников, С.М. Задонский) . . . . .	299
3.4.3. Местные нагрузки при обтекании стационарным потоком (Б.Л. Жирников, С.М. Задонский) . . . . .	302
3.4.4. Распределенные аэродинамические нагрузки (Б.Л. Жирников, С.М. Задонский) . . . . .	305
3.4.5. Статическая устойчивость (Б.Л. Жирников, С.М. Задонский) . . . . .	311
3.4.6. Аэродинамические характеристики стабилизирующих устройств (Б.Л. Жирников, С.М. Задонский) . . . . .	313
3.4.7. Аэродинамические характеристики управляющих устройств (Б.Л. Жирников, С.М. Задонский) . . . . .	316
3.4.8. Разделение ступеней ракет (Б.Л. Жирников, С.М. Задонский) . . . . .	318
3.4.9. Круговые аэродинамические характеристики тел вращения (Б.Л. Жирников, С.М. Задонский) . . . . .	322
Список литературы . . . . .	327
3.4.10. Аэродинамические характеристики цилиндрических и конических оболочек при круговом обтекании (Б.Л. Жирников, С.М. Задонский) . . . . .	327
Список литературы . . . . .	329
3.4.11. Аэродинамическое воздействие на полезный груз в процессе отделения створок головных обтекателей (А.В. Белошицкий, А.Н. Крылов, В.А. Токарев) . . . . .	329
3.4.12. Аэродинамика отделяемых ступеней и элементов конструкции. Зоны падения (отчуждения) (Н.Д. Никитин) . . . . .	333
Список литературы . . . . .	335
<b>Глава 3.5. Аэрогазодинамика многоблочных ракет-носителей . . . . .</b>	<b>335</b>
3.5.1. Особенности аэродинамики многоблочных ракет. Влияние интерференции на аэродинамические характеристики (А.А. Дядькин) . . . . .	338
3.5.2. Вопросы моделирования обтекания многоблочных ракет в аэродинамических трубах (А.А. Дядькин) . . . . .	344
3.5.3. Влияние струй двигателей на аэродинамические характеристики (А.А. Дядькин) . . . . .	349
3.5.4. Аэродинамическое нагружение выступающих элементов конструкции. Методы снижения нагрузок (А.А. Дядькин) . . . . .	351
3.5.5. Аэродинамические характеристики блоков многоблочных ракет в процессе их отделения (А.А. Дядькин, Т.В. Симакова) . . . . .	355
3.5.6. Особенности оптимизации аэродинамической компоновки (А.А. Дядькин) . . . . .	357
Список литературы . . . . .	370
<b>Глава 3.6. Дренаживание негерметичных отсеков и элементов конструкции ракет-носителей на участке выведения и при авиатранспортировании . . . . .</b>	<b>370</b>
3.6.1. Задачи дренаживания отсеков и элементов конструкции. Внешние условия при авиатранспортировании и на участке выведения ракет-носителей (А.А. Дядькин) . . . . .	370
3.6.2. Методика расчета стравливания газа из отсеков. Рекомендации по выбору дренажных устройств (В.И. Лебедев, М.И. Казаков) . . . . .	375
3.6.3. Технология испытаний в наземных условиях систем дренаживания, функционирующих на участке выведения. Автономные и комплексные испытания (А.А. Дядькин, В.И. Лебедев, М.И. Казаков) . . . . .	377
3.6.4. Дренаживание элементов конструкции (В.И. Лебедев) . . . . .	381
3.6.5. Авиационное транспортирование (В.И. Лебедев) . . . . .	381
Список литературы . . . . .	384
<b>Глава 3.7. Термостатирование отсеков ракет при наземной подготовке . . . . .</b>	<b>384</b>
3.7.1. Задачи термостатирования. Ограничения. Методы решения (А.А. Дядькин, О.В. Кожевникова) . . . . .	384
3.7.2. Выбор конфигурации выходных устройств системы подачи термостатирующего воздуха (Т.В. Симакова) . . . . .	386
Список литературы . . . . .	388
<b>Глава 3.8. Газодинамика старта ракет-носителей (Б.Г. Белошенко, М.В. Веселов, В.А. Хотулев, Л.А. Шилов, А.В. Сафронов, Т.В. Шувалова) . . . . .</b>	<b>389</b>
3.8.1. Виды воздействий на РН при старте и их отличие от полетных (Б.Г. Белошенко, В.А. Хотулев) . . . . .	389
3.8.2. Классификация пусковых установок по их конструктивным схемам (Б.Г. Белошенко, М.В. Веселов, В.А. Хотулев, Л.А. Шилов) . . . . .	390
Список литературы . . . . .	395
3.8.3. Газодинамические условия старта РН с многосопловыми двигателями (М.В. Веселов, В.А. Хотулев, Л.А. Шилов) . . . . .	396
Список литературы . . . . .	403
3.8.4. Особенности тепловых процессов при старте (А.В. Сафронов, Т.В. Шувалова) . . . . .	404
Список литературы . . . . .	406
<b>Глава 3.9. Использование методов динамики разреженного газа для решения вопросов проектирования и эксплуатации космических аппаратов . . . . .</b>	<b>407</b>
3.9.1. Методы расчета аэродинамических характеристик в свободно-молекулярном и переходном режимах для орбитального участка полета космических аппаратов (А.Н. Крылов, Л.В. Мишина) . . . . .	407



3.9.2. Особенности газодинамического воздействия струй газовых двигателей малой тяги на элементы конструкций применительно к геостационарным спутникам (Л.В. Мишина) . . . . .	409	3.14.4. Акустические воздействия на космические аппараты при наземной подготовке и в полете (С.П. Рыбак). . . . .	469
<b>Глава 3.10. Собственная атмосфера космических аппаратов и ее влияние на функционирование приборов и систем . . . . .</b>	<b>411</b>	3.14.5. Акустическая среда в обитаемых космических объектах. Средства снижения шума (В.К. Дементьев). . .	471
3.10.1. Экспериментальные исследования собственной внешней атмосферы космических аппаратов и станций (А.Н. Крылов) . . . . .	411	Список литературы . . . . .	476
3.10.2. Особенности изменения давления в негерметичных отсеках геостационарных спутников (Л.В. Мишина) . . . . .	421	<b>Раздел 4. РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ (Б.В. Бодин) . . . . .</b>	<b>477</b>
<b>Глава 3.11. Загрязнение поверхностей космических аппаратов и методы его уменьшения . . . . .</b>	<b>425</b>	<b>Глава 4.1. Особенности ракетно-космической промышленности . . . . .</b>	<b>477</b>
3.11.1. Источники загрязнения космических аппаратов (Л.В. Мишина) . . .	425	<b>Глава 4.2. Классификация ракетно-космических систем и аппаратов . . . . .</b>	<b>483</b>
3.11.2. Загрязнение от газовой выделенной конструкционных материалов (А.Н. Крылов) . . . . .	425	4.2.1. Цели классификации . . . . .	483
3.11.3. Загрязняющее воздействие струй двигателей ориентации на элементы космических объектов. (Ю.И. Герасимов) . . . . .	429	4.2.2. Учебно-познавательная классификация ракетно-космических систем . . . . .	483
Список литературы . . . . .	432	4.2.3. Систематическая классификация . . . . .	490
3.11.4. Загрязнение поверхностей геостационарных спутников от распыления материалов наружных поверхностей при работе электро-реактивных двигателей (Л.В. Мишина) . . . . .	432	4.2.4. Цели разработки классификатора ЕСКД и задачи, решаемые совместно с технологическими классификаторами . . . . .	491
<b>Глава 3.12. Аэрогазодинамика спускаемых аппаратов (В.К. Душин) . . . . .</b>	<b>434</b>	4.2.5. Основные положения классификации изделий и конструкторских документов . . . . .	492
<b>Глава 3.13. Исследования риска пробоя космического аппарата микрометеороидами и техногенными частицами (А.В. Горбенко) . . . . .</b>	<b>437</b>	<b>Глава 4.3. Создание космических комплексов . . . . .</b>	<b>498</b>
3.13.1. Модели микрометеороидной и техногенной обстановки . . . . .	437	4.3.1. Особенности системы обеспечения качества и надежности . . . . .	498
3.13.2. Метеороиды . . . . .	437	4.3.2. Принципы обеспечения качества и надежности . . . . .	501
3.13.3. Космический мусор . . . . .	441	4.3.3. Порядок создания космических комплексов . . . . .	503
3.13.4. Расчет вероятности непробоя КА метеороидами и техногенными частицами . . . . .	445	4.3.4. Опыт внедрения и направления совершенствования системы обеспечения качества и надежности ракетно-космической техники . . . . .	511
3.13.5. Воздействия микрометеороидов и техногенных частиц на поверхность космического аппарата . . . . .	447	Список литературы . . . . .	512
Список литературы . . . . .	448	<b>Раздел 5. ПРОЕКТИРОВАНИЕ РАКЕТ-НОСИТЕЛЕЙ И БАЛЛИСТИЧЕСКИХ РАКЕТ (под ред. О.М. Алифанова) . . . . .</b>	<b>513</b>
<b>Глава 3.14. Аэроакустика ракетно-космических систем (В.К. Дементьев, А.Л. Половнев, А.Г. Решетин, С.П. Рыбак) . . . . .</b>	<b>449</b>	<b>Глава 5.1. Методы решения проектно-конструкторских задач при разработке баллистических ракет (О.М. Алифанов, А.Н. Андреев, В.Н. Гуцин) . . . . .</b>	<b>513</b>
3.14.1. Аэроакустические процессы в ракетно-космической технике (С.П. Рыбак) . . . . .	449	5.1.1. Теоретические основы проектирования летательных аппаратов . . . . .	513
3.14.2. Акустика и пульсации давления при старте ракет (В.К. Дементьев, А.Г. Решетин) . . . . .	453	5.1.2. Определение основных проектных параметров баллистических ракет и ракет-носителей по заданным летно-техническим характеристикам (В.П. Мишин, В.К. Безвербий) . . . . .	530
Список литературы . . . . .	462	<b>Глава 5.2. Методы повышения эффективности проектно-конструкторских решений. Исследование процесса разработки модификаций ЛА (Ю.А. Матвеев) . . . . .</b>	<b>553</b>
3.14.3. Аэроакустические воздействия на ракеты в полете (С.П. Рыбак, А.Л. Половнев). . . . .	462	5.2.1. Вопросы модернизации ракетных комплексов. Постановка задачи . . . . .	554
		5.2.2. Схема многоуровневого исследования модернизации ракетного комплекса. Состав задач и математические модели . . . . .	556
		5.2.3. Задачи оптимальной модернизации ракетных комплексов, осна-	



ценных летательными аппаратами с ракетными двигателями на твердом топливе. Математические модели эффективности и затрат . . . . .	560
5.2.4. Задача оптимизации параметров модификаций ЛА. Математическая модель . . . . .	566
5.2.5. Организация комплексного исследования модификации ЛА. Алгоритм согласованной оптимизации . . . . .	571
5.2.6. Исследование эффективности модернизации РК . . . . .	573
5.2.7. Анализ модификации ЛА с РДТТ при наличии неконтролируемых факторов . . . . .	575
Список литературы . . . . .	581
<b>Глава 5.3. Методы конструирования баллистических ракет и ракет-носителей</b> (А.А. Золотов, В.Н. Гуцин) . . . . .	583
5.3.1. Прочность и безопасность конструкций РН . . . . .	583
5.3.2. Определение характеристик динамических нагрузок на РН . . . . .	585
5.3.3. Проектирование топливных баков . . . . .	607
5.3.4. Цилиндрические оболочки . . . . .	612
Список литературы . . . . .	614
<b>Глава 5.4. Задачи теплового проектирования ракет-носителей</b> (О.М. Алифанов, В.С. Хохулин) . . . . .	614
5.4.1. Особенности тепловых режимов ракет-носителей . . . . .	614
5.4.2. Особенности обеспечения теплового режима разгонных блоков космических аппаратов . . . . .	622
5.4.3. Моделирование процессов теплообмена и тепловых режимов ракетно-космической техники . . . . .	623
5.4.4. Тепловые модели в задачах теплового проектирования ракетно-космической техники . . . . .	635
Список литературы . . . . .	644
<b>Глава 5.5. Модели и методы исследования устойчивости и управляемости баллистических ракет</b> (А.Н. Андреев) . . . . .	645
5.5.1. Методические основы исследования устойчивости и управляемости баллистических ракет . . . . .	645
5.5.2. Исследования устойчивости поперечных колебаний БР. Основные допущения . . . . .	648
5.5.3. Исследование устойчивости продольных колебаний БР . . . . .	680
Список литературы . . . . .	697
<b>Раздел 6. СРЕДСТВА ВЫВЕДЕНИЯ</b> (под ред. В.В. Вахниченко) . . . . .	699
<b>Глава 6.1. Общая концепция</b> (В.К. Карраск) . . . . .	699
<b>Глава 6.2. Одноразовые ракеты-носители</b> . . . . .	712
6.2.1. Ракеты-носители типа Р-7А (Д.И. Козлов, А.Н. Кириллин, Р.Н. Ахметов, Г.П. Аншаков, В.Н. Новиков, Г.Е. Фомин) . . . . .	712
6.2.2. Ракеты-носители «Протон-К», «Протон-М», «Ангара», «Рокот» (В.Е. Нестеров) . . . . .	721
6.2.3. Ракеты носители «Циклон», «Зенит», «Зенит 3 SL» (С.Н. Колюхов) . . . . .	734
6.2.4. Ракета-носитель Н1 (К.К. Попов, В.Г. Хаспеков) . . . . .	746
6.2.5. Ракеты-носители на базе межконтинентальных баллистических ракет (А.П. Уманский) . . . . .	750
<b>Глава 6.3. Многоцветные ракеты-носители</b> . . . . .	757
6.3.1. Многоцветные ракетные блоки ракет-носителей типовой баллистической схемы (Я.Т. Шатров) . . . . .	757
6.3.2. Многоцветная космическая система «Энергия»-«Буран». Ракета-носитель «Энергия» (В.В. Либерман) . . . . .	763
6.3.3. МТКС «Спейс Шаттл» (В.В. Либерман, Г.В. Лебедев) . . . . .	766
6.3.4. Перспективные многоцветные космические транспортные системы (С.Ф. Костромин) . . . . .	771
Список литературы . . . . .	776
<b>Глава 6.4. Разгонные блоки</b> (В.Н. Веселов) . . . . .	776
6.4.1. Разгонные блоки типа ДМ . . . . .	776
6.4.2. Разгонные блоки типа «Бриз» (С.А. Петроковский) . . . . .	781
6.4.3. Разгонные блоки типа «Фрегат» (В.А. Асюшкин, А.А. Мошнеев, С.В. Ишин) . . . . .	785
<b>Раздел 7. ЖИДКОСТНЫЕ РАКЕТНЫЕ ДВИГАТЕЛИ ДЛЯ РАКЕТ-НОСИТЕЛЕЙ</b> (под ред. Б.И. Каторгина) . . . . .	789
<b>Глава 7.1. Жидкостные ракетные двигатели</b> (Б.И. Каторгин, В.К. Чванов, Л.Е. Стернин) . . . . .	789
7.1.1. Принципиальная схема ЖРД (В.Т. Буканов, И.А. Клепиков) . . . . .	789
7.1.2. Конструктивно-монтажная схема ЖРД (В.И. Архангельский, Б.М. Громыко, Е.М. Матвеев, В.Г. Полушин) . . . . .	792
7.1.3. Функционирование ЖРД (И.М. Кошелев) . . . . .	797
7.1.3.1. Запуск . . . . .	797
7.1.3.2. Работа ЖРД в полете . . . . .	798
7.1.3.3. Автоматика ЖРД (И.М. Кошелев, И.И. Хренов) . . . . .	798
7.1.3.4. Обеспечение устойчивой работы . . . . .	802
7.1.4. Камера (В.Ю. Богушев, С.Д. Каменский, В.К. Старков, Л.Е. Стернин, В.В. Федоров) . . . . .	803
7.1.4.1. Газодинамический расчет . . . . .	803
7.1.4.2. Профилирование камеры . . . . .	804
7.1.4.3. Тепловой расчет камеры (А.В. Цветова) . . . . .	806
7.1.4.4. Конструирование камеры . . . . .	808
7.1.4.5. Изготовление камеры . . . . .	811
7.1.5. Газогенератор (А.П. Аджян) . . . . .	812
7.1.6. Турбонасосный агрегат (Ю.И. Каналин, А.М. Кашкарев) . . . . .	815
Список литературы . . . . .	819
<b>Глава 7.2. Стендовые испытания двигательных установок</b> (В.Ф. Антонов, К.П. Денисов, А.С. Кадишевич) . . . . .	821
7.2.1. Задача отработки . . . . .	821



7.2.2. Методика экспериментальной отработки жидкостных ракетных двигательных установок . . . . .	822
7.2.3. Основные пневмогидравлические системы двигательных установок, подвергаемые стендовым испытаниям . . . . .	823
7.2.4. Комплексные испытания пневмогидравлических систем и двигательных установок . . . . .	829
7.2.5. Принципы, мероприятия и средства обеспечения безопасности стендовых испытаний ЖРДУ . . . . .	830
Список литературы . . . . .	832
<b>Раздел 8. СИСТЕМЫ РАКЕТ-НОСИТЕЛЕЙ . . . . .</b>	<b>833</b>
<b>Глава 8.1. Системы управления средств выведения (С.М. Вязов, В.В. Морозов, Е.Л. Межирицкий, Д.Д. Ровинский) . . . . .</b>	<b>833</b>
8.1.1. Назначение и область применения системы управления средств выведения . . . . .	833
8.1.2. Сертификационный статус систем управления средств выведения . . . . .	833
8.1.3. Функциональная структура и приборный состав систем управления средств выведения . . . . .	835
8.1.4. Бортовой вычислительный комплекс и взаимодействие смежных систем . . . . .	850
8.1.5. Навигация и наведение. Терминальное управление . . . . .	853
8.1.6. Точность управления выведением полезного груза . . . . .	855
8.1.7. Этапы развития систем управления средств выведения . . . . .	858
8.1.8. Программно-математическое обеспечение систем управления средств выведения . . . . .	859
8.1.9. Надежность и стойкость систем управления к помехам . . . . .	860
8.1.10. Организация и обработка потоков информации о работе систем управления . . . . .	861
8.1.11. Тенденция развития систем управления средств выведения . . . . .	861
<b>Глава 8.2. Система управления ракеты-носителя «Союз-2» (Д.И. Козлов, А.Н. Кириллин, Р.Н. Ахметов, Г.П. Аншаков, В.А. Капитонов) . . . . .</b>	<b>863</b>
8.2.1. Бортовая аппаратура системы управления . . . . .	863
8.2.2. Бортовое программное обеспечение . . . . .	868
8.2.3. Система диагностирования работы ракеты-носителя в полете . . . . .	869
8.2.4. Наземная аппаратура системы управления . . . . .	870
<b>Глава 8.3. Системы разделения (В.В. Кокушкин, С.В. Борзых, Н.К. Петров) . . . . .</b>	<b>871</b>
8.3.1. Требования к системам разделения . . . . .	871
8.3.2. Основные типы систем разделения . . . . .	872
8.3.3. Исполнительные элементы систем разделения . . . . .	884
8.3.4. Силы, действующие на разделяемые тела . . . . .	891
8.3.5. Расчет систем разделения . . . . .	891
8.3.6. Экспериментальная отработка систем разделения . . . . .	893
8.3.7. Расчет надежности . . . . .	893
<b>Глава 8.4. Описание пневмогидравлических систем ракет-носителей (В.П. Мишин, Б.М. Панкратов) . . . . .</b>	<b>894</b>
8.4.1. Общие сведения о пневмогидравлических системах жидкостных ракетных двигателей . . . . .	894
8.4.2. Системы подачи топлива в двигатель . . . . .	898
<b>Глава 8.5. Система одновременного опорожнения баков и потребное давление наддува баков (В.В. Мишин, В.К. Безвербый) . . . . .</b>	<b>899</b>
8.5.1. Система одновременного опорожнения баков . . . . .	899
8.5.2. Потребное давление наддува баков . . . . .	905
<b>Глава 8.6. Управление двигательной установкой (В.В. Мишин, Б.М. Панкратов) . . . . .</b>	<b>910</b>
<b>Глава 8.7. Исполнительные органы (В.П. Мишин, В.К. Безвербый) . . . . .</b>	<b>913</b>
<b>Глава 8.8. Исполнительные приводы систем управления (Д.С. Белицкий, О.Б. Белоголов, М.Н. Жарков) . . . . .</b>	<b>918</b>