

Предисловие	3
Основные обозначения	5
Основные сокращения	9
РАЗДЕЛ I. Методы решения проектно-конструкторских задач при разработке баллистических ракет	
Глава 1. Методическая база решения проектно-конструкторских задач	11
1.1. Основы системотехники как методической базы решения проектно-конструкторских задач	11
1.1.1. Особенности формирования систем	16
1.1.2. Структура системы	17
1.1.3. Принципы регуляции, саморегуляции и существования системы	19
1.1.4. Принципы направленного развития системы при наличии воли и управления	22
1.1.5. Основные принципы исследования перспектив развития сложных организационно-технических систем	23
1.2. Проектное моделирование сложных систем	24
1.2.1. Принцип пространственно-временной относительности проектного моделирования	28
1.2.2. Организация проектного моделирования. Многоуровневая проектная модель	29
1.3. Оценка эффективности техники при разработке	31
1.3.1. Системология и вопросы определения целей и средств их достижения	32
1.3.2. Оценка эффективности и качества разработки	34
1.4. Основная задача проектирования с учетом развития техники в планируемый период. Схема расчлененного исследования	39
1.4.1. Основная задача проектирования	40
1.4.2. Схема расчлененного исследования основной задачи. Задача оптимизации программы развития	43

Глава 2. Методы повышения эффективности проектно-конструкторских решений. Исследование модификаций ЛА при разработке	49
2.1. Вопросы модернизации РК. Постановка задачи	51
2.2. Схема многоуровневого исследования модернизации РК. Состав задач и математические модели	53
2.3. Задачи оптимальной модернизации РК. Математические модели эффективности и затрат	61
2.3.1. Задача оптимальной модернизации РК, связанная с заменой комплекса средств преодоления СО и ЛА	62
2.3.2. Задача модернизации РК, связанная с изменением типа базирования	67
2.3.3. Оценка эффективности комплекса подвижного базирования. Определение сроков восстановления	71
2.4. Задача оптимизации параметров модификаций ЛА. Математическая модель	73
2.4.1. Задача оптимизации параметров модификации ЛА	79
2.5. Организация комплексного исследования. Алгоритм согласованной оптимизации	81
2.6. Исследование эффективности модернизации РК.	85
2.7. Анализ модификации ЛА при наличии неконтролируемых факторов	90
2.7.1. Анализ сходимости при согласованной двухуровневой оптимизации и точности решения	94
2.7.2. Сравнительный анализ вариантов модификаций ЛА	97
Рекомендуемая литература	102
РАЗДЕЛ II. Методы проектирования перспективных ракет-носителей	
Глава 3. Альтернативные средства выведения полезных грузов на низкие околоземные орбиты	105
Глава 4. Проектный анализ ракет-носителей космических аппаратов воздушного базирования	110
4.1. Проблемы проектирования	110
4.2. Постановка задачи выбора программы изменения тяги	111
4.3. Методы решения задачи выбора программы тяги РДТТ	115
4.3.1. Эмпирический метод решения задачи выбора программы тяги РДТТ	115
4.3.2. Решение задачи выбора программы тяги РДТТ по теоретически оптимальной программе тяги.	118
4.4. Постановка задачи по управлению	123

4.5. Исходные уравнения моделирования движения на первой ступени после отделения от носителя	128
4.6. Численная оптимизация в задаче выбора закона изменения тяги РН воздушного базирования и программы угла тангажа	132
Глава 5. Оптимизация двигательной установки РН по критерию надежности	135
5.1. Общие сведения	135
5.2. Тематическая модель надежности	135
Глава 6. Проектный анализ многоразовых РН	139
6.1. Критерии принятия проектных решений многоразовых РН	139
6.1.1. Общие сведения	139
6.1.2. Массово-стоимостные характеристики многоразовых ЛА	140
6.1.3. Анализ критериальной функции	142
6.2. Согласование массы, надежности и ресурса многоразовых систем ЛА	144
6.2.1. Массовые характеристики конструкции МРБ	144
6.2.2. Массовые характеристики ДУ МРБ	151
6.2.3. Обоснование ресурса систем	153
6.3. Методика обоснования проектных решений многоразовых ЛА	155
6.3.1. Сравнительный анализ эффективности применения многоразовых одноступенчатых средств выведения	155
6.3.2. Общий алгоритм выбора проектных параметров многоразовых ЛА	160
6.3.3. Параметрический анализ проектных решений двухступенчатых ЛА с МРБ	163
Рекомендуемая литература	172
РАЗДЕЛ III. Методы конструирования баллистических ракет и ракет-носителей	
Глава 7. Прочность и безопасность конструкций РН	174
7.1. Нормы прочности	174
7.2. Математическая модель	175
7.3. Определение коэффициента безопасности через вероятность разрушения	176
Глава 8. Определение характеристик динамических нагрузок на РН	178
8.1. Динамические нагрузки при запуске ДУ	178
8.2. Поперечные колебания корпуса ЛА	184
8.2.1. Постановка задачи	184
8.2.2. Анализ свободных колебаний	185
8.2.3. Вынужденные колебания корпуса ЛА	190
8.3. Элементы спектрального анализа	194
8.3.1. Основные понятия	194
8.3.2. Анализ воздействий	196

8.4. Прогнозирование виброн нагружения балочных конструкций ЛА	199
8.4.1. Общий подход	199
8.4.2. Приближенный подход	203
8.5. Прогнозирование динамического нагружения конструкции ЛА при срабатывании пиросредств	205
8.5.1. Анализ параметров нагружения	205
8.5.2. Оценка нагрузок с учетом упругости конструкции	206
8.6. Нагрузки при отделении боковых блоков	208
8.6.1. Анализ процесса разделения	208
8.6.2. Оценка динамического нагружения центрального блока	209
8.7. Спектральная теория случайных процессов	210
8.7.1. Основные понятия и определения	210
8.7.2. Анализ решений дифференциальных уравнений	212
8.8. Воздействие ветровой нагрузки на конструкции ЛА.	213
8.8.1. Постановка задачи	213
8.8.2. Анализ ветровых воздействий	214
8.8.3. Нагрузки на ЛА от действия ветровых порывов.	217
8.9. Нагрузки при транспортировке по железной дороге	221
8.9.1. Анализ воздействий	221
8.9.2. Оценка нагружения корпуса ЛА.	222
8.10. Акустические нагрузки, действующие на БР	224
8.10.1. Уровни акустического давления в режиме «старт»	225
8.10.2. Уровень акустического давления в режиме «тах q »	229
Глава 9. Проектирование топливных баков.	
Оптимизация гладких топливных баков	231
9.1. Оптимальная конструкция	231
9.2. Исходные нагрузки	232
9.3. Расчет обечайки гладкого бака на устойчивость	234
Глава 10. Задача оптимизации конструкции гладкого бака	239
10.1. Оптимизация числа поясов обечайки	239
10.1.1. Постановка задачи	239
10.1.2. Критерий оптимизации.	241
10.1.3. Математическая модель	242
10.1.4. Метод оптимизации	243
Глава 11. Проектирование оптимальной конструкции вафельной обечайки топливного бака с произвольной геометрической формой ячеек	244
11.1. Основные уравнения	244
11.2. Уравнения связи	245
Глава 12. Цилиндрические оболочки, подкрепленные только кольцевыми ребрами	248
12.1. Степень подкрепленности	248
12.2. Практические и инженерные расчеты.	249
Рекомендуемая литература	250

РАЗДЕЛ IV. Проектно-баллистические расчеты активных участков ракет-носителей	
Глава 13. Понятие достаточной точности и классификация баллистических расчетов	252
Глава 14. Типичные ограничения на кинематические и динамические параметры движения	255
Глава 15. Общие уравнения движения	258
15.1. Системы координат	258
15.2. Уравнения движения в векторной форме	260
15.3. Уравнения движения в координатной форме	260
15.4. Проекция ускорений	266
15.4.1. Проекция ускорений от переносной и кориолисовой сил инерции на оси скоростной системы координат	266
15.4.2. Проекция ускорений от гравитационной силы на оси скоростной системы координат	268
15.4.3. Проекция ускорений от аэродинамической силы на оси скоростной системы координат	269
15.4.4. Проекция ускорений от силы тяги на оси скоростной системы координат	270
15.4.5. Соотношения для тяги ракетных и воздушно-реактивных двигателей. Дроссельные характеристики	272
Глава 16. Системы дифференциальных уравнений движения на различных участках выведения на орбиту	275
16.1. Система дифференциальных уравнений движения на атмосферном участке	275
16.2. Система дифференциальных уравнений движения на безатмосферном участке	278
Глава 17. Упрощение уравнений движения	279
17.1. Атмосферный участок движения	279
17.2. Приближенное аналитическое решение уравнений движения на безатмосферном участке	285
17.3. Краевая задача по выбору параметров программы угла тангажа и азимута старта	288
17.4. Уравнения движения и параметры программ управления движением многоразовых ракетных блоков	292
Глава 18. Оптимальные программы угла тангажа и режимов работы двигательных установок ракет-носителей	295
18.1. Оптимальная программа выведения на орбиту	295
18.2. Уравнения движения на безатмосферном участке для модельной задачи	296
18.3. Оптимальное управление вектором тяги	297
18.4. Оптимальная программа угла тангажа	301

18.5. Оптимальные программы режимов работы двигательной установки	302
18.6. Схемы выведения на орбиты	306
18.7. Пример циклограммы работы двигателей РН типа «Энергия»	308
Глава 19. Приближенный метод определения скорости . . .	309
19.1. Основные положения	309
19.2. Интегралы уравнения для скорости	310
Глава 20. Формирование программ угла тангажа и режимов работы двигательных установок ракет-носителей	314
20.1. Общие требования к программам угла тангажа и режимам работы двигательных установок	314
20.2. Формирование программы угла атаки на атмосферном участке движения	316
20.3. Формирование режимов работы двигательных установок на атмосферном участке движения	321
Рекомендуемая литература	323
РАЗДЕЛ V. Задачи теплового проектирования ракетно-космических систем	
Глава 21. Особенности тепловых режимов летательных аппаратов	324
21.1. Старт с поверхности Земли (планет Солнечной системы).	324
21.2. Особенности обеспечения теплового режима разгонных блоков космических аппаратов	328
21.3. Проблемы теплового проектирования негерметичных космических аппаратов	332
21.4. Тепловые режимы космического зонда, предназначенного для исследования физических процессов в короне Солнца	335
21.5. Проблемы возвращения спускаемых аппаратов на Землю	340
Глава 22. Моделирование процессов теплообмена и тепловых режимов ракетно-космической техники	350
22.1. Общие сведения. Экспериментальное и математическое моделирование	350
22.2. Математическая постановка задачи	352
22.3. Идентификации в тепловых исследованиях и проектировании	354
22.4. Идентификация математических моделей и обратные задачи	359
22.5. Типы обратных задач теплообмена	359
22.5.1. Оптимальное управление нагревом тела	360
22.5.2. Оптимизация теплозащитного пакета	360
22.5.3. Задачи диагностики и идентификации	362

22.5.4. Методологические отличия оптимизационных и диагностико-идентификационных задач	362
22.5.5. Обобщенная постановка обратных задач	363
22.6. Примеры постановок обратных задач в тепловом проектировании	368
22.6.1. Общая постановка задачи и классификация обратных задач теплопроводности	368
22.6.2. Обратные задачи теплообмена в технической системе	371
22.7. Тепловые модели в задачах теплового проектирования КА	372
22.8. Структурная модель теплового режима КА	378
Глава 23. Основные аспекты комбинаторного моделирования теплового режима КА	387
23.1. Базовые принципы комбинаторного анализа теплового режима	387
23.2. Постановка задачи комбинаторного математического моделирования теплового режима объектов космической техники	393
23.3. Алгоритмическое обеспечение комбинаторного моделирования теплового режима КА	402
Рекомендуемая литература	405
РАЗДЕЛ VI. Методы исследования устойчивости движения баллистических ракет и ракет-носителей	
Глава 24. Методические основы исследования устойчивости БР	408
24.1. Общие сведения	408
24.2. Системы координат	412
24.3. Исследования устойчивости поперечных колебаний БР	413
24.3.1. Основные допущения	413
24.3.2. Определение потенциалов перемещений жидкости в баках. Давление в баках с жидкостью	414
24.3.3. Собственные колебания жидкостей в баках	419
24.3.4. Вынужденные колебания жидкостей в баках	425
24.3.5. Уравнения движения БР, учитывающие подвижность топлива. Приведение уравнений движения к обыкновенным дифференциальным уравнениям и их линеаризация	428
24.3.6. Уравнения поперечных колебаний упругого корпуса БР	436
24.3.7. Собственные упругие колебания корпуса БР	437
24.3.8. Вынужденные колебания упругого корпуса	441
24.3.9. Уравнения движения БР с упругим корпусом и их сведение к дифференциальным уравнениям возмущенного движения в плоскости тангажа	443

24.3.10.	Исследования устойчивости поперечных колебаний БР	448
24.3.11.	Стабилизация БР с жидким топливом в диапазоне частот собственных колебаний жидкостей. Проектно-конструкторские решения	451
24.3.12.	Устойчивость БР с жидким топливом при совпадении частот собственных колебаний жидкостей	457
24.3.13.	Стабилизация поперечных колебаний БР в диапазоне собственных частот упругих колебаний корпуса. Проектно-конструкторские решения	461
24.4.	Исследование устойчивости движения БР по крену ..	466
Глава 25. Методические основы исследования устойчивости продольных колебаний БР		
25.1.	Исследования устойчивости продольных колебаний БР	470
25.1.1.	Продольные колебания топливных баков БР ..	473
25.1.2.	Продольные колебания упругого корпуса БР с топливными баками	476
25.1.3.	Колебания топливоподающих магистралей	480
25.1.4.	Влияние кавитации в насосах на динамические характеристики топливных магистралей	481
25.1.5.	Динамические характеристики ЖРД	484
25.1.6.	Уравнения возмущенного движения БР относительно продольной оси	488
25.1.7.	Исследование устойчивости продольных колебаний БР. Проектно-конструкторские решения	492
Рекомендуемая литература		498
Предметный указатель		499