

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ
РАКЕТНЫХ
И АРТИЛЛЕРИЙСКИХ НАУК



**ВООРУЖЕНИЕ
И ВОЕННАЯ ТЕХНИКА**



8



Редколлегия Editorial Staff

- В.В. ПАНОВ** (председатель), академик РАН, д-р техн. наук, профессор
V.V. PANOV (chairman), Doctor of Science, Academician of Russian Academy of Missile and Artillery Sciences, Professor
- В.М. БУРЕНКО**, академик РАН, д-р техн. наук, профессор
V.M. BURENOK, Doctor of Science, Academician of Russian Academy of Missile and Artillery Sciences, Professor
- Г.И. ГОРЧИЦА**, академик РАН, д-р воен. наук, профессор
G.I. GORCHITSA, Doctor of Science, Academician of Russian Academy of Missile and Artillery Sciences, Professor
- Р.И. ИЛЬКАЕВ**, академик РАН, академик РАН, д-р физ.-мат. наук
R.I. ILKAYEV, Doctor of Science, Academician of Russian Academy of Sciences, Academician of Russian Academy of Missile and Artillery Sciences
- А.А. КАДЛИСТОВ**, академик РАН, д-р техн. наук, профессор
A.A. KALLISTOV, Doctor of Science, Academician of Russian Academy of Missile and Artillery Sciences, Professor
- А.А. КОКОШИН**, академик РАН, академик РАН, д-р истор. наук, профессор
A.A. KOKOSHIN, Doctor of Science, Academician of Russian Academy of Sciences, Academician of Russian Academy of Missile and Artillery Sciences, Professor
- А.М. ЛИПАНОВ**, академик РАН, академик РАН, д-р техн. наук, профессор
A.M. LIPANOV, Doctor of Science, Academician of Russian Academy of Sciences, Academician of Russian Academy of Missile and Artillery Sciences, Professor
- С.П. НЕПОБЕДИМЫЙ**, чл.-кор. РАН, академик РАН, д-р техн. наук, профессор
S.P. NEPOBEDIMY, Doctor of Science, Corresponding Member of Russian Academy of Sciences, Academician of Russian Academy of Missile and Artillery Sciences, Professor
- А.А. РАХМАНОВ**, академик РАН, д-р техн. наук, профессор
A.A. RAKHMANOV, Doctor of Science, Academician of Russian Academy of Missile and Artillery Sciences, Professor
- И.Б. ФЕДОРОВ**, академик РАН, д-р техн. наук, профессор
I.B. FEDOROV, Doctor of Science, Academician of Russian Academy of Sciences, Academician of Russian Academy of Missile and Artillery Sciences, Professor
- Е.А. ФЕДОСОВ**, академик РАН, академик РАН, д-р техн. наук, профессор
E.A. FEDOSOV, Doctor of Science, Academician of Russian Academy of Sciences, Academician of Russian Academy of Missile and Artillery Sciences, Professor
- К.Н. ШАМШЕВ**, чл.-кор. РАН, академик РАН, д-р техн. наук, профессор
K.N. SHAMSHEV, Doctor of Science, Corresponding Member of Russian Academy of Sciences, Academician of Russian Academy of Missile and Artillery Sciences, Professor
- А.Г. ШИПУНОВ**, академик РАН, академик РАН, д-р техн. наук
A.G. SHIPUNOV, Doctor of Science, Academician of Russian Academy of Sciences, Academician of Russian Academy of Missile and Artillery Sciences
- Л.Н. ЛЫСЕНКО** (отв. секретарь), академик РАН, д-р техн. наук, профессор
L.N. LYSENKO (secretary), Doctor of Science, Academician of Russian Academy of Missile and Artillery Sciences, Professor

RUSSIAN ACADEMY OF MISSILE AND ARTILLERY SCIENCES



FORMING THE RATIONAL
CONFIGURATION OF ADVANCED
AERIAL MISSILE SYSTEMS



Moscow ♦ Mashinostroenie ♦ 2010

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ РАКЕТНЫХ И АРТИЛЛЕРИЙСКИХ НАУК



ФОРМИРОВАНИЕ
РАЦИОНАЛЬНОГО ОБЛИКА
ПЕРСПЕКТИВНЫХ
АВИАЦИОННЫХ РАКЕТНЫХ
СИСТЕМ И КОМПЛЕКСОВ



Москва ♦ Машиностроение ♦ 2010

УДК 623.74.094
ББК 68.65
Ф79

А в т о р ы: В.В. Панов, Г.И. Горчица, Ю.П. Балыко,
О.В. Ермолин, В.А. Нестеров, М.Ю. Куприков, Л.В. Маркин

Формирование рационального облика перспективных авиационных ракетных систем и комплексов / РАРАН; В.В. Панов, Г.И. Горчица, Ю.П. Балыко и др.; редкол. серии В.В. Панов (пред.) и др. — М.: Машиностроение, 2010, 608 с.: ил. (справ. Б-ка разработчика-исследователя).

ISBN 978-5-217-03478-9

Рассмотрены основные научно-методические аспекты формирования облика образцов авиационного ракетного оружия на этапах предпроектной и проектной разработки ракет.

Приведены методические приемы и способы решения теоретических задач на этапе формирования рационального облика перспективных авиационных ракетных систем и комплексов, основные характеристики ракет и их оценки с позиций эффективности авиационных боевых комплексов (АБК), математические модели подсистем ракеты и основы проектирования ее облика, в том числе автоматизированного. Упор делается на изложение основополагающих идей, принципов построения и фундаментальных технических решений.

Книга рассчитана на научных сотрудников, руководителей среднего звена в структуре военных и промышленных организаций, занимающихся разработкой оружия, преподавателей военных академий, училищ и гражданских технических вузов. Она может быть рекомендована всем интересующимся разработкой ракетного вооружения.

ББК 68.65

ISBN 978-5-217-03478-9

© В.В. Панов, Г.И. Горчица, Ю.П. Балыко,
О.В. Ермолин, В.А. Нестеров, М.Ю. Куприков,
Л.В. Маркин, 2010
© ОАО «Издательство «Машиностроение», 2010

**A u t h o r s : V.V. Panov, G.I. Gorchitsa, Yu.P. Balyko,
O.V. Ermolin, V.A. Nesterov, M.Yu. Kuprikov, L.V. Markin**

Forming the rational configuration of advanced aerial missile systems / RAMAS. V.V. Panov, G.I. Gorchitsa, Yu.P. Balico et al., edit. board: V.V. Panov (chairman), et al. — M.: Mashinostroenie, 2010, 608 p.: il. (Referance library for designers and developers).

ISBN 978-5-217-03478-9

The book presents general scientific and methodic aspects of forming the configuration of aerial missile weapon models at predesign and design stages of development.

Methods and procedures for solving theoretical problems at the stage of forming rational configuration of advanced aerial missile systems, as well as missile general characteristics are viewed and their assessments are given concerning air combat system efficiency (ACS), subsystem mathematical models and basic rules of missile configuration development are described including computer-aided designing. The accent is given to basic ideas, construction principles and fundamental technical decisions.

This publication is intended for scientists, middle-level managers of military and industrial establishments concerned with weapon systems developing, for professors of military academies, colleges and civil technical universities. It can also be recommended to everyone interested in missile weapon development.

© V.V. Panov, G.I. Gorchitsa, Yu.P. Balico,
O.V. Ermolin, V.A. Nesterov, M.Yu. Kuprikov,
L.V. Markin, 2010

© JSC Mashinostroenie Publishing House, 2010

ISBN 978-5-217-03478-9

Оглавление

Предисловие	7
-----------------------	---

Раздел 1

ПРЕДПРОЕКТНАЯ РАЗРАБОТКА ОБРАЗЦОВ АВИАЦИОННОГО РАКЕТНОГО ОРУЖИЯ

Глава 1. Основные проблемы создания системы ракетного оружия в авиации	10
1.1. История отечественного авиационного ракетостроения	10
1.1.1. Некоторые взгляды на развитие отечественного авиационного ракетного парка	10
1.1.2. Исторические вопросы классификации авиационных ракет	23
1.1.3. Состояние и перспективы совершенствования ракетной техники в авиации	28
1.2. Определяющие факторы развития ракетного направления в авиации	32
1.2.1. Военно-политическая обстановка и ее влияние на состояние авиационного ракетного оружия. Другие внешние факторы	34
1.2.2. Экономическое и военно-техническое развитие и их роль в создании новых ракет для авиации	37
1.2.3. Состояние фундаментальных и прикладных разделов науки, определяющих направления и перспективы авиационного ракетостроения	38
1.3. Основные проблемы построения системы ракетного вооружения авиации РФ	40
1.3.1. Научные задачи и их решение при формировании системы ракетного вооружения авиации в стране	40
1.3.2. Направления, пути и темпы развития опытно-конструкторской и производственной базы	45
1.3.3. Планирование и реальность вложений в построение авиационного ракетного парка	47
Глава 2. Обобщенное представление методологии исследований проблематики авиационного ракетостроения	48
2.1. Обзор существующих научных взглядов на формирование рационального облика авиационного вооружения	48
2.1.1. Основные работы по тематике формирования облика авиационного вооружения	48
2.1.2. Основные направления подходов к формированию авиационного вооружения	50
2.1.3. Основные системы оценок при формировании авиационного вооружения	55
2.2. Основы методологии	58
2.2.1. О методологических подходах к рассмотрению проблематики обоснования облика авиационных ракет	59

2.2.2.	Аксиоматика, положенная в основу исследований . . .	60
2.2.3.	Определение основных понятий, принятая терминология	60
2.2.4.	Основные научные принципы исследований	68
2.2.5.	О критериях	70
2.3.	Теоретические основы и структура методологии исследований по обоснованию рационального облика авиационных ракет . . .	80
2.3.1.	Системный подход к проблемам	80
2.3.2.	Макроструктура исследований. Структура методологии . .	83
2.3.3.	Исследовательские задачи и их классификация	89
Глава 3.	Авиационные ракеты как элемент макросистемных исследований	91
3.1.	Место предмета исследований в общей структуре	92
3.1.1.	Ракета как элементарный объект системы исследований.	92
3.1.2.	Внешние и внутренние функции исследуемого объекта . .	96
3.1.3.	Значение «элементарной» ракеты для построения ракетных комплексов и ракетных систем	100
3.2.	Методология формирования рационального облика авиационной ракеты	103
3.2.1.	Обзор основных подходов и методов	103
3.2.2.	Структура методологии	107
3.2.3.	Составные методики формирования рационального облика ракеты	112
Глава 4.	Пример методики формирования облика авиационной противокорабельной ракеты	123
4.1.	Элементы общей методологии, примененные при разработке методики	124
4.2.	Общая структура методики	128
4.3.	Место блока «Формирование оптимального облика ракеты» в общей структуре методики	147
Глава 5.	Методология согласования облика авиационной ракеты в составе авиационного комплекса	149
5.1.	Основные положения методологии	149
5.1.1.	Общие взгляды на построение методологии формирования авиационного ракетного комплекса	149
5.1.2.	Формирование понятийного аппарата и аксиоматики исследований	154
5.1.3.	Определение объекта и предмета исследований	164
5.1.4.	Разработка общей методологической схемы исследований	172
5.1.5.	Выбор показателей оценки авиационного ракетного комплекса и критериев согласования облика ракеты и авиационного комплекса	176
5.2.	Постановка задачи исследований и методический подход к ее решению	188
5.3.	Основные положения методики оценки авиационного ракетного комплекса	192

5.3.1. Методологические аспекты оценки авиационных ракетных комплексов при согласовании облика ракеты и авиационного комплекса	192
5.3.2. Методика оценки боевого потенциала авиационного ракетного комплекса	196
5.3.3. Методики экономической оценки авиационного ракетного комплекса	225
Глава 6. Авиационные ракетные системы	232
6.1. Представление об авиационных ракетных системах	232
6.1.1. История вопроса о построении авиационных ракетных систем	232
6.1.2. Исторические вопросы классификации авиационных ракетных образований	238
6.1.3. Состав авиационных ракетных систем	241
6.2. Методология формирования рационального состава авиационных ракетных систем	247
6.2.1. История развития методологии	247
6.2.2. Основное содержание методологических подходов	253
6.2.3. Этапы формирования состава авиационных ракетных систем	255
6.3. Постановка основной и составных исследовательских проблем	258
6.3.1. Постановка основной исследовательской проблемы	258
6.3.2. Постановка составных исследовательских проблем	267

Раздел 2

ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ОБЛИКА РАКЕТ И МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ИХ ПОДСИСТЕМ (НА ПРИМЕРЕ РАКЕТ КЛАССА «ВОЗДУХ–ВОЗДУХ»)

Глава 7. Ракета класса «воздух–воздух» как элемент авиационного боевого комплекса	276
7.1. Боевые характеристики АБК	276
7.2. Кинематические методы исследования сближения с воздушной целью и ее атаки	277
7.3. Методы оценки эффективности истребителя в воздушном бою	286
Глава 8. Аэродинамика ракеты	292
8.1. Аэродинамические характеристики и вопросы выбора параметров компоновки ракет	292
8.2. Классификация аэродинамических схем и способов создания управляющих сил	299
8.3. Модель аэродинамических сил и моментов осесимметричной ракеты на больших углах атаки	304
Глава 9. Баллистика ракеты	316
9.1. Энерговооруженность и баллистический коэффициент как основные параметры, определяющие баллистический облик	316
9.2. Баллистика ракеты на навесных траекториях	333

9.3. Баллистическое проектирование	338
Глава 10. Кинематика относительного движения ракеты и цели . .	350
10.1. Траектории ракеты в абсолютной системе координат. Зоны достижимости	350
10.2. Относительная система координат, связанная с целью. Зоны возможных пусков	353
10.3. Относительная система координат, связанная с носителем. Зоны отлетов. Всенаправленная зона возможных пусков . .	356
Глава 11. Общая структура систем управления ракет	360
11.1. Функции систем управления современных ракет и основы системного подхода при их анализе	360
11.2. Основные подсистемы системы управления ракеты	363
11.3. Иерархическая система моделей системы управления	366
Глава 12. Модель ракеты как объекта управления	368
12.1. Реакция ракеты на отклонение органов управления в плоском движении	368
12.2. Постановка задачи исследования пространственной устойчивости движения ракеты	375
12.3. Динамические характеристики ракеты с двумя парами органов управления	385
Глава 13. Расширенный объект	389
13.1. Математическая модель рулевого привода и ее анализ . . .	389
13.2. Анализ характеристического уравнения следящего рулевого привода на основе диаграммы Вышнеградского	394
13.3. Анализ устойчивости контуров демпфирования ракеты с учетом передаточной функции привода	396
13.4. Расширенный объект с приводом, замкнутым по шарнирному моменту	398
Глава 14. Модель контура стабилизации	400
14.1. Стабилизирующие связи и структура контура стабилизации . .	400
14.2. Теория идеализированного контура стабилизации	403
14.3. Основные свойства астатических контуров стабилизации . . .	408
14.4. Аппаратурные методы повышения устойчивости балансировки в пространственном движении	410
14.4.1. Компенсация пространственных связей с помощью основных каналов	410
14.4.2. Компенсация пространственных связей с помощью канала крена	411
Глава 15. Примеры решения задачи анализа пространственной устойчивости в различных постановках	412
15.1. Задача анализа при линейной зависимости аэродинамических сил и моментов от углов атаки и отклонения рулей	412
15.2. Приближенная оценка граничных по условиям устойчивости значений угла атаки, основанная на использовании достаточ- ных условий устойчивости	416

15.3.	Оценка влияния конструктивно-технологических искажений симметрии компоновки на границы области устойчивости . . .	419
15.4.	Устойчивость балансировочных режимов ракеты в составе контура стабилизации	425
Глава 16.	Модель автономного контура	432
16.1.	Ошибки обтекателя и их проявления при колебаниях ракеты. Структура автономного контура	432
16.2.	Передаточная функция, частотные характеристики и устойчивость автономного контура	435
16.3.	Пути снижения влияния паразитной обратной связи. Инвариантный автономный контур	439
Глава 17.	Модель контура наведения	444
17.1.	Уравнение кинематической связи ракеты с целью	444
17.2.	Точность наведения ракеты на цель. Систематическая и случайная составляющие пролета. Выбор оптимального значения навигационной постоянной	447
17.3.	Влияние инерционности контура наведения на характеристики точности	452
Глава 18.	Модель контура наведения ракеты с БЦВМ	455
18.1.	Общая структура систем управления ракет четвертого поколения	455
18.2.	Дальность действия современных радиолокационных головок самонаведения	457
18.3.	Математические основы алгоритмов управления	459
18.4.	Математические основы алгоритмов фильтрации	467
Глава 19.	Общая постановка и математическая формулировка задачи проектирования облика ракеты	474
19.1.	Роль этапа формирования облика ракеты в процессе проектирования	474
19.2.	Облик ракеты как совокупность концепции, параметров и управлений	476
19.3.	Математическая формулировка задачи проектирования облика ракеты как задачи оптимизации	478
Глава 20.	Методы учета системы управления на этапе формирования облика ракеты	483
20.1.	Связь системы управления с параметрами облика ракеты . . .	483
20.2.	Структура пространства технических решений и связи между его элементами	484
20.3.	Понятие о достижимой точности наведения и обобщенных характеристиках системы управления	491
20.4.	Общая структурная схема учета системы управления при формировании облика ракеты	495
Глава 21.	Автоматизированная система формирования облика ракеты	499

21.1	Общая структура и принципы построения системы автоматизированного проектирования	499
21.2.	Подсистемы анализа ТТЗ и выбора технической концепции	503
21.3.	Подсистема компоновки корпуса ракеты	505
21.4.	Другие подсистемы, участвующие в цикле параметрических расчетов	509
21.4.1.	Блок выбора параметров аэродинамической схемы	509
21.4.2.	Блок расчета баллистических характеристик	510
21.4.3.	Блок расчета кинематики относительного движения ракеты	510
21.4.4.	Блок оценки точности наведения	511
21.4.5.	Блок оценки эффективности ракеты	513
21.4.6.	Блок оценки стоимости	515
Глава 22.	Концептуальное проектирование самолета как носителя вооружения	516
22.1.	Теоретические аспекты синтеза компоновочных схем при жестких ограничениях на компоновку отсека вооружения	516
22.2.	Компоновка носителя ракет при жестких инфраструктурных ограничениях на компоновочное пространство	521
22.3.	Методика компоновки самолета как носителя ракет класса «воздух—воздух»	526
22.4.	Учет требований пятого поколения при проектировании самолета — носителя ракет	542
22.5.	Пример САПР самолета — носителя ракет	546
Глава 23.	Автоматизация размещения оборудования при проектировании ракет класса «воздух—воздух» и их носителей	550
23.1.	Требования, предъявляемые к компоновке ракет и их носителям	550
23.2.	Физическая постановка задачи размещения оборудования в заданных объемах (внутренняя компоновка)	559
23.3.	Традиционные методы компоновки оборудования и необходимость ее автоматизации	562
23.4.	Математическая постановка задачи компоновки ракет и их носителей	565
23.5.	Автоматизированная компоновка отсеков вооружения с использованием систем трехмерного параметрического моделирования	571
23.6.	Обзор методов компьютерной компоновки вооружений как интеллектуальной информационной системы	575
23.7.	Интеллектуальные алгоритмы в автоматизации компоновочных расчетов	585
	Список литературы	592
	Условные обозначения	596