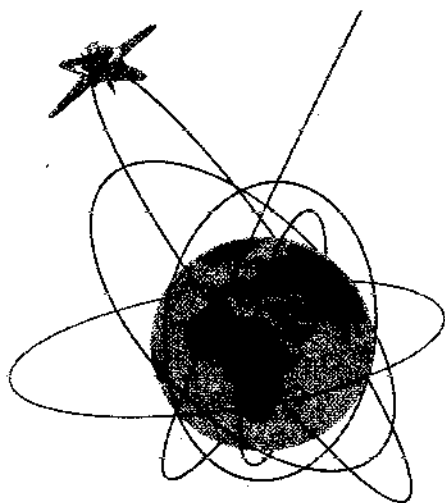


Н.М. Иванов, Л.Н. Лысенко

# БАЛЛИСТИКА И НАВИГАЦИЯ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ



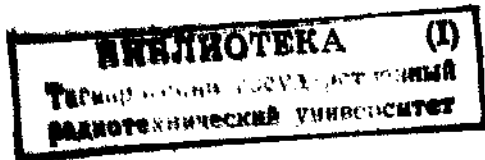
Издание второе, переработанное и дополненное

Допущено  
Министерством образования  
Российской Федерации  
в качестве учебника для студентов  
высших учебных заведений,  
обучающихся по направлению подготовки  
«Ракетостроение и космонавтика»

 **У Д Р О Ф А**

Москва • 2004

УДК 629.783  
ББК 39.62  
И20



Рецензенты:

проф., д-р техн. наук *В. В. Малышев* (заведующий кафедрой системного анализа и управления Московского авиационного института (государственного технического университета));

член-корреспондент Российской академии наук, проф., д-р техн. наук *В. А. Ярошевский*

**Иванов Н. М.**

И20 Баллистика и навигация космических аппаратов: Учебник для вузов / Н. М. Иванов, Л. Н. Лысенко. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Дрофа, 2004. — 544 с.: ил.

ISBN 5-7107-7085-X

Учебник содержит систематизированное изложение теоретических основ и практически значимых прикладных задач баллистики и навигации космических аппаратов (КА). Рассмотрены пути и математические методы решения соответствующих задач.

Показано, что баллистико-навигационное обеспечение полета и баллистические характеристики аппаратов в значительной степени определяются их целевым назначением, зависят от действующих технических ограничений, а также физических условий космического пространства или атмосфер планет, в которых происходит движение КА.

Во втором издании (1-е — 1986 г.) расширены главы, в которых нашли отражение последние достижения отечественной и мировой космонавтики, введен новый раздел, посвященный проблемам космической навигации с использованием спутниковых навигационных систем.

*Для студентов и аспирантов вузов, а также специалистов в области разработки и применения космической техники.*

510.771

УДК 629.783  
ББК 39.62

*Учебное издание*

**Иванов Николай Михайлович, Лысенко Лев Николаевич**  
**БАЛЛИСТИКА И НАВИГАЦИЯ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ**

Учебник для вузов

Зав. редакцией *Б. В. Понкратов*. Редактор *О. А. Кузнецова*  
Художественное оформление *О. В. Матвеев*  
Технические редакторы *В. Ф. Козлова, И. В. Грибова*  
Компьютерная верстка *Г. М. Татаринова*  
Корректоры *И. Т. Белугина, Г. И. Мосякина*

Подписано к печати 31.10.03. Формат 60×90<sup>1/16</sup>. Бумага типографская.  
Гарнитура «Школьная». Печать офсетная. Усл. печ. л. 34,0. Тираж 3000 экз. Заказ № 3455.  
ООО «Дрофа». 127018, Москва, Суцеский вал, 49.

По вопросам приобретения продукции издательства «Дрофа» обращаться по адресу:  
127018, Москва, Суцеский вал, 49. Тел.: (095) 795-05-50, 795-05-51. Факс: (095) 795-05-52.

Торговый дом «Школьник». 109172, Москва, ул. Малые Каменщики, д. 6, стр. 1А.  
Тел.: (095) 911-70-24, 912-15-16, 912-45-76.

Магазины «Переплетные птицы»: 127018, Москва, ул. Октябрьская, д. 89, стр. 1.  
Тел.: (095) 912-45-76;

Московская обл., г. Коломна, Голутвин, ул. Октябрьской революции, 366/2.  
Тел.: (095) 741-59-76.

Отпечатано с готовых диапозитивов на ФГУП ордена «Знак Почета»  
Смоленская областная типография им. В. И. Смирнова.

214000, г. Смоленск, проспект им. Ю. Гагарина, 2.

ISBN 5-7107-7085-X

© ООО «Дрофа», 2004

# ОГЛАВЛЕНИЕ

---

От авторов .....	4
Предисловие к первому изданию .....	7
Предисловие ко второму изданию .....	8
Основные обозначения .....	10
Основные сокращения .....	12
Верхние и нижние индексы .....	13
ВВЕДЕНИЕ .....	14
<b>РАЗДЕЛ I. Орбитальное движение космических аппаратов</b> .....	<b>21</b>
<b>Глава 1. Условия и окружающая среда космического полета</b> .....	<b>21</b>
1.1. Вселенная (космос) .....	22
1.2. Солнечная система .....	25
1.3. Солнце .....	31
1.4. Земля и околоземное пространство .....	32
1.5. Планеты Земной группы (маленькие планеты) .....	39
1.6. Планеты Юпитеровой группы (гигантские планеты) ...	41
1.7. Плутон и Харон .....	44
1.8. Приближенные модели атмосфер планет .....	44
1.9. Спутники планет .....	45
1.10. Малые тела. Астероиды и кометы .....	47
1.11. Метеоры и метеориты .....	50
1.12. Межпланетная среда .....	51
<b>Глава 2. Невозмущенное движение</b> .....	<b>52</b>
2.1. Математическая модель невозмущенного движения КА .	53
2.2. Интеграл площадей .....	56
2.3. Интеграл «живых сил» (энергии) .....	57
2.4. Интегралы Лапласа .....	58
2.5. Шестой интеграл уравнений невозмущенного движения	59
2.6. Определение произвольных постоянных .....	61
2.7. Переход к орбитальным координатам .....	62
2.8. Кеплеровы элементы невозмущенного движения .....	66
2.9. Общие свойства невозмущенного движения .....	68
2.10. Эллиптическое движение .....	69
2.11. Круговые орбиты. Сфера действия .....	70

2.12. Некоторые практические задачи . . . . .	72
2.13. Параболические орбиты . . . . .	74
2.14. Гиперболические орбиты . . . . .	76
<b>Глава 3. Возмущенное движение . . . . .</b>	<b>79</b>
3.1. Общая характеристика возмущений и возмущенного движения . . . . .	79
3.2. Задача $n$ тел и методы ее решения . . . . .	83
3.3. Ограниченная задача трех тел и ее прикладные аспекты . . . . .	87
3.4. Гравитационные сферы . . . . .	90
3.5. Метод оскулирующих элементов . . . . .	93
3.6. Система дифференциальных уравнений движения в оскулирующих элементах . . . . .	96
3.7. Оценка изменений оскулирующих элементов . . . . .	100
3.8. Возмущения, вызываемые нецентральностью поля тяготения Земли . . . . .	101
3.9. Возмущения, вызываемые сопротивлением атмосферы . . . . .	103
3.10. Возмущения, вызываемые притяжением Солнца и Луны . . . . .	104
3.11. Возмущения, вызываемые давлением солнечного света . . . . .	106
3.12. Влияние начальных возмущений на движение ИСЗ по круговой орбите . . . . .	106
3.13. Время существования КА на орбите ИСЗ . . . . .	112
<b>Глава 4. Межпланетные перелеты . . . . .</b>	<b>115</b>
4.1. Анализ задач экспедиций к планетам и телам Солнечной системы. Основные требования, предъявляемые к схемам полета . . . . .	116
4.2. Формирование межпланетных орбит . . . . .	121
4.3. Формирование орбит с использованием гравитационных маневров . . . . .	125
4.4. Классификация схем полета . . . . .	127
4.5. Оптимизация схем полета . . . . .	129
<b>РАЗДЕЛ II. Определение орбит КА . . . . .</b>	<b>135</b>
<b>Глава 5. Определение невозмущенной орбиты по заданным условиям движения . . . . .</b>	<b>136</b>
5.1. Определение орбиты по положению и скорости КА в начальный момент . . . . .	136
5.2. Определение орбиты по двум фиксированным положениям и фокальному параметру . . . . .	137
5.3. Метод Гаусса для нахождения фокального параметра орбиты . . . . .	139
5.4. Нахождение элементов орбиты по двум фиксированным положениям аппарата . . . . .	140
5.5. Определение орбиты по двум фиксированным положениям методом Ламберта—Эйлера . . . . .	142

<b>Глава 6. Определение орбиты и вектора состояния КА по внешнетраекторным измерениям</b>	<b>146</b>
6.1. Анализ технической реализуемости измерений состояния КА различными средствами	148
6.2. Схемы измерений	150
6.3. Ошибки измерений	151
6.4. Метод определения орбиты по измерениям наклонной дальности и скорости изменения дальности	156
6.5. Характеристика методов обработки результатов измерений	157
6.6. Метод наименьших квадратов и его использование при обработке результатов измерений	159
6.7. Метод максимального правдоподобия	168
6.8. Основные положения методов определения параметров движения КА по выборке измерений нарастающего объема	171
6.9. Методы определения вектора состояния КА по измерениям текущих навигационных параметров	175
<b>Глава 7. Прогнозирование движения космических аппаратов</b>	<b>185</b>
7.1. Прогнозирование движения ИСЗ методами численного интегрирования	187
7.2. Аналитические методы прогнозирования движения ИСЗ	189
7.3. Прогнозирование движения межпланетных КА	192
<b>РАЗДЕЛ III. Введение в теорию спутниковой навигации</b>	<b>193</b>
<b>Глава 8. Общие принципы построения и элементы баллистического обеспечения спутниковых навигационных систем</b>	<b>197</b>
8.1. Структура, основные элементы и общая характеристика СНС	198
8.2. Кинематические характеристики СНС	206
8.3. Требования, предъявляемые к орбитальной структуре СНС	212
8.4. Упрощенное определение структуры орбитальной группировки геометрическим методом	214
8.5. Общая постановка задачи баллистического проектирования орбитальных структур СС	220
8.6. Влияние эволюций орбитальной структуры и управление СНС	229
<b>Глава 9. Методы и точность решения навигационных задач с использованием СРНС</b>	<b>236</b>
9.1. Основы построения алгоритмов навигационных определений	237
9.2. Понятия об алгоритмах решения навигационных задач по выборке одновременных измерений и выборке нарастающего объема	240
9.3. Показатели точности навигационных определений	249
9.4. Синхронизация временных шкал	254

<b>РАЗДЕЛ IV. Межорбитальные и локальные маневры космических аппаратов</b>	<b>258</b>
<b>Глава 10. Маневры орбитального перехода</b>	<b>260</b>
10.1. Характеристики маневров, выполняемых под действием импульсной силы	263
10.2. Энергетические затраты на импульсное изменение элементов орбиты и условия их минимизации	268
10.3. Общий подход к решению задач оптимизации управления маневрами околокруговых КА	270
10.4. Основные виды импульсных орбитальных переходов КА	274
<b>Глава 11. Корректирующие маневры</b>	<b>280</b>
11.1. Элементы теории малых возмущений	282
11.2. Корректируемые параметры	285
11.3. Понятие об области рассеивания в пространстве корректируемых параметров	286
11.4. Математические основы двухпараметрической коррекции	287
11.5. Однопараметрическая коррекция	289
11.6. Связанные коррекции	290
11.7. Аналитическое определение корректирующих воздействий при различных составах управляемых параметров	292
11.8. Особенности постановки задачи определения характеристик стохастической коррекции	296
11.9. Анализ стратегий коррекции движения АМС «Вега»	299
<b>Глава 12. Навигационное обеспечение и автономная навигация при выполнении межорбитальных маневров КА</b>	<b>309</b>
12.1. Особенности решения навигационной задачи при автономном выполнении межорбитальных маневров	311
12.2. Моделирование базисных направлений и получение навигационной информации с помощью астрономических, гироскопических датчиков и комплексных навигационных систем пилотируемых и беспилотных КА	315
12.3. Методические погрешности и инструментальные ошибки построителей базисных направлений и бортовых астроизмерителей. Методы повышения точности измерений при решении навигационных задач	319
12.4. Применение высокоточных радиоинтерферометрических измерений $\Delta$ DOR для межпланетной навигации	329
<b>Глава 13. Маневры сближения и встреча КА на орбите</b>	<b>332</b>
13.1. Уравнения относительного движения КА	335
13.2. Начальные условия для обеспечения встречи	340
13.3. Ближнее наведение с учетом действия относительного гравитационного ускорения	342
13.4. Математические основы методов ближнего наведения без учета действия относительного гравитационного ускорения	344

17.2. Математическая модель функционирования автоматизированной системы управления технологическим циклом БНО .....	456
17.3. Особенности постановки задачи БНО при действии возмущений .....	465
17.4. Организационно-технические аспекты использования оперативного БНО .....	468
17.5. Требования, предъявляемые к БНО .....	472
<b>Глава 18. Методические особенности решения баллистико-навигационных задач при оперативном управлении КА ..</b>	<b>473</b>
18.1. Специальное программно-математическое обеспечение решения задач БНО .....	475
18.2. Расчет стандартной баллистической информации .....	478
18.3. Некоторые особенности решения задач расчета маневров и коррекций траекторий полета КА .....	485
18.4. Особенности БНО полета автоматических межпланетных станций .....	489
18.5. Баллистико-навигационное обеспечение спуска КА .....	495
<b>Глава 19. Баллистико-навигационное обеспечение возвращения на Землю КА, выработавших свой ресурс ...</b>	<b>500</b>
19.1. Постановка задачи спуска с орбиты КА, выработавших ресурс .....	502
19.2. Анализ возможных вариантов стратегий спуска .....	504
19.3. Управление полетом ОК «Мир» на завершающем этапе его работы .....	510
19.4. Практическая реализация завершающих динамических операций по спуску ОК «Мир» .....	525
<b>ЛИТЕРАТУРА .....</b>	<b>531</b>

ISBN 5-7107-7085-X



9 785710 770856