

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ И ПРАКТИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ДИНАМИЧЕСКОГО МЕТОДА КОСМИЧЕСКОЙ ГЕОДЕЗИИ



Новосибирск
СГУГиТ
2015

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«СИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ГЕОСИСТЕМ И ТЕХНОЛОГИЙ»
(СГУГиТ)

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ
И ПРАКТИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ
ДИНАМИЧЕСКОГО МЕТОДА
КОСМИЧЕСКОЙ ГЕОДЕЗИИ**

Монография

Новосибирск
СГУГиТ
2015

УДК 528.2: 629.783
С56

Авторский коллектив:

*Ю. В. Сурнин, В. А. Ащеулов,
С. В. Кужелев, Е. В. Михайлович, Н. К. Шендрик*

Рецензенты: доктор технических наук, член-корреспондент РМА, начальник
отдела, ФГУП «СНИИМ» *А. С. Толстиков*
доктор технических наук, профессор, СГУГиТ *К. М. Антонович*
доктор технических наук, профессор, СГУГиТ *Б. Т. Мазуров*

**Совершенствование и практическая реализация динамического метода
С56 космической геодезии [Текст] : монография / Ю. В. Сурнин, В. А. Ащеулов, С. В. Кужелев, Е. В. Михайлович, Н. К. Шендрик; под общ. ред. Ю. В. Сурнина. – Новосибирск : СГУГиТ, 2015. – 193 с.**

ISBN 978-5-87693-862-6

В монографии рассматриваются теория и практическая реализация динамического метода космической геодезии, в том числе авторские разработки в данной области. Изложен алгоритм комплекса программ «ОРБИТА-СГГА».

Монография предназначена для специалистов, занимающихся вопросами практического применения динамического метода. Может использоваться студентами, магистрантами и аспирантами высших учебных заведений, обучающимися по направлениям подготовки и специальностям геодезического профиля.

Печатается по решению редакционно-издательского совета СГУГиТ

УДК 528.927

ISBN 978-5-87693-862-6

© СГУГиТ, 2015

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	7
Введение	9
1. Динамический метод решения задач космической геодезии	14
1.1. Математическая модель динамической системы.....	14
1.2. Системы времени.....	18
1.3. Переход от одних систем счета времени к другим.....	23
1.4. Математическая модель движения космического аппарата	25
1.4.1. Аналитические и численные модели движения космического аппарата.....	25
1.4.2. Системы координат для описания движения космического аппарата	26
1.4.3. Преобразования координат.....	28
1.4.4. Модели прецессии и нутации.....	31
1.4.5. Дифференциальные уравнения возмущенного движения космического аппарата	34
1.4.6. Методы численного интегрирования уравнений движения космического аппарата	35
1.4.7. Метод Булирша – Штёра.....	36
1.4.8. Метод Эверхарта	38
1.4.9. Модели возмущающих сил.....	42
1.4.9.1. Виды возмущающих сил, действующих на спутник.....	42
1.4.9.2. Влияние несферичности гравитационного потенциала Земли.....	42
1.4.9.3. Влияние Луны, Солнца и планет Солнечной системы	43
1.4.9.4. Влияние прямого солнечного излучения.....	44
1.4.9.5. Влияние активных сил	45

1.4.9.6. Влияние отраженного солнечного и инфракрасного излучения Земли.....	45
1.4.9.7. Влияние лунно-солнечных приливов в твердой коре и океане	46
1.5. Модель движения наземного пункта	46
1.5.1. Системы координат для описания положения наземного пункта	46
1.5.2. Связь общеземных и референцных систем координат.....	58
1.5.3. Связь небесных и земных систем координат	68
1.6. Модели измеряемого выхода динамической системы	75
1.6.1. Лазерная дальность.....	75
1.6.2. Кодовая псевдодальность	78
1.6.3. Влияние тропосферной рефракции на измеренную кодовую псевдодальность	79
1.6.4. Влияние ионосферы на измеренную кодовую псевдодальность	81
2. Реализация динамического метода космической геодезии в программных комплексах «ОРБИТА-СГГА» и «ОРБИТА-СГГА2»	83
2.1. Программные комплексы «ОРБИТА-СГГА» и «ОРБИТА-СГГА2».....	83
2.2. Модель движения космического аппарата, реализованная в программных комплексах «ОРБИТА-СГГА» и «ОРБИТА-СГГА2»	85
2.2.1. Дифференциальные уравнения движения космического аппарата	85
2.2.2. Модели возмущающих сил, реализованные в программных комплексах «ОРБИТА-СГГА» и «ОРБИТА-СГГА2».....	87
2.2.2.1. Виды возмущений, учитываемые в программных комплексах «ОРБИТА-СГГА» и «ОРБИТА-СГГА2».....	87
2.2.2.2. Методика расчета возмущающих ускорений от геопотенциала	88

2.2.2.3. Методика учета влияния прямого и отраженного солнечного излучения	89
2.2.2.4. Методика учета влияния Луны и Солнца	91
2.2.2.5. Методика учета влияния лунно-солнечных приливов в твердой коре и океане на движение космических аппаратов и на положение наземных пунктов	99
2.2.2.6. Методика учета влияния прецессии и нутации оси вращения Земли в преобразованиях координат	104
2.3. Формирование линеаризованной системы уравнений наблюдений	112
2.4. Вычисление свободных членов уравнений наблюдений	113
2.5. Вычисление коэффициентов уравнений наблюдений	114
2.5.1. Вычисление коэффициентов уравнений наблюдений аналитическим методом	118
2.5.2. Вычисление коэффициентов уравнений наблюдений численным методом	120
2.6. Решение системы уравнений наблюдений	131
2.6.1. Методика решения системы уравнений наблюдений	131
2.6.2. Преобразование системы уравнений наблюдений к треугольному виду	134
2.6.3. Отбраковка аномальных измерений	139
2.6.4. Масштабирование системы уравнений наблюдений	140
2.6.5. Разделение треугольной системы уравнений на группы локальных и глобальных параметров	143
2.6.6. Сингулярный анализ решения систем уравнений наблюдений	147
2.6.7. Критерий окончания итеративного процесса Ньютона решения нелинейной системы уравнений наблюдений	149
2.6.8. Накопление информации о глобальных параметрах по нескольким совокупностям орбитальных дуг	150

2.6.9. Преобразование свободных членов уравнений наблюдений при накоплении информации о глобальных параметрах	151
2.6.10. Подключение априорной и дополнительной информации о глобальных параметрах для вывода СГП и СМД для системы КА	151
2.6.11. Апостериорная оценка точности вывода согласующих значений глобальных параметров и согласующей модели движения.....	154
2.7. Вычислительный эксперимент по обработке лазерных измерений космического аппарата LAGEOS	157
2.8. Вычислительный эксперимент по обработке GPS- и ГЛОНАСС-измерений	161
Заключение	163
Список сокращений и условных обозначений	169
Библиографический список используемой литературы	172
Приложение 1. Примеры файлов лазерных измерений	182
Приложение 2. Описание полноразрядного формата ILRS.....	183
Приложение 3. Сведения о наземных пунктах, принимавших участие в лазерных измерениях дальностей КА LAGEOS с 01.09.1983 по 05.09.1983	185
Приложение 4. Описание формата ILRS Normal Point	186
Приложение 5. Данные о наземных пунктах, принимавших участие в лазерных измерениях дальностей КА LAGEOS в период с 02.08.2006 по 06.08.2006	189
Приложение 6. Формат RINEX (версия 2.0).....	190
Приложение 7. Данные о наземных пунктах, принимавших участие в GPS- и ГЛОНАСС-измерениях в период времени с 20.09.2004 по 10.10.2004	192