

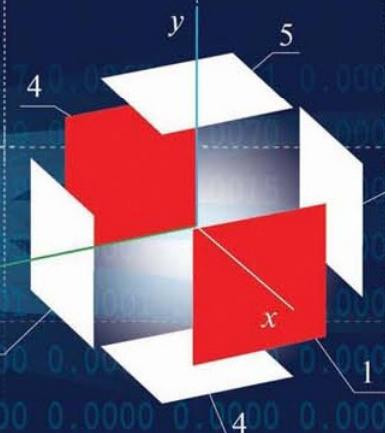
ISSN 2075 - 6836



ИНСТИТУТ
КОСМИЧЕСКИХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
РАН

А.И. НАЗАРЕНКО

МОДЕЛИРОВАНИЕ КОСМИЧЕСКОГО МУСОРА



РУ-УСЛОВНАЯ ВЕРОЯТНОСТЬ ПРОБОЯ	300	330	3
0.01-0.10 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000			
0.10-0.25 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000			
0.25-0.50 0.0185 0.0165 0.0168 0.0000 0.0000 0.0000			
0.50-1.00 0.4237 0.3308 0.3353 0.0000 0.0000 0.0000			
1.00-2.50 0.8365 0.9335 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000			
2.50-5.00 0.9153 0.9954 0.9952 0.0000 0.0000 0.0000			
5.00-10.0 0.9606 0.9998 0.9998 0.0076 0.0000 0.0000			

МЕХАНИКА, УПРАВЛЕНИЕ И ИНФОРМАТИКА

МОСКВА
2013

ISSN 2075-6836

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУК
ИНСТИТУТ КОСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК
(ИКИ РАН)

А.И. НАЗАРЕНКО

МОДЕЛИРОВАНИЕ КОСМИЧЕСКОГО МУСОРА

Серия «МЕХАНИКА, УПРАВЛЕНИЕ И ИНФОРМАТИКА»

МОСКВА
2013

УДК 519.7
H19

ISSN 2075-6839

Р е ц е н з е н т ы:

д-р физ.-мат. наук, проф. механико-мат. ф-та МГУ имени М. В. Ломоносова

A. Б. Киселев;

д-р техн. наук, ведущий науч. сотр. Института астрономии РАН

C. К. Татевян

Назаренко А. И. Моделирование космического мусора. М.: ИКИ РАН, 2013. 216 с. (Серия «Механика, управление и информатика»).

ISBN 978-5-9903101-6-2

Монография посвящена систематическому описанию методов, которые используются при моделировании космического мусора. Для решения различных прикладных задач, связанных с космическим мусором, автор применил единый подход. Он основан на статистическом описании космического мусора и построении преобразований одних его характеристик в другие.

Монография состоит из 14 разделов, каждый из которых посвящён рассмотрению конкретного вопроса. Первые шесть разделов знакомят читателя с источниками информации и известными методами, которые используются при моделировании космического мусора. В каждом из последующих разделов рассмотрены разработанные автором методы решения конкретных прикладных задач. Изложены алгоритмы их решения, примеры программной реализации и результаты расчётов.

Для научных работников, инженеров, аспирантов и студентов, связанных с проблемой космического мусора.

Ключевые слова: космический мусор, моделирование, прикладные задачи, концентрация, распределение скоростей, оценка текущего состояния, прогноз обстановки, вероятность столкновений, взаимные столкновения, последствия столкновений, время и место падения на Землю.

Nazarenko A. I. Space debris modeling. M.: IKI RAN, 2013. 216 p. (Series “Mechanics, Control and Informatics”).

The monograph is devoted to systematic description of the techniques, which are used in modeling the space debris. To solve various space-debris-related application tasks, the author applied the unique approach. It is based on statistical description of space debris population and on constructing the transformations of some particular kind of debris' characteristics into the other one.

The monograph includes 14 lectures. Each of lectures considers some specific subject. The first six lectures acquaint the reader with information sources and some known techniques, which are used in space debris modeling. Each of subsequent lectures outlines the techniques of solution of particular application tasks, developed by the author. The task solution algorithms, the examples of software implementation and the results of calculations are presented.

The monograph is intended for research workers, engineers, post-graduate students and students involved in the space debris research.

Keywords: space debris, modeling, application tasks, spatial density, velocity distribution, current state estimation, situation forecast, probability of collisions, mutual collisions, consequences of collisions, objects' reentry time and place.

Редактор: *Гордеев Ю. А.*

Дизайн обложки: *Захаров А. Н.*

Компьютерная верстка: *Комарова Н. Ю.*

© Назаренко А. И., 2013

© Федеральное государственное бюджетное учреждение науки

Институт космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН), 2013

Предисловие

На первых этапах освоения космоса бытовало мнение, что выполнение многочисленных программ не приводит к отрицательным экологическим последствиям, во всяком случае, в околоземном космическом пространстве (ОКП). В дальнейшем выяснилось, что техногенное загрязнение ОКП стало существенным негативным фактором в его практическом освоении. Изучение космического мусора (КМ) стало новым направлением классической астрономии. Дальнейшее освоение ОКП практически невозможно без объективного анализа текущего состояния и источников его загрязнения, закономерностей эволюции. Особенно остро этот вопрос стоит для низких орбит с высотами до 2000 км и геостационарных, где техногенное загрязнение максимально и возникла реальная опасность взаимных столкновений спутников. Характерная особенность монотонно растущего техногенного загрязнения ОКП — его глобальный и интернациональный характер.

Проблема предотвращения опасных последствий образования КМ привлекла внимание мировой общественности. Были проведены многочисленные исследования, результаты которых опубликованы в тысячах статей и нескольких монографиях. Этой проблеме посвящён специальный документ ООН (Технический доклад о космическом мусоре. Нью-Йорк: Издание ООН, 1999).

Традиционный подход к изучению КМ — детерминированный, он основан на определении орбит конкретных объектов космического мусора и их прогнозировании. Орбитальные параметры крупных тел (размером более ~15...20 см) регулярно определяются системами контроля космического пространства (СККП) России и США (*англ. Space Surveillance System, сокр. SSS*). Публикуемые ими каталоги содержат текущие оценки вектора состояния каждого из объектов, которые позволяют прогнозировать их движение. Очевидно, что при отсутствии детальных сведений об элементах орбит мелких объектов их изучение требует применения статистического подхода. Характеристики мелких объектов определяются на основе специальных моделей КМ. Поэтому создание моделей КМ связано с необходимостью разработки новых методик. В настоящее время эти методики интенсивно развиваются.

Характерная особенность многочисленных публикаций по проблеме КМ — описание конкретных результатов исследований и недостаточно подробное изложение методических вопросов. При этом во многих случаях применяются разные методические приёмы решения частных задач. Поэтому актуальным представляется разработка и применение единого подхода к решению различных прикладных задач, связанных с космическим мусором. Именно этой проблеме посвящена данная монография.

Предлагаемый автором единый подход основан на статистическом описании КМ и построении преобразований одних его характеристик в другие. Каждый из разделов монографии посвящён рассмотрению конкретного вопроса. Первые шесть знакомят читателя с источниками информации и известными методами, которые используются при моделировании КМ. В каждом из последующих разделов описаны методы решения конкретных прикладных задач. Изложены алгоритмы их решения, примеры программной реализации и результаты расчётов. В последующих разделах используются материалы предыдущих и постепенно они усложняются.

На получение изложенных в монографии результатов существенное влияние оказalo сотрудничество автора с его учителями — Н. П. Бусленко, М. Д. Кисликом и П. Е. Эльясбергом. Их умение сочетать теоретические исследования с получением важных прикладных результатов стало для автора образцом, которому он старался следовать.

Решение рассматриваемых в монографии задач было невозможно без постоянной поддержки, которую оказывали автору на протяжении многих лет Ю. П. Горохов, Н. П. Морозов, Г. М. Чернявский и М. В. Яковлев. Большую помощь в конкретных задачах, связанных с моделированием КМ, оказали автору его коллеги по работе: И. В. Балашов, В. А. Братчиков, А. Г. Клименко, Е. В. Коверга, И. Л. Менщиков и И. В. Усовик. Автор выражает им искреннюю признательность.

А. И. Назаренко

Назаренко Андрей Иванович — главный научный сотрудник НТЦ «КОСМОНИТ» ОАО Российские космические системы, доктор технических наук, профессор, лауреат Государственной премии, действительный член Академии космонавтики им. К. Э. Циолковского.

Оглавление

Предисловие	3
Раздел 1	
Прикладные задачи	5
Раздел 2	
Модели космического мусора — базовый инструмент решения прикладных задач. обзор доступных моделей и их основные характеристики.....	20
Раздел 3	
Каталоги космических объектов и основные принципы их ведения. Источники информации. Типы каталогизированных космических объектов. Орбитальные характеристики космических объектов. Элементы орбит и их статистическое распределение.....	36
Раздел 4	
Модели движения спутников. Виды возмущений. Обзор моделей движения. Американская модель SGP4. Проблема повышения точности	51
Раздел 5	
Краткий обзор наблюдений мелких объектов в околоземном космическом пространстве. Наземные радиолокационные, оптические и бортовые измерения. Проблема уточнения параметров модели по измерениям. Достижения последних лет	66
Раздел 6	
Результаты разрушений космических аппаратов и ракет-носителей при взрывах и столкновениях. Обзор известных моделей.....	78
Раздел 7	
Концентрация космических объектов. Методы её расчёта. Данные о концентрации космических объектов разного размера	93
Раздел 8	
Статистическое распределение величины и направления скорости космических объектов в инерциальном пространстве.....	109
Раздел 9	
Прогнозирование техногенного загрязнения околоземного космического пространства. Методические основы прогнозирования	122
Раздел 10	
Учёт взаимных столкновений объектов разного размера при прогнозировании обстановки	137
Раздел 11	
Оценка характеристик потока космического мусора относительно космического аппарата	152
Раздел 12	
Оценка вероятности пробоя стенок конструкции космических аппаратов	169
Раздел 13	
Анализ столкновений спутников	187
Раздел 14	
Определение времени и места падения космического аппарата «Фобос-Грунт»	207