МИРОНОВА КРИСТИНА ВАЛЕНТИНОВНА. Методы математического моделирования управления малыми космическими аппаратами на основе траекторной информации: диссертация ... кандидата технических наук: 05.13.18 / МИРОНОВА КРИСТИНА ВАЛЕНТИНОВНА;[Место защиты: Рязанский государственный радиотехнический университет].- Рязань, 2015.- 185 с.

Федеральное государственное бюджетное образовательное

учреждение вьісшего профессионального образования

«Рязанский государственный радиотехнический университет»

На правах рукописи

Миронова Кристина Валентиновна

Методы математического моделирования

управления малыми космическими аппаратами

на основе траекторной информации

Специальность 05.13.18 - Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель:

доктор технических наук, профессор,

заслуженный деятель науки и техники РФ

Корячко Вячеслав Петрович

Рязань-2015

2

Оглавление

Оглавление 2

Введение 4

Глава 1 Математическое моделирование в задаче о достижимости цели в малом

для плоского управляемого движения МКА 13

1.1 Основные черты, характеристики малых космических аппаратов (МКА) 13

1.3 Построение динамической модели движения МКА и модели управления

МКА 25

1.4 Основные определения и постановка основных диссертационных задач 36

1.5 Обзор предшествующих результатов по теме диссертации 42

1.6 Постановка задачи о достижимости цели в малом в случае плоского движения МКА 52

1.7 Решение задачи о достижимости цели в малом в случае плоского движения МКА 53

1.8 Моделирование 63

1.9 Вопрос о сильной достижимости цели в малом для МКА 69

1.10 Решение задачи о недостижимости цели в малом для МКА в плоском случае

Глава 2 Математическое моделирование в задаче о достижимости цели в малом

для пространственного управляемого движения МКА 83

2.1 Постановка задачи 83

2.2 Вспомогательные результаты из дифференциальной геометрии 85

2.3 Решение задачи достижимости цели в малом в случае пространственного

движения МКА 90

2.4 Моделирование 111

Глава 3 Минимизации расхода топлива при управлении в малом МКА 118

3

3.1 Задача о минимизации расхода топлива при управлении в малом для МКА 118

3.2 Моделирование 125

3.3 Задача о быстродействии в малом для МКА 126

Глава 4 Планирование и аппроксимация управления, алгоритмическая и

программная реализации в вопросах управления для МКА 129

4.1 Постановка задачи о проектировании управления для МКА 129

4.2 Проектирование вариантов управления для МКА на основе траекторных измерений 134

4.3 Аппроксимация управления для МКА в классе кусочно-постоянных функций 152

4.4 Выводы по 4-й главе 166

Заключение 167

Список литературы 169

Приложение А 180

Заключение

Подведем итоги работы и наметим возможные направления развития ее результатов. В представленной диссертационной работе предложено решение фундаментальной ([27]) задачи теории управления - проведен анализ достижимости цели управления применительно к МКА в различных ее модификациях и при различных условиях.

Основное содержание диссертации отражено в 16 публикациях автора [88 - 103]: 1 научная монография, 5 статей в журналах, рекомендованных ВАК для публикаций диссертационных работ, 3 статьи в рецензируемых сборниках трудов учебных заведений, 5 тезисов докладов на международных и всероссийских конференциях. Автором зарегистрировано 2 программных продукта в Государственном фонде РФ [102, 103].

Обобщая, можно сказать, что основные результаты диссертационного исследования таковы.

1. Обоснована новая динамическая по виду модель движения объекта при внешнем воздействии сил, в частности, применительно к МКА. Обоснована модель управления движением объекта с центрально симметричным внутренним воздействием на объект, в частности, применительно к МКА.

2. Сформулированы новые для отрасли задачи управляемости в малом объектом, в частности, МКА в случае нелинейных неавтономных моделей для достижения объектом заданной цели.

3. Поставлена новая для отрасли задачи о достижимости цели в малом в случае плоского неавтономного движения МКА, и предложено ее решение. Поставлен вопрос о сильной достижимости цели в малом для плоского неавтономного движения МКА, и предложено его решение.

4. Поставлена новая для отрасли задача о недостижимости цели в малом для МКА в плоском неавтономном случае движения, и предложено ее решение.

168

5. Поставлена новая для отрасли задачи об управляемости в малом для пространственного неавтономного движения МКА, и предложено ее решение.

6. Проведено адекватное, верификационное моделирование для плоского и пространственного случаев.

7. Выдвинута и в инженерном плане обоснована новая задача о минимизации расхода топлива при управлении в малом для МКА.

8. Предложен метод, позволяющий на основе траекторных измерений оценить параметры движения МКА и выделить оптимальный класс управляющих воздействий на МКА, который заранее заложен в возможности силовой установки МКА.

9. С целью увеличения точности оценивания траекторных параметров проведена модернизация общего метода наименьших квадратов, заключающаяся в сокращении измерительных данных при сохранении характера распределения ошибок измерений, сохранении математического ожидания и уменьшении дисперсии ошибок измерений.

10. Для контроля надежности выбора управления МКА описаны законы распределения отклонения оценок от истинных значений параметров движения МКА.

11. Проведено математическое моделирование по выбору вариантов управления МКА, движущегося по полярной орбите вокруг Земли. На основе предложенного подхода в рассмотренной выше задаче 4 осуществлен выбор класса управлений (по критерию минимальности нормы отклонения оценок траекторных параметров от их номинального значения) для наноспутника из множества классов управлений {Д, U2, U3, U4}), и доказана эффективность метода выбора в сравнении с другими методиками.

Предложено решение задачи по устойчивому управлению линейными системами переменной структуры, встраиваемыми в управление МКА