

УДК 629.78

О программном комплексе для расчета маневров встречи, разрабатываемом в МФТИ

Чиняев Владимир Николаевич^(*)

chiniaev.vn@mipt.ru

Кузнецов Александр Алексеевич

kuznetsov.aa@mipt.ru

Московский физико-технический институт, Москва, Россия

Аннотация. В работе предложен подход к решению задачи встречи космических аппаратов и задачи формирования спутниковых построений. Получены матрицы маневров в нотации модифицированных равноденственных элементов. Реализованы алгоритмы, позволяющие рассчитать оптимальные импульсы скорости для многоимпульсных задач встречи и формирования спутниковых построений. Разработанные процедуры позволяют учесть параметры двигательной установки космического аппарата при формировании последовательности импульсов.

Ключевые слова: космические аппараты, управление движением, задача встречи, модифицированные равноденственные элементы, многоимпульсные маневры, орбитальные группировки, прецессия орбиты

Введение. В настоящей работе рассматривается задача встречи космических аппаратов (КА) и задача формирования спутниковых построений. Первая из них заключается в переходе в заданную точку конечной орбиты за фиксированное время. Последняя представляет собой задачу встречи с открытым временем, когда нужно не только скомпенсировать отклонения орбиты, но и выбрать оптимальную продолжительность вывода КА. Целью работы является создание робастного и эффективного комплекса программ для решения поставленных задач. Перечисленные особенности такого комплекса делают актуальным его использование в качестве бортового программного обеспечения.

Материалы и методы; результаты. В работе предлагается использование модифицированных равноденственных элементов (МЭЭ, modified equinoctial elements) [1] вместо традиционных кеплеровых элементов орбиты. Этот подход позволяет избежать вырождений при расчетах на околокруговых и экваториальных орбитах, повышая тем самым стабильность численных методов.

В ходе выполнения работы были разработаны алгоритмы решения задач встречи и формирования спутникового построения. Для каждой из них были получены и реализованы матрицы маневров в нотации МЭЭ для двух-, трех- и четырехимпульсных схем маневрирования. Оптимизация решения выполняется с помощью использования метода перебора. Для ускорения расчета применяется численно-аналитическая модель прогноза движения КА [2]. Такой выбор был обусловлен ее быстродействием, относительной простотой, наглядностью и надежностью. Отличительной особенностью решения задачи формирования орбитального построения является учет изменения вековых

возмущений орбитальных элементов вследствие приложения импульса. Это позволяет построить эффективные схемы маневрирования при значительных изменениях долготы восходящего узла и аргумента широты.

Для получения решения поставленных задач с требуемой точностью, реализованы соответствующие итерационные алгоритмы. Кроме того, разработаны процедуры, которые позволяют учесть параметры двигательной установки КА и произвести расчет маневрирования с протяженными импульсами.

Заключение. Реализованные алгоритмы расчета оптимального маневрирования с использованием модифицированных равноденственных элементов продемонстрировали устойчивость, эффективность и быстродействие при решении задач встречи и формирования спутниковых группировок для различных типов орбит и времен выведения КА. Применение описанного подхода позволило не только избежать численных вырождений при работе с орбитальными элементами, но и дало возможность использования разработанного комплекса в качестве бортового программного обеспечения. Вышеперечисленное делает предложенный метод полезным для практического использования в миссиях с КА, требующих точного, гибкого и автономного управления траекторией полета.

Список источников

- [1] Walker M.J.H. A set of modified equinoctial orbit elements. *Celestial mechanics*, 1986, vol. 38, no. 4, pp. 391–392.
- [2] Тюлин А.Е., Бетанов В.В. Системный анализ навигационно-баллистического обеспечения в практике применения передовых космических технологий. *Системный анализ, управление и навигация. XXIV Междунар. науч. конф.: тез. докл.* Москва, МАИ-Принт, 2019, с. 16–18.