

УДК 531.3:681.5.01

О стабилизации крупногабаритной орбитальной станции в положении равновесия с использованием ракетных двигателей

Сумароков Антон Владимирович

anton.sumarokov@rsce.ru

Уварова Екатерина Игоревна^(*)

ekaterina.uvarova2@rsce.ru

ПАО «РКК «Энергия», Королёв, Московская обл., Россия

Аннотация. Рассматривается управление угловым движением крупногабаритной перспективной орбитальной станции с жидкостными ракетными двигателями в качестве исполнительных органов. В целях минимизации расхода топлива на управление угловым движением станции применяется адаптивный наблюдатель, проводящий оценку возмущающих моментов, действующих на станцию, и формирующий углы доворота станции в предполагаемое положение равновесия.

Ключевые слова: орбитальная станция, положение равновесия, наблюдатель Люинбергера

Введение. Одной из оптимальных ориентаций для орбитальной станции, эффективной с точки зрения экономии топлива и с точки зрения удобства для использования станции в научных целях [1], является равновесная ориентация, в которой минимизируется сумма гравитационного, гироскопического и аэродинамического моментов. При отсутствии гиродинов [2], и использовании ракетных двигателей в качестве исполнительных органов [3–5] поддержание такой ориентации позволяет значительно сократить затраты топлива. Другим способом сокращения затрат топлива является ориентация станции в положении исключительно гравитационного равновесия, при которой одна из главных центральных осей инерции объекта управления располагается вдоль вектора местной вертикали, а другая — перпендикулярно плоскости орбиты. В такой ориентации на станцию действует неизвестный аэродинамический момент, который может значительно изменяться в зависимости от параметров атмосферы уровня солнечной и геомагнитной активности и известных с низкой точностью аэродинамических характеристик станции. По этой причине аэродинамический момент аналитически может быть вычислен лишь приблизительно и единственным способом его учета является его идентификация при помощи бортовых алгоритмов. В данной работе для учета аэродинамического момента использован подход, основанный на применении адаптивного наблюдателя Люинбергера.

Методы и материалы; результаты. Настройка наблюдателя, формирующего оценку вектора состояния, проводилась методом градиентного спуска с функцией штрафа в виде суммы квадратов невязок угловой скорости и углового положения станции. Весовые коэффициенты выбирались методом модального управления корнями характеристического полинома системы [6].

В качестве эталонного многочлена принят полином, соответствующий знаменателю передаточной функции цифрового фильтра Баттерворта 3-го порядка [7, 8]. Проведено математическое моделирование движения станции с использованием предложенного алгоритма, среднее значение расхода топлива составило приблизительно 82 г/час. Поддержание исключительно гравитационного положения равновесия без учета аэродинамического момента приводит к среднему расходу топлива 216 г/час, что говорит об эффективности и работоспособности описанного алгоритма.

Заключение. Представленные результаты моделирования движения КА с помощью описанного алгоритма показывают его эффективность и работоспособность. Сравнение расхода топлива при использовании предложенного алгоритма с поддержанием только гравитационного положения равновесия позволяет сделать вывод, что задействование алгоритма способно снизить затраты топлива примерно в 2,5 раза.

Список источников

- [1] Сумароков А.В. О бортовом алгоритме усреднения параметров орбитального движения Международной космической станции в эксперименте ICARUS. *Известия РАН. ТуСУ*, 2018, № 2, с. 102–111.
- [2] Платонов В.Н., Сумароков А.В. Управление космическим аппаратом с помощью двухстепенных гироскопов при их раскрутке и торможении. *Известия РАН. ТуСУ*, 2020, № 2, с. 156–167.
- [3] Борисенко А.Я., Сумароков А.В. Об управлении угловым движением и коррекции орбиты с помощью ограниченного набора ракетных двигателей. *Известия РАН. ТуСУ*, 2025, № 2, с. 125–139.
- [4] Сумароков А.В. Управление движением Многоцелевого лабораторного модуля с помощью двигательной установки. *Известия РАН. ТуСУ*, 2023, № 3, с. 141–155.
- [5] Сумароков А.В. Об управлении движением перспективного транспортного космического корабля с помощью ракетных двигателей. *Известия РАН. ТуСУ*, 2024, № 2, с. 154–168.
- [6] Богданов К.А., Зыков А.В., Субботин А.В. и др. Применение обобщенных полиномов Баттерворта для стабилизации положения равновесия космической станции. *Известия РАН. ТуСУ*, 2020, № 3, с. 148–163.
- [7] Зубов Н.Е., Микрин Е.А., Мисриханов М.Ш., Рябченко В.Н. Тимаков С.Н., Черемных Е.А. Идентификация положения равновесной ориентации международной космической станции как задача матричного пополнения с устойчивостью. *Известия РАН. ТуСУ*, 2012, № 2, с. 130–144.
- [8] Лэм Г. *Аналоговые и цифровые фильтры*. Москва, Мир, 1982, 451 с.