

ОСОБЕННОСТИ ПРОГРАММ УПРАВЛЕНИЯ ПРИ ДВИЖЕНИИ АЭРОКОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ ПО СУБОРБИТАЛЬНЫМ ТРАЕКТОРИЯМ

Среди новых задач исследования движения аэрокосмических аппаратов (АА) следует выделить задачу об управлении суборбитальными траекториями.

Отличительной особенностью суборбитальных траекторий является начальная скорость входа в плотные слои атмосферы, существенно меньшая орбитальной, и, как следствие, меньшая начальная величина кинетической энергии.

Некоторые вопросы управления суборбитальными траекториями были рассмотрены в работах авторов [1-4].

В настоящей статье обсуждаются особенности программ двухканального (по каналам угла атаки и скоростного угла крена) и трехканального (с дополнительным каналом тяги) управления, полученные методом последовательной линеаризации для орбитального самолета (ОС) и экспериментального суборбитального самолета (ЭСС).

Согласно классическим результатам, полученным при решении методом принципа максимума наиболее интересной и важной с точки зрения определения маневренных возможностей АА задачи о достижении максимальной боковой дальности при спуске в атмосфере с околосредними скоростями, программы угла атаки и крена носят колебательный характер [5]. Угол атаки колеблется относительно невыгоднейшего значения, при котором достигается максимальная величина аэродинамического качества АА, а угол крена уменьшается от некоторого начального значения, близкого к 90° , до нуля.

Рассмотрено движение по суборбитальной траектории ОС, являющегося второй космической ступенью многофазовой авиационно-космической системы (АКС) [6], при прекращении его выведения на орбиту.

Программа управления углом атаки также обеспечивает максимальное аэродинамическое качество ОС для наибольшей реализации его маневренных возможностей и достижения наибольшей боковой дальности спуска. Угол крена ввиду небольшой начальной скорости движения АА имеет характерное увеличение своего значения в области наибольших скоростных потоков, что обеспечивает максимальную боковую дальность (рис.1).

Рассмотрен спуск в атмосфере ЭСС — демонстратора технологий авиационно-космических систем, предназначенного для проведения летных испытаний по отработке эле-

ментов полномасштабной АКС [6]. Движение ЭСС рассматривается с момента окончания выведения на суборбитальную траекторию на высоте 70 км при положительном угле наклона траектории и скорости, значительно меньшей круговой (порядка 4500 м/с). После достижения высоты 85...90 км ЭСС совершает управляемый спуск в атмосфере. Траектория спуска должна иметь одно отражение от плотных слоев атмосферы (рикошет), величина которого не может превышать некоторого допустимого значения, поскольку траектории с рикошетами неустойчивы при варьировании управляющей зависимости в процессе командного управления спуском.

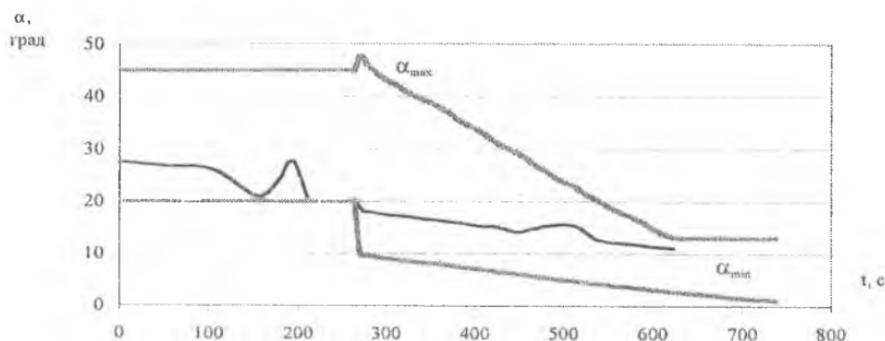


Рисунок 1 – Зависимость скоростного угла крена от времени

Программа управления углом атаки имеет колебательный характер (рис.2). На большей части траектории угол атаки имеет значение, близкое к наивыгоднейшему. Однако следует отметить, что наличие ограничения по рикошету делает программу угла атаки отличной от программы полета с наивыгоднейшим углом атаки.

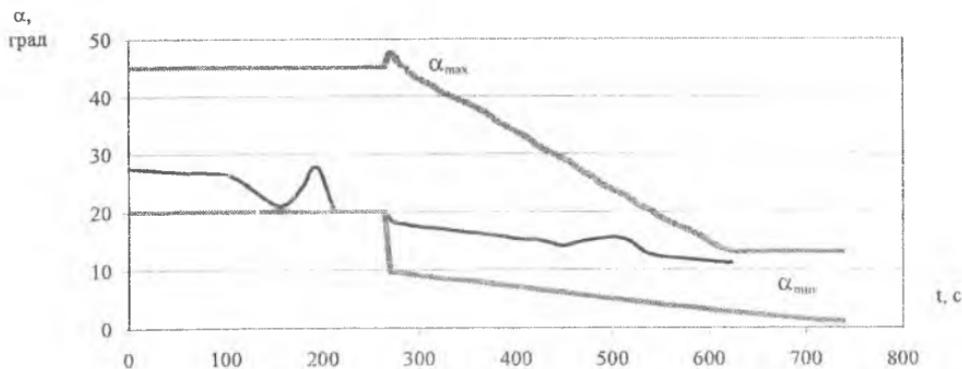


Рисунок 2 – Программа управления углом атаки

Угол крена увеличивает свое значение в области наибольших скоростных потоков (рис.3).

Третий канал управления является специфической особенностью АА, совершающего суборбитальное движение, поскольку для расширения его маневренных возможностей увеличивается кинетическая энергия за счет работы двигательной установки (ДУ) и сжигания имеющихся на борту запасов топлива.

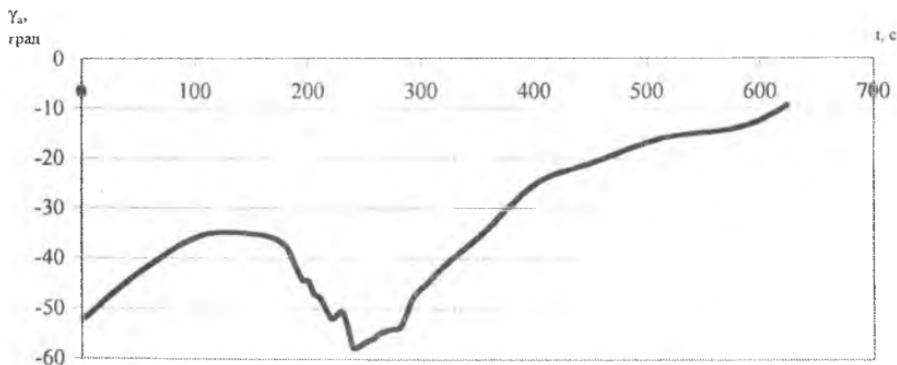


Рисунок 3 – Программа управления скоростным углом крена

Полученные решения показывают, что ДУ работает непрерывно, начиная с момента входа АА в плотные слои атмосферы и до полного израсходования имеющихся запасов топлива. Наибольший расход топлива имеет место на начальном (до первого рикошета) участке суборбитальной траектории, поскольку это позволяет максимально увеличить кинетическую энергию АА и, следовательно, его маневренные возможности.

Поскольку запасы топлива ОС и ЭСС невелики, то и приращение скорости АА при работе ДУ ограничено. Поэтому введение третьего канала управления не вносит принципиальных изменений в указанный выше характер программ углов атаки и крена.

Таким образом, получены следующие результаты решения задачи о достижении максимальной боковой дальности при спуске по суборбитальным траекториям:

программа угла атаки имеет колебательный характер со значениями, близкими к наиболее выгоднейшему;

программа угла скоростного крена имеет колебательный характер с ярко выраженным увеличением величины угла в районе максимальных скоростных напоров;

на начальном участке траектории расход топлива имеет наибольшие значения.

Отметим, что учет для ОС возможного ограничения на максимально допустимое значение удельного теплового потока существенно изменяет структуру программ трехканального управления [4].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Баяндина Т.А., Киселева С.А., Лазарев Ю.Н. Исследование маневренных возможностей при спуске в атмосфере орбитального самолета в нештатных ситуациях, возникающих при выведении на орбиту. // Сб. трудов IX Всероссийского научно-технического семинара по управлению движением и навигации летательных аппаратов. Самара, 1999, ч.1, с. 39-42.
2. Лазарев Ю.Н., Баяндина Т.А. Исследование маневренных возможностей орбитального самолета при спуске в нештатных ситуациях. // Известия Самарского научного центра Российской академии наук, 2000, №1, с. 89-93.
3. Лазарев Ю.Н., Баяндина Т.А. Области достижимости орбитального самолета при спуске в нештатных ситуациях. // Тезисы докладов VI Международной конференции «Системный анализ и управление космическими комплексами». Москва: МАИ, 2001, с. 46-47.
4. Балакин В.Л., Баяндина Т.А., Лазарев Ю.Н. Программы трехканального управления суборбитальной траекторией движения орбитального самолета // Вестник СГАУ, №1, 2004, с. 12-16.
5. Шкадов Л.М., Буханова Р.С., Илларионов В.Ф., Плохий В.П. Механика оптимального пространственного движения летательных аппаратов в атмосфере. М.: Машиностроение, 1972.
6. Авиационно-космические системы: Сборник статей под редакцией Г.Е. Лозино-Лозинского и А.Г. Братухина. М.: Изд-во МАИ, 1997.