

УПРАВЛЕНИЕ ДВИЖЕНИЕМ ПЕРСПЕКТИВНОГО ТРАНСПОРТНОГО КОСМИЧЕСКОГО КОРАБЛЯ С ПОМОЩЬЮ РЕАКТИВНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

А.В. Сумароков

ПАО «Ракетно-космическая корпорация «Энергия» имени С.П. Королёва»

Россия, 141070, МО, Королёв, ул. Ленина, 4А

E-mail: anton.sumarokov@rsce.ru

Ключевые слова: управление угловым движением КА, реактивные двигатели, закон управления, задача линейного программирования.

Аннотация: Рассматривается управление движением перспективного транспортного корабля «Орел». Для маневрирования и угловой стабилизации в качестве исполнительных органов применяется двигательная установка. В целях обеспечения одновременного управления перемещениями центра масс космического аппарата и его стабилизацией с помощью двигателей в каждый момент времени приходится решать задачи определения требуемого изменения скорости космического аппарата, выбора оптимальной конфигурации двигателей для управления угловым движением аппарата и коррекции его орбиты, а также задачу прогнозирования параметров его движения. Приводятся методы решения этих задач, примененные при разработке системы управления перспективного транспортного корабля «Орел». Работоспособность описанных алгоритмов подтверждается результатами математического моделирования на наземном стенде отработки бортового программного обеспечения.

1. Введение

Пилотируемый транспортный корабль (ПТК) нового поколения «Орел», разработка которого в настоящий момент завершается, должен прийти на смену пилотируемым кораблям серии «Союз» и стать основным средством доставки экипажей на проектируемую Российскую орбитальную станцию [Ошибка! Источник ссылки не найден.]. Вместе с тем технический задел, реализованный в данном корабле, должен обеспечить России доступ пилотируемых полетов как на низкие околоземные, так и на окололунные орбиты. Кроме того, этот корабль должен стать средством для проведения различных космических экспериментов, связанных с изучением жизнедеятельности человека в космосе, созданием новых материалов и технологий [Ошибка! Источник ссылки не найден.], исследованием Земли из космоса [Ошибка! Источник ссылки не найден., Ошибка! Источник ссылки не найден.]. С точки зрения системы управления движением корабль «Орел» отчасти подобен транспортным пилотируемым и грузовым кораблям типа «Союз», «Прогресс», решающих в ходе своего полета схожие задачи [Ошибка! Источник ссылки не найден.]. Как и на данных кораблях, на ПТК для осуществления угловых и пространственных маневров используется набор ракетных двигателей, размещенных в различных точках двигательного отсека. Однако вместе с тем в корабле «Орел» имеется и ряд особенностей, позволивших значительно расширить функционал

системы управления движением [Ошибка! Источник ссылки не найден.]. В частности, одной из особенностей является возможность индивидуального управления каждым двигателем ориентации, в то время как на кораблях «Союз» и «Прогресс» управляющие воздействия, рассчитанные в бортовых алгоритмах, выдаются сразу на группы двигателей. Данное обстоятельство дает возможность оптимизировать конфигурацию включаемых двигателей в зависимости от величины и направления требуемого приращения линейной и угловой скоростей с точки зрения расхода топлива, необходимого на их реализацию. Это достигается с помощью алгоритма, подобного задействованного ранее на многофункциональном лабораторном модуле «Наука» [Ошибка! Источник ссылки не найден., Ошибка! Источник ссылки не найден.]. Как и на данном модуле, указанная особенность позволяет значительно расширить возможности системы управления с точки зрения автоматической реконфигурации набора применяемых двигателей в случае нештатного функционирования отдельных элементов двигательной установки. В отличие от модуля «Наука» в ПТК «Орел» предлагается использовать методы оптимизации не только для управления угловым движением, но и при реализации орбитальных маневров с помощью двигателей причаливания и ориентации.

2. Постановка задачи управления

Рассматривается алгоритм формирования совокупности управляющих сигналов на двигатели ПТК «Орел». Алгоритм обеспечивает одновременное управление движением как центра масс корабля, так и вокруг его центра масс на участке автономного полета. Двигательная установка (ДУ) ПТК состоит из 32 двигателей двух типов: 30 двигателей причаливания и ориентации (ДПО) тягой ~ 248 Н, которые используются для управления движением и центра масс и осуществления угловых маневров; 2 маршевых двигателя (МД) тягой ~ 20000 Н, имеющие возможность отклонения вектора тяги – для осуществления орбитальных маневров. Рассматриваемый в работе алгоритм управления не затрагивает применение МД.

Для перемещений центра масс аппарата и его вращения с помощью ракетных двигателей, управление осуществляется с использованием широтно-импульсной модуляции длительности включения двигателей. Все ДПО распределены по поверхности двигательного отсека ПТК для обеспечения возможности создания управляющих воздействий по любому из 12 каналов управления (6 пространственных и 6 угловых). На рис. 1 черными стрелками для каждого ДПО изображены направления истечения продуктов сгорания. Направление тяги, создаваемой ДПО, имеет соответственно противоположное направление. Двигатели расположены в восьми блоках, которые образуют три пояса двигателей. Первый пояс находится на донном экране двигательного отсека и состоит из восьми ДПО (ДПО1-ДПО8 на рис.1). Указанный набор двигателей используется для перемещения в направлении $+X$ и создания моментов в каналах рысканья и тангажа. Средний пояс, размещен вблизи положения центра масс на продольной оси ПТК и состоит из восьми ДПО (ДПО23-ДПО30 на рис.1). Данные двигатели создают небольшие управляющие моменты (по сравнению с ДПО донного торца) и применяются в основном для перемещений в боковых каналах $\pm Y$ и $\pm Z$. Наконец, передний пояс расположен ближе к возвращаемому аппарату и состоит из 14 ДПО (ДПО9-ДПО22 на рис. 1). Предназначение двигателей данного пояса: обеспечение перемещения в направлении $-X$ и создание моментов в каналах тангажа и рысканья (ДПО9-ДПО14 на рис. 1) и в канале крена (ДПО15-ДПО22 на рис.1). Двигатели разделены на два гидравлических коллектора (в одном – 14 ДПО в другом – 16 ДПО), каждый из которых отдельно

позволяет решать поставленную задачу управления пространственным движением ПТК. В качестве основного варианта управления рассматривается одновременное использование всех 30 ДПО. Одной из проблем при формировании управляющих длительностей включения двигателей является то обстоятельство, что направления тяг подавляющего большинства двигателей не совпадают ни с каналами измерителя угловой скорости, ни с направлениями осей связанной системы координат ПТК. В основном практически все двигатели создают воздействия сразу по всем каналам управления, что затрудняет возможности их комбинирования для формирования управляющего воздействия только по одному или нескольким выбранным каналам.

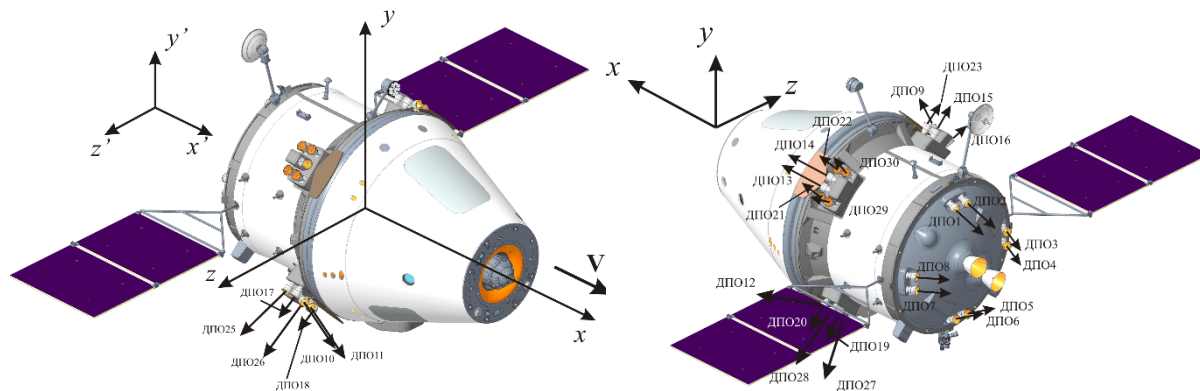


Рис. 1. Схема расположения двигателей причаливания и ориентации ПТК «Орел».

В качестве связанного базиса ПТК применяется система координат с началом в центре масс: продольная ось Ox направлена в сторону стыковочного узла, ось Oy – в сторону кронштейна крепления штанги, на которой установлена остронаправленная антенна, а ось Oz совпадает с осью вращения солнечных батарей и дополняет систему до правой тройки (рис. 1).

Как и в случае модуля «Наука», задача управления пространственным движением с помощью двигателей состоит из трех основных частей: определение потребного изменения скорости космического аппарата (КА) на каждом такте управления бортовой центральной вычислительной машины; реализация потребного изменения угловой скорости с помощью ДУ путем выбора оптимальной схемы включения двигателей; прогнозирование изменения параметров движения КА.

3. Полученные результаты

Результаты работы алгоритма выбора набора включаемых ДПО для управления угловым движением были приведены в [Ошибка! Источник ссылки не найден.], для ПТК «Орел» поведение параметров ориентации и движения центра масс имеют похожий характер. В докладе подробно рассматривается алгоритм отключения отдельных двигателей работающих в процессе реализации корректирующего импульса для обеспечения орбитального маневрирования. Их отключение используется для одновременного управления ориентацией ПТК. Для демонстрации работы алгоритма в докладе приводятся результаты моделирования реализации орбитальных маневров по декартовой (когда требуемое направление приращения линейной скорости перепроектируется на оси связанного базиса и реализация импульса осуществляется с использованием ДПО, работающих в разных направлениях) и по полярной схемам

(когда в связанной системе существует некое выделенное направление, в котором имеется возможность создания большой тяги, в частности для ПТК это направления $+X$ и $-X$, и связанный базис разворачивается в пространстве таким образом, чтобы совместить указанное направление тяги с необходимым направлением выдачи импульса в инерциальном базисе). Результаты моделирования движения КА на наземном комплексе обработки бортового программного обеспечения показали эффективность предложенного алгоритма и доказали его работоспособность.

Список литературы

1. Соловьев В.А., Коваленко А.А. Высокоширотная пилотируемая орбитальная станция. Задачи управления полетом // Матер. общих заседаний 15-й мультиконф. по проблемам управления. С.Пб.: ГНЦ РФ ОАО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор», 2022. С. 7-9.
2. Сумароков А.В. О бортовом алгоритме усреднения параметров орбитального движения Международной космической станции в эксперименте ICARUS // Изв. РАН. ТиСУ. 2018. № 2. С. 102-111.
3. Беляев М.Ю., Десинов Л.В., Караваев Д.Ю. и др. Особенности проведения и использования результатов съемок земной поверхности, выполняемой экипажами Российского сегмента МКС // Космическая техника и технологии. 2015. № 1. С. 17-30.
4. Сумароков А.В. Наведение камеры высокого разрешения при видеосъемке поверхности Земли с МКС // Навигация и управление движением. Матер. XVII конф. молодых ученых «Навигация и управление движением» // Под. общ. ред. В.Г. Пешехонова. С.Пб.: ГНЦ РФ ОАО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор», 2015. С. 561-568.
5. Борисенко Н.Ю., Борисенко Ю.Н., Платонов В.Н. и др. Анализ статистики ускоренного построения орбитальной системы координат транспортных пилотируемых и грузовых кораблей и методы повышения точности // Космическая техника и технологии. 2018. № 2. С. 58-65.
6. Сумароков А.В. Об управлении движением Многоцелевого лабораторного модуля с помощью реактивных двигателей на автономном участке полета // Навигация и управление движением. Матер. XIV конф. молодых ученых «Навигация и управление движением» // Под. общ. ред. В.Г. Пешехонова. С.Пб.: ГНЦ РФ ОАО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор», 2012. С. 157-164.
7. Сумароков А.В. Управление движением Многоцелевого лабораторного модуля с помощью двигательной установки // Изв. РАН. ТиСУ. 2023. №3. С. 141-155.
8. Прутько А.А., Сумароков А.В. О нагрузках на элементы конструкции Многоцелевого лабораторного модуля на автономном участке полета // Вестн. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Приборостроение. 2017. № 2. С. 123-138.