

УДК 769.28

ОПЫТ УПРАВЛЕНИЯ И ЭКСПЛУАТАЦИИ ОБЪЕДИНЕННОЙ ДВИГАТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ ПИЛОТИРУЕМЫХ ОРБИТАЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ

С.В. Соловьев

Ракетно-Космическая Корпорация «Энергия» им. С.П. Королева
Россия, 141070, Московская обл, Королев, Ленина ул., 4а
E-mail: sergey.soloviev@rsce.ru

Д.В. Сысоев

Ракетно-Космическая Корпорация «Энергия» им. С.П. Королева
Россия, 141070, Московская обл, Королев, Ленина ул., 4а
E-mail: denis.sysoev@rsce.ru

Ключевые слова: Орбитальный комплекс, управление, контроль состояния, объединенная двигательная установка, дозаправка, полетные операции.

Аннотация: Объединенная двигательная установка (ОДУ) является одним из комплексов служебных систем орбитального комплекса (ОК), функционирование которых является критически важным для его существования, обеспечения безопасности экипажа, обеспечения выполнения программы полета. В докладе систематизируется и обобщается опыт управления и эксплуатации ОДУ за более чем 20-летнюю историю его использования. Представлен обзор служебных процедур, проводимых при управлении ОДУ орбитальных комплексов. Приведено описание типовых операций. Осуществление процесса управления проводится в рамках иерархической структуры. Принципиальные отличия условий космического полета приводит к весьма специфическим особенностям и значительному усложнению всего процесса управления.

Объединенная двигательная установка (ОДУ) являются неотъемлемой частью орбитальных комплексов (ОК). Топливные системы модулей ОК объединены гидроразъемами стыковочных узлов в единую гидравлическую сеть. В единую гидравлическую сеть включаются системы дозаправки и комбинированные двигательные установки грузовых кораблей после стыковки к ОК.

ОДУ является одним из комплексов служебных систем ОК, функционирование которых является критически важным для существования ОК, реализуют функцию поддержания орбиты ОК и его углового движения, обеспечения безопасности экипажа, обеспечения выполнения программы полета. Элементы ОДУ практически не подлежат замене или ремонту в условиях космического полета (за исключением ряда приборов управления).

Оценка и контроль состояния ОДУ и выполнения режимов проводится с использованием поступающей с борта ОК телеметрической информации (ТМИ). Управление ОДУ проводится по командной радиолнии выдачей разовых команд, выдачей управляющих воздействий, и запуском режимов с заданием уставочной информации для этих режимов. Экипаж в работах по обеспечению функционирования ОДУ ОК не задействуется.

Компоненты, из которых состоит комплекс систем ОДУ ОК, представляют собой разнородные части, входящие в состав различных модулей. Они отличаются производителем, конструктивными схемами, назначением, характеристиками, временем ввода в состав ОК. Очевидной особенностью также является эксплуатация ОДУ в условиях космической среды и невесомости.

Для обеспечения летной эксплуатации ОК в целом как научной и исследовательской платформы, ОДУ решаются следующие функциональные задачи:

1. Коррекция и поддержания орбиты ОК и маневры уклонения от осколков космического мусора.
2. Построение и поддержание ориентации ОК.
3. Разгрузка силовых гироскопов ОК от накопленного ими паразитного кинетического момента.

Первая задача возникает при необходимости формирования орбиты ОК для операций по стыковке и расстыковке кораблей, для компенсации тормозящего воздействия на станцию атмосферы Земли, при необходимости уклонения от осколков космического мусора, представляющих опасность для ОК.

Вторая задача возникает при необходимости формирования и поддержания ориентации станции в ходе стыковок, расстыковок, других операций, требующих специальной ориентации на двигателях ОК.

Третья задача возникает по мере приближения к насыщению накопленного кинетического момента силовых гироскопов ОК.

Элементы ОДУ находятся в постоянной готовности к выполнению данных задач.

Для решения перечисленных функциональных задач необходимо выполнение служебных процедур, находящихся на более низком иерархическом уровне относительно функциональных задач. Это процедуры, связанные с передачей топлива из прибывающих к станции транспортных грузовых кораблей. Процедуры состоят из операций, а именно подготовки гидравлического интерфейса между транспортным грузовым кораблем и станцией, перелив компонентов топлива (дозаправка), безопасного рассоединения гидравлического интерфейса. Следует отметить, что технологии дозаправки и управления в полете, позволяющие регулярно, многократно, на протяжении многих лет пополнять компонентами топлива ОК, являются уникальными.

Подготовка гидравлического интерфейса между транспортным грузовым кораблем и топливной системой ОК после стыковки корабля состоит в проверке герметичности стыковочных разъемов между магистралями грузового корабля и ОК. Она проводится с использованием азота, доставляемого в системе дозаправки грузового корабля. Процесс состоит в наполнении проверяемых магистралей азотом под давлением около 19 атмосфер, выдержке под давлением на протяжении времени 90 минут, и последующем сбросе азота через дренажные клапаны. Процесс полностью автоматизирован и инициируется по командам с Наземного комплекса управления (НКУ). В вычислительной системе ОК включаются программные компоненты, отвечающие за открытие дренажных клапанов, в системе управления корабля включается программа проверки герметичности. Система управления контролирует ход проверки, формируя (в случае успешности проведения) результат «Магистраль окислителя герметична», «Магистраль горючего герметична», который поступает в НКУ в составе ТМИ. В ином случае автоматически формируется признак неуспешного проведения процедуры.

Персоналом управления при реализации процедуры решаются задачи выбора времени проведения, выбора зон видимости наземных измерительных пунктов и спутников-ретрансляторов, согласования длительностей процедуры и зон видимости,

составления программной последовательности, контроля проведения процедуры по поступающей с борта ОК ТМИ в реальном масштабе времени и после сеанса связи.

После подтверждения герметичности магистралей возможно проведение дозаправки топливом баков модулей ОК от баков системы дозаправки транспортного грузового корабля.

При формировании исходных данных для реализации дозаправки и перелива персоналом прогнозируется достаточность располагаемых объемов в баках для приема компонентов, прогнозируются возможные требования по предстоящим коррекциям орбиты и работам системы для поддержания ориентации. Учитываются ограничения по использованию источников компонентов топлива. Данная задача в условиях невесомости требует применения специальных расчетно-экспериментальных методов.

Для каждой дозаправки разрабатывается полетное задание, включающее в себя конфигурирование гидравлических магистралей перед дозаправкой, работу системы управления в автоматическом режиме передачи топлива под управлением программных компонентов бортовой вычислительной сети, конфигурирование гидравлических магистралей после дозаправки. Уставочные данные для автоматического режима содержат полную информацию для выполнения дозаправки. Это направление перелива (баки источника и баки приема компонентов), использование и режим работы компрессоров, длительность режима, граничные условия начала и окончания режима – давления и запасы компонентов.

Перелив компонентов топлива осуществляется под действием разности давлений вытеснения в полостях наддува баков источников и баков приемников. Для получения требуемого давления в баках приемниках используются компрессоры, откачивающие газ наддува (азот) из полостей наддува в шар-баллоны высокого давления. Необходимое давление в баках источников компонентов создается посредством наддува газом через редукторы из шар-баллонов.

После завершения процедуры дозаправки заправленные топливные баки используются для хранения топлива и для выдачи топлива в двигатели ориентации, в корректирующие двигатели, и в двигатели причаливания и ориентации транспортного корабля (кораблей). Посредством двигателей причаливания и ориентации транспортного корабля и посредством корректирующих двигателей служебного модуля осуществляются коррекции орбиты ОК.

В ходе выполнения программы полета проводятся операции по смене конфигурации топливных систем. По мере выработки топлива отключаются от питания топливом исполнительных органов одни топливные баки и подключаются другие. При этом прогнозируются и учитываются предстоящие работы по дозаправке, коррекции орбиты, поддержания ориентации. Принимается во внимание, что баки горючего и окислителя функционируют независимо, поэтому запасы могут находиться в пропорции, отличной от расчетной, с недостатком одного из компонентов. Учитывается «квантованность» запасов компонентов, в том смысле что выбранные источники топлива должны гарантированно обеспечить предстоящую операцию. Смена конфигурации проводится и перед заключительными операциями перед расстыковкой грузовых кораблей.

Заключительные операции перед расстыковкой состоят в безопасном рассоединении топливных интерфейсов между транспортным грузовым кораблем и модулями ОК. Необходимо удалить остатки компонентов топлива из магистралей, исключить их замерзание в магистралях (это затруднит последующее использование стыковочного узла) и загрязнение ими поверхностей ОК (создает опасность для экипажа при выходах в открытый космос). Для этого выполняется продувка стыковочных разъёмов между магистралями транспортного грузового корабля и

модулей МКС. Она так же, как и проверка герметичности разъемов, проводится с использованием азота, доставленного в системе дозаправки грузового корабля. Процесс состоит в вытеснении остатков компонентов топлива в магистралях азотом через дренажные клапаны в окружающее пространство, сбросе азота и вакуумировании магистралей путем выдержки в сообщенном с окружающим пространством состоянии. Процесс, как и процесс проверки герметичности, полностью автоматизирован и инициируется по командам НКУ. В вычислительной системе РС включаются программные компоненты, отвечающие за открытие дренажных клапанов, в системе управления корабля включается программа продувки. Система управления контролирует ход продувки, формируя (в случае успешности проведения) результат «Магистраль окислителя продута», «Магистраль горючего продута», который поступает в НКУ в составе ТМИ ОК. В ином случае формируется признак неуспешного проведения процедуры.

Управление функционированием ОДУ организационно идет на трех уровнях. Первый уровень, это круглосуточный мониторинг состояния ОДУ. Проводится оценка герметичности, теплового режима, соответствия текущей конфигурации расчетной конфигурации и режиму работы, достаточности запасов рабочего тела для выполнения построения и поддержания ориентации и маневров коррекции орбиты. Второй уровень, это составление полетных заданий на специальный режим и реализация режима. Третий уровень, это принятие решений на специальный режим (дозаправки, проверки герметичности, продувки, наддувы, откачки).

Необходимо отметить, что данные о располагаемых запасах компонентов рабочего тела ОДУ в каждый момент времени в каждом баке компонента являются важнейшими параметрами, определяющими возможность систем ОДУ выполнять функциональные задачи. Топливный бак постоянных модулей ОК представляет собой цилиндрическую конструкцию. Жидкостная полость и газовая полость разделены сифоном. В газовую полость из шар-баллона после понижения давления редуктором подается азот. Из жидкостной полости вытесняется топливный компонент. При вытеснении компонента под действием давления в газовой полости сифон сжимается. При приеме компонента при дозаправке сифон растягивается. За время эксплуатации ОК данная процедура выполняется многократно.

Определение запасов компонентов, вследствие условий невесомости и невозможности прямого измерения массы, проводится по непрямым методам. Один из способов состоит в измерении расстояния между верхней частью сифона и верхней крышки бака. Это позволяет вычислить объем, занимаемый компонентом, и затем с использованием значений плотности его массу. Другой способ заключается в использовании двух методик определения запасов. Первая с использованием генератора СВЧ-излучения определяет объем газовой полости баков с последующим пересчетом в значения массы. Вторая основана на применении газовых законов. Используется условие постоянства массы газа в полостях наддува каждого бака. Из уравнения газового баланса с использованием данных полученных из ТМИ ОК давлений и температур вычисляется текущий объем газовой полости наддува. Это позволяет определить объем компонента в баке, а затем его массу.

Уравнения газовых законов применяются при прогнозировании дозаправок без использования компрессора (переливов) в баки модуля ОК и прогнозировании коррекций орбиты ОК топливом из баков модуля. Прогноз необходим для получения значений давления в полостях наддува (так называемой «подушке»). На основе давлений определяется тяга двигателей, используемых для коррекции и ориентации при снабжении их топливом от баков модуля.

Для определения запасов в баках используются также косвенные методы. Так, используются данные о расходах при выполнении операций, полученные бортовой системой управления движением (СУД). Данные о запасах получаются вычитанием расходов из располагаемых или начальных запасов. Для контроля расчета запасов применяются граничные условия, такие как данные о полном опустошении (при заборе компонента) или полном заполнении (при дозаправке компонентом) баков.

В год к ОК, как правило, приходит от двух до четырех транспортных грузовых кораблей. С каждым грузовым кораблем проводятся описанные процедуры, связанные с использованием доставляемого топлива.

Накопленный опыт, созданные и отработанные элементы систем, технологии управления и контроля, позволяющие пополнять принципиально невозобновляемый ресурс – рабочее тело – является ценным при создании и эксплуатации космических аппаратов, отдельных модулей и ОК действующих в окрестностях Земли, Луны, и планет солнечной системе.