

ДВИГАТЕЛЬНАЯ УСТАНОВКА РЕАКТИВНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ МЕЖОРБИТАЛЬНЫМ КОСМИЧЕСКИМ БУКСИРОМ «ФРЕГАТ»

Л.Г. Александров*,
кандидат технических наук,
makarov@laspace.ru;
L.G. Aleksandrov**

О.А. Кузьмин*,
makarov@laspace.ru;
О.А. Kuzmin**

В.П. Макаров*,
кандидат технических наук,
makarov@laspace.ru;
V.P. Makarov**

В статье рассматриваются некоторые особенности структуры и конструкции ДУ РСУ, спроектированной для МКБФ среднего класса, имеющего ограниченное время работы в космическом пространстве.

Ключевые слова:

двигательная установка; эластичное вытеснительное устройство; жидкостной ракетный двигатель.

введение

При решении баллистической задачи выведения космического аппарата на орбиту существования проводится оптимизация способа её выполнения. Решается вопрос о необходимости наличия в составе космического аппарата (КА) двигательной установки, наделённой, помимо прочего, функцией вывода космического аппарата в нужную точку пространства, или о применении не входящего в состав КА межорбитального космического буксира «Фрегат» (МКБФ).

Если вопрос решается в пользу последнего, то МКБФ должен иметь маршевый двигатель большой тяги, создающий импульс силы для перемещения космической головной части (КГЧ) «буксир – аппарат» по выводной траектории полёта, и двигатели малой тяги управления положением КГЧ вокруг её центра масс. Когда все двигатели МКБФ работают на одном типе топлива, целесообразно их объединить в одну двигательную установку. Если маршевый двигатель работает на одном типе топлива, а двигатели малой тяги – на другом, то, как правило, имеют место две двигательные установки (ДУ): маршевая и реактивной системы управления (РСУ), что и осуществлено в МКБФ.

1. Основные технические характеристики ДУ РСУ

Двигательная установка реактивной системы управления МКБФ предназначена для:

- стабилизации и ориентации КГЧ на траектории перелёта в периоды работы маршевого двигателя МКБФ, а также в условиях пассивного полёта КГЧ;
- обеспечения условий запуска маршевого двигателя МКБФ;

* ФГУП «НПО им. С.А. Лавочкина», Россия, Московская область, г. Химки.

PROPULSION SYSTEM OF REACTION CONTROL SYSTEM OF «FREGAT» UPPER STAGE

The article considers several composition and construction characteristics of Reaction Control System PS designed for «Fregat» Upper Stage of medium class having limited lifetime for operation in space.

Keywords:

propulsion system;
elastic displacing device;
liquid-propellant engine.

- обеспечения увода отработавшего МКБФ с траектории движения выведенного им КА.

Рассматриваемая ДУ РСУ построена по классическому принципу жидкостной ракетной двигательной установки с вытеснительной системой подачи. В качестве топлива в ней применяется гидразин, обеспечивающий отсутствие загрязнений, выводимых КА, продуктами истечения жидкостных ракетных двигателей малой тяги (ЖРД МТ). Газ наддува для вытеснения топлива из бака – гелий. Тип внутрибакового устройства, обеспечивающего подачу топлива к двигателям в условиях действия малой гравитации – эластичное вытеснительное устройство (ЭВУ) в виде оболочки, выполненной из дублированного фторопластового материала (Абызов Н.М. и др., 2004). Давление подачи топлива к двигателям – постоянное и обеспечивается работой автоматического регулятора давления (редуктора). Температура топлива при работе ДУ РСУ находится в диапазоне значений от плюс 15 до плюс 45°C. В качестве двигателей в ДУ РСУ используются ЖРД МТ термokatалитического типа. Номинальная тяга двигателя при номинальном давлении на входе и номинальной температуре топлива 50 Н. Удельный импульс тяги двигателя на установившемся режиме не менее 2109 м/с. Количество двигателей в ДУ РСУ – 12.

Невырабатываемый остаток топлива (трубопроводы и бак) не более 1,2 литра.

2. Состав ДУ РСУ

Из представленной на рисунке 1 принципиальной блок-схемы ДУ РСУ видно, что в состав двигательной установки входят следующие системы и агрегаты:

** Federal Enterprise «Lavochkin Association», Russia, Moscow region, Khimki.

ДВИГАТЕЛЬНАЯ УСТАНОВКА РЕАКТИВНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ МЕЖОРБИТАЛЬНЫМ КОСМИЧЕСКИМ БУКСИРОМ «ФРЕГАТ»

- система наддува, состоящая из аккумулятора высокого давления (ШБ), пускового пироклапана (ПК5) и блока наддува (ЭПК1СО);
- система хранения топлива и подачи его к двигателям, состоящая из топливного бака (БЗ) с ЭВУ, двух пусковых пироклапанов (ПК3, ПК159) и подводящих топливо к двигателям трубопроводов, с фильтрующими элементами, запорочными и проверочными клапанами;
- ЖРД МТ в количестве 12 штук, скомпонованные в четыре двигательных блока, установленных по осям МКБФ;
- датчики давления и температуры телеметрического контроля.

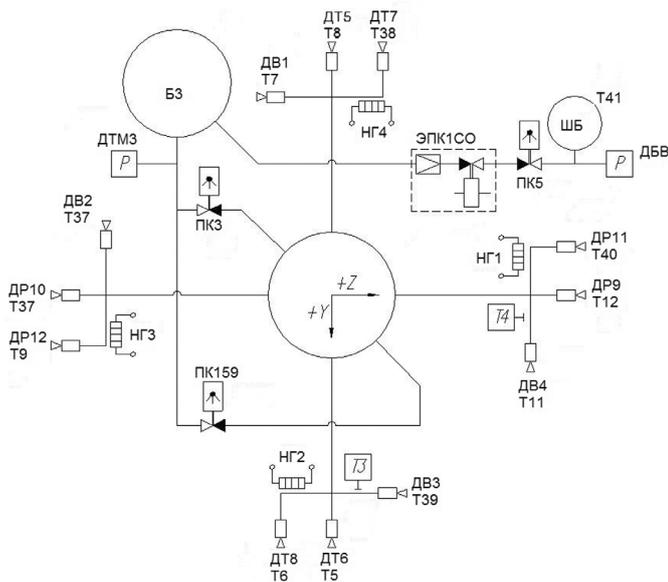


рисунок 1. Принципиальная блок-схема ДУ РСУ

ЖРД МТ установлены на элементы конструкции МКБФ через тепловые развязки, создающие требуемые условия теплообмена между двигателями и конструкцией МКБФ на пассивных и активных стадиях полёта.

Аккумулятор высокого давления представляет собой шаробаллон. Пусковой пироклапан ПК5 отсекает ШБ от топливного бака на этапе выведения космической головной части ракетносителя.

Блок наддува состоит из двухпозиционного электромагнитного пневмоклапана и редуктора, смонтированных в общем корпусе. Точность поддержания давления газа наддува на выходе из редуктора при работе ДУ РСУ не более $\pm 10\%$.

Топливный бак в зависимости от программы полёта МКБФ может быть выполнен:

- сферическим, с максимальной заправкой топливом 42 литра;
- цилиндрическим, со сферическими верхним и нижним днищами и цилиндрической вставкой между ними; максимальный объём заправки топливом 60 литров. Конфигурации внутреннего

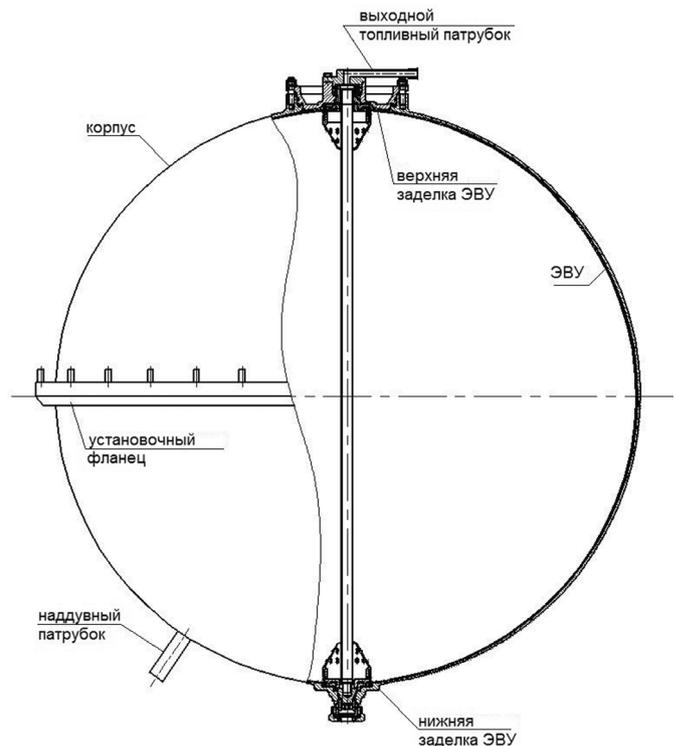
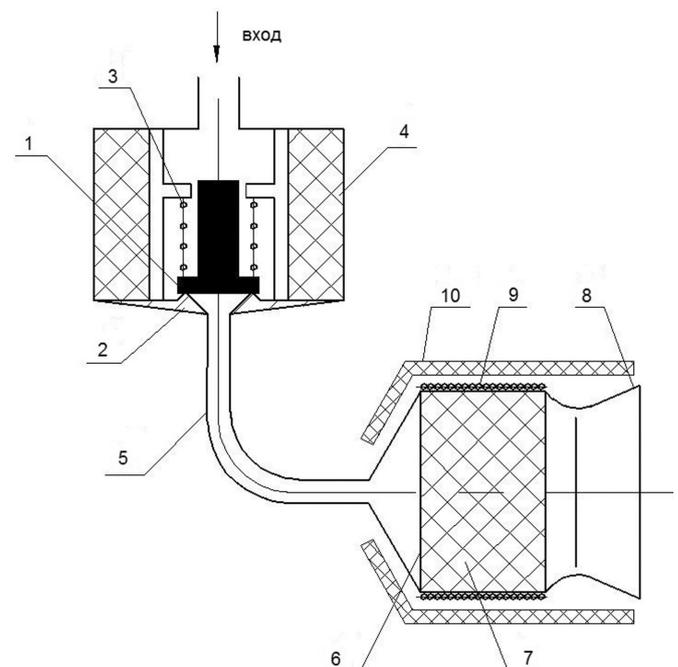


рисунок 2. Конструктивная схема топливного бака

объёма топливного бака каждого исполнения соответствует конфигурация ЭВУ (рисунок 2).

Применение ЭВУ позволило минимизировать массу топливного бака и массу невыработываемого из бака топлива. Пироклапаны ПК3 и ПК159 отсекают топливный бак от двигателей на этапе выведения КГЧ ракетносителя. Конструктивно они тождественны пироклапану ПК5. Дублиро-



- 1 – клапан; 2 – седло клапана; 3 – пружина;
- 4 – электромагнит; 5 – капилляр; 6 – реактор двигателя;
- 7 – катализатор; 8 – сопло; 9 – электронагреватель;
- 10 – ЭВТИ.

рисунок 3. Блок-схема двигателя ДУ РСУ

ванное их применение в гидравлическом тракте обеспечивает уменьшение гидравлического сопротивления тракта и равномерность подачи топлива блокам ДУ РСУ.

Из блок-схемы ЖРД МТ (рисунок 3), следует, что в состав двигателя входят: электромагнитный гидроклапан; капилляр, соединяющий клапан с камерой двигателя; камера с соплом; нагреватель двигателя и экранно-вакуумная теплоизоляция (ЭВТИ).

Электромагнитный гидроклапан открывает или прекращает подачу топлива к двигателю. Капилляр обеспечивает заданный расход топлива в камеру двигателя. В камере содержится катализатор, разлагающий жидкое унитарное топливо – гидразин, на аммиак, азот и водород, которые находятся в газообразном состоянии при высоких значениях температур и давлений. Кинетическая энергия истекающей из сопла двигателя смеси газов создает силу тяги, приложенной к входному днищу камеры. Нагреватель двигателя перед началом его работы разогревает катализатор двигателя. С началом работы двигателя нагреватель отключается. ЭВТИ наряду с системой обеспечения теплового режима ДУ РСУ участвует в создании необходимых для нормального функционирования двигателя температурных условий.

3. Работа ДУ РСУ

Заправленная топливом и газом ДУ РСУ в составе КГЧ начинает работать на стартовом комплексе ещё до старта ракетносителя с подачи напряжения на нагреватели двигателей, что обеспечивает готовность ЖРД МТ к работе на момент отделения КА от МКБФ. На этапе работы ракетносителя проводится вакуумирование топливных магистралей путём открытия клапанов нескольких ЖРД МТ. Через 10 секунд после прекращения вакуумирования магистралей и закрытия клапанов двигателей подается команда на подрыв пусковых пироклапанов ПКЗ и ПК159. Начинается заполнение топливных магистралей топливом. Почти одновременно с подрывом ПКЗ и ПК159 подается команда на подрыв пускового пироклапана ПК5. Газ наддува из аккумулятора высокого давления подходит к входу пуско-отсечного электромагнитного клапана блока наддува. Через несколько секунд после подрыва пироклапанов ПКЗ и ПК159 открывается электроклапан ЭПК1СО блока наддува. Начинается наддув топливного бака и установление в топливной системе заданного значения давления топлива. Выключаются нагреватели двигателей. ДУ РСУ готова к работе.

После отделения КГЧ от ракетносителя включаются в работу двигатели ДУ РСУ по каналам вращения (ДВ), тангажа (ДТ) и рыскания (ДР) для успокоения и ориентации КГЧ в направлении полёта. По завершении предыдущего этапа работы

ДУ РСУ включаются двигатели ДТ7, ДТ8, ДР11, ДР12 для обеспечения запуска маршевого двигателя. ЖРД МТ работают, создавая перегрузку, обеспечивающую разделение жидкого топлива и газа наддува в топливных баках, питающих маршевый двигатель. Остальные двигатели работают по командам системы управления МКБФ, обеспечивая стабилизацию КГЧ. За три секунды до окончания режима обеспечения запуска включается маршевый двигатель. На этапе работы маршевого двигателя ДУ РСУ стабилизирует КГЧ. Предусмотрен режим создания условий запуска маршевого двигателя с помощью включения восьми ЖРД МТ, установленных в каналах тангажа и рыскания. При этом стабилизация КГЧ по этим каналам осуществляется путём отключения соответствующих двигателей (стабилизация по обратной логике).

Когда ЖРД МТ не работают, то из-за отключённых электрических нагревателей двигатели остывают. Чтобы температура реактора двигателей в паузах длительностью свыше 60 минут не опустилась ниже допустимой, предусмотрен режим их разогрева путём импульсного включения. Использование этого способа поддержания температурного режима термokatалитического двигателя в процессе орбитального полёта МКБФ наряду с электрическим подогревом повышает надёжность ДУ РСУ.

После отделения КА от МКБФ ДУ РСУ включается на увод МКБФ с траектории движения КА.

заключение

По мере эксплуатации МКБФ круг выполняемых им задач расширяется, что сопровождается совершенствованием его конструкции, в том числе и ДУ РСУ. Например, модернизируется система хранения и подачи газа наддува высокого давления и система обеспечения теплового состояния ДУ РСУ. Идет постоянная работа над повышением качества изготовления ЭВУ.

Результаты летных испытаний ДУ РСУ в составе МКБФ показывают, что проектные параметры ДУ полностью соблюдаются в течение орбитального функционирования МКБФ.

список литературы

Абызов Н.М., Комолов В.В., Маркачёв Н.А., Цвелёв В.М. Эластичные вытеснительные устройства (ЭВУ) для топливных баков // Актуальные вопросы проектирования космических систем и комплексов: сб. науч. трудов НПО им. С.А. Лавочкина, 2004. № 5. С. 227-231.

Статья поступила в редакцию 11.03.2013 г.