

МАРШЕВЫЙ ДВИГАТЕЛЬ МЕЖОРБИТАЛЬНЫХ КОСМИЧЕСКИХ БУКСИРОВ «ФРЕГАТ», «ФРЕГАТ-СБ»

Ю.А. Дерягин*,
kbhimmash@korolev-net.ru;
Yu.A. Deryagin**

А.В. Дубовицкий*,
kbhimmash@korolev-net.ru;
A.V. Dubovitskiy**

Дается краткий обзор истории создания маршевого двигателя межорбитальных космических буксиров (МКБ) «Фрегат», «Фрегат-СБ» и использования его в различных космических аппаратах. Приводятся основные данные о конструкции и характеристиках двигателя.

Ключевые слова: маршевый двигатель; жидкостный ракетный двигатель – ЖРД; межорбитальные космические буксиры «Фрегат», «Фрегат-СБ»; турбонасосный агрегат – ТНА;

ВВЕДЕНИЕ

В качестве маршевого двигателя МКБ «Фрегат», «Фрегат-СБ» используется жидкостный ракетный двигатель С5.92.

Двигатель С5.92 разработан «КБХиммаш им. А.М. Исаева» по техническому заданию НПО им. С.А. Лавочкина и использовался в автономной двигательной установке унифицированного разгонно-траекторного блока космического аппарата (КА) типа «1Ф» – «Фобос», «М1» – «Марс 94». Двигатель предназначен для создания импульсов тяги при доразгоне КА во время старта с орбиты Земли, коррекции траектории, торможения при выводе КА на орбиту спутника планеты (Петрик В.А., Дерягин Ю.А., Пиунов В.Ю., 2010).

1. Особенности конструкции двигателя и его отработки

Двигатель С5.92 – жидкостный ракетный двигатель с турбонасосной системой подачи компонентов топлива в камеру сгорания, выполненный по открытой энергетической схеме (без дожигания генераторного газа, отработавшего на турбине турбонасосного агрегата), может работать на двух режимах – большой (БТ) и малой (МТ) тяги. Кроме тяги, вдоль продольной оси аппарата двигатель создает управляющие моменты по каналам «тангажа» и «рыскания» благодаря плоскопараллельному перемещению камеры сгорания в двух взаимно-перпендикулярных плоскостях, что является одной из основных конструктивных особенностей двигателя по сравнению с имеющимися.

* КБ химического машиностроения им. А.М. Исаева – филиал ФГУП «Государственный космический научно-производственный центр им. М.В. Хруничева», Россия, Московская область, г. Королёв.

CRUISE ENGINE OF VERSATILE SPACE TUGS «FREGAT», «FREGAT-SB»

A brief review of history of the cruise engine development for «Fregat», «Fregat-SB» Versatile Space Tugs (VST) and its use for various spacecraft is given. The main information about design and performance of the engine is summarized.

Key words:
cruise engine;
liquid rocket engine - LRE;
«Fregat», «Fregat-SB» Versatile Space Tugs;
turbopump assembly - TPA;
control system.

Двигатель предназначен для создания импульсов тяги при доразгоне космического аппарата (КА), коррекции траектории, стабилизации по каналам «тангажа» и «рыскания» на активных участках траектории и торможении при выходе КА на орбиту спутника планеты.

Одним из первых аналогов двигателя С5.92 является двигатель С5.61, руководство проектированием которого осуществлял основатель предприятия «КБХиммаш» Алексей Михайлович Исаев, чьё имя сегодня носит предприятие.

Этот двигатель (С5.61) в составе космического корабля «Луна-12» обеспечил взлёт с поверхности Луны и доставку лунного грунта на Землю.

Последующие модернизации двигателя уже под индексом С5.92 первоначально предназначались для полёта к спутнику Марса – Фобосу. В 1988 году было осуществлено два запуска космических аппаратов к Фобосу. Запуск КА «Ф-1» проведён 07.07.1988 года. В тот же день было включение двигателя на режиме БТ для разгона КА продолжительностью 120 с. Второе включение двигателя с целью коррекции траектории КА проведено 12.07.1988 года на режиме МТ.

Запуск КА «Ф-2» был осуществлён 12.07.1988 года. В тот же день проведено включение двигателя на режиме БТ для доразгона КА продолжительностью 113 с. В дальнейшем были осуществлены две коррекции траектории КА на режиме МТ: 27.07.1988 года и 23.01.1989 года. Как при первом, так и при втором запусках замечаний к работе двигателя не было.

В настоящее время маршевый двигатель С5.92,

** Isaev Chemical Machinery Design Office – the Branch of Federal State Unitary Enterprise «Khronichev State Research and Production Space Center» Russia, Moscow region, Korolev.

управляющие ЖРДМТ С5.221 и 14 наименований агрегатов автоматики разработки «КБхиммаш им. А.М. Исаева» используются в составе МКБ «Фрегат» (в составе двигательных установок маршевого двигателя и двигательной установки стабилизации). Еще в 2000 году успешно реализованы четыре запуска МКБ «Фрегат», в том числе два квалификационных запуска 9 февраля и 20 марта. Они проводились в рамках летно-конструкторских испытаний и были предназначены для подтверждения правильности конструктивных решений, принятых при проектировании систем, узлов и агрегатов МКБ «Фрегат», а также для отработки взаимодействия элементов, входящих в состав комплекса управления полетом.

Целью третьего и четвертого запусков в 2000 году МКБ «Фрегат» было выведение на орбиту КСЗ (орбиту отделения) четырех европейских космических аппаратов «Кластер-2» (по два в каждом запуске) в июле и в августе 2000 года. Космические аппараты «Кластер-2» были разработаны и изготовлены Европейским космическим агентством (ЕКА) и предназначены для исследования магнитосферы и магнитного поля Земли. Оба запуска КА «Кластер-2» были осуществлены при безупречной работе МКБ «Фрегат».

Периодически, обычно перед очередным полетом МКБ «Фрегат», КБхиммаш производит оценку надежности двигателей С5.92 и стабильности параметров режима его работы.

Значительный вклад в обеспечение требуемой надежности при многократном срабатывании двигателя внесла разработка «клапана-форсунки» и последующая её модернизация в процессе отработки двигателя.

«Клапан-форсунка» обеспечивает строго регламентированное время поступления окислителя в камеру газогенератора, исключая опережение поступления в газогенератор окислителя, что реализуется за счет открытия клапана напором окислителя при достижении этим напором строго регламентированной величины.

В двигателе использован турбонасосный агрегат «консольного» типа, в котором последовательно расположены турбина, насос горючего, разделительный узел и насос окислителя.

Разделительный узел обеспечивает надежное многоступенчатое разделение разноименных компонентов, основанное на использовании инерционных сил за счет установки импеллеров со стороны каждого насоса, обеспечивающих при вращении ротора ТНА «отброс» утечек компонентов на периферию и сброс этих утечек на входы в насосы.

Сам разделитель представляет собой лабиринт, исключая прямой «прострел» компонентов навстречу друг другу. Полости лабиринта сообщены с вакуумом космоса, который способствует сбросу в космическое пространство случайных утечек компонентов топлива.

Авторскими свидетельствами защищена и конс-

струкция газового клапана, который обеспечивает надёжный выход двигателя на режим, исключая нежелательный заброс мощности турбонасосного агрегата и перерегулирование режима работы камеры сгорания.

В процессе отработки МКБ «Фрегат» постоянно производились работы по совершенствованию двигателя С5.92 с целью повышения его энергетических характеристик. В настоящее время параметры двигателя, его энергетические характеристики являются практически предельными. Поэтому улучшение основных характеристик достигалось за счет уменьшения разбросов основных входящих параметров относительно номинальных значений, например температуры компонентов топлива.

Технические решения, реализованные при отработке двигателя и обеспечившие высокую надежность и работоспособность двигателя, отличаются мировой новизной, и многие из них защищены авторскими свидетельствами и патентами. Всего в конструкцию двигателя внедрено более 30 изобретений, защищенных авторскими свидетельствами.

Наиболее характерной является разработка и внедрение устройства для плоскопараллельного перемещения камеры сгорания, обеспечивающего управление положением центра масс летательного аппарата.

Для всех известных способов управления за счет поворота камеры сгорания, поворота газовой струи за счет введения в струю твердых тел, впрыска жидкости за счет использования дополнительных рулевых двигателей или газовых сопел по сравнению с новым решением, реализованным в двигателе С5.92, характерны значительные потери энергетических характеристик, малый ресурс работы.

Создание моментов по каналам управления объектом (КА) обеспечивается путем плоскопараллельного перемещения камеры в плоскости, перпендикулярной оси объекта. Свобода перемещения камеры обеспечивается по топливным магистралям трёхшарнирным сдвоенным трубопроводом, установленным за насосами турбонасосного агрегата (ТНА).

Двигатель работает на двух режимах по тяге:

- режим БТ ~2000 кгс;
- режим МТ ~1400 кгс.

Переход с режима на режим обеспечивается подачей или стравливанием давления газа в управляющую полость регулятора, установленного на линии питания горючим газогенератора привода турбины ТНА.

Постоянство соотношения расходов компонентов топлива через камеру и газогенератор (горючее – несимметричный диметилгидразин, окислитель – азотный тетраоксид) поддерживается стабилизаторами давления на линиях питания окислителем данных агрегатов.

В линии подачи горючего в камеру установ-

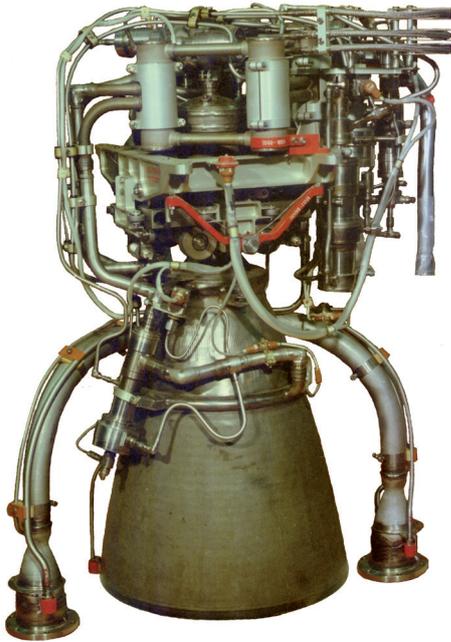
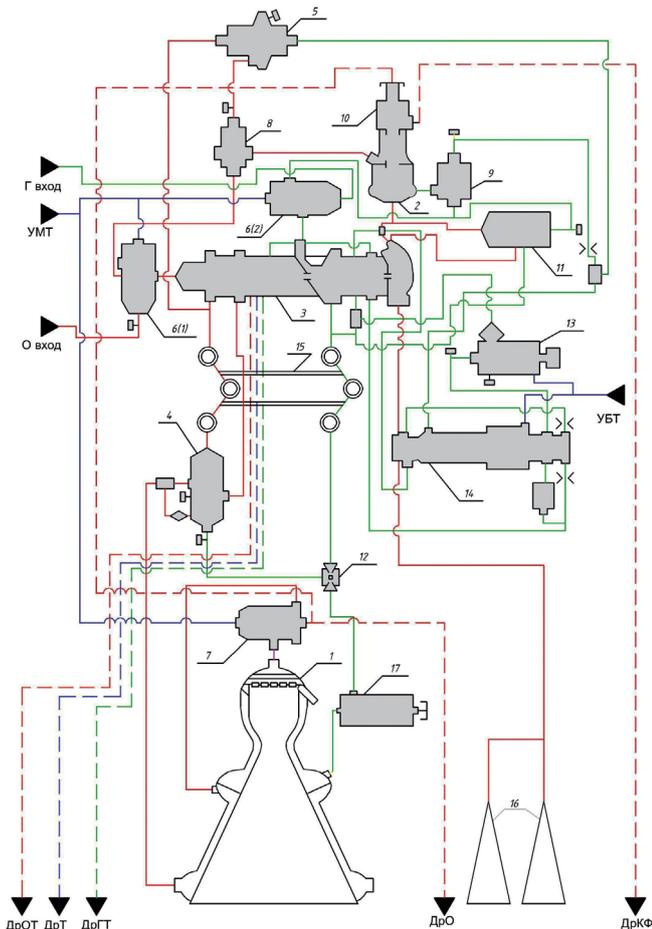


рисунок 1. Общий вид двигателя C5.92



1 – камера сгорания; 2 – газогенератор; 3 – ТНА;
4 – стабилизатор камеры; 5 – стабилизатор газогенератора;
6 – клапан входа; 7 – клапан пускоотсечной;
8, 9 – клапан переключения; 10 – клапан-форсунка;
11 – клапан газовый; 12 – труба Вентури; 13 – золотник;
14 – гидроредуктор; 15 – трубопровод шарнирный;
16 – выхлопные сопла; 17 – дроссель.

рисунок 2. Принципиальная пневмогидравлическая схема двигателя C5.92

лен управляемый дроссель, который обеспечивает с помощью стендовой системы управления настройку двигателя на заданное значение соотношения расходов компонентов топлива при огневых контрольно-технологических испытаниях (КТИ).

Для ускоренной раскрутки ротора ТНА, с целью уменьшения времени выхода двигателя на установившийся режим, турбина ТНА выполнена с двумя газовыми соплами – пусковым и режимным. Переход с пускового режима (работают оба сопла) на основной (работает режимное сопло) осуществляется газовым клапаном, закрывающим расход газа через пусковое сопло при достижении величины давления за насосом горючего ТНА определённого значения.

Двигатель C5.92 (рисунок 1) может изготавливаться и поставляться в двух конструктивных вариантах: C5.92.0000-0, C5.92.0000-0-01. Двигатель C5.92.0000-0-01 отличается от двигателя C5.92.0000-0 наличием радиационно-охлаждаемого насадка сопла камеры, обеспечивающим повышение удельного импульса тяги на 2,6 с.

Принципиальная пневмогидравлическая схема двигателя C5.92 представлена на рисунке 2.

К настоящему времени в составе МКБ «Фрегат», «Фрегат-СБ» успешно отработали и доставили КА в нужные точки космического пространства 43 двигателя C5.92.

2. Основные показатели и условия работы двигателя C5.92

Тяга двигателя, кгс:

- режим БТ 2000 ± 100;
- режим МТ 1400 ± 100.

Удельный импульс тяги, с:

- режим БТ 330⁺²₋₁
- режим МТ 316⁺⁵₋₈

Соотношение расходов компонентов:

- режим БТ (1,98...2,02) ± 0,035 при 0°C;
- режим МТ (1,98...2,02) ± 0,04 при 5°C.

Масса конструкции двигателя, кг

- 80

Суммарное время работы, с

- ≤ 2000

из них:

- на режиме БТ ≤ 2000;
- на режиме МТ ≤ 100.

Число включений двигателя:

- на режиме БТ ≤ 10;
- на режиме МТ ≤ 14.

список литературы

Петрик В.А., Дерягин Ю.А., Пиунов В.Ю. Двигатели разгонных блоков разработки «КБХиммаш им. А.М. Исаева» – филиала ФГУП «ГКНПЦ им. М.В. Хруничева» // Двигатели, 2010. № 4.

Статья поступила в редакцию 20.03.2013 г.