

НОВЫЙ РУЛЕВОЙ ДВИГАТЕЛЬ РД0110Р ДЛЯ РН «СОЮЗ-2-1В». ЭТАПЫ РАЗРАБОТКИ

В.Д. Горохов, В.И. Корнеев, С.П. Кунавин, В.А. Туртушов, С.Н. Козлов

Приведены основные требования к рулевому двигателю, сведения конструкторской особенности двигателя, узлов и агрегатов. Представлены основные параметры, этапы разработки двигателя РД0110Р

Ключевые слова: рулевой двигатель, конструкторско-технологический макет (КТМ), теплообменник, наддув, ракета-носитель (РН)

Разработка двухступенчатой ракеты-носителя легкого класса «Союз-2-1в» проводится ФГУП «ГНПРКЦ ЦСКБ-Прогресс». На начальном этапе разработки для обеспечения требований по выводимой массе полезного груза маршевый двигатель НК-33 планировалось форсировать на режим тяги до 114% и оснастить карданным узлом для осуществления устойчивости и управляемости РН за счет отклонения вектора тяги при качании маршевого двигателя. Реализация указанных требований потребует проведения дополнительных опытно-конструкторских работ по отработке двигателя, что повлечет за собой существенное удорожание ОКР и не обеспечит заданных сроков создания изделия.

В данной связи ГНПРКЦ «ЦСКБ-Прогресс» совместно с КБХА и СНТК имени Н.Д. Кузнецова в декабре 2009 г. было принято решение о разработке РН «Союз-2-1в» с использованием маршевого двигателя НК-33 из существующего задела на номинальном режиме тяги и рулевого двигателя РД0110Р новой разработки, который создается на базе серийного двигателя 11Д55.

После получения проекта технического задания на создание рулевого двигателя была определена методология создания двигателя РД0110Р с использованием агрегатов двигателя 11Д55, определены проблемные вопросы, мероприятия и сроки их проведения, рассмотрены организационно-технические вопросы по взаимодействию с Воронежским механическим заводом (ВМЗ) при изготовлении опытных образцов двигателя и по дооборудованию стендов ИК КБХА, разработке конструкторской доку-

ментации на двигатель в обеспечение сроков на создание РН «Союз-2-1в» с поставкой двигателя в составе блока – август и двигателя РД0110Р для ЛКИ № 1 – октябрь 2011 г. [1]

Короткие сроки, отведенные на создание двигателя РД0110Р, потребовали организации оперативной и полномасштабной кооперации между КБХА и ВМЗ с целью технологической увязки и запуска в производство рабочей КД, подготовки и освоения в производстве изготовления новых агрегатов и общей сборки двигателя, внедрения мероприятий по корректировке конструкции опытных изделий с учетом результатов испытаний и изменения проектных данных головного разработчика РН.

В марте 2010 г. в соответствии с техническим заданием ФГУП «ГНПРКЦ ЦСКБ-Прогресс» разработан эскизный проект четырехкамерного кислородно-керосинового рулевого ЖРД РД0110Р для первой ступени РН легкого класса «Союз-2-1в» (рис. 1).

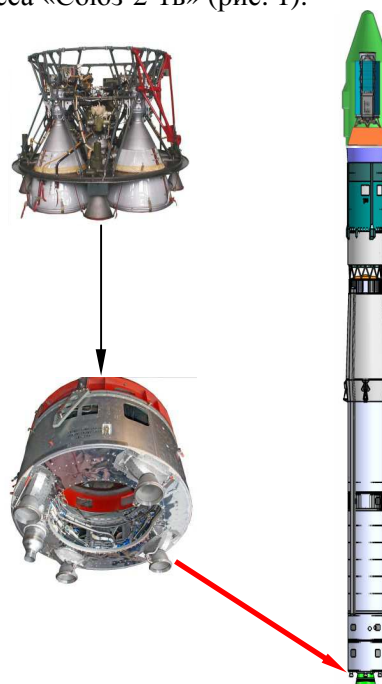


Рис. 1. РН «Союз-2-1в» с двигателем РД0110Р

Горохов Виктор Дмитриевич – КБХА, д-р техн. наук, профессор, зам. ген. конструктора, тел. 8(473) 263-36-12
Корнеев Вячеслав Иванович – КБХА, зам. главного конструктора, тел. 8(473) 262-97-17

Кунавин Сергей Петрович – КБХА, ведущий конструктор, тел. 8(473) 263-40-13

Туртушов Валерий Андреевич - КБХА, д-р техн. наук, главный конструктор, нач. отдела, тел. 8(473) 263-36-12

Козлов Сергей Николаевич – КБХА, ведущий конструктор, тел. 8 (473) 263-36-12, e-mail: cadb@comch.ru

Основные отличия двигателей РД0110РС (рис. 2) от двигателя 11Д55 следующие:

- изменена конструкция камер, которые разнесены вокруг маршевого двигателя по периферийным зонам силового кольца хвостового отсека блока РН;
- введены узлы подвеса и гибкие элементы для качания камер в одной плоскости на угол $\pm 45^\circ$;

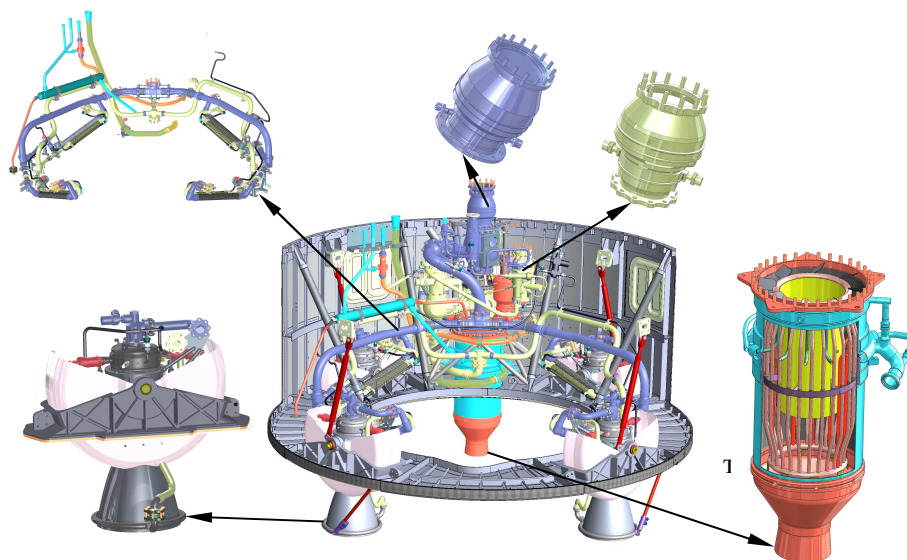


Рис. 2. Двигатель с вновь разрабатываемыми агрегатами

- введены разделительные клапаны окислителя и горючего на входах в двигатель;
- введены теплообменники нагрева гелия линий наддува баков блока РН;
- изменена циклограмма запуска двигателя.

Проведенная проектно-конструкторская разработка двигателя РД0110Р показала, что основные требования ТЗ на разработку ЖРД РД0110Р могут быть обеспечены. Полученные проектные характеристики двигателя позволяют сделать следующие выводы о выполнении требований ТЗ:

- выбранные номинальные параметры двигателя обеспечивают заданные требования по тяге и удельному импульсу тяги;
- характеристики агрегатов подачи компонентов топлива обеспечивают необходимые запасы по работоспособности во всем диапазоне изменения параметров компонентов топлива на входах двигателя в процессе запуска и работы на основном режиме;
- примененные в конструкции металлические и неметаллические материалы обеспечивают гарантийный срок хранения двигателя в заданных условиях эксплуатации.

Высокая степень заимствования серийных агрегатов и разработанная методика стендовой экспериментальной отработки двигателя,

Основной отличительной особенностью рулевого двигателя РД0110Р является его размещение на силовом кольце хвостового отсека (ХО) РН, которое для сборки двигателя поставляется предприятием-изготовителем РН.

Конструкция двигателя обеспечивает качание каждой камеры в одной тангенциальной плоскости на угол $\pm 45^\circ$ рулевыми машинами.

основанная на отработанной методике подготовки проведения многократных огневых испытаний на одном экземпляре двигателя 11Д55 позволила провести отработку на минимальном количестве двигателей в заданные сроки.

Ввиду технической новизны вопросов размещения двигателя на силовом кольце ХО РН без применения традиционной силовой рамы двигателя при разработке решены следующие «пограничные» вопросы:

- обеспечение взаимного сопряжения элементов двигателя и силового кольца, выполненного из конструкционных алюминиевых сплавов;
- обеспечение жесткости и тепловой защиты элементов конструкции, осуществляющих передачу тяги камер двигателя на привалочную плоскость силового кольца;
- обеспечение совместной вибропрочности на всех этапах эксплуатации, в том числе работоспособности при функционировании системы качания камер рулевыми приводами;
- обеспечение доступности и удобства проведения сборочных, монтажных и такелажных работ при изготовлении, проведении КТИ, транспортировании и эксплуатации, в том числе в составе РН.

С целью взаимной увязки и разработки

мероприятий по эффективному решению проблемных вопросов в возможно короткие сроки проведен комплекс работ по совместному макетированию агрегатов и ДСЕ двигателя на пилотном (технологическом) образце силового кольца.

Одновременно с выпуском материалов ЭП КБХА приступило к разработке КД на стендовый вариант двигателя РД010РС и экспериментальный двигатель 11Д55Э для проведения опережающей отработки запуска рулевого двигателя.

В мае 2010 г. проведены 2 холодных испытания двигателя со сливами компонентов топлива и штатной раскруткой ТНА пороховым стартером. Слив кислорода после насоса проводился через головки камер, перед которыми были установлены специальные замеры температуры и давления. Керосин после пускоотсечного клапана сливался в стендовую емкость через специальный коллектор, который имитировал объемы трубопроводов, трактов охлаждения и головок камер. Взведение пусковых клапанов, замена пироузлов и порохового стартера перед холодным испытанием проводились без снятия двигателя со стенда.

В июле 2010 г. проведены 3 огневых испытания двигателя 11Д55Э длительностью по 10 с каждое. При испытаниях решены следующие задачи: проверена циклограмма запуска и остановка двигателя; проверен запуск при различных сочетаниях условий на входах двигателя по температурам и давлениям компонентов топлива; проверена работоспособность элементов СИ, включая средства измерения САЗ; проверена работоспособность двигателя при изменении давления в камерах (P_K) и соотношения компонентов топлива (K_m) в гарантийных диапазонах.

В течение II и III кварталов 2010 г. на двигатель РД0110Р выпущена следующая конструкторская документация: план обеспечения надежности (ПОН), план обеспечения безопасности (ПОБ), комплексный план экспериментальной отработки (КПЭО), отчет по анализу видов, последствий и критичности отказов (АВПКО) двигателя; комплекты КД на агрегаты новой разработки, элементы систем СИ, СУ, САЗ; КД на сборку и испытания стендового варианта двигателя РД0110РС; эксплуатационная документация, в том числе для монтажа двигателя в ступень, проверок двигателя в составе РН на ТК и СК, для проведения холодных (ХИ) и огневого стендового испытания блока (ОСИ) в НИ ЦРКП.

Выпуск ТЗ на проектирование агрегатов двигателя, разработка компоновок новых агрегатов и рулевого двигателя, рабочих чертежей и

конструкторской документации, их согласование с технологическими и производственными службами ВМЗ, согласование с ФГУП «ГНПРКЦ ЦСКБ-Прогресс» интерфейсов и характеристик «пограничных» элементов двигателя и РН проведены в короткие сроки, которые сопоставимы с темпами создания «гагаринского» двигателя на заре развития ракетной техники в СССР.

В ноябре 2010 г. подготовлен конструкторско-технологический макет (КТМ) двигателя РД0110Р. Совместной комиссией (КБХА, ВМЗ, ФГУП «ГНПРКЦ ЦСКБ-Прогресс» и ПЗ при них) КТМ принят в качестве образца при изготовлении доводочных двигателей. Совместно с ФГУП «ГНПРКЦ ЦСКБ-Прогресс», ИК КБХА и ВМЗ определены технологические схемы сборки двигателя внутри силового кольца, транспортирования в специализированном контейнере, на раму огневого стенда с помощью верхнего технологического кольца двигателя со специальными подъемно-транспортными кронштейнами.

В декабре 2010 г. в ФГУП «ГНПРКЦ ЦСКБ-Прогресс» проведены совместные макетно-конструкторские испытания КТМ и средств управления вектором тяги (СУВТ) в составе хвостового отсека РН (рис. 3).



Рис. 3. Двигатель в составе хвостового отсека

В январе 2011 г. выполнена отстыковка КТМ на переходном кольце стенда (изготовлено ФГУП «ГНПРКЦ ЦСКБ-Прогресс» и передано в КБХА для проведения ОИ двигателей), прокладка расходных и технологических магистралей стенда к двигателю, дооснащение стендовых систем СИ, СУ, САЗ. Собран первый экземпляр двигателя РД0110РС для огневых доводочных испытаний (рис. 4).

3 февраля и 14 марта 2011 г. проведены два ОИ двигателя для отработки запуска.

12 марта 2011 г. на базе материальной части первого экземпляра доводочного двигателя после проведения ОИ № 1 собран и отправлен



Рис. 4. Доводочный двигатель на огневом стенде

в ФГУП «ГНПРКЦ ЦСКБ-Прогресс» динамический макет двигателя для проведения вибродинамических испытаний блока РН.

16 апреля 2011 г. на стенде № 4 отдела 121 ИК КБХА проведено успешное ОИ двигателя № 2 по программе КТИ (длительность 60 с).

5 мая 2011 г. после переборки двигателя № 1 проведено ОИ длительностью 280 с по штатной циклограмме запуска с измерением величин подогрева гелия в секциях блока теплообменников (ТО) двигателя по линиям наддува баков горючего и окислителя (НБГ и НБО).

В связи с тем, что подогрев гелия при ОИ оказался несколько ниже расчетного, увеличена поверхность теплообмена – введен трубный пучок во внутреннем объеме корпуса блока ТО. Два экземпляра блока ТО новой конструкции в течение одного месяца прошли полный цикл изготовления новых ДСЕ, доработки исходной конструкции, автономных испытаний и установлена в состав доводочных двигателей.

Вибропрочностные испытания (ВИ) двигателя № 1 проведены на вибростенде КБХА в период с 16 июля по 11 августа 2011 г. По результатам ВИ в конструкцию двигателя введен усиленный кронштейн регулятора и дополнительный держатель клапана горючего газогенератора.

2 июля 2011 г. проведено огневое КТИ двигателя РД0110РС для ОСИ в составе блока РН. Это было испытание с порядковым номером 5 вновь создаваемого двигателя. При данном испытании определена характеристика доработанного блока ТО с трубным пучком. Количество тепла, переданного гелию, составило

около 90 ккал, что по расчетной оценке приблизилось к верхней границе возможной теплопередачи в рекуперативной системе подогрева гелия в ограниченных габаритах рулевого двигателя. В связи с тем, что задача обеспечения характеристик наддува баков первой ступени РН «Союз-2-16» возложена на рулевой двигатель РД0110Р (без оснащения системами наддува маршевого двигателя НК-33) с учетом полученных экспериментальных характеристик по интенсификации теплообменника, начиная с двигателя на ОСИ внедрена система наддува НБГ с использованием генераторного газа, аналогичную с двигателем 11Д55, а через блок ТО задействована только линия НБО [2].

По плану совмещения этапов автономных испытаний и комплексных испытаний рулевого двигателя в составе стендового блока в августе проведена доработка и поставка двигателя РД0110РС с наддувом бака горючего смесью генераторного газа и гелия из баллонов ступени РН.

19 августа 2011 г. на доводочном двигателе № 2 после выполнения монтажа СУВТ, холодных отработочных и комплексных испытаний по программе и методике ФГУП «ГНПРКЦ ЦСКБ-Прогресс» проведено ОИ с порядковым номером 6. длительностью 210 с с качанием камер на угол $\pm 10^\circ$ (рис. 5).



Рис. 5. Огневое испытание двигателя

В декабре 2011 г. существенно измененный и усовершенствованный новый рулевой двигатель РД0110Р в сложных условиях совмещения этапов отработки после проведения полного объема подтверждающих испытаний, был поставлен для летных испытаний в составе РН в весьма жесткие сроки директивного Генерального графика создания РН – два года после получения проекта технического задания на создание двигателя [3].

22 ноября 2012 г. огневым испытанием с порядковым номером 21, при котором была подтверждена работоспособность конструкции при минусовых температурах, завершена стендовая отработка опытных образцов двигателя.

В настоящее время перед началом серий-

ного производства изготавливается экземпляр двигателя для проведения государственных испытаний (МВИ).

Выводы:

1 Разработан рулевой двигатель, включающий четыре рулевые камеры с возможностью их качания в двух взаимных перпендикулярных плоскостях на угол $\pm 45^\circ$.

Для обеспечения качания на рулевые камеры жестко установлены блистеры, которые подвижно установлены на траверсе.

2 Разработана, подтверждена результатами экспериментальной огневой отработки и введена в конструкцию рулевого ЖРД РД0110Р высокоэффективная система наддува, которая содержит рекуперативные теплообменники, смеситель гелия и генераторного газа.

3 Обеспечен подогрев расхода гелия для наддува баков объединенной двигательной установки I ступени РН без дооснащения ранее созданного маршевого двигателя НК-33 собственной системой наддува.

Литература

1. И. Афанасьев «Наш рулевой» из Воронежа. Новости космонавтики № 7 (354), Москва, 2012, с. 54.

2. Рачук В.С., Горохов В.Д., Туртушов В.А. и др. Силовой блок двигательной установки ракеты-носителя, заявка № 2012106018/(06(009192), (положительное решение), 2012

3. Шалаев Ф.Н. Двухпоточный редуктор с одним ведущим зубчатым колесом и выровненной нагрузкой по потокам/ Ф.Н. Шалаев, В.С. Рачук, В.Г. Стогней // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2012. Т. 8. № 11. С. 149-151.

ОАО «Конструкторское бюро химавтоматики», г. Воронеж

NEW RD0110R TVC ENGINE FOR SOYUZ-2-1B LV. DEVELOPMENT PHASES

V.D. Gorokhov, V.I. Korneev, S.P. Kunavin, V.A. Turtushov, S.N. Koslov

Main requirements to TVC engine, main design features of its units and components are described. Main parameters and development phases of RD0110R engine are presented

Key words: TVC engine, design mockup, heat exchanger, pressurization, launch vehicle