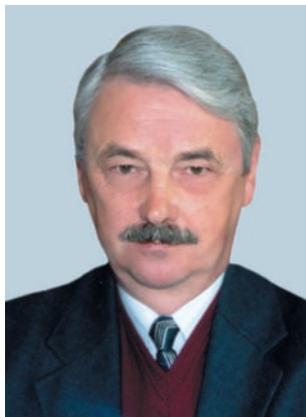


РАЗРАБОТКА И ОГНЕВЫЕ ИСПЫТАНИЯ ДВУХКОМПОНЕНТНЫХ И ОДНОКОМПОНЕНТНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ МАЛОЙ ТЯГИ В КБХИММАШ ИМЕНИ А.М. ИСАЕВА

DEVELOPMENT AND FIRING TESTS OF MONOPROPELLANT AND BIPROPELLANT LOW-THRUST ENGINES BY ISAYEV CHEMICAL ENGINEERING DESIGN BUREAU



Е.П. Селезнёв¹,
ea.seleznev@bk.ru;
E.P. Seleznev



И.Н. Смирнов¹,
kbhimmash@korolev-net.ru;
I.N. Smirnov



М.А. Дородников¹,
dorodnikov@bk.ru;
M.A. Dorodnikov

В статье дано краткое описание истории КБХиммаш имени А.М. Исаева в части разработки одно- и двухкомпонентных двигателей малой тяги для использования в космических аппаратах НПО имени С.А. Лавочкина.

Ключевые слова: однокомпонентные двигатели; двухкомпонентные двигатели; разработка; огневые испытания; изделие С5.221

Разработка, производство и стендовые огневые испытания жидкостных ракетных двигателей малой тяги для космических аппаратов и разгонных блоков – одно из направлений деятельности конструкторского бюро химического машиностроения имени А.М. Исаева. КБХиммаш разрабатывает как двухкомпонентные двигатели малой тяги на различных высококипящих и криогенных компонентах топлива (Агеенко Ю.И. и др., 2014), так и однокомпонентные двигатели на гидразине с реакторами каталитического и термокatalитического типа (Агеенко Ю.И., 2014).

Работы в этом направлении начались в КБХиммаш в 1971 году с разработки двухкомпонентного двигателя малой тяги (0,6 кг) для комплексной двигательной установки, предназначенной для КА ЦСКБ-«ПРОГРЕСС».

В конце 60-х – начале 70-х годов в отечественном ракетном двигателестроении появилась перспекти-

The article overviews a history of Isayev Chemical Engineering Design Bureau in terms of design and development of mono- and bipropellant low-thrust engines for their subsequent usage in spacecraft built by Lavochkin Association.

Key words: monopropellant engines; bipropellant engines; design and development; firing tests; product C5.221.

ва расширения области использования комплексных космических двигательных установок с двигателями малой тяги в качестве исполнительных органов системы управления космическим аппаратом (КА). В связи с этим в Министерстве общего машиностроения было принято решение перевести разработку и производство двигателей малой тяги из ТМКБ «Союз» Министерства авиационной промышленности на предприятия Минобщемаша. Решение было вызвано как проблемами увеличения объёмов работ по двигателям малой тяги – «непрофильной» для Минавиапрома продукции, так и техническими проблемами создания двигателей с тягой менее 2 кг. Эти проблемы проявились при эксплуатации таких двигателей разработки ТМКБ «Союз».

Основатель КБХиммаш, главный конструктор А.М. Исаев, понимая перспективность и востребованность разработки комплексных двигательных установок и двигателей малой тяги, принял решение

¹ КБХиммаш имени А.М. Исаева – филиал ФГУП ГКНПЦ имени М.В. Хруничева, Россия, Московская область, г. Королев.

Isayev Chemical Engineering Design Bureau – affiliate of Khrunichev State Research and Production Space Centre, Russia, Moscow region, Korolev.

взяться за освоение нового направления разработок предприятия. Приняв это решение, Алексей Михайлович решал несколько задач:

Во-первых, новое направление укрепляло и расширяло специализацию предприятия на разработке космических двигателей и двигательных установок, перспективы использования которых в КА возросли.

Во-вторых, работы в новом направлении позволяли сохранить диверсификацию деятельности в условиях прогнозируемого сокращения некоторых других направлений (двигатели для зенитных, авиационных и морских ракет).

В-третьих, в новых разработках мог быть использован имеющийся опыт, научно-технический задел и производственные ресурсы.

И, наконец (это Алексей Михайлович считал очень важным), новизна работ, их востребованность, поддерживали творческое «кипение» в коллективе.

Подготовка к новым работам проводилась основательно. Главный конструктор, его заместители, руководители комплексов и отделов, ведущие специалисты с самого начала работ участвовали в обсуждении, подготовке и принятии всех принципиальных решений. В результате работа шла в понятном для всех направлении, слаженно и быстро.

Главный конструктор с группой ведущих специалистов побывал в Ленинградском ГИПХе, в Куйбышеве – в ЦСКБ и в лаборатории микроэнергетики КуАИ, в Тураево – в ТМКБ «Союз». В КБхиммаш приглашались ведущие специалисты этих и других предприятий, имеющих отношение к двигателям малой тяги, для проведения своеобразных «конференций» по различным вопросам разработки, производства испытаний и эксплуатации двигателей малой тяги и комплексных двигательных установок.

Параллельно, с учётом анализа собираемой информации, проходила организационная подготовка к новым работам и вырабатывались принципиальные подходы к проектированию, производству и испытаниям.

В феврале 1971 года было создано и укомплектовано отдельное конструкторское подразделение по разработке двигателей малой тяги и их агрегатов; определены его взаимоотношения с отделами КБ, технологами, производством и испытателями. В качестве испытательной площадки был определён отдел 216. Перед подразделениями предприятия были поставлены конкретные задачи по освоению новых технологий изготовления, создания нестандартного оборудования и стендов, по решению материаловедческих задач.

Комплексный подход к освоению нового направления, анализ существующих и перспективных проблем и задач позволили уже в самом начале заложить в основу разработок и развить в последующем «пионерские» для того времени технические решения и технологии, сохраняющие перспективы использования до настоящего времени.

К таким техническим решениям и технологиям, в частности, относятся:

- камеры сгорания из жаропрочных материалов на основе графитовых композиций и ниобиевых сплавов с жаростойким покрытием;
- малоразмерные струйные форсунки (0,2–0,35 мм) с использованием капиллярных трубок и технологий «прокола» профилированных отверстий;
- форсуночные головки со струйным и струйно-центробежным смешением и дефлектором, обеспечивающие при высокой экономичности значительные запасы по максимальной температуре камеры сгорания;
- «холодные» контрольно-технологические испытания (вместо огневых), основанные на применении для струйных и струйно-центробежных смесительных головок гидравлических испытаний («холодных» проливок);
- электрожидкостные клапаны с ресурсом до 10^6 включений, стойких к специальным факторам внешнего воздействия, имеющие высокую герметичность и быстрдействие;
- топливные баки с пластически деформируемыми разделителями из алюминиевого сплава, имеющие специальный профиль;
- топливные баки и гидроаккумуляторы для комплексных двигательных установок с пластинчатыми сильфонами-разделителями;
- безрамные блоки топливных баков двигательных установок.

Разработанные при создании двухкомпонентных двигателей тягой 0,6 и 2,5 кг новые технические решения и технологии обеспечивали возможность повысить характеристики двигателей большей тяги (до 40 кг) до уровня лучших мировых образцов, которые тогда стали разрабатывать за рубежом. Поэтому КБхиммаш была начата и, в настоящее время, завершена разработка параметрического ряда современных двухкомпонентных двигателей малой тяги с тягой от 0,6 до 40 кг.

В космических аппаратах НПО имени С.А. Лавочкина использовались модификации двухкомпонентного двигателя малой тяги (2,5 кг). В 80-х годах по заданию НПО имени С.А. Лавочкина началась разработка однокомпонентных (гидразиновых) двигателей тягой 1 и 5 кг с реактором каталитического разложения.

Проектные и экспериментальные работы по однокомпонентным двигателям проводились в КБхиммаш и ранее, но именно с двигателями по заказу НПО имени С.А. Лавочкина началось их практическое использование.

Творческое сотрудничество коллективов двух КБ началось с разработки зенитных и межконтинентальных крылатых ракет, а затем продолжилось при работах (уже под руководством Г.Н. Бабакина

и В.Н. Богомолова) по космическим аппаратам для исследования Луны, планет Солнечной системы, КА специального назначения на околоземных орбитах и разгонным блокам.

В этот период космические аппараты НПО имени С.А. Лавочкина, оснащённые двигателями и двигательными установками КБХиммаш, обеспечили забор лунного грунта и доставку его на Землю, посадку на Венеру и Марс. В дальнейшем НПО имени С.А. Лавочкина был разработан разгонный блок «Фрегат» для доставки космических аппаратов на заданную орбиту и в заданную точку над поверхностью Земли. Этот разгонный блок оснащён разработанным КБХиммаш двигателем С5.92 тягой 2 тонны и двенадцатью управляющими однокомпонентными двигателями С5.221.

В настоящее время КБХиммаш завершает разработку двигателей для аппарата НПО имени С.А. Лавочкина по теме «Луна-Глоб», в этот комплект входят: ДМТ С5.140 (тяга 0,6 кГс), ДМТ С5.145 (тяга 5 кГс), двигатели мягкой посадки на Луну 255У.487 (тяга 60 кГс), корректирующий – тормозной двигатель С5.154.1000-0 (тяга 400 кГс).

Ведутся работы по разработке однокомпонентного тормозного двигателя посадочной платформы космического аппарата «ЭКЗОМАРС» с регулируемой тягой от 1400 кг до 300 кг. В состав аппарата входят также однокомпонентные двигатели С5.221 (тяга 5 кГс).

Разработка различных двигателей для указанных космических аппаратов потребовала проведения отработочных испытаний. Для отработки двигателей КБХиммаш была создана мощная стендовая база, обеспечивающая весь цикл запланированных отработочных испытаний.

Разработка двигателей с каталитическим разложением гидразина для НПО имени С.А. Лавочкина потребовала решить новые задачи, связанные, главным образом, со специфическими свойствами гидразина и активного катализатора. Эти задачи были решены вместе с Ленинградским ГИПХ.

Разработка однокомпонентных двигателей малой тяги для КА НПО имени С.А. Лавочкина стала стартовой площадкой для создания ряда гидразиновых двигателей с реактором каталитического и термокаталитического типа, которые применяются в объектах, разрабатываемых НПО имени С.А. Лавочкина и АО «ИСС» имени М.Ф. Решетнёва.

Отдельной важной задачей при разработке гидразиновых двигателей было обеспечение стендовых испытаний с имитацией объектовых условий. Основные проблемы при создании испытательных стендов были связаны:

- с обеспечением безопасности при работах с гидразином и его чистоты (по содержанию примесей) в процессах хранения и эксплуатации в стендовых системах;

- с исключением необъектовых условий контакта катализатора с окружающей средой при подготовке и проведении испытаний.

Эти проблемы были решены при создании барокамерного стенда 10Б (рисунок 1) с системой имитации высотных условий (рисунок 2). В настоящее время стенд используется при контрольно-выборочных испытаниях двигателей с тягой 5 кг для разгонного блока «ФРЕГАТ».



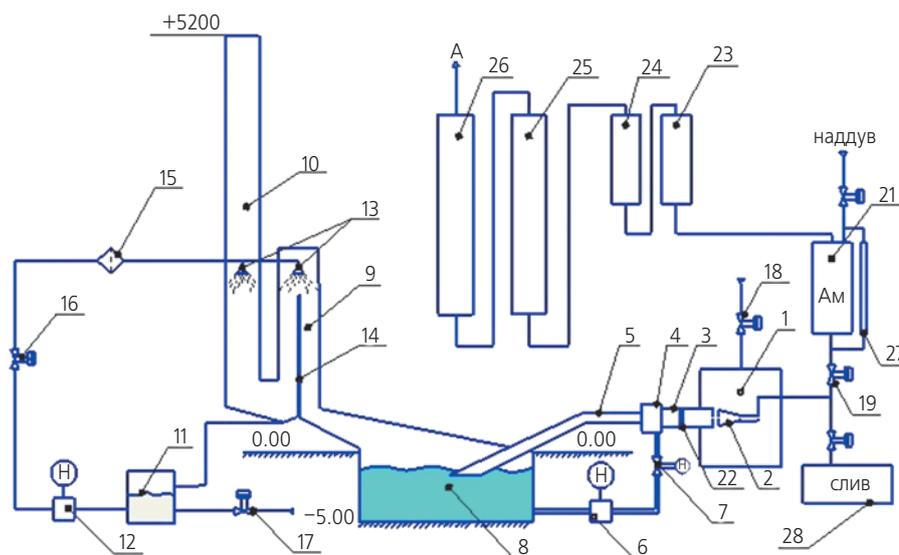
рисунок 1. Огневой бокс стенда 10Б



рисунок 2. Система имитации высотных условий отдела 216

Когда наметились работы с новым горючим – гидразином, начальник комплекса Г.И. Новохатный направил инженеров Г.Я. Харенко, М.М. Гудкова и Ю.Д. Баклыкова в Ленинград для ознакомления с новым компонентом в ГИПХе на стендах в пригороде Ленинграда. На предприятии и в отделе 216 приступили к подготовке испытаний изделий на гидразине: изучение технической документации ГИПХа, проектирование и изготовление изделий, выпуск и монтаж пневмо-гидравлической схемы (ПГС) стендов. Собственными силами на предприятии спроектировали и изготовили специальные транспортно-рабочие ёмкости для гидразина объёмом 32,4 литра

СТРУКТУРНАЯ СХЕМА СТЕНДА 10Б



1. Барокамера
2. Изделие
3. Газодинамическая труба
4. Водоструйный эжектор
5. Газовод
6. Насос системы ШГУ
7. Задвижка с электроприводом $D_1=400$ мм
8. Бассейн ШГУ $V=1000$ м³
9. Колонна орошения
10. Труба рассеивания
11. Ёмкость с нейтрализующим раствором
12. Насос системы нейтрализации
13. Форсунки
14. Перегородка
15. Фильтр
- 16, 17. Задвижка
- 18, 19, 20. Отсечной клапан
21. Расходная ёмкость Амидола (ТРЕ)
22. Отсечное устройство
23. Нейтрализатор высокого давления
24. Нейтрализатор высокого давления
25. Нейтрализатор низкого давления
26. Нейтрализатор низкого давления
27. Уровнемер
28. Сливная ёмкость

рисунки 3. Структурная схема стенда 10Б

и рабочим давлением 30 кгс/см^2 . Была решена задача доставки гидразина из Фаустово (НИО-9) в отдел 216 в транспортно-рабочих ёмкостях автомобильным транспортом с соблюдением необходимых мер безопасности, предъявляемых к высокотоксичным и взрывоопасным веществам.

Системы стенда 10Б (рисунок 3) были подготовлены для работы с гидразином; проведены проверочные испытания, в процессе которых, удалось решить технические проблемы:

- подготовки и эксплуатации специально разработанных систем стенда на всех этапах работы. Применение специально разработанных технологий подготовки систем стенда и их элементов;
- требуемое для имитации объектовых условий давление в барокамере не только при работе двигателя, но и в паузах;
- исключение попадания в барокамеру продуктов разложения гидразина и воды из системы эжектирования. В газодинамический тракт системы эжектирования установлено специально разработанное отсечное устройство;
- исключение попадания воздуха в газодинамический тракт. Для газового эжектора используется азот.

Со временем стенд периодически претерпевал изменения в конструкции и технологии эксплуатации стендовых систем, например, в настоящее время барокамера стенда оснащена разработанной предприятием системой измерения усилия тяги.

Статистический анализ данных, полученных при огневых испытаниях изделий С5.221 на стенде 10Б на протяжении 11 лет (испытания прошли более 120 изделий), с уверенностью позволяет утверждать, что стенд 10Б является современным и технологичным сооружением.

В 2002 году в КБхиммаш началась поэтапная реализация программы реконструкции и технического перевооружения, охватывающая все виды работ – проектирование, производство и испытания. Конструкторское бюро, производство и испытательная база оснащены современными средствами проектирования, производственным и испытательным оборудованием.

Обладая основательным опытом разработки ракетных двигателей, научно-техническим заделом, модернизированной научно-производственной и испытательной базой КБ Исаева продолжает опытно-конструкторские разработки и научно-исследовательские работы по ракетно-космическим двигателям, двигательным установкам, двигателям малой тяги и перспективным энергетическим установкам. Значительное место в деятельности предприятия по-прежнему занимают работы по основным проектам НПО имени С.А. Лавочкина.

Творческое сотрудничество, начатое С.А. Лавочкиным и А.М. Исаевым, результаты которого – крупный вклад в завоевание первенства и лидирующих позиций Отечества в освоении космоса – продолжается.

список литературы

Агеенко Ю.И. Двигатель стабилизации, ориентации и обеспечения запуска маршевого двигателя МКБ «Фрегат» // Вестник НПО им. С.А. Лавочкина. 2014. № 1. С. 44-46.

Агеенко Ю.И., Панин И.Г., Пегин И.В., Смирнов И.А. Обеспечение высоких характеристик и надёжности ЖРДМТ с дефлекторно-центробежной схемой смесеобразования // Вестник НПО им. С.А. Лавочкина. 2014. № 4. С. 68-74.

Статья поступила в редакцию 07.05.2015 г.