
Вместе на пути к звездам (о сотрудничестве НПО Энергомаш и ЦИАМ)

3 декабря 2020 года исполняется 90 лет со дня образования Центрального института авиационного моторостроения имени П.И. Баранова.

Хотя институт создавался как подразделение научного сопровождения при создании и эксплуатации авиационных двигателей, сегодня и в ракетостроении нет ни одного направления, в котором не участвовали бы специалисты ЦИАМ.

Первые работы по ракетным двигателям были проведены ЦИАМ в конце 1950-х годов. Это были годы бурного развития в нашей стране ракетно-космической техники.

К работам по ракетным двигателям в СССР были привлечены многие НИИ и ОКБ оборонной промышленности и Академии наук СССР. Функции головных научных организаций по доводке двигателей возлагались в основном на НИИТП (ныне Исследовательский центр имени М.В. Келдыша) и ЦИАМ.

В 1957 году в ЦИАМ был создан специализированный отдел по ракетным двигателям, работающим на жидких и твердых топливах, создана экспериментальная база для проведения исследований рабочих процессов в ракетных двигателях. Широкое использование полученного в авиационном двигателестроении опыта позволило ЦИАМ быстро и эффективно решать вопросы развития и создания ЖРД.

ЦИАМ совместно с ОКБ впервые в отрасли были разработаны нормы прочности ЖРД, которые нашли широкое применение в промышленности и успешно используются по настоящее время, разработаны методы исследования неустойчивости процесса горения в камерах сгорания и газогенераторах при пониженном расходе и давлении, созданы высокоэффективные методы математического и гидродинамического моделирования процесса запуска ЖРД, учитывающие реальные процессы в агрегатах двигателя и условия работы двигателя в составе ракеты, выпущен фундаментальный труд по выбору параметров и расчетам высокоэффективных сопел ЖРД и др.

Приоритетным направлением в работе НИИ являлось проведение совместных с ОКБ экспериментальных и теоретических исследований, направленных на решение конкретных задач, возникавших при конструировании и отработке ЖРД. Большое внимание уделялось анализу и обобщению богатого экспериментального материала, получаемого в ОКБ при стендовых испытаниях двигателей, а также разработке эффективных методов физического и математического моделирования, наиболее полно отражающих рабочие процессы в двигателях. Сложившиеся творческие коллективы научных работников по ракетной тематике принимали самое активное участие в создании и отработке новых ЖРД и в решении научных задач на различных этапах их создания.

Двигательную лабораторию в ЦИАМ возглавлял профессор В.Р. Левин, являвшийся заместителем начальника ЦИАМ по ракетной тематике. Под его руководством сформировался творческий научный коллектив, который принимал активное участие в создании высокоэффективных ЖРД.

Как писал один из ведущих сотрудников ЦИАМ, затем работник Министерства авиационной промышленности В.А. Шерстянников: «Специалисты НИИ гордятся успехами ОКБ, в которых есть и частица их скромного труда. Создание уникальной отечественной космической техники стало выдающимся достижением, фундаментальным вкладом авиационно-космической науки и техники в развитие космонавтики».

Специалисты НПО Энергомаш с теплотой и благодарностью вспоминают многосторонние контакты с учеными ЦИАМ. Вот несколько примеров из истории нашего сотрудничества.

В начале 1960-х годов в КБ, возглавляемом В.Н. Челомеем, была начата разработка новой мощной ракеты-носителя «Протон», использующейся для реализации космических программ с 1965 года по настоящее время. В качестве двигателя первой ступени был принят однокамерный ЖРД РД-253, проект которого был предложен ОКБ-456 (ныне АО «НПО Энергомаш имени академика В.П. Глушко»).



В.К. Чванов



В.С. Судаков



Двигатель РД-253

Двигатель РД-253 стал первым и в течение последующих лет оставался самым мощным ЖРД, выполняемым по схеме с дожиганием окислительного генераторного газа на долгохраняемых компонентах топлива. Кроме того, этот двигатель можно считать родоначальником большого семейства маршевых ЖРД, разработанных в последующие годы. С появлением РД-253 был совершен качественный скачок в освоении высокого уровня давления в камере и достижения высоких значений удельного импульса тяги, который определил одно из основных направлений совершенствования характеристик отечественных ЖРД.

Как показал впоследствии многолетний опыт эксплуатации ракеты-носителя «Протон», двигатель РД-253 оказался одним из самых надежных отечественных двигателей.

К работам по двигателю были подключены все ведущие НИИ, в том числе ЦИАМ. Для обеспечения высокой полноты сгорания в сочетании с устойчивым горением в ЦИАМ и НИИТП с участием КБ Энергомаш на модельных установках были проведены обширные исследования газожидкостных форсунок разного типа. С целью обеспечения равномерного распределения газообразного окислителя по площади смесительной головки камеры была разработана методика продувки модельным газом и создан специальный стенд. По результатам теоретических расчетов охлаждения камеры были выданы рекомендации по нанесению на внутреннюю стенку покрытия, состоящего из двуоксида циркония, а на внутреннее днище головки – покрытия из пористого хрома. В то же время была разработана более совершенная конструкция щелевого пояса завесы с тангенциальной закруткой пелены горючего.

Первые испытания РД-253 проводились с использованием порохового стартера. Теоретические расчеты и экспериментальные исследования показали возможности организации запуска без порохового стартера (и пусковой турбины) путем правильной организации подвода компонентов топлива к газогенератору и камере. Бесстартерный запуск, отработанный на РД-253, стал широко применяться в ЖРД. И в этом была немалая заслуга в том числе специалистов ЦИАМ во главе с В.М. Калниным. Первый запуск ракеты-носителя «Протон» состоялся 16 июля 1965 года.

Другим примером является выполнение программы создания уникального ракетно-космического комплекса «Энергия» – «Буран». В мае 1974 года ЦКБЭМ, ведущее предприятие по разработке космических ракет-носителей, было преобразовано в НПО «Энергия», в которое вошли КБ Энергомаш вместе с опытным заводом. Генеральным конструктором и директором НПО «Энергия» был назначен В.П. Глушко. На НПО «Энергия» возлагалась задача разработки многоразовой космической системы «Энергия» – «Буран», на первых ступенях которой (блоки А) использовалось топливо кислород – керосин в двигателях с тягой на земле 740 тс. Разработка двигателя возлагалась на КБ Энергомаш.

Разработка велась в двух модификациях, отличающихся системой управления вектором тяги и кратностью применения, одна (двигатель РД-170) предназначалась для блоков А (многоразового использования), другая (двигатель РД-171) – для первой ступени одноразовой ракеты-носителя «Зенит».

После окончания этапа автономной огневой отработки на специальных установках, включающих штатные агрегаты систем подачи (турбонасосные агрегаты, газогенераторы, бустерные агрегаты, основные агрегаты автоматики), в 1980 году перешли к испытаниям полноразмерного двигателя. В процессе отработки двигателя столкнулись



Двигатель РД-171

с проблемой возгорания в окислительных трактах. К детальному анализу возможных причин возгорания элементов конструкции окислительного тракта, в первую очередь насоса окислителя и проточной части турбины, были подключены специалисты отрасли, в том числе из ЦИАМ: И.А. Биргер, В.Л. Эпштейн, А.С. Рудаков, Р.И. Исаев и др.

К числу основных проблем, приводивших к возгоранию (воздействие металлических частиц, повышенные динамические нагрузки от пульсаций давления в зазоре между лопатками рабочего колеса турбины и статора, недостаточная эффективность защитного покрытия, крутильные колебания лопаток, объединенных бандажом в блоки по три лопатки и др.), относилась и проблема прочности – недостаточная усталостная прочность лопаток, вследствие которой появлялись трещины в основном в корневой части пера лопаток рабочего колеса, со стороны кромок, спинки и корыта.

Работы по повышению усталостной прочности лопаток рабочего колеса были одними из основных в комплексе мероприятий по отработке турбины и позволили

(вместе с другими решениями) увеличить ресурс турбины и двигателя в десятки раз. Необходимо было выбрать новое термостойкое покрытие, выдерживающее не менее 50 термоциклов.

Последовательность выбора покрытий была такой: вначале покрытие исследовалось на стойкость к возгоранию в потоке окислительного газа с вводом алюминиевых частиц на стендах КБЭМ и НИИТП; затем покрытие, оказавшееся стойким к возгоранию, проверялось на стойкость к термоциклическим нагрузкам при испытаниях секции натурального рабочего колеса на стенде КБЭМ, после чего лопатки из других секций того же рабочего колеса испытывались на усталостную прочность в ЦИАМ с параллельным испытанием плоских образцов для особо оговоренного случая.

Эти работы проводились по планам совместных работ КБЭМ и ЦИАМ, где основными исполнителями были И.А. Биргер, Б.Ф. Кулешов, А.Н. Петухов, А.Н. Стадников и др. В результате проведенных КБЭМ и ЦИАМ комплексных исследований и выработки мероприятий усталостная прочность лопаток рабочих колес увеличилась в два раза, а время наработки – в 15 раз.

В 1985 году по инициативе сотрудников КБЭМ была разработана межотраслевая программа фундаментальных теоретических и экспериментальных работ, необходимых для оценки и обеспечения прочности и ресурса ЖРД многократного использования большой тяги. Эта программа объединила и сконцентрировала усилия таких организаций, как КБЭМ (В.П. Радовский), ЦНИИмаш (А.В. Кармишин), НИИТП (В.Я. Лихущин), КБХА (А.Д. Конопатов), КБхиммаш (В.Н. Богомолов), РКК «Энергия» (Б.А. Соколов), ИМАШ АН СССР (К.В. Фролов), ИПП АН УССР (Т.С. Писаренко) и ЦИАМ (И.А. Биргер).

Программа предусматривала создание достоверных методов определения ресурса элементов ЖРД (камер сгорания, турбин, насосов, газогенераторов, трубопроводов, стыков и др.) с экспериментальным определением необходимых свойств применяемых конструкционных материалов, характеризующих усталостную прочность и долговечность, при реально действующих нагрузках.

Работы по этой программе после 1990 года из-за отсутствия государственного финансирования были приостановлены. Но актуальности они не потеряли, учитывая повышенный интерес в мире к созданию ЖРД многократного использования для перспективных ракет-носителей.

Разработка мероприятий, направленных на обеспечение стойкости к возгоранию элементов конструкции окислительных трактов, позволила довести конструкцию двигателя РД-171 до работоспособного состояния. 9 июля 1981 года было проведено полноресурсное испытание двигателя (150 с) на режиме с тягой 600 тс. А через год – в июне 1982 года – состоялось первое огневое стендовое испытание двигателя в составе ступени ракеты. Первое летное испытание двигателя РД-171 (однократного варианта) в составе ракеты «Зенит» было осуществлено 13 апреля 1985 года. Отработка двигателя РД-170, который предназначался для десятикратного полетного использования в составе спасаемых блоков первой ступени ракеты-носителя «Энергия» продолжалась. В 1987 году успешно прошло первое летное испытание ракеты-носителя «Энергия», в 1988 году – второе. Успешная отработка двигателей РД-170 и РД-171 проводилась с участием ученых ЦИАМ.

Творческое сотрудничество с учеными ЦИАМ осуществлялось и при проведении перспективных проектных работ.

В НПО Энергомаш исследовалась возможность применения металлизированных топлив – гидрата бериллия и пентаборана, сгорание которых сопровождалось образованием конденсированной фазы в продуктах сгорания. Использование металлизированных горючих, особенно в порошкообразном состоянии, выявило ряд проблем: конструирование агрегатов автоматики, подачи, транспортировки, расчет течений в соплах при наличии конденсированных частиц, т.е. создание методов профилирования сопел с двухфазными потоками. Были и другие проблемы.

Тематика исследования металлизированных топлив была включена в планы работ научного совета при Президиуме АН СССР по проблеме «жидкое ракетное топливо», возглавляемого В.П. Глушко. К этим работам был привлечен ряд вузов и НИИ, в том числе ЦИАМ. По результатам работ было выпущено много отчетов, опубликованы статьи, изданы книги. По сути дела, было разработано новое научное направление о двухфазных течениях.

В результате экспериментальных работ был определен ряд особенностей конструкции камер сгорания, насосов, агрегатов автоматики, работающих на порошкообразных горючих. Научно-техническое и конструкторско-технологическое решения, предложенные при разработке двигателя РД-560, не имеют прототипов или аналогов, поскольку работы в области создания ракетных двигателей на порошкообразных



Двигатель РД-108

горючих велись только в НПО Энергомаш. Восемнадцать оригинальных устройств, разработанных для данного двигателя, признаны изобретениями.

Что касается профилирования сопел, то работы по ним велись в конце 1940-х – начале 1950-х годов по инициативе и под непосредственным руководством В.П. Глушко применительно к ракетным двигателям. Первые двигатели КБ Энергомаш с профилированными соплами (РД-214, РД-107, РД-108) были созданы в середине 1950-х годов. Работы по расчету, проектированию и отработке двигателей с экстремальными соплами начались в 1958 году. КБ Энергомаш является первым в стране (и, по-видимому, в мире) конструкторским бюро, в котором при проектировании сопел начали использовать вариационные методы. В КБ Энергомаш по идее В.П. Глушко и под его руководством с 1960 года вели поиск новых компоновочных схем сопел. Рассматривались кольцевые, штыревые и тарельчатые сопла. За работы в области газовой динамики ракетных двигателей по представлению АН СССР группе сотрудников КБ Энергомаш, НИИТП, ВЦ АН СССР и ЦИАМ присуждена Государственная премия СССР за 1979 год.

Кроме работы над созданием ЖРД конструкции НПО Энергомаш, специалисты ЦИАМ принимали активное участие в создании мощных кислородно-керосиновых ЖРД для лунного комплекса Н1-ЛЗ, в разработке систем аварийной защиты ЖРД тяжелых космических ракет-носителей, в создании ЖРД орбитальных станций и космических аппаратов длительного функционирования.

Специалисты ЦИАМ участвовали в наземной отработке ракетных двигателей и двигательных установок систем ПРО и ПВО.

Неоценима была помощь со стороны ученых ЦИАМ при отработке запуска, при исследовании переходных процессов и динамических характеристик турбонасосных агрегатов вновь создаваемых ЖРД.

Отдельно следует вспомнить об участии ученых ЦИАМа при выполнении космических программ «Союз» – «Аполлон» и «Союз» – «Салют-6». 1970 – 1980-е годы были периодом интенсивного сотрудничества СССР с США, с социалистическими странами в области освоения космоса по программам «Союз» – «Аполлон» и «Союз» – «Салют-6», осуществление которых вызвало большой интерес во всем мире и способствовало укреплению международного авторитета нашей страны.

Запуски пилотируемых кораблей «Союз» осуществлялись в то время так же, как и сейчас, ракетами-носителями «Союз» с двигателями ОКБ В.П. Глушко, серийно выпускавшимися на заводе им. М.В. Фрунзе (ныне ПАО «ОДК-Кузнецов») в Куйбышеве (Самаре).

По принятой методике контроль качества изготовления двигателей осуществлялся путем проведения контрольно-выборочных испытаний единичных двигателей, по результатам которых принималось решение о пригодности всей партии двигателей для установки на ракету. В соответствии с приказом Министерства авиационной промышленности комиссию по допуску двигателей к совместному советско-американскому полету доверено было возглавить заместителю директора ЦИАМ доктору технических наук Валентину Алексеичу Шерстянникову. В результате совместной слаженной работы специалистов всех организаций двигатели были поставлены вовремя.

В июле 1975 года состоялся запуск пилотируемого корабля «Союз-19» и его стыковка с кораблем «Аполлон». Программа «Союз» – «Аполлон» была выполнена успешно и вызвала большой резонанс в мире. В целом с успехом выполнялась программа «Союз» – «Салют-6». За осуществление этих международных программ многие участники работ были отмечены высокими правительственными наградами.

Вспоминая годы совместной плодотворной работы с учеными и специалистами ЦИАМ, хочется от души поздравить их с 90-летием со дня основания института! Пожелать успехов во всех областях деятельности и выразить надежду на дальнейшее плодотворное сотрудничество!

Советник генерального директора
НПО Энергомаш
д.т.н., профессор, академик РАКЦ

В.К. Чванов

Главный специалист
НПО Энергомаш
член-корреспондент РАКЦ

В.С. Судаков