

# К 15-ЛЕТИЮ ПЕРВОГО В МИРЕ ЛЕТНОГО ИСПЫТАНИЯ ГПВРД НА ЖИДКОМ ВОДОРОДЕ

ЦИАМ им. П.И. Баранова: Вячеслав Афанасьевич Виноградов, Вячеслав Львович Семенов, Юрий Моисеевич Шихман

28 ноября 2006 г. исполнилось 15 лет со дня первого в мире полета гиперзвукового прямоточного двигателя (ГПВРД) на жидком водороде. Это на самом деле этапное событие для авиакосмической отрасли всего мира. Полет обсуждался даже на заседании конгресса США. Проходит время, память о событии стирается, и, к сожалению, наслаиваются искажения. Авторы статьи сочли необходимым напомнить историю этой разработки.

Гиперзвуковые прямоточные двигатели разрабатывались в СССР с 50-х годов прошлого столетия. В 1957 г. профессор Е.С. Щетинков подал заявку на изобретение ГПВРД и впоследствии получил авторское свидетельство. Работы, выполненные в 1950-1960-х годах в Центре им. Келдыша, где тогда работал Е.С. Щетинков, в ЦИАМ и ЦАГИ, показали перспективность использования ГПВРД для авиационно-космических летательных аппаратов. Тогда же было определено, что наиболее ценную и достоверную информацию о свойствах этих двигателей могут дать их летные испытания.

С конца 1960-х годов велись исследования возможностей проведения летных испытаний. Ограниченный объем статьи не позволяет представить сведения о работах по летным испытаниям ГПВРД, выполненным за рубежом. Отметим только, что летные испытания гиперзвукового двигателя в США предполагались еще в 1960-х годах на ракетном самолете X-15, но реально первое испытание модели ГПВРД на экспериментальном летательном аппарате X-43A с ракетной системой выведения было проведено только в марте 2004 г. Авторы все же надеются, что заинтересованный читатель сможет самостоятельно составить представление об этих работах по публикации в отечественной и зарубежной печати.

Наиболее интенсивная и целенаправленная деятельность в области гиперзвуковых исследований началась в рамках комплексной программы "Холод", утвержденной комиссией Президиума Совета Министров СССР в 1979 г. Головной организацией по разработкам и испытаниям двигателей на криогенном топливе в этой программе был определен ЦИАМ. По программе "Холод" планировалось создание экспериментального водородного ГПВРД и проведение цикла его летных испытаний на гиперзвуковых летающих лабораториях (ГЛЛ). Над созданием ГЛЛ "Холод" и экспериментального ГПВРД под руководством и по техническим заданиям ЦИАМ работало более 20 предприятий и организаций Миновиапрома, Минобороны и, впоследствии, институты Академии наук СССР.

Было определено, что для испытаний ГПВРД наиболее целесообразны ГЛЛ с ракетными системами выведения. После рассмотрения нескольких типов ГЛЛ в качестве основного был выбран конверсионный вариант, разработанный на базе зенитной ракеты комплекса С-200 МКБ "Факел". В МКБ "Факел" совместно с ЦИАМ была разработана общая компоновка ГЛЛ "Холод", производилась общая сборка и изготавливался специальный отсек головной части с гиперзвуковым двигателем и системами обеспечения его работы, который устанавливался вместо штатного боевого отсека ракеты. Специалисты МКБ "Факел" участвовали в подготовке и проведении пусков ГЛЛ "Холод".

ТМКБ "Союз" совместно с ЦИАМ, предложившим схему жидководородного двухрежимного ГПВРД, облик двигателя и принципы его регулирования, разрабатывали и изготавливали экспериментальный двигатель Э-57. Система автоматического регулирования подачи топлива была разработана и изготовлена ОАО "ЭГА" (ранее МКБ "Темп") также совместно с ЦИАМ. В ЦАГИ совме-

стно с ЦИАМ были проведены испытания малоразмерной модели ГПВРД с головным отсеком ГЛЛ.

НПО "Криогенмаш" совместно с ЦИАМ выполнил комплекс работ, связанных с созданием бортовой системы хранения и подачи жидкого водорода. Мобильный заправочный и транспортный жидководородный комплекс был разработан в ЦИАМ и эксплуатировался совместно со специалистами Минобороны. ОАО "Горизонт" выполнило необходимое дооборудование стартовой позиции комплекса С-200 и стенда для технологической подготовки ГЛЛ "Холод" к летному испытанию. В АО "Аэроэлектрик" (МАЗ "Дзержинец") выполнены доработки пусковой системы С-200 на стартовой позиции применительно к условиям старта ГЛЛ "Холод". Пуск ГЛЛ "Холод" проводили совместно военнослужащие полигона "Сары-Шаган", сотрудники МКБ "Факел" и ЦИАМ.

В работах по программе "Холод" участвовали многие сотни сотрудников, но все-таки главная часть исследований и разработок выполнена в ЦИАМ. В марте 1979 г. в ЦИАМ была создана рабочая группа для разработок экспериментального ГПВРД и его систем, стендовых испытаний двигателя, проектирования и изготовления бортовой системы хранения и подачи жидкого водорода и общей компоновки головных отсеков ГЛЛ "Холод", подготовки и проведения летных испытаний. Руководителем этой группы был назначен профессор Р.И. Курзинер, в нее вошли сотрудники подразделений 300, 500, 700, 005, 008, 009. В разное время научное руководство этими работами осуществляли Р.И. Курзинер, Д.А. Огородников, В.А. Соснов, С.М. Шляхтенко.

Огромный объем работ был выполнен опытным производством ЦИАМ. Здесь изготавливались отсеки ГЛЛ "Холод" и оборудование для стендовых испытаний ГПВРД и его систем. Эти работы велись под руководством Ю.Н. Баранова, А.В. Воронова и А.И. Толченова. Наиболее активное участие в решении возникавших проблем принимали Ю.М. Шихман, В.А. Виноградов, М.В. Строкин, Р.Б. Ших, Г.Г. Жадан, В.Н. Строкин, В.А. Грачев, Р.В. Албегов, М.Д. Петров, В.А. Степанов, Г.П. Степанов, Г.А. Клеянкин, А.Н. Антонов и др.

В 1991 г. завершилась программа исследований и предполетной отработки ГПВРД и его систем. За тринадцать лет были исследованы основные элементы и системы экспериментального ГПВРД (воздухозаборник, камера сгорания, сопло, системы воспламенения, охлаждения, хранения, топливопитания и регулирования расхода топлива), проведены стендовые испытания моделей водородного ГПВРД, изучены основные принципы, закономерности и особенности организации рабочего процесса в тракте водородного ГПВРД, работающего в диапазоне чисел Маха полета  $M = 3,5...6$ , разработаны рекомендации по конструкции летного варианта двигателя для ГЛЛ "Холод" с системами топливного охлаждения и регулирования. В 1988 г. для отладки системы управления ракеты были проведены два летно-конструкторских испытания ракеты комплекса С-200 с габаритно-весовыми макетами головных отсеков.



Рувим Исавич Курзинер - первый руководитель работ по гиперзвуку в ЦИАМ

Программа исследований и предполетной отработки водородного двухрежимного ГПВРД завершилась испытаниями летного образца экспериментального двигателя на гиперзвуковом стенде с обдувом при  $M = 5$ . В этих испытаниях были подтверждены параметры воздухозаборника и возможности запуска двигателя с розжигом камеры сгорания при  $M = 5$ , показана работоспособность системы охлаждения при подаче жидкого азота, моделирующей подвод жидкого водорода. Всего в рамках программы предполетных исследований ГПВРД на стендах БМГ и Ц-101 были испытаны макетный образец и несколько вариантов моделей двигателя, включая летный образец.

В сентябре 1988 г. подготовку и проведение летных испытаний ДГПВРД на ГЛЛ "Холод" поручили отделу 012. Руководителем работ был назначен В.Л. Семенов, научное руководство возлагалось на А.С. Рудакова. С этого времени на полигоне "Сары-Шаган" интенсивно продвигалось создание стенда С-57-012, предназначенного для предполетной технологической подготовки и заправки ГЛЛ "Холод". Начальником стенда был назначен ведущий инженер Э.В. Морозов. На стенде смонтировали уникальное вакуумное и компрессорное оборудование, пульта и имитаторы для проверки бортовых систем. В эксплуатацию стенд был принят в ноябре 1990 г.

28 ноября 1991 г. был осуществлен первый полет ГЛЛ "Холод" по полной программе с запуском ГПВРД. Подготовка пуска выполнялась группой сотрудников ЦИАМ: В.Л. Семенов (руководитель), М.В. Строкин, Э.В. Морозов, Р.Б. Ших, Ю.М. Шихман, Г.Г. Жадан, О.Ф. Погорелова, А.Н. Колчев, Г.П. Бурова, Н.В. Савкин и М.В. Сас (представитель Заказчика). Этот коллектив совместно с военнослужащими и сотрудниками МКБ "Факел" выполнил весь технологический цикл подготовки и пуска ракеты от доставки на полигон жидкого водорода из города Чирчик (Узбекистан) до заправки на стартовой позиции бортовой емкости при помощи оборудования и по технологии, разработанным в ЦИАМ.

Зафиксированное в первом летном испытании ГПВРД максимальное число  $M$  составило 5,8. Двигатель в первом летном испытании проработал 28 с, в процессе полета он дважды включался автоматически. Таким образом, впервые в мире в условиях летного испытания была доказана работоспособность гиперзвукового ПВРД.

В ходе летного испытания жидководородный ГПВРД с системами топливного охлаждения и регулирования расхода топлива работал при дозвуковой и сверхзвуковой скоростях потока в камере сгорания. Экспериментальная САУ ГПВРД подтвердила заявленные характеристики, нормальную работоспособность и обеспечила запуск двигателя, а система охлаждения поддержала работоспособность двигателя без нарушения его конструктивной целостности. Результаты летного испытания позволили сформировать представление о рабочем процессе и параметрах экспериментального двигателя (тягово-экономические параметры двигателя и параметры, характеризующие эффективность работы его узлов и систем), а также определить направления дальнейших исследований, направленных на совершенствование двигателя, ГЛЛ и технических средств летных испытаний ГПВРД.

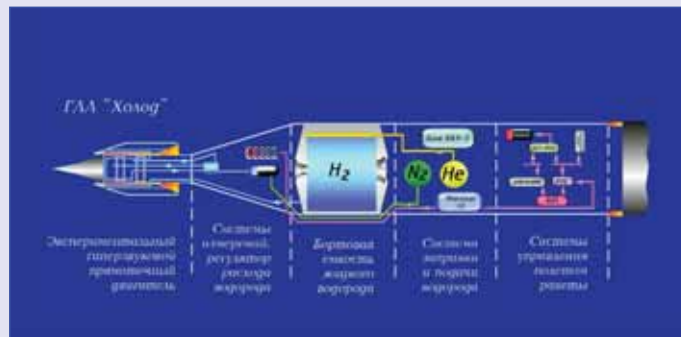
Указанное событие получило широкий отклик в мировой прессе, а ЦИАМ завоевал передовые позиции в области гиперзвуковых исследований. Работа получила высокую оценку научной общественности во всем мире, ряд сотрудников ЦИАМ во главе с его начальником Д.А. Огородниковым в 1993 г. был награжден грамотами и памятными медалями Федерации космонавтики России и золотыми медалями Международного общества аэродинамики и космонавтики США за выдающееся достижение в области освоения космоса. Руководители работ - В.Л. Семенов, М.В. Строкин и



Сотрудники ЦИАМ - создатели экспериментального жидководородного двухрежимного ГПВРД и гиперзвуковой летающей лаборатории "Холод", 1992 г. Сидят (слева направо): В.А. Виноградов, Г.П. Бурова, Г.П. Степанов, О.Ф. Погорелова, В.А. Сосунов, Д.А. Огородников, Ю.Н. Баранов, Ю.М. Шихман, В.Н. Строкин, М.В. Строкин, Л.А. Белостоцкий, Р.Б. Ших. Стоят: А.А. Дюнин, В.Ф. Каргина, Т.Ф. Соколова, Ф.Я. Косоротиков, О.П. Майорова, А.Н. Колчев, А.И. Толченов, О.Б. Мухин, А. Сейфетдинов, В.Л. Семенов, В.А. Грачев, А.Н. Михайлов, Б.П. Кузьмин, Г.Г. Жадан

Ю.М. Шихман - стали обладателями золотых медалей Ассоциации авиадвигателестроения (АССАД) России.

Дальнейшие испытания экспериментального жидководородного ДГПВРД на ГЛЛ "Холод" в 1992 и 1995 гг. проводились по контрактам с Национальным научным центром Франции (ONERA), а в 1997 и 1998 гг. по контракту с Национальным космическим агентством США (NASA). В проведении полетов участвовали также ученые Казахского государственного университета и Национального центра радиоэлектроники и связи. Состав бригады от ЦИАМ в основном остался прежним. В разное время в работах по ГПВРД участвовали и другие сотрудники ЦИАМ: А.П. Иванов, Е.М. Галанкин, Н.И. Варламова, О.Б. Мухин, В.С. Корягин, Н.Н. Кобышев. При последнем испытании, проведенном в 1998 г., была достигнута скорость полета  $M = 6,5$ . Результат оставался непревзойденным до 2002 г., а экспериментальный двигатель такой же схемы, изготовленный в КБХА, проработал более 77 с без разрушения конструкции.



На фоне несомненных успехов в области создания ГПВРД в США и Австралии следует отметить, что в отличие от зарубежных образцов на ГЛЛ "Холод" экспериментальный двигатель являлся практически полным аналогом реального двигателя. Его проточный тракт охлаждался топливом, двигатель работал под управлением бортовой системы регулирования, совмещавшей функции управления расходом топлива по внутривыпускным параметрам и диагностики параметров рабочего процесса и теплового состояния элементов конструкции.

Важным достижением является также развитие методов испытаний и анализа полученных данных, позволяющее по результатам измерений определять параметры двигателя и эффективность рабочего процесса в узлах и системах (тяги, коэффициент полноты сгорания топлива и т.п.), а также выполнить верификацию математических моделей рабочего процесса с учетом химических реакций горения водорода в проточном тракте камеры сгорания экспериментального ГПВРД. □