

СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЙ ЦЕНТР ПО ИСПЫТАНИЯМ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ПЕРСПЕКТИВНЫХ РАКЕТНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

ФГУП "Исследовательский Центр им. М.В. Келдыша": **Владимир Баскаков**, ведущий научный сотрудник, к.т.н., **Юрий Кочетков**, начальник отдела, д.т.н., **Вадим Миронов**, начальник отделения, д.т.н., профессор

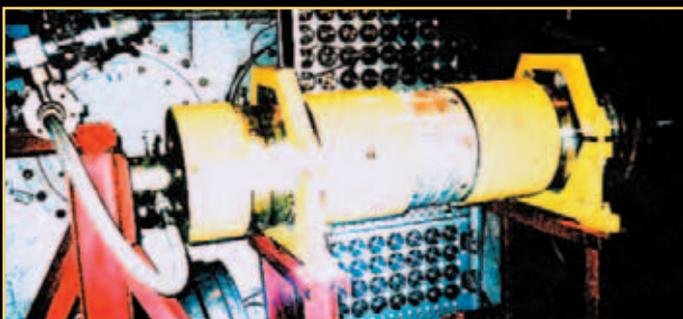
Огневые испытания материалов и элементов конструкций ракетных двигателей (РД) являются важнейшим этапом их комплексной проверки. Они позволяют установить адекватность применяемых методов расчета, подтвердить правильность выбора контура сопла, используемых материалов, условий работы агрегатов и узлов и других значимых характеристик и параметров. Стендовые испытания полноразмерных РД в условиях, приближенных к реальным, дают наиболее достоверную информацию, но являются дорогостоящими. В Центре Келдыша создана альтернативная испытательная база, объединяющая малогабаритные модельные установки, с большой точностью имитирующие натурные условия работы элементов конструкций перспективных РД.

Специализированный испытательный центр предназначен для исследования рабочих процессов в РД, изучения новых материалов, их взаимодействия с продуктами сгорания, определения эффектов уноса масс, состояния и внутренних теплонапряжений деталей, качества управления вектором тяги, а также для экспериментальной проверки имеющихся и вновь разрабатываемых методик расчета. Важно отметить, что полученные в испытательном центре результаты позволяют не только обосновать выбор материалов и конструкции агрегатов и узлов РД, но и совершенствовать технологию изготовления деталей. В первую очередь это касается реализации в устройствах и двигателях новых принципов и конструктивных схем.

К числу эффективных задач, практически важных и не требующих крупных затрат, следует отнести многовариантные огневые

должно базироваться не только на имеющейся мощной технической базе, мобилизации усилий всего коллектива, но и на объединенном творческом потенциале всех научно-исследовательских институтов, ведущих КБ и материаловедческих организаций. Концепция объединения и совместной творческой работы предполагает, в числе прочего, разработку согласованного универсального программно-методического обеспечения, а также проведение теоретических исследований и адаптацию результатов испытаний к потребностям всех заинтересованных организаций.

В настоящее время математическое моделирование становится самым мощным инструментом конструктора. Высокое качество, достоверность, оптимальность полученных результатов могут быть достигнуты с помощью разработанного и апробированного в Центре Келдыша комплекса программно-методического



испытания образцов композиционных материалов (КМ). Все более широкое применение в перспективных ракетных двигателях находят неметаллические композиционные материалы, для проведения испытаний которых разработан целый ряд устройств и установок.

Испытательный центр располагает квалифицированными специалистами и оснащен самым современным оборудованием и специализированными стендами, что гарантирует качество работ. В распоряжение ученых предоставлен целый ряд экспериментальных комплексов, объединяющих в своей работе определенный класс модельных РД и высокотемпературных установок:

- электродуговой подогреватель (плазмотрон);
- кислородно-водородный ЖРД;
- кислородно-метановый ЖРД;
- модельный гибридный РД (совместно с демонстрационным образцом);
- модельные РДТТ различных типоразмеров.

Плазмотрон и установки на основе указанных двигателей составляют основную техническую базу специализированного центра. Оборудованные ими стенды позволяют успешно проводить огневые модельные испытания как образцов КМ, элементов конструкций РД, так и органов управления вектором тяги.

Решение стоящих перед Центром Келдыша сложнейших задач

обеспечения (об этом мы подробно писали в "Двигателе" №1-2000). Структурно этот комплекс состоит из блоков программ:

- расчета теплообмена, теплонапряженного состояния в элементах конструкций РД;
- определения эффектов уноса массы КМ;
- расчета газодинамических параметров течений по тракту РД, в т.ч. в соплах с регулируемой степенью расширения, а также программ расчета боковых сил и моментов;
- расчета энергомассовых характеристик и баллистической эффективности;

ПАРАМЕТРЫ ЭЛЕКТРОДУГОВОЙ УСТАНОВКИ

Линейное напряжение, кВ	1
Ток, кА	До 1
Температура рабочего тела в камере смешения, К	2000...5000
Давление торможения в камере смешения, МПа	До 5
Расход рабочего тела через дуговые камеры, кг/с	0,1...1
Время непрерывной работы, с	До 60

- поддержки экспериментов для проведения широкого спектра исследований, обработки опытных данных и переноса результатов испытаний на иные условия, включая натурные. Указанный перенос осуществляется путем привлечения всего программно-методического обеспечения.

Одной из эффективных составляющих экспериментального комплекса Центра является электродуговая установка, в которой используется плазматрон Д-20. Установка представляет собой универсальный инструмент для проведения широкого спектра высокотемпературных испытаний композиционных материалов различного класса, представленных в виде узлов или малогабаритных модельных элементов конструкций РД. В качестве компонентов рабочего тела могут быть использованы: воздух, вода, этилен, азот, углекислый газ, аргон, гелий, а также их смеси в различных комбинациях. Универсальные возможности установки обеспечивают получение высокотемпературных химически активных потоков сложного состава. Установка позволяет:

- определять теплопроводность (температуропроводность) элементов конструкций путем решения обратных задач теплопроводности;
- определять важнейшие константы процесса разрушения КМ в высокотемпературном химически активном потоке;
- с большой эффективностью исследовать динамику и механизм разрушения КМ;
- осуществлять экспериментальную проверку уточненных и вновь разрабатываемых методик расчета газодинамических параметров течения, тепломассообмена, теплонпряженного состояния и уноса массы испытуемых образцов КМ применительно к условиям их работы в перспективных РД.

Выходная часть камеры смешения установки, расположенная вслед за плазматроном, снабжена множеством съемных отсеков. Такая конструкция позволяет с помощью различных переходников пристыковать к ней большое число всевозможных рабочих частей, оснащенных испытуемыми образцами. Подобные рабочие части входят в комплекты оснастки имеющихся в Центре Келдыша модельных гибридных ракетных двигателей (ГРД)

ских композиционных материалов. Для обеспечения высотных условий испытаний разработаны и изготовлены газодинамические трубы (диффузоры).

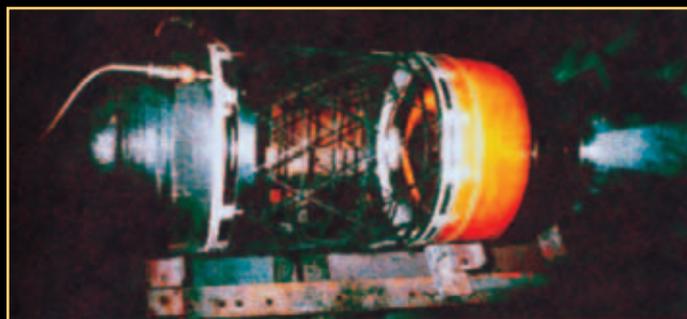
Время работы модельного ЖРД обусловлено скоростью расхода рабочих компонентов и имеющимся их запасом в емкостях стенда. Например, при использовании модельного ЖРД тягой 2 кН продолжительность работы двигателя достигает 300 с, что позволяет проводить ресурсные испытания.

Работы с твердыми топливами проводятся на универсальном твердотопливном стенде (УТТ), модернизированном для обеспечения испытаний также и демонстрационного ГРД. Стенд позволяет исследовать рабочие процессы в гибридных двигателях, отработать конструкцию узлов и агрегатов натурных ГРД, включая системы теплозащиты камеры сгорания и соплового блока.

Испытательная база Исследовательского Центра им. М.В. Келдыша располагает экспериментальными установками на основе модельных твердотопливных двигателей (газогенераторов), основные параметры которых приведены в таблице.

ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ МОДЕЛЬНЫХ ТВЕРДОТОПЛИВНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ УСТАНОВКАХ				
Тип газогенератора	Габариты			Рабочее давление, МПа
	Внутренний диаметр, мм	Длина одной секции, мм	Число секций	
2Э.32	150	300; 500	2	20
2Д.10	135	450	1	12
2ЭД.31	312	450	2	12
2Д.65	322	300	2	10

Научные работы, проводимые в специализированном центре, открывают широкие возможности повышения качества и эксплуатационной надежности перспективных материалов и ус-



Слева направо:
 Модельный ГРД;
 Кислород-водородный ЖРД;
 Демонстрационный ГРД;
 Модельный РДТТ 2Д.65.

и модельных РДТТ различных типоразмеров. Это дает возможность проведения комплексных исследований протекающих в двигателях процессов.

В Центре Келдыша также созданы и успешно функционируют экспериментальные установки на базе модельных ЖРД на компонентах кислород-водород, озон-метан. Испытания неметаллических КМ проводятся с использованием двигателей тягой 2 кН и 20 кН. Рабочее давление в камерах двигателей достигает 12 МПа (120 кгс/см²). Модельные ЖРД позволяют с большой эффективностью проводить огневые испытания неохлаждаемых сопловых насадков из углерод-углеродных и углерод-керамиче-

пешного внедрения их в ракетное двигателестроение. Предварительные огневые испытания модельных элементов на малогабаритных установках позволяют в 2...5 раз снизить общие затраты на исследования современных конструкционных материалов. Эти методы исследований получили путевку в жизнь с момента создания математического обеспечения, позволяющего с большой точностью переносить результаты испытаний на иные условия. И в новом тысячелетии Центр Келдыша не уронит своего высокого авторитета в деле разработки новых технологий, проектирования и создания совершенных РД, удовлетворяющих самым новейшим требованиям.

DIGEST

THE SPECIALIZED TEST CENTRE OF STRUCTURAL NON-METAL COMPOSITE COMPONENTS FOR ADVANCED ROCKET ENGINES

A specialized test base for firing testing of materials and structural components of rocket engines was built at Keldysh Center. The test base is composed of a number of small-scale models simulating operation conditions of advanced engine components. A set of devices and test rigs were developed for testing of non-metal composite materials. Highly qualified personnel are employed at the test center. The Center is provided with up-to-date equipment. A series of engine models and high-temperature test facilities make up its technical base: the arc plasma facility (plasmatron), the lox/liquid hydrogen engine, the lox/methane propellant engine, the hybrid engine model, the solid-propellant rocket engine models with different overall dimensions, etc. Tests are performed by using 2-kN and 20-kN thrust engines (12-MPa working pressure). The liquid-propellant engine models make possible to perform efficient firing tests of uncooled carbon-carbon and carbon-ceramic composite nozzles. Special gasdynamic ducts (diffusers) were designed and manufactured for tests in high-altitude conditions. Tests with solid propellants are conducted at the universal solid-propellant test bench which has been modified to test a demonstration hybrid engine. The test bench makes possible to study working processes in hybrid engines and modify component structure including combustor and nozzle heat protection systems.