



№ 6 (73), 2012
ИЮНЬ

НАУКА@ ТЕХНИКА

Science & Technology



МНОГОЦЕЛЕВОЙ КА-32



ПЕРВЫЙ «ШЕСТИСОТЫЙ»



ШАРОВАЯ МОЛНИЯ



АСЫ ПРОТИВ ЭКСПЕРТОВ



КИТОБОИ

УКРАИНСКИЙ ДВИГАТЕЛЬ К ЕВРОПЕЙСКОЙ РН «ВЕГА»



Владимир Николаевич Шиякин — заместитель Генерального конструктора ГП КБ «Южное»
Владимир Григорьевич Черевферев — Главный специалист КБ ЖРД
Владимир Иванович Конох — начальник отдела, кандидат техн. наук, ученый секретарь



УКРАИНСКИЙ ДВИГАТЕЛЬ ЕВРОПЕЙСКОЙ РН «ВЕГА»

...13 февраля 2012 г. в 12.00 по киевскому времени с космического центра CSG в Куру, который расположен во Французской Гвиане, состоялся первый запуск европейской ракеты-носителя легкого класса «Вега». На четвертой ступени ракеты-носителя установлен маршевый двигатель, разработанный Государственным предприятием «Конструкторское бюро «Южное» им.М.К. Янгеля» и изготовленный ГП «Производственное объединение «Южный машиностроительный завод им. А.М. Макарова».

Двигатель успешно отработал по заданной циклограмме, ракета-носитель полностью выполнила программу полета: на расчетные орбиты выведено девять спутников...

В составе современной мощной космической ракеты, пожалуй, нет более сложной системы, требующей самой тщательной дорогостоящей отработки, чем жидкостный ракетный двигатель (ЖРД). Недаром некоторые разработчики ракетно-космических комплексов считают конструкторов ЖРД кем-то вроде кудесников, которые освоили то, что непостижимо для других.

Действительно, управлять огромной энергией, сосредоточенной в двигателе, энергией, образуемой сгоранием в камере ЖРД нескольких сот килограммов топлива в секунду, давлением нескольких сот атмосфер, температурой в несколько тысяч градусов — это очень сложная задача, над решением которой трудятся наши высококвалифицированные специалисты.

Гидравлика, газодинамика, термодинамика, теория теплопередачи, теория автоматического регулирования, механика, динамика и прочность — далеко не полный перечень наук, лежащих в основе теоретического оснащения специалиста по ЖРД.

Начиная с конца 80-х годов, ракетные двигатели выступают на рынке космических технологий в качестве самостоятельного товара. Доля стоимости ЖРД в составе ракеты-носителя (РН) достигает 40%, отработка нового двигателя с учетом стендового и лабораторного оснащения стоит очень дорого. Поэтому страны, желающие создать свои РН, стараются приобрести готовые двигатели, прошедшие полный цикл отработки.

История развития ракетного двигателестроения на Государственном предприятии «Конструкторское бюро «Южное» неразрывно связана с разработкой ракет-носителей боевого и космического назначения. При создании двухступен-

чатой ракеты 8К64 возникла необходимость в разработке рулевых двигателей для первой и второй ступеней. Для этого в июле 1958 г. в КБЮ было создано специальное подразделение — «двигательное» КБ.

В отличие от самостоятельных двигательных конструкторских бюро, работавших тогда в СССР, двигательное КБ было создано как разработчик ЖРД только для ракетных комплексов КБ «Южное». Эта особенность наложила отпечаток на все стадии разработки двигателей и определила их высокий технический уровень.

Всего в КБ «Южное» было разработано более 40 жидкостных ракетных двигателей различного назначения и девять бортовых источников мощности, предназначенных для питания рабочей жидкостью гидроприводов рулевых агрегатов. В числе созданных ЖРД есть рулевые и маршевые, двигатели специального назначения для верхних ступеней РН, ступеней разведения и разгонных блоков, в том числе и двигательный блок, предназначенный для посадки на Луну, взлета с ее поверхности и вывода пилотируемого модуля на окололунную орбиту.

Кроме того, обеспечено инженерное сопровождение освоения в производстве ГП ПО «Ожмаш» завершающей стадии экспериментальной отработки и серийного изготовления 15 наименований ракетных двигателей разработки других КБ, находящихся в России, в основном двигателей разработки Конструкторского бюро энергетического машиностроения (г. Химки Московской области).

Нетрадиционные схемные и конструктивные решения, реализованные в двигателях разработки ГП КБЮ, обеспечили высокие энергомассовые характеристики и широкий диапазон их функциональных возможностей. Эти свойства позволяют и в настоящее время некоторым ЖРД быть лучшими в мире в своем классе, а большой объем экспериментальной отработки с имитацией как штатных, так и нештатных ситуаций, обеспечивает высокую надежность двигателей. Это двигатели с регулируемой в широких пределах тягой, многократными включениями, различными системами подачи компонентов топлива (турбонасосной, вытеснительной, пневмонасосной и комбинированной, т.е. содержащей отдельные ТНА окислителя и горючего для подачи в централизованные источники питания) и бортовые источники мощности для питания рабочей жидкостью гидроприводов рулевых агрегатов. Уникальные характеристики и функциональные возможности двигателей и бортовых источников мощности разработки ГП КБЮ позволяют нам участвовать в международной кооперации по созданию ракетно-космической техники.



Установка жидкостного ракетного двигателя на ступень ракеты-носителя «Вега»

Одним из примеров участия нашего предприятия в международной кооперации по разработке ракетно-космической техники является создание двигателя управляющего модуля четвертой ступени европейской ракеты-носителя «Вега».

В девяностых годах итальянская фирма «ФИАТ-Авио» (ныне фирма «Авио») получила от Европейского Космического Агентства заказ на создание четвертой ступени европейской ракеты-носителя (РН) «Вега» космического назначения. Составной частью жидкостной двигательной установки управляющего модуля четвертой ступени был выбран блок маршевого двигателя (БМД), работающий на компонентах топлива — несимметричный диметилгидразин (НДМГ) и азотный тетроксид (АТ), поступающих в двигатель с помощью вытеснительной системы подачи газообразным гелием.

По предложению «ФИАТ-Авио» в ГП «КБ «Южное» были проведены предварительные проектные проработки, в результате которых была определена конфигурация и получены характеристики БМД, существенно превосходящие по основным показателям характеристики лучших двигателей такого класса, разработанных ведущими зарубежными фирмами.

В мае 2003 года фирма «Авио» выдала ГП «КБ «Южное» Техническое задание на разработку блока маршевого двигателя, а в феврале 2004 года «Авио», ГП «КБ «Южное» и ГП «ПО ЮМЗ» подписали Контракт на разработку, изготовление, отработку, квалификацию и поставку в «Авио» летной модели БМД четвертой ступени РН «Вега» с высокими энергомассовыми характеристиками.

Эта цель была достигнута путем создания нового жидкостного ракетного двигателя, существенно отличающегося от предшественников.

Блок маршевого двигателя (БМД), входящий в состав управ-

ляющего модуля (УМ) четвертой ступени AVUM (Attitude & Vernier Upper Module), представляет собой однокамерный жидкостный ракетный двигатель тягой 250 кгс, многократного включения (до 5 включений в полете). БМД работает на самовоспламеняющихся компонентах топлива — азотном тетроксиде (АТ) и несимметричном диметилгидразине (НДМГ), которые поступают в двигатель с помощью вытеснительной системы подачи, использующей газообразный гелий.

В состав двигателя входит пружинный отсечной клапан, установленный в гидравлическом тракте окислителя перед смесительной головкой камеры двигателя для уменьшения импульса последствия при выключении; два электрогидравлических клапана, установленных в гидравлических трактах горючего и окислителя перед камерой двигателя для обеспечения подачи и отсечки компонентов топлива в камеру сгорания при многократных включениях двигателя; два фильтра, установленных во входных гидравлических магистралях; гибкие сильфоны и узел качания.

Разработанный жидкостный ракетный двигатель четвертой ступени РН «Вега» является выдающимся достижением в области проектирования и создания жидкостных ракетных двигателей и кардинально новым шагом, даже в сравнении с лучшими двигателями такого класса, разработанными зарубежными фирмами, в том числе российскими предприятиями «КБ ХИММАШ» и «КБ ХИМАВТОМАТИКИ» (двигатели КРД-79 и РД-0225).

Основные характеристики двигателей Блока Маршевого Двигателя «Вега», КРД-79, РД-0225 представлены в таблице.

Сравнение характеристик вышеприведенных двигателей показывает, что БМД РН «Вега» существенно превосходит двигатели такого класса по основным показателям (удельному импульсу тяги двигателя, соотношению компонентов топлива,

Характеристика	Величина		
	БМД «Вега»	КРД-79	РД-0225
Предприятие-разработчик, страна	ГП «КБ «Южное», Украина	«КБ ХИММАШ», Россия	«КБ ХИМАВТОМАТИКИ», Россия
Применение	Управляющий модуль IV ступени ЕРН «Вега»	Установлен на служебном модуле «Звезда» Международной космической станции	Установлен на космическом корабле «Алмаз» для разгона, маневра и коррекции орбиты
Тип двигателя	Однокамерный однопоршневый многократного включения с вытеснительной системой подачи компонентов топлива, с качанием в карданном подвесе	Однокамерный однопоршневый многократного включения с вытеснительной системой подачи компонентов топлива, с качанием в карданном подвесе	Однокамерный однопоршневый многократного включения с вытеснительной системой подачи компонентов топлива. Установлен неподвижно
Компоненты топлива	АТ + НДМГ	АТИН + НДМГ	АТИН + НДМГ
Соотношение компонентов топлива	2,0	1,85	1,85
Абсолютное давление в камере сгорания, кгс/см ²	20,4	17,85	9,0
Тяга двигателя в пустоте, кгс	250	315	400
Номинальный удельный импульс тяги в пустоте, с	315,5	293,7	291
Максимальный диаметр двигателя, мм	302	840	470
Высота двигателя, мм	775		985
Масса двигателя, кг: — с узлом качания и приводами; — с узлом качания без приводов; — без узла качания и приводов	16 14,2	38,5	23
Удельная масса двигателя без узла качания и приводов, кг/кгс	0,057		0,058

габаритам и массе). Это превосходство достигнуто за счет внедрения в конструкцию БМД РН «Вега» ряда новых оригинальных научно-технических решений.

Высокие энергомассовые характеристики двигателя достигнуты за счет новых научно-технических решений:

- Создания высокоэкономичной надежной камеры двигателя на базе лучших достижений отечественного и мирового двигателестроения и реализации в ней нового принципиально иного подхода в организации внутреннего охлаждения с помощью периферийных форсунок смесительной головки и двух, расположенных в определенной последовательности разнокомпонентных поясов завес (окислителя и горючего). Как правило, в камерах ЖРД, работающих на компонентах топлива АТ + НДМГ при впрыске топлива через форсунки в начале камеры создается низкотемпературный слой с избытком горючего, который размывается основным потоком продуктов сгорания по мере удаления от смесительной головки. Чтобы сохранить низкотемпературный пристеночный слой на самых теплонапряженных участках камеры, включая критическое сечение, во многих камерах осуществляют дополнительно подачу горючего через один или несколько последовательно расположенных поясов завес. При такой организации внутреннего охлаждения камеры двигателя ощутимо снижение экономичности рабочего процесса, особенно в камерах ЖРД небольших тяг. В камере БМД РН «Вега» на начальном участке камеры сгорания тоже создается периферийными форсунками низкотемпературный пристеночный слой с избытком горючего. Но в отличие от вышеописанных камер, в камере БМД на некотором расстоянии от смесительной головки расположен пояс

завесы окислителя. Через этот пояс завесы в пристеночный слой с избытком горючего вводится окислитель в количестве, необходимом для дожигания избытка горючего и создания низкотемпературного слоя с избытком окислителя. При этом окислитель через пояс завесы вводится непосредственно на огневую стенку, так что дожигание избыточного горючего в пристеночном слое происходит по поверхностям контакта пелены завесы и пристеночного слоя, а огневая стенка камеры надежно защищена.

По мере удаления от первого пояса завесы происходит размыв пристеночного слоя с избытком окислителя, защитные свойства его снижаются. Поэтому в начале дозвукового сопла расположен второй пояс, через который в пристеночный слой вводится горючее в количестве, необходимом для дожигания избытка окислителя и создания низкотемпературного слоя с избытком горючего на наиболее теплонапряженном участке камеры, включая критическое сечение сопла. Организация внутреннего охлаждения огневых стенок камеры двигателя с помощью двух разнокомпонентных поясов завес, реализованная в камере БМД РН «Вега», защищена патентом Украины.

- Обеспечения равномерности выхода компонентов топлива из поясов завес на огневые стенки камеры двигателя путем подачи компонентов топлива в выходные щели поясов завес через тангенциальные отверстия, а из щелей поясов завес — по наклонным каналам специального профиля на одной из поверхностей выходных щелей поясов завес. Кроме того, выходная щель пояса завесы окислителя защищена кольцом-козырьком. Конструктивные решения по завесе окислителя защищены патентом Украины.



Европейская ракета-носитель «Вега» перед стартом с космодрома Куру

- Дозирования расходов компонентов топлива через пояса завес с помощью жиклеров, обеспечивающих высокую точность расходов. С этой целью разработаны оригинальные конструктивные элементы на поясах завес для установки в них дозирующих жиклеров.
- Создания электрогидроклапана (ЭГК) и отсечного клапана с использованием новых высокоэффективных научно-технических решений, которые защищены патентом Украины.
- Разработки математических моделей, проведения расчетов, разработки и внедрения методик, проведения экспериментальных исследований отдельных процессов и систем двигателя.
- Проведения динамических и статических испытаний двигателя на ужесточенных режимах, динамических испытаний в составе ступени и принятие корректирующих действий по результатам испытаний.

Реализация вышеуказанных новых научно-технических решений потребовала от изготовителя двигателей — ГП «ПО «ЮМЗ» — разработки дополнительных технологических процессов изготовления двигателя и технологического оснащения производства.

При создании двигателя, проведении отработки и квалификации был реализован комплекс мероприятий по снижению продолжительности и стоимости работ, заключающийся в минимизации материальной части и количества огневых испытаний путем повышения их информативности за счет проведения многорежимных испытаний с большим количеством включений. Так, доводочные огневые испытания двигателя были проведены на двух экземплярах двигателя, квалификационные и дополнительные специальные огневые испытания тоже проведены на двух двигателях — квалификационных моделях КМ-1 и

КМ-2 БМД. БМД КМ-1 прошел 13 испытаний при 35 включениях (7 ресурсов) суммарной продолжительностью 3928 секунд (5,66 ресурса). БМД КМ-2 прошел 30 испытаний при 74 включениях (14,8 ресурса) суммарной продолжительностью 3054 секунд (4,4 ресурса).

Таким образом, впервые в Украине разработан, отработан, квалифицирован и внедрен в серийное производство жидкостный ракетный двигатель с вытеснительной системой подачи компонентов топлива в камеру сгорания. Реализованные в этом двигателе оригинальные научно-технические и конструкторские решения могут стать основой для создания широкого ряда двигателей.

Европейское космическое агентство в ближайшее время запланировало еще три запуска ракеты-носителя. После принятия ЕКА ракеты-носителя «Вега» в эксплуатацию старты ракеты-носителя будут производиться 2-3 раза в год.

Востребованность двигателей ГП «КБ «Южное» на мировом рынке и высокий авторитет их разработчиков в полной мере содействует повышению престижа Украины как высокоразвитой индустриальной державы.



Двигатель к РН Вега