

75 ЛЕТ НПО ЭНЕРГОМАШ им. АКАДЕМИКА В.П. ГЛУШКО - ЛИДЕРУ РАКЕТНОГО ДВИГАТЕЛЕСТРОЕНИЯ

Вячеслав Рахманин

Юбилей - это всегда повод оглянуться на пройденный путь и прожитые годы, подвести итоги проделанной работы, вспомнить о достижениях и неудачах, с позиции накопленного опыта дать оценку ранее принятым решениям. И чем солиднее возраст юбиляра, тем шире охват рецензируемых событий и достижений.

В мае 2004 г. НПО Энергомаш отметило свое 75-летие. За годы существования предприятие имело различные наименования, подчинялось разным государственным структурам, меняло места расположения, но всегда и везде сохранялась тематика работы - создание жидкостных ракетных двигателей. За три четверти века на предприятии сменилось несколько поколений работников, и каждое из них вложило свой труд в технические достижения, сделавшие НПО Энергомаш всемирно известным разработчиком высоконадежных ЖРД.

75 лет НПО Энергомаш идет в авангарде работ по ракетному двигателестроению. В 1930-1940 гг. это были первые шаги в освоении новой техники, а начиная с 1947 г. в НПО Энергомаш было разработано 54 типа двигателей, переданных в эксплуатацию. На 21 ракете военного назначения и на 20 космических ракетах они устанавливались на первые ступени, а на некоторых ракетах и на вторые ступени. Всего в составе только космических ракет, запущенных с октября 1957 г., успешно отработало более 13000 экземпляров двигателей, изготовленных по конструкторской документации НПО Энергомаш. К этому можно добавить еще успешные запуски ракет военного назначения в процессе их летно-конструкторских испытаний.

Исходной датой организации нашего предприятия, носящего сегодня название "НПО Энергомаш имени академика В.П. Глушко", принято считать 15 мая 1929 г., когда в ленинградской газодинамической лаборатории (ГДЛ) была организована его первичная ячейка - подразделение по разработке электротермического реактивного двигателя (ЭРД) для полетов в космическом пространстве. Сектор ЭРД возглавил выпускник Ленинградского университета В.П. Глушко, со школьных лет мечтавший заниматься созданием космической техники для межпланетных сообщений.

Группа инженеров во главе с Глушко в течение года разрабатывала основные элементы принципиально нового двигателя. Затем началась разработка первого

жидкостного реактивного двигателя. Начинаящие двигателестроители под руководством Глушко при поддержке Н.И. Тихомирова, Б.С. Петропавловского, И.Т. Клейменова и Г.Э. Лангемака приступили к изучению особенностей конструирования, организации процессов горения и обеспечения работоспособности камер сгорания ЖРД. Свои исследования они проводили на серии разработанных для этой цели опытных ракетных моторов (ОРМ). В этот начальный период работ на каждом варианте ОРМ, имевшем свой порядковый номер - ОРМ-1, ОРМ-2, ОРМ-3 и т. д., изучался один или несколько научно-технических аспектов общей проблемы.

В начале 30-х годов был обоснован оптимальный экспоненциальный профиль сопла и максимальный угол его раскрытия для безотрывного истечения газа, впервые в ЖРД применены центробежные форсунки.

В 1932-1933 гг. были разработаны чертежи турбонасосного агрегата (ТНА), состоявшего из газовой турбины мощностью до 35 л.с. и насосов центробежного типа, которые на рабочем режиме при частоте вращения вала 25000 об/мин создавали напор 75 кгс/см².

При решении проблемы обеспечения надежного охлаждения камеры был выбран материал внутренней стенки - хромоникелевая нержавеющая сталь.

При выборе топливной пары экспериментально проверялась эффективность ряда химических веществ. Исходя из требований обеспечения работоспособности камеры и условий эксплуатации конструкторы ГДЛ остановились на компонентах топлива: азотная кислота и тракторный керосин. В этот же период было рекомендовано использование азотного тетроксиды, получившего в наши дни широкое распространение в качестве компонента штатного топлива. Правильность выбора высококипящего окислителя вместо жидкого кислорода получила подтверждение на научно-технической конференции.

Полученные опытным путем данные использовались при разработке двигателей ОРМ-50, ОРМ-52, ОРМ-65, прошедших полномасштабную стендовую отработку с проведением официальных сдаточных испытаний. Эти двигатели предназначались для установки в летательные аппараты ГИРД-05, РЛА-01 и РП-318. Полученные в 30-х годах теоретические знания и проектно-экспериментальные наработки были успешно использованы в годы Великой Отечественной войны при разработке ЖРД РД-1 и РД-1Х3, предназначенных для установки на боевые истребители Ла-7, Як-3, Су-7 в качестве дополнительных ускорителей к основному мотору самолета. По итогам государственных стендовых испытаний Государственный Комитет Обороны в конце 1943 г. принял решение о запуске двигателя РД-1 в серийное производство. Это был первый отечественный ЖРД, изготавливавшийся серийно.

В эти же годы велась разработка первого в мире трехкамерного авиационного двигателя РД-3 с диапазоном регулирования тяги от 100 до 900 кгс.

В 1947-1948 гг. коллектив НПО Энергомаш освоил на заводе в Химках изготовление из отечественных материалов двигателя трофейной ракеты А-4 (Фау-2). Эту работу также можно считать достижением, так как изготовленные двигатели по надежности были значительно лучше выпускавшихся немцами в годы войны. Кроме того, ракета Р-1 (советский аналог А-4) с двигателем РД-100 стала единственным изделием, успешно сданным в эксплуатацию, в то время как ни один из других объектов немецкой ракетной техники, воспроизводство которых было поручено нескольким подразделениям НИИ-88, так и не был доведен до эксплуатации.

При дальнейшей модернизации немецкого прототипа двигателя для ракет Р-2 и Р-5 в его конструкцию было внесено немало усовершенствований, позволивших увеличить тягу двигателя в 1,7 раза.

Для дальнейшего прогресса в ракетостроении требовалось применение более эффективного топлива и существенного увеличения внутрикамерного давления. Была разработана принципиально новая конструкция и оригинальная технология изготовления паяно-сварной камеры.

Новая конструкция камеры произвела подлинную техническую революцию в области создания ЖРД.

В середине 50-х годов НПО Энергомаш приступило к созданию двигателей нового поколения. Первые такие двигатели, получившие обозначения 8Д74 и 8Д75, были установлены на обеих ступенях первой в мире межконтинентальной баллистической ракеты Р-7, использовавшейся одновременно и в качестве первой космической ракеты.

Заметный вклад в разработку новых ЖРД внесли разработчики ТНА. Впервые в нашей стране был создан турбонасосный агрегат оригинальной конструкции.

Нельзя обойти вниманием и конструкторов-компоновщиков общего вида двигателя. В компоновке двигателей 8Д74 и 8Д75 нашла дальнейшее развитие идея многокамерного двигателя РД-3. Применение четырехкамерной схемы с одним ТНА позволило существенно сократить продольные габариты двигателей, а также размеры камер. Четырехкамерная компоновка двигателя была успешно использована при создании в НПО Энергомаш других двигателей, таких как 8Д59, 8Д716, 8Д520, 8Д521.

Простота конструкции двигателей 8Д74 и 8Д75 обеспечила им высокую надежность. Вот уже около 47 лет они выводят космические аппараты и пилотируемые корабли. За эти годы двигатели подверглись ряду модернизаций, ими комплектовались несколько вариантов космических ракет: "Спутник", "Восток", "Восход", "Молния", "Союз", "Союз-ФГ"; они отработали при 1690 пусках ракет... Эксплуатация модернизированных двигателей 8Д74 и 8Д75 продолжается, имеются перспективы их использования в международных космических программах.

В начале 60-х годов на базе двигателя 8Д74 был разработан ЖРД 8Д716 для первой ступени ракеты Р-9А. В свое время это был самый мощный и самый экономичный ЖРД в мире.

Для реализации заданных характеристик двигателя в его схеме и конструкции были использованы новые технические решения. Впервые в практике НПО Энергомаш был разработан однозонный восстановительный газогенератор с астехиометрическим соотношением основных компонентов топлива, позволявший подавать продукты сгорания на лопатки турбины без дополнительной балластировки. Также впервые управление вектором тяги осуществлялось качанием основных камер (вместо рулевых агрегатов), а для наддува баков использовались продукты сгорания основных компонентов топлива. Ракета Р-9А - единственная в мире кислородная ракета, которую можно было запускать из шахтного сооружения. Аналогичная американская кислородная ракета "Титан-1" перед пуском поднималась из шахты на лифте, и запуск двигателя происходил на поверхности земли.

В эти же годы был разработан двигатель 8Д710, по особенностям своей конструкции выходящий из общего ряда разработок отечественных ЖРД. Он оказался единственным в мире двигателем, у которого в качестве компонентов топлива использовались жидкий кислород и несимметричный диметилгидразин (НДМГ).

К особенностям конструкции двигателя 8Д710 следует отнести широкое использование титановых сплавов. Двигатель 8Д710 безотказно работал в составе второй ступени ракет-носителей 11К63 ("Космос-2"), запускавшихся в рамках отечественной космической программы, а также программы "Интеркосмос" в течение около 30 лет.

Одной из характерных особенностей ЖРД, разрабатывавшихся в шестидесятых годах прошлого века, являлось использование модульного принципа построения двигателей для первых и вторых ступеней баллистических ракет 8К64, 8К65, 8К67, 8К68 и 8К69. Все эти ракеты, за исключением 8К65, выполнялись двухступенчатыми, и обе ступени комплектовались унифицированными модульными двигателями. Первые ступени ракет комплектовались тремя модульными двигателями (ракета 8К65 - двумя), а вторые ступени - одним модульным двигателем, отличающимся только высотным соплом камеры. ЖРД всех ракет работали на высококипящем долгохранимом топливе, в качестве окислителя у ракет 8К64 и 8К65 использовалась азотная кислота, а у остальных ракет - азотный тетроксид.

В процессе доводки двигателей первых и вторых ступеней ракет 8К67, 8К68 и 8К69 была исследована неизвестная ранее природа возникновения высокочастотных колебаний давления газов в камере. Конструкторы Энергомаша сумели найти эффективные способы борьбы с указанными явлениями.

Высокие энергетические характеристики, сохраняемость и надежность двигателей ракеты 8К69 позволили в 1970-е годы модернизировать их для использования в космических ракетах-носителях (РН) "Циклон-2" и "Циклон-3". Около 250 пусков этих ракет, проведенных в последующий период, подтвердили высокую репутацию двигателей.

С середины шестидесятых годов начался новый этап в разработке двигателей в НПО Энергомаш. С этого времени двигатели разрабатывались только по высокоэффективной замкнутой схеме (с дожиганием в камере окислительного генераторного газа). И первым таким ЖРД стал двигатель 11Д43, предназначенный для первой ступени космической ракеты тяжелого класса "Протон".

На двигателе были реализованы технические новинки. Высокое давление газов в камере (150 кгс/см²) в сочетании с замкнутой схемой потребовали создания насосами высоких напоров, что привело к существенному увеличению осевых сил на подшипники ТНА.

В двигателе тягой 150 тс существенно возросли расходы компонентов топлива, что привело к необходимости разработки новых подходов к проектированию агрегатов автоматики. Вообще следует отметить, что такие агрегаты, как камера, газогенератор, ТНА создавались на основе базовой конструкции, а агрегаты автоматики при сохранении основного требования к их функционированию - в нужный момент открываться или закрываться - практически для каждого разрабатывавшегося двигателя проектировались заново, поскольку они должны были учитывать особенности работы конкретного двигателя.

Следует упомянуть несколько новинок, имевших принципиальное значение. Ряд агрегатов автоматики стал оснащаться пирочеккой - устройством, позволяющим объединить достоинства пироклапана (практически мгновенное срабатывание) с возможностью многократного использования пневмоуправляемого клапана. В этот же период была разработана конструкция "гидравлического тормоза", который существенно повысил работоспособность клапанов. Еще одной новинкой стала конструкция пиромембранных клапанов, устанавливаемых в магистралях компонентов топлива. При срабатывании пиропатрона специальный "нож" срезал разделительную мембрану и топливо поступало в насосы двигателя. Все эти нововведения получили дальнейшее развитие в последующих разработках.

Внедрение новых конструкторских решений обеспечило запас работоспособности агрегатов двигателя, что позволило без изменения основной конструкции форсировать двигатель по тяге на 8 % путем увеличения давления в камере сгорания и продолжить работу в этом направлении для увеличения тяги еще на 5 %. К октябрю 2004 г. состоялись 308 пусков ракет "Протон" различных модификаций, в составе которых успешно отработали 1848 экземпляров двигателя 11Д43 и его модернизированного варианта 14Д14.

Тогда же, в шестидесятые годы прошлого века, в НПО Энергомаш велась разработка двух двигателей: фторно-аммиачного 11Д14 тягой 10 тс и двигателя 8Д420 тягой 640 тс, работающего по схеме "газ-газ". Оба двигателя не поступили в эксплуатацию в связи с закрытием тем. Но при их проектировании были найдены оригинальные конструкторские решения, часть из них была использована при создании других ЖРД. Кратко ознакомим читателя с наиболее интересными особенностями этих двигателей.

ЖРД 11Д14 имел самый высокий из достигнутых в НПО Энергомаш удельный импульс тяги - 400 кгс·с/кг. В закритической части сопла камеры этого двигателя для уменьшения массы конструкции разработчики отказались от применения наружной стенки. Ее роль выполняла гофрированная проставка, припаянная к внутренней стенке. Была разработана конструкция, обеспечивающая охлаждение днища всем расходом горючего, которое после этого поступало в газогенератор.

Новым для НПО Энергомаш стало требование об обеспечении многократного запуска и отключения ЖРД в процессе полета в космическом пространстве. Выполнение этого требования стало возможным благодаря разработке новых конструкторских решений при проектировании агрегатов автоматики. Внедрялись новинки и в конструкцию ТНА. Многократность запуска обеспечивалась применением специально разработанных стояночных уплотнений. Для снижения массы и уменьшения габаритов ТНА была разработана конструкция бустерных насосов с рабочим венцом лопаток турбины, расположенным на насосном рабочем колесе-шнеке. Обе конструкторские идеи были успешно использованы в ТНА двигателей 11Д520 (11Д521).

Разработка двигателей 8Д420 не была завершена, но полученный опыт проектирования и экспериментальных испытаний крупномасштабных двигателей и агрегатов, работающих при давлениях до 600 кгс/см², а также освоение технологии изготовления таких агрегатов создали неоценимый задел, использованный при создании последующих двигателей того же класса 11Д520 и 11Д521. Все более высокие требования к характеристикам двигателей находили воплощение не только в новых конструкциях, но и при разработке новых методик расчетов параметров и математическом моделировании внутридвигательных процессов. Благодаря этим исследованиям сегодня НПО Энергомаш и другие ОКБ располагают достаточно совершенными математическими моделями.

В истории отечественной ракетной техники семидесятые годы XX века прошли под знаком перевооружения РСЧН. На смену морально устаревшим ракетам типа 8К67 и УР-100 создавались более совершенные ракеты тяжелого (15А14 и 15А18) и легкого (15А15 и 15А16) классов. Эти ракеты разрабатывались в КБ "Южное" (Днепропетровск) и имели много общих особенностей, оказавших влияние на конструкцию двигателей: "минометный" старт из шахты, зажигание топлива в двигателях в состоянии невесомости, требования к обеспечению стойкости при воздействии поражающих факторов ядерного взрыва и др.

Для этих ракет в НПО Энергомаш разрабатывались двигатели 15Д119 и 15Д168. В их конструкции нашло применение большинство прежних удачных технических решений, но внедрялись и новые, связанные с обеспечением запуска двигателя при "минометном" старте ракеты. Кроме этого для повышения удельного импульса тяги внутридвигательное давление в двигателе 15Д119 довели до 210 кгс/см², а в двигателе 15Д168 - до 230 кгс/см². Это вызвало необходимость увеличения прочности всех силовых деталей двигательных агрегатов, в том числе корпусов насосов и агрегатов автоматики, которые впервые стали изготавливаться из стального литья, что потребовало существенного усовершенствования литейной технологии. Применение новых технологических решений позволило разработать последующие двигатели 11Д520, 11Д521 на более высокие параметры. Для двигателей 15Д119 и 15Д168 впервые сконструировали однозонный окислительный газогенератор. Принимались меры и для исключения отдельных случаев возникновения неустойчивости горения в камере ЖРД на режиме запуска. В частности, на смесительную головку устанавливались пластмассовые антипульсационные перегородки, способствовавшие затуханию пульсаций давления при возникновении неустойчивости. Достоинством конструкции перегородок является возможность их установки в камеру на любом этапе изготовления двигателя.



Во второй половине семидесятых годов в НПО Энергомаш была начата (и велась в течение почти 10 лет) разработка двигателей 11Д520 и 11Д123 для ракеты-носителя "Зенит" и ЖРД 11Д521 для РН "Энергия". Двигатели первой ступени по тяге не имели равных в мире. При их разработке был использован опыт проектирования всех предыдущих двигателей, в первую очередь 15Д119 и 8Д420. В то же время для реализации выбранных величин параметров двигателей (тяга в пустоте - более 800 тс, удельный импульс тяги - 337 кгс·с/кг, давление в камере - 250 кгс/см²) потребовалась разработка новых оригинальных конструкторских решений. Схема двигателя включает четыре качающихся камеры, два газогенератора и один ТНА. Управление режимом работы двигателя осуществляется по внутренним гидравлическим связям регулятором командного давления. С целью обеспечения ремонтпригодности двигателя основные узлы и агрегаты имеют фланцевые соединения. Это, в свою очередь, вызвало необходимость разработки уплотнений нового вида - металлических самоуплотняющихся манжет.

В конструкции камеры применили оптимальную схему подвода горючего в тракт охлаждения, смесительную головку оснастили охлаждаемыми антипульсационными перегородками, которые формируются выступающими форсунками. Генераторный газ поступает в камеру через охлаждаемый газопровод и сифонный узел, обеспечивающий качение камеры на $\pm 8^\circ$.

Смесительная головка однозонного газогенератора оснащена

двухкомпонентными форсунками, конструкция которых выполнена с зоной горения и зоной балластировки газа внутри форсунок. Теплообменные агрегаты нагрева гелия выполнены в виде трехслойных оребренных пакетов с вихревым газовым трактом.

Чтобы исключить возгорание и разрушение деталей газового тракта турбины была разработана охлаждаемая конструкция статора турбины и найдено теплозащитное покрытие для деталей, непосредственно контактирующих с генераторным газом.



Оригинальностью отличалась схема бустерного агрегата "О", в котором привод осуществлялся окислительным газом после основной турбины с последующим перепуском его на вход в основной насос. На этой магистрали установлен впервые разработанный клапан "горячего газа", работающий в условиях кислородного генераторного газа с высокой температурой и при высоком давлении.

Двигатели прошли трудную, но тщательную стендовую отработку, и в апреле 1985 г. состоялся первый пуск РН "Зенит", а в мае 1987 г. - "Энергии".

Последней отечественной стратегической ракетой с ЖРД стала разработанная в восьмидесятых годах ракета 15А18М ("Воевода"). На первой ступени этой ракеты установлен двигатель 15Д285 - форсированный на 10 % по тяге двигатель 15Д119. Помимо форсирования двигателя в НПО Энергомаш были проведены расчетно-экспериментальные работы, а затем на их базе предложены оригинальные конструкторские мероприятия, обеспечившие стойкость двигателя 15Д285 при воздействии на него поражающих факторов наземного, воздушного или высотного ядерного взрыва. Двигатель 15Д285 является единственным в нашей стране ЖРД, удовлетворяющим требованиям стойкости при повышенном уровне "спецвоздействий".

В девяностых годах прошлого века произошло изменение социально-политического положения в стране. В связи с отсутствием госзаказа на разработку ракетной техники НПО Энергомаш получило разрешение выйти со своим товаром - ЖРД для космических ракет - на международный рынок космической техники. Проявленный интерес к российским ЖРД со стороны аэрокосмических фирм США завершился заключением контракта на разработку и поставку двигателей для первой ступени модернизируемой космической ракеты "Атлас" (фирмы "Локхид Мартин"). НПО Энергомаш вступило в новую, ранее неизведанную область отношений с зарубежным заказчиком.



При создании двигателя РД180 для РН "Атлас" в связи с уменьшением вдвое расхода компонентов топлива по сравнению с прототипом (РД170) необходимо было перепроектировать ТНА и ряд агрегатов автоматики. По первоначальной оценке унификация двигателей РД180 и РД170 составляла 70...75 %. Однако в процессе отработки двигателя РД180 по техническому заданию "Локхид Мартин" были найдены более совершенные, нежели примененные в двигателе РД170, конструкторские решения по ряду агрегатов, в том числе изменена конструкция направляющего аппарата насосов, улучшены условия работы подшипников ТНА, увеличен к.п.д. агрегатов подачи, разработан новый подбаковый разделительный клапан. Кроме того, фланцевая конструкция газогенератора заменена сварной, а схема двигателя упрощена. В связи с этими работами степень унификации двигателей РД180 и РД170 существенно снизилась. По существу, двигатель РД180 является новой разработкой с использованием в качестве базового варианта двигателя РД170.

После весьма непродолжительной стендовой отработки двигатель РД180 прошел сертификационные испытания - вначале для использования в составе ракеты "Атлас-3", а затем и в составе "Атлас-5". По состоянию на октябрь 2004 г. успешно проведено пять пусков "Атлас-3" и три пуска "Атлас-5".

Двигатель РД180 - последний из ряда двигателей НПО Энергомаш, сданных в эксплуатацию. Но его созданием не исчерпываются работы, выполненные энергомашевцами в новом тысячелетии. Ведется разработка двигателя РД191 для семейства отечественных космических ракет "Ангара", есть планы дальнейшей модернизации двигателей для варианта космической ракеты "Циклон-4", создается конструкторский задел для разработки двигателей по новым схемам, которые открывают новые возможности в ракетостроении. В качестве примера можно назвать двигатель на трехкомпонентном топливе, а также двигатель с замкнутым контуром привода турбины ТНА. Но поскольку раскрывать технические находки на стадии разработки новых наукоемких изделий не принято, ограничимся только приведенными выше упоминаниями.

В жестких условиях социально-экономической перестройки страны НПО Энергомаш сумело сохранить свой научно-технический и производственный потенциал и продолжает вести работы по тематике, являющейся для него главной на протяжении всех предыдущих семидесяти пяти лет.