

# ДВИГАТЕЛЬ РД180 - НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ДОСТОЯНИЕ СТРАНЫ - ДОЛЖЕН БЫТЬ ИСПОЛЬЗОВАН В НОВЕЙШИХ РАЗРАБОТКАХ КОСМИЧЕСКИХ РАКЕТ

АО "НПО Энергомаш":

Владимир Константинович Чванов, докт. техн. наук

Дмитрий Сергеевич Пушкарёв, канд. техн. наук

Вячеслав Фёдорович Рахманин, канд. техн. наук, ветеран АО "НПО Энергомаш"

**В данной статье на историко-документальной основе излагаются фрагменты развития отечественного ракетостроения. Наибольшее внимание уделено разработке самого совершенного в своем классе двигателя РД180. Этот двигатель на нынешнем этапе смены поколений конструкторов и совершенствования методов создания научно-техники по праву является эталоном жидкостного ракетного двигателя (ЖРД), вобравшим в свою конструкцию более чем шестидесятилетний опыт конструирования ракетных двигателей.**  
**По уровню основных технических характеристик и надежности этот двигатель может быть отнесен к национальному достоянию нашей страны. Продолжить трудовую биографию двигателя РД180 в составе современных ракет-носителей (РН) - достойная задача и благородное дело для нынешних разработчиков космических ракет.**

## Введение

Отечественное промышленное ракетостроение началось с выпуска правительенного Постановления от 13 мая 1946 г. "Вопросы реактивного вооружения". Этим Постановлением был заложен фундамент отечественной ракетостроительной отрасли и сделан государственный заказ на изготовление первой отечественной ракеты дальнего действия Р-1, которая являлась копией немецкой ракеты A-4 (Фау-2), изготовленной на советских заводах из отечественных материалов по адаптированной к отечественному производственному оборудованию технологии.

Все последующие ракетные комплексы дальнего действия как боевые, так и космические, начиная с Р-2, разрабатывались по техническим предложениям, внесенным в Правительство главными конструкторами С.П. Королевым, М.К. Янгелем, В.Н. Челомеем, В.П. Глушко, стоящими во главе кооперации промышленных предприятий и научных организаций. Единого долговременного перспективного плана разработки ракетной техники в стране не существовало. Каждое правительенное Постановление о начале разработки очередного ракетного комплекса начиналось так: "Принять предложения...", и далее перечислялись участники разработки: промышленные министерства и ведомства, Министерство обороны, опытные конструкторские бюро (ОКБ), научно-исследовательские институты (НИИ), заводы (с указанием в скобках руководителей), обязательно Академия наук СССР и т.д.

Предлагаемые главными конструкторами ОКБ очередные проекты ракетных комплексов основывались на применении новейших для того времени научно-технических и технологических достижениях и отличались от предыдущих комплексов, находящихся или готовящихся к сдаче в эксплуатацию, более совершенными тактико-техническими и эксплуатационными характеристиками с расширенными возможностями боевого применения.

На первом этапе отечественного ракетостроения главной и основной задачей было обеспечение обороноспособности страны. Вопросы создания космической техники ограничивались выполнением научно-технических расчетов и докладами на научных конференциях с их обсуждениями представителями ракетных ОКБ и некоторых членов Академии наук СССР.

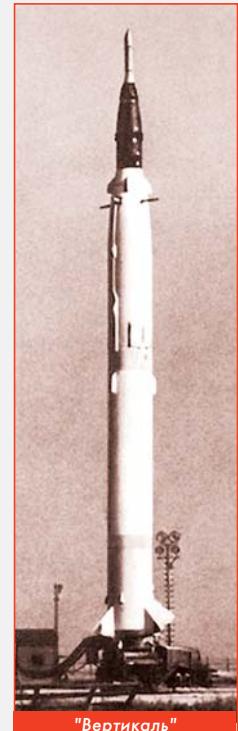
Однако поскольку ракеты дальнего действия являются изделиями "двойного назначения" - в зависимости от снаряжения их головной части боевым зарядом или космическим объектом, - эта их особенность получила свое техническое воплощение. В процессе создания первой боевой межконтинентальной ракеты Р-7 она же была использована для запуска первого в мире искусственного спутника

Земли, а после установки третьей ступени - для выведения на околоземную космическую орбиту первого космонавта Ю.А. Гагарина. Но даже восторженные оценки мировой общественности этих эпохальных достижений СССР не изменили государственного отношения к развитию космического ракетостроения. Хотя руководство страны высоко оценило первые космические успехи и даже пропагандировало их как преимущества социалистического строя, развитие космической техники не пошло "вширь", а ограничилось получением последующих успехов от запусков периодически модернизируемой базовой модели ракеты Р-7. Регулярно проводимые запуски искусственных спутников Земли и космических кораблей, не имеющих принципиально отличающихся научно-технических программ полетов, создавали общественное мнение успешного развития космической техники. Однако основное внимание по прежнему уделялось созданию боевых ракет.

Их арсенал не мог увеличиваться безгранично, при достижении избыточного количества морально устаревших ракет возник вопрос о разумном их дальнейшем использовании. Решение лежало на поверхности - использовать свойство "двойного назначения" ракет. Так замена ядерной боеголовки на первой стратегической ракете Р-5М превратила ее в "мирную" ракету "Вертикаль" для запуска высотных зондов.

Следующим шагом в создании новых космических ракет стало родившееся в ОКБ "Южное" М.К. Янгеля предложение установить на боевые одноступенчатые ракеты 8К63 (Р-12) и 8К65 (Р-14) вновь разработанные двигатели вторых ступеней и, соответственно, космические объекты. Так в СССР появились космические ракеты 11К63 ("Космос-2") и 11К65M ("Космос-3M"). позднее, в развитие этого предложения, боевые двухступенчатые ракеты 8К68 (Р-36) были переоборудованы в ракеты космического назначения "Циклон-2" и "Циклон-3".

Разработанная в середине 60-х годов в ОКБ В.Н. Челомея боевая ракета тяжелого класса УР-500 с первого же летного испытания использовалась для запуска космических объектов, в историю отечественного ракетостроения она вошла под наименованием "Протон". Как показали последующие события, наличие такого носителя дало возможность не только расширить



"Вертикаль"



"Космос"

"Циклон"

"Протон"

решаемые нашей страной космические задачи, но и сохранить авторитет СССР как великой космической державы.

Наличие в начале 60-х годов в СССР межконтинентального ракетно-ядерного вооружения и, особенно, успехи в космической области, опережающие достижения США, позволяли руководству СССР чувствовать себя уверенно в военно-политическом противостоянии. Это дало возможность Королеву в кооперации с другими главными конструкторами ракетной техники при поддержке Президента Академии наук СССР М.В. Келдыша добиться выпуска правительенного Постановления: "О создании мощных ракет-носителей, спутников, космических кораблей и освоения космического пространства в 1960-1967 годах". Так появилось самостоятельное космическое направление в ракетостроительной отрасли промышленности СССР.

#### Провал проекта ракеты Н1 и рождение новой космической программы

Во исполнение указанного выше Постановления в 1962 г. был выпущен и принят межведомственной комиссией под председательством М.В. Келдыша эскизный проект сверхмощной космической ракеты, известной в истории ракетной техники под наименованием Н1.

При выборе ракетного топлива возникли разногласия между ракетчиком Королевым и двигателестом Глушко. В противовес предложению Глушко использовать высококипящее топливо "азотный тетраоксид + несимметричный диметилгидразин", применение которого, по опыту Глушко, должно было обеспечить создание двигателей в намеченные предельно сжатые сроки, Королев выбрал постоянно применяемое в разработках ОКБ-1 кислородно-керосиновое топливо. В этой связи разработка двигателей для первых ступеней РН Н1 была поручена ОКБ Н.Д. Кузнецова - конструктора авиационных двигателей.

Начав разработку РН Н1, СССР негласно вступил в "Лунную гонку" с США, президент которых Д. Кеннеди 25 мая 1961 г. объявил американскому народу, что экспедиция астронавтов США на Луну состоится не позднее конца 60-х годов. Это обещание было выполнено, с июля 1969 г. по декабрь 1972 г. 12 американских астронавтов посетили Луну и благополучно возвратились на Землю.

"Лунную гонку" СССР проиграл, 4 попытки (с февраля 1969 г. по ноябрь 1972 г.) осуществить летное испытание 3-х ступенчатого комплекса Н1-Л3 завершились авариями. И во всех случаях в качестве прямой или косвенной причины аварии оказались причастными двигатели первой ступени.

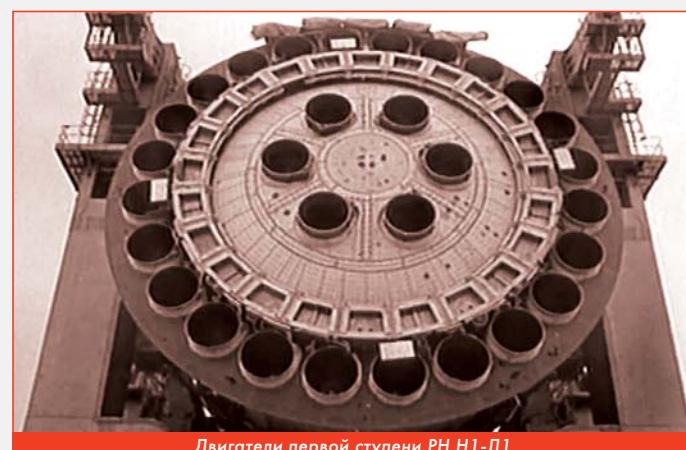
Практическое отстранение от участия в самой престижной отечественной космической программе того времени не лишило Глушко чувства ответственности за приоритет отечественной науки и ракетно-космической техники. Он не потерял интереса к созданию сверхмощного космического носителя. Глушко понимал, что для продолжения работ в области изучения и эксплуатации космического пространства ракета класса Н1 необходима. Но для ее создания нужны иные проектные и конструкторские решения.

Богатый опыт работы в ракетостроении, хорошо развитая техническая интуиция подсказывали ему, что крах проекта Н1 привели не только технические и методические ошибки, допущенные техническими идеологами этого проекта, а принятая ими для его реализации устаревшая концепция разработки крупных ракетных комплексов космического назначения. Пришла пора критически переосмыслить существующие методы разработки жидкостных ракет и внести корректизы в техническую идеологию перспектив развития космической техники. Определиться с направлением будущего ракетного двигателестроения помогло сравнение опыта создания американской РН "Saturn V" и отечественной Н1, которое наглядно показало, что величина тяги единичного двигателя и, соответственно, их количество во многом определяют компоновочную схему ракеты, а тщательность наземной предварительной отработки двигателей - их надежность.

Разработку новой технической идеологии создания мощных космических ракет Глушко начал с анализа сложившейся в СССР практики разработки ЖРД в течение 20-ти лет с конца 40-х годов до окончания 1969 г. В результате выяснилось, что на каждой из около двух десятков наименований, в основном, боевых ракет, сданных заказчику, установлен специально разработанный для нее двигатель.

Это являлось следствием ряда обстоятельств: особенностями тактико-технических требований заказчика боевых ракет, применением различных компонентов ракетного топлива, величиной тяги, внешними условиями эксплуатации, новыми научно-техническими и технологическими достижениями к началу разработки очередной ракеты и т.д. Нельзя не учитывать и того, что в рассматриваемый период разработка маршевых, рулевых и разгонных ЖРД велась в нескольких ОКБ под руководством В.П. Глушко, А.М. Исаева, М.В. Мельникова, И.И. Иванова, С.А. Косберга, С.П. Изотова, Н.Д. Кузнецова, причем в трех последних из названных ОКБ конструкторы не имели опыта разработки ЖРД, т.к. до этого специализировались в создании авиационной техники. Каждое ОКБ создавало ЖРД в соответствии со сложившимся в коллективе конструкторов собственным инженерным опытом и производственно-техническими возможностями завода-изготовителя. Такой метод разработки новых ракет имел низкую эффективность, т.к. из всех ракетных систем ЖРД был наиболее трудоемкой: заново проводимая подготовка производства, наземная, а затем летная отработка двигателей составляли наибольшие затраты времени и финансовых средств.

Переосмыслив сложившуюся в отечественном ракетостроении порочную практику ведения работ, Глушко в конце 60-х годов разработал новую системы создания космических ракет. Ее техническая идеология основана на принципе: "От двигателя к ракете". Такой



Двигатели первой ступени РН Н1-Л1

подход к созданию ракетной техники вообще соответствовал творческому почерку Глушко. Он на протяжении всех лет разработки реальных двигателей держал в поле зрения конечный продукт - ракету, ее энергетические, эксплуатационные и другие характеристики. Глушко постоянно стремился работать с опережением, разрабатывал проекты новых двигателей, позволяющих создавать ракеты с качественно новыми характеристиками. Часто такая инициатива не находила понимания у его коллег, вызывала даже раздражение, некоторые из них обвиняли его во вмешательстве в зону ответственности ракетных ОКБ.

На этот раз предложение Глушко имело фундаментальный, революционный характер. Он предложил создание новых космических ракет вести на основе применения унифицированного блочно-модульного двигателя. Модульный двигатель проходит полный цикл наземной отработки по оптимизированной программе многоразовых стендовых испытаний. Прошедший такую отработку модульный двигатель становится началом линейки серийно изготавливаемых двигателей. Эти двигатели могут использоваться в качестве двигательных блоков. Блочная конструкция создавала возможность разрабатывать последовательный ряд космических ракет от легкого до сверхтяжелого класса, основанный на установке на первой ступени одного, двух, четырех и более по потребности однотипных модульных двигателей.

Важным преимуществом предложенного блочного принципа создания ступени ракеты являлась возможность проведения завершающей отработки двигателя при летных испытаниях в составе одноблочной ракеты легкого класса. Последующее блочное использование единожды надежно отработанного модульного двигателя значительно снижало стоимость и время создания новых ракетных комплексов любой грузоподъемности.

Техническую идею новой программы перспективы развития отечественного космического ракетостроения Глушко в начале 70-х годов вынес для обсуждения на расширенном заседании научно-технического совета (НТС) конструкторского бюро (КБ) "Энергомаш".

Кроме самой идеи применения унифицированного модульного двигателя Глушко предложил в качестве исходного образца использовать разработанный в КБ "Энергомаш" в 1969-1970 г. проект кислородно-керосинового двигателя РД116 (11Д120) тягой 600 тс. По первоначальному замыслу Глушко этот двигатель предназначался для установки на первую ступень РН Н1, однако это предложение руководством разработки Н1 было отвергнуто.

Участники заседания НТС, творческая элита КБ "Энергомаш": конструкторы, расчетчики, испытатели, технологи, руководители заводских служб в своих выступлениях единогласно поддержали предложенную Глушко новую программу создания космических ракет.

Полемика возникла при обсуждении выполнения конфигурации двигателя - в однокамерном или многокамерном варианте. Члены НТС понимали, что они участвуют в выборе варианта двигателя, который, вероятнее всего, им предстоит в ближайшее время проектировать и изготавливать.

При выборе типа двигателя члены НТС учитывали следующие обстоятельства, связанные с историей создания крупных космических двигателей: американский однокамерный двигатель тягой 790 тс был успешно использован в составе первой ступени "лунной" ракеты "Saturn V", что же касается отечественной практики, то все попытки создания крупных однокамерных двигателей: РД110 (годы разработки 1947-1951 гг.) тягой более 120 тс для ракеты Р-3, двигатель первой ступени межконтинентальной баллистической ракеты Р-6 (разработка 1952-1954 гг.) тягой 220 тс, двигатель РД270 (8Д420, разработка 1962-1969 гг.) тягой 640 тс для ракеты УР-700 - оказались неудачными.

Учитывая собственный опыт создания множества ЖРД различной конфигурации, члены НТС отдали предпочтение четырехкамерному варианту модульного двигателя. Поддержав идею Глушко создавать новые ракеты с применением модульного двигателя и выбрав его конфигурацию, инженерный состав КБ "Энергомаш" проявил свою потенциальную готовность к разработке двигателя, конструкция и технические характеристики которого будут соответствовать



ЖРД F-1 РН "Saturn V"

требованиям эксплуатации в течение многих лет. В связи с этим технические параметры модульного двигателя должны превышать значения, освоенные к тому времени в мировой практике ракетного двигателестроения. Чтобы взяться за разработку такого двигателя, требовалась обоснованная уверенность в своих творческих силах и незаурядные инженерные способности.

Сложившийся в течение прошедших лет творческий коллектив КБ "Энергомаш" приобрел неоценимый опыт и знания в неизведанной ранее области создания ракетной техники, многие представители коллектива за достигнутые успехи по достоинству были оценены государственными наградами, званиями, почетными грамотами, научными степенями. Но полного удовлетворения еще не было достигнуто, не была утолена жажда создания нового, ранее никем не разработанного двигателя. А ветераны предприятия понимали, что создание этого двигателя - их "лебединая песня" и были готовы вложить в него весь свой многолетний опыт, накопленные знания и душу профессиональных двигателестроителей.

Что же представлял в научно-техническом отношении инженерный коллектив КБ "Энергомаш" в начале 70-х годов?

Предприятие КБ "Энергомаш" в эти годы объединяло три составные части: КБ, экспериментальный завод и комплекс испытательных стендов. Творческая часть коллектива предприятия представляла в некотором роде инженерный конгломерат:

1. а) Руководящее ядро КБ составляла "старая гвардия", обладающая фундаментальным опытом разработки первых отечественных ЖРД для ракет Р-5М, Р-7, Р-12;

б) Последующее молодое поколение конструкторов выпуска 1958-1962 гг., получившее хорошую теоретическую подготовку в МВТУ им. Баумана и московском, харьковском, куйбышевском авиационных институтах;

в) Инженеры-расчетчики технических характеристик конструкции и рабочих процессов в ЖРД, окончившие МГУ, МЭИ, МФТИ.

2. На заводе работали технологии, имеющие практику освоения изготовления первых отечественных двигателей и их молодые последователи, получившие теоретическую подготовку в МАТИ, Станкнице, химико-технологическом и других ВУЗах.

Молодое поколение предприятия жаждало проявить себя в престижной в то время ракетно-космической отрасли и, освоив созданный предшественниками опыт создания ЖРД, энергично включилось в разработку конструкции новых двигателей. Их работа находилась под покровом секретности, но это только добавляло чувства самоуважения и гордости за причастность к созданию новой техники. Связанные с "секретностью" ограничения в то время практические не имели востребованности и реально отрицательно не воздействовали на личную жизнь рядовых работников ракетной промышленности.

Повышенный интерес инженерного состава КБ "Энергомаш" к выполняемой им работе во многом объясняется тем, что одним из творческих принципов Глушко было создание ракетной техники на

границ технических возможностей. Освоив параметры и характеристики, казавшиеся предельными во время проектирования нового двигателя, уже в следующем проекте Глушко рассматривал эти значения как отправную точку для достижения новых, более высоких и совершенных.

В 60-е годы коллективом КБ "Энергомаш" были успешно разработаны двигатели для боевых ракет Р-9А, Р-14 (Р-14 "У"), Р-16 (Р-16 "У"), семейства ракет 8К67, 8К67-0, 8К67-П, а также для космических РН "Протон", "Космос-2", "Циклон-2", "Циклон-3", стендовый вариант фторо-аммиачного двигателя 8Д21, экспериментальные двигатели для РН "УР-700", а также на топливе перекись водорода - пентаборан. Кроме указанных двигателей были разработаны предварительные проекты двигателей для предлагаемых тяжелых РН Р-10, стартовой массой 1500 т, и Р-20, стартовой массой 3000 т. С учетом всех последних достижений в области конструирования и технологии изготовления двигателей для получения предельно возможных в ближайшие годы характеристик ЖРД. Однако эти предложения поддержки не получили.

Параллельно с разработкой ЖРД в КБ "Энергомаш" были выпущены эскизные проекты ядерных ракетных двигателей, в начале по схеме "А", а затем по схеме "В".

Накопленный творческим коллективом КБ "Энергомаш" багаж опыта практического создания и эскизного проектирования двигателей, отличающихся широким диапазоном технических требований и оригинальных конструкторских решений, стал залогом уверенности Глушко в реальности реализации предлагаемой им новой программы создания космических ракет.

#### Реализация предложений В.П. Глушко

В мае 1974 г. в отечественном ракетостроении произошли события, определившие дальнейшие пути развития космической техники. Этим событиям предшествовали 4 подряд аварийные испытания "лунного" комплекса Н1-Л3 в ноябре 1972 г. и завершение "Лунной программы" США в декабре того же года. Работы по созданию ракеты Н1 продолжались, но это был эффект "инерции большого проекта". Стало очевидно, что продолжение этих работ бесперспективно, а поэтому и бессмысленно. Терпение и надежды на успешное продолжение работ по проекту Н1 у руководства космической отрасли исчерпали себя, и в начале на совещании у Д.Ф. Устинова, а затем 17 мая 1974 г. на заседании Совета обороны было принято решение об остановке работ по теме Н1, а 22 мая состоялась организация научно-производственного объединения (НПО) "Энергия", директором и генеральным конструктором которого был назначен В.П. Глушко. Некоторые высокопоставленные деятели ракетной техники, доброжелательно относящиеся к Глушко, не одобряли этот его поступок, считая, что при неудаче он смажет впечатление о себе, как выдающемся пионере ракетной техники. Но новое назначение соответствовало его характеру - целеустремленному, амбициозному, честолюбивому. Он знал свои творческие возможности, цену своему таланту. Отказаться - для него значило сдаться, признать собственную неспособность справиться с завершением дела своей жизни, уступить Королеву, который прославил свое имя на подобных работах.

В основу деятельности нового объединения была положена новая программа разработки космических ракет. Так появилось решение создать ракету сверхтяжелого класса, получившую впоследствии наименование "Энергия" и "вспомогательную", опережающую по срокам создания ракету среднего класса "Зенит". Разработка этих ракет поручалась собственно НПО "Энергия" под руководством генерального конструктора В.П. Глушко и КБ "Южное", руководимому генеральным конструктором В.Ф. Уткиным.

В феврале 1976 г. НПО "Энергия" и в марте 1976 г. КБ "Южное" выдали в КБ "Энергомаш" технические задания (ТЗ) на разработку двигателей РД170 и РД171 для первых ступеней РН "Энергия" и "Зенит". Это были те самые модульные двигатели, не имеющие отличий по рабочим параметрам и техническим характеристикам.

В ТЗ излагались следующие требования:

- схема двигателя - наиболее эффективная, с дожиганием



В.П. Глушко и В.Ф. Уткин

окислительного кислородно-керосинового газа с температурой около 600 °C;

- тяга двигателя - на Земле 740 тс, в пустоте - 806,4 тс;
- удельный импульс тяги - на Земле 309 с, в пустоте 337 с;
- давление газов в камере горения - 250 атм;
- масса двигателя ("сухого") - 9,5 т.

В состав двигателя входят 4 камеры, 2 газогенератора, турбонасосный агрегат, шnekовые преднасосы с приводами от автономных турбин замкнутого типа, система химического зажигания, управление вектором тяги осуществляется качанием только камер благодаря гибкому узлу подвода газа от турбины к камерам.

Дополнительно к традиционно указываемым в ТЗ на разработку двигателей параметрам и характеристикам по настоящему Глушко были добавлены требования к надежности:

- нижняя граница вероятности безотказной работы двигателя должна быть не менее 0,992;
- каждый экземпляр двигателя должен проходить ресурсное контрольно-технологическое огневое испытание без последующей переборки;
- двигатель должен быть ремонтопригоден и обеспечивать многократное использование, при этом гарантированный ресурс двигателя должен составлять не менее 10 рабочих ресурсов сверх штатного использования.

Приведенный краткий перечень параметров и технических характеристик нового двигателя показывает, что подобного по мощности и надежности двигателя еще никто в мире не создавал. Немаловажным обстоятельством являлись и сложности "повторного знакомства" с жидким кислородом, который в течение последних 10 лет в двигателях КБ "Энергомаш" не применялся.

Впервые в отечественной практике перед разработчиками была поставлена задача создать двигатель с таким уникальным сочетанием характеристик, которое включает исключительную размерность по тяге (в пустоте 806 тс), высокое давление в камере горения (250 кг/см<sup>2</sup>) с необходимостью многоразового (10 полетов) полетного использования. Во многих конкретных аспектах эта задача выходила за рамки предшествующего опыта. Полученные в итоге проведенных работ принципиальные решения ключевых проблем позволят не только создать двигатель РД170 с высокими энергомассовыми характеристиками и надежностью, но и значительно, на качественно новом уровне, расширить возможности базовых технологий для любого типа и размерности двигателей окислительной схемы с дожиганием.

Поддержав предложение Глушко, руководители ракетно-космической отрасли взяли на себя партийно-государственную ответственность за успешный конечный результат по реализации предложенной Глушко программы создания космических ракет. Их надежда и вера основывались на том, что авторы нового проекта рисковали потерей своего высокого научно-технического авторитета в истории отечественной ракетной техники, а это являлось мощным стимулом для обеспечения безусловного успеха после провала создания аналогичной ракеты Н1, и этот успех должен укрепить авторитет руководителей отрасли и СССР как великой космической державы.

Учитывая предстоящие сложности отработки технических характеристик в составе двигателя, в КБ "Энергомаш" за многие годы была отлажена традиционная методика автономной наземной отработки узлов и агрегатов будущего двигателя. На этот раз в методику были внесены дополнительные требования расширенной и углубленной проверки их работоспособности до начала проведения огневых испытаний доводочных двигателей.

Еще до получения ТЗ на разработку двигателей РД170 и РД171, в КБ "Энергомаш" начались исследования и поиск принципиальных схемных и конструкторских решений по основным элементам, агрегатам и системам двигателя. В результате были определены основные направления предстоящих работ, учитывая получение опыта работы с жидким кислородом.

Второй этап предусматривал отработку конструкции штатных агрегатов двигателя в составе экспериментальных установок с целью выбора их оптимальной конструкции и проверки работоспособности выбранных вариантов на режимах, максимально приближенных к эксплуатационным.

Работы проводились в соответствии с принципом, изложенным Глушко: *"Все, что можно, должно быть отработано на земле"*.

По опыту создания предыдущих двигателей основные трудности вызывало обеспечение устойчивого горения в камере и газогенераторе при запуске и на основном режиме работы, надежного охлаждения камеры, бескавитационной работы насосов, получение заданного удельного импульса тяги и т.д. После утверждения ТЗ на разработку двигателей все вышеуказанные характеристики были отработаны с использованием штатной конструкции в составе специально созданных стендовых установок.

Беда пришла откуда ее не ждали... Наибольшую сложность вызвали новые дефекты, ранее не встречаемые в практике отработки ЖРД в КБ "Энергомаш" - возгорания проточной части основного насоса окислителя и элементов конструкции тракта генераторного газа после турбины. Эти дефекты при испытаниях специальных установок устранить не удалось.

Дальнейшие испытания уже в составе доводочных двигателей РД171 показали, что обеспечение требуемой работоспособности насоса окислителя и тракта генераторного газа связано с решением большого круга проблем по обеспечению стойкости к возгоранию элементов конструкции двигателя.

К решению проблемы устранения возгорания были привлечены лучшие специалисты академических и отраслевых научно-исследовательских институтов: ВИАМ, ЦИАМ, ЦНИИмаш, НИИМВ, НИИПП, сотрудники кафедр учебных институтов и т.д. Дополнительной трудностью для определения эффективности вносимых изменений являлась высокая трудоемкость изготовления двигателя. От принятого решения по внедрению очередного мероприятия до его проверки при огневом испытании двигателя проходило несколько месяцев. Месяцы изготовления двигателей с новыми мероприятиями суммировались в годы, а положительного результата получить не удавалось.

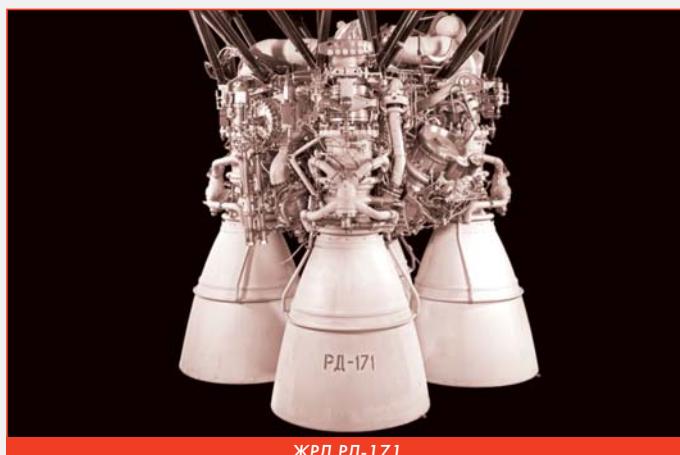
Затянувшийся процесс устранения возгораний в двигателе дал основание ряду ученых, включая нескольких членов Академии наук, не довольных принятым решением об изготовлении такого двигателя, сделать заявление о теоретической невозможности создания двигателя с кислородным генераторным газом с температурой выше 500 °C.

Прислушиваясь к этому мнению и министр Министерства общего машиностроения С.А. Афанасьев. По его указанию в КБ "Энергомаш" было организовано подразделение из "местных" конструкторов для разработки однокамерного двигателя для установки 4-х таких двигателей вместо одного 4-х камерного, т.е. практически вернуться к идеологии построения первой ступени ракеты Н1.

Но В.П. Глушко, главный конструктор КБ "Энергомаш" В.П. Радовский и основная

часть конструкторов сохраняли уверенность в успешном конечном результате и продолжали упорно устранять дефекты конструкции двигателей РД170 (171). Общими усилиями, беззаветным и, можно сказать без пафосности и преувеличения, героическим трудом работники КБ "Энергомаш" устранили причины возникновения возгорания конструкции двигателя.

В некотором отношении, затянувшаяся на многие месяцы работа по устранению возгораемости имела и положительную сторону, которую можно изложить в форме народной поговорки: "Нет худа без добра". Параллельно с работами по ликвидации возгораний проводилось совершенствование конструкции элементов двигателя. Так, был проведен комплекс работ по камере: введен дополнительный пояс внутреннего охлаждения, оптимизирована разводка охлаждающего компонента по контуру, применено теплозащитное и противоэрэзионное покрытие, на смесительной головке внедрены мероприятия по повышению устойчивости горения. В турбонасосном агрегате, кроме последовательно внедряемых мер для повышения стойкости к возгоранию, введен ряд изменений конструкции для снижения вибрационности, повышена работоспособность гибких магистралей подвода окислительного высокотемпературного газа от турбины к камера姆 сгорания.



ЖРД РД-171

В процессе доводки двигателя практически каждое огневое испытание дает "пищу" для конструкторов, рождает новые вопросы, требующие осмысливания и, при необходимости, улучшения конструкции. И чем больше таких вопросов, даже не приводящих к аварии, тем совершеннее и надежнее становится двигатель. Перефразируем знаменитый афоризм А.В. Суворова: "Чем труднее в доводке, тем легче в эксплуатации".

В соответствии с идеей опережающего создания модульного двигателя основная наземная отработка велась с использованием двигателя РД171, предназначенного для первой ступени "вспомогательной" ракеты "Зенит". Упорный, кропотливый, самоотверженный труд работников КБ "Энергомаш" с консультативной помощью специалистов ряда научно-исследовательских институтов завершился в декабре 1984 г. двумя успешными стендовыми испытаниями двигателей РД171 в составе первой ступени РН "Зенит".



Первая ступень РН "Зенит"

Предложенная Глушко программа создания космических ракет с применением модульного двигателя вступила в заключительную фазу - подтверждение надежной работы двигателя при натурном



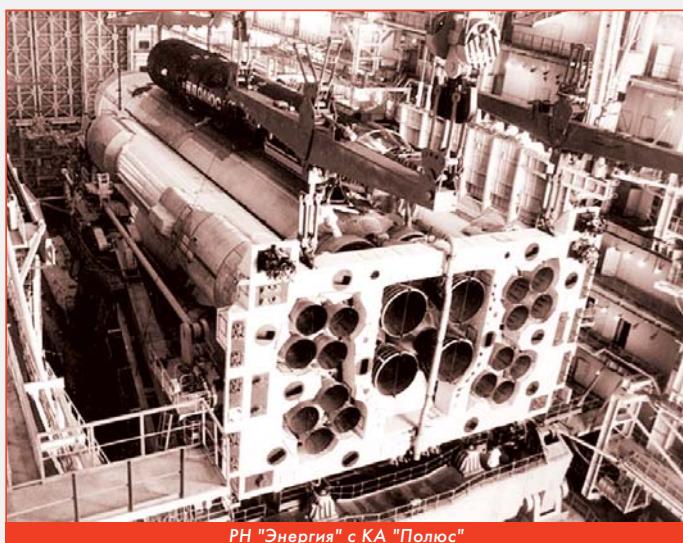
В.П. Радовский

летном испытании в составе ракеты. Первый пуск "Зенита" состоялся 13 апреля 1985 г. Двигатель первой ступени РД171 отработал нормально, но произошла авария из-за отказа второй ступени. Первый успешный пуск ракеты "Зенит" состоялся 22 октября 1985 г.

Этот пуск стал торжеством научно-технического прогресса, яркой трудовой победой для всех веряющих в творческие силы ученых, инженеров и рабочих, принимавших участие в создании двигателя РД171. Что же касается лично Глушко, то трудно определить, что доставило ему больше радости - успешное подтверждение предложенной им перспективной программы отечественного космического ракетостроения или его моральная победа в научно-техническом противостоянии с неверяющими в его творческий талант.

Казалось бы, программа создания модульного двигателя успешно завершена, можно переходить к реализации самой идеи - применять такой двигатель на других ракетах. Тем более, что на очереди стоит РН "Энергия", для которой и был создан и прошел весь путь предварительной отработки модульный двигатель. Но Глушко не спешил. Учитывая высокую трудоемкость и стоимость изготовления этой ракеты, отработанный в обстановке творческих и нравственных мучений двигатель РД171 теперь уже в облике двигателя РД170 подвергался дальнейшим стендовым испытаниям для выявления возможно еще не проявивших себя скрытых конструкторско-технологических дефектов, а также для набора статистики испытаний для подсчета надежности. В программу этих испытаний входила проверка возможности многоразового использования двигателя. В ходе специально проводимых испытаний один из доводочных экземпляров двигателя прошел 17 полетных ресурсов (при 25 запусках) без съема. При последующей его разборке каких-либо замечаний, потенциально способных привести к аварии при последующих пусках, не отмечено. При проведении официальных межведомственных испытаний на стенде двигатель РД170 успешно выдержал десятиразовое полетное использование.

Наземная отработка двигателя РД170 для первой ступени РН "Энергия" завершилась в июле 1986 г., а 15 мая 1987 г. состоялся первый и успешный пуск РН "Энергия" с космическим аппаратом "Полюс".



RН "Энергия" с КА "Полюс"

Следующий и тоже успешный пуск многоразовой космической системы "Энергия-Буран" с двигателями РД170 был проведен 15 ноября 1988 г.

Дальнейшие работы с использованием РН "Энергия" были прекращены в связи с изменением политico-экономического строя в стране. Двигатель РД171 продолжил свою эксплуатацию в составе РН "Зенит".

Разработанная в КБ "Южное" РН "Зенит" стала одной из лучших космических ракет своего времени и часто использовалась в эксплуатации. Такое развитие событий полностью соответствовало идеи Глушко о дальнейшем применении "вспомогательной" ракеты после летной отработки в ее составе модульного двигателя.

### Выбор двигателя РД180 для РН "Atlas"

С начала 90-х годов вследствие резкого сокращения государственного финансирования ракетно-космической промышленности "НПО Энергомаш" (так с января 1990 г. стало называться КБ "Энергомаш") осталось практически без государственного заказа на свою профильную продукцию. Проделанный анализ возможностей предприятия показал, что оно для производства конкурентоспособной в рыночных условиях продукции широкого народно-хозяйственного или промышленного применения малопригодно. Сложившаяся с 1946 г. структура предприятия, станочный парк, технологическое оборудование, лабораторные установки и испытательные стены, профессиональная подготовка инженерных и рабочих кадров являются наиболее пригодными для разработки и производства ракетных двигателей. Итоги анализа - нужно делать то, что предприятие умеет делать лучше всего и лучше всех - жидкостные ракетные двигатели.

В новых политico-экономических условиях руководство предприятия добилось разрешения Правительства Российской Федерации на проведение внешнеэкономической деятельности - выхода на международный рынок космической техники. Отправным моментом во внешнеэкономической деятельности "НПО Энергомаш" стало подписание 26 октября 1992 г. "Соглашения по совместному маркетингу и лицензированию технологий" с американской компанией Pratt&Whitney, ракетным отделением United Technologies Corporation. Однако главное научно-техническое достояние "НПО Энергомаш" тех лет, двигатель РД170, по своим техническим характеристикам значительно опережал ракетную технику зарубежных стран и не вписывался в их разработки новых космических средств выведения.

Но в этом случае нашлась удачная возможность использовать российский ракетный двигатель в составе американской космической ракеты. Американская компания Lockheed Martin в январе 1995 г. объявила конкурс на замену двигателя первой ступени в модернизируемой космической ракете "Atlas". Американская фирма Pratt&Whitney предложила "НПО Энергомаш" совместное участие в этом конкурсе с проектом двигателя РД180 - двухкамерной производной двигателя РД170, который в этом варианте удачно увязывался с техническими требованиями к двигателю модернизируемой ракеты "Atlas". Правительство Российской Федерации поддержало эту инициативу и 23 мая 1995 г. вышло правительственные распоряжение, которым разрешалось "НПО Энергомаш" разработать по заказам американских ракетно-космических компаний ЖРД для поставки в США с целью использования в составе космических РН.

В конкурсе кроме проекта РД180 участвовал модернизированный двигатель MA-5A фирмы Rocketdyne и российский двигатель НК-33 производством ОКБ "Кузнецова".

Двигатель	МА-5А	НК-33	РД180
РН	Atlas II	H1	Atlas III, V
Разработчик	Rocketdyne	"Кузнецов"	"НПО Энергомаш"
Тяга земная, тс	185,4	154,6	390
Тяга пустотная, тс	206,5	172,1	423
Уд. импульс земной, с	262,1	297,5	311,9
Уд. импульс в пустоте, с	293,4	331,2	338,4
Давление в КС, кгс/см <sup>2</sup>	44,1	148,3	262
Диапазон изменения тяги, %	100	100...55	100...47

Таблица 1

Как следует из приведенной таблицы, двигатель РД180 по своим характеристикам занимает лидирующее положение. Преимущества двигателя РД180 в конкурентной борьбе в значительной мере определились благодаря следующим основным характеристикам:

1. Удельный импульс. Достижение высокого импульса было обеспечено за счет высокого уровня давления в камере горения, а также за счет совершенства системы смесеобразования топлива в смесительной головке камеры.

2. Широкий диапазон изменения тяги - от 100 до 47 %. Эта характеристика обеспечила возможность использования двигателя РД180 для всего семейства РН "Atlas". В процессе отработки двигателя РД180 продемонстрирована возможность длительной (бо-

лее 300 с) устойчивой работы на режиме 40 % тяги. Планировалось, что такая возможность будет востребована на модификации РН тяжелого класса.

3. Методика сдачи товарных двигателей заказчику. Методика сдачи товарных двигателей РД180 предусматривает использование сплошного контроля качества путем проведения огневых испытаний. Сплошной контроль осуществляется проведением приемо-сдаточных огневых испытаний длительностью, равной полетному времени работы. В процессе этого испытания осуществляется проверка всех систем двигателя. Используемая для РД180 методика сдачи товарных двигателей является экономически оптимальной и эффективной, вызывает доверие у покупателей и страховых фирм.

Оценивая востребованность для американского космического ракетостроения российских ракетных двигателей, старший вице-президент Роберт Розатти, курирующий международные программы Pratt&Whitney, в журнале "Aerospace Journal" №5 за 1996 г. отметил следующее: "...в области ракетных двигателей Pratt&Whitney готова работать с вашими компаниями, чтобы совместно получать выгоды от тех российских наработок, что безусловно лучше, чем наши. И лидером в этой работе по праву считаем "НПО Энергомаш"...Суть...в том, что российской стороне нужен выход с ракетными двигателями различной мощности на зарубежные рынки. Мы же, прекрасно понимая все достоинства этих изделий, готовы были обеспечить им этот выход. Два двигателя "НПО Энергомаш", на наш взгляд, могут иметь огромные возможности на западном рынке. Первый - двигатель РД180, производный от двигателя РД170, предназначенный для новой американской РН "Atlas-IIAR". Второй - двигатель РД120, может быть использован для легких ракет. [...]

По нашим расчетам ежегодно в Химках, где расположено "НПО Энергомаш", будет производиться около 20 двигателей для запуска космических аппаратов научного и хозяйственного назна-

чения. Это означает наличие рынка с объемом продаж в \$2 млрд на 20-летний период".

После объявления в январе 1996 г. двигателя РД180 победителем конкурса на замену двигателя для РН "Atlas", 25 марта 1996 г. вышло Распоряжение Правительства Российской Федерации №467Р, которым поручалось "НПО Энергомаш" организовать совместно с Pratt&Whitney совместное предприятие (СП) для маркетинга и сбыта двигателей РД180. Такой же подход к организации работ по двигателю РД180 проявил и американский государственный департамент, высказав некоторое "смущение" о заключении прямого контракта между американской коммерческой фирмой и российским государственным предприятием. В результате переговоров было организовано американо-российское СП "РД АМРОСС" для проведения маркетинга, производства и продажи ракетных двигателей. Схема передачи двигателей РД180 из Российской Федерации в США выглядела так: "НПО Энергомаш" по контракту изготавливает двигатели и продает их СП "РД АМРОСС", которое поставляет их в США и продает фирме Lockheed Martin.

### Отработка и сертификация двигателя РД180

Процесс отработки и сертификации двигателя РД180 во многих важных аспектах имел определенные особенности и выходил за рамки предшествующего опыта. Впервые в практике "НПО Энергомаш" заказчиком разработки двигателя выступало не отечественное государственное ведомство, а частная иностранная фирма. Создание двигателя новой и столь значительной размерности осуществлено в крайне сжатые сроки, при этом отработка совершила на малом количестве материальной части. Темп отработки был исключительно высоким и не имеющим precedентов.

Важным показателем, характеризующим эффективность процесса отработки, является количество затраченной материальной части (двигателей) при проведении всех видов огневых испытаний.

Назначение огневых испытаний	Количество испытанных двигателей
Испытание прототипа	2
Доводочные испытания	8
Испытание двигателя в составе ступени РН	1
Сертификационные испытания	4

Таблица 2

Специалисты "НПО Энергомаш" и Заказчик двигателя были настолько уверены в эффективности отработки двигателя, что с самого начала запланировали поставку в США четвертого по счету от начала изготовления двигателя (№4А) для испытаний в составе ступени РН. В итоге эта уверенность оправдалась, и двигатель №4А успешно прошел четыре запланированных испытания в двигательном центре NASA им. Маршала (г. Хантсвилл).

Несмотря на то, что режимы работы двигателя по уровню тяги и соотношению компонентов топлива для РН семейства "Atlas" практически одинаковы, время работы на этих режимах разнятся существенно в зависимости от назначения РН; разными также являются и внешние условия (температуры компонентов топлива, величины входных давлений и пр.). Именно поэтому двигатель отрабатывался в три этапа:

- для РН "Atlas III";
- для РН среднего класса "Atlas V";
- для РН тяжелого класса "Atlas V".

В итоге проведенных работ создан универсальный двигатель РД180, который без каких-либо доработок или изменений конструкции может использоваться для всего семейства РН "Atlas".

Двигатель РД180 является выдающимся достижением отечественной ракетной техники. По совокупности рабочих параметров и технических характеристик он не имеет аналогов в практике отечественного и мирового ракетного двигателестроения. В конструкции его агрегатов, технологии производственных процессов, методов контроля качества использованы наиболее совершенные и апробированные опытом предшествующих разработок технические решения, позволившие обеспечить высокую надежность и высокие энергомассовые характеристики, технологичность и низкую



стоимость производства, наиболее совершенный уровень эксплуатационных качеств.

Этот опыт по настоящее время позволяет АО "НПО Энергомаш" создавать ЖРД практически любой размерности с высокими удельными параметрами и эксплуатационными характеристиками в минимальные сроки (3-3,5 года) с отработкой на малом числе экземпляров (не более 10 двигателей).

К первому сентября 2019 г. в АО "НПО Энергомаш" изготовлено больше 130 двигателей РД180, проведено более 260 огневых испытаний. Общая наработка при стендовых испытаниях составила более 50 000 с.

Проведено 86 летных испытаний различных версий РН "Atlas" с абсолютным успехом без замечаний к двигателю. Наработка при летных испытаниях составила более 21 000 с.

Кроме унаследованных от конструкции двигателя РД171 оригинальных технических решений в процессе изготовления двигателей РД180 для РН "Atlas III" и "Atlas V" в их конструкцию для повышения работоспособности и надежности были внесены изменения, ставшие достоянием отечественного опыта создания ЖРД.



Испытание РН "Атлас III" с ЖРД РД180

При создании двигателя РД180 введена более простая, эффективная и надежная схема управления режимами, введены притирающиеся уплотнения на буртах насоса окислителя, усовершенствована конструкция уплотнения ротора турбины, отработана технология сдачи двигателей в товар после огневого испытания без разборки и введен ряд других конструктивно-технологических решений, которые в дальнейшем были реализованы в конструкциях двигателей РД171М, РД191, РД181, РД171МВ.

При производстве двигателя по контракту с американским заказчиком произошел синтез некоторых российских и американских требований по организации контроля изготовления, оформления сопроводительной документации, принятию решений по отступлениям от конструкторской документации.

Опыт, приобретенный "НПО Энергомаш" в процессе создания, изготовления и эксплуатации двигателя РД180, является значительным вкладом в развитие отечественного ракетного двигателестроения.

#### **Перспективы использования двигателя РД180 в новых космических ракетах**

В течение более 70 лет, начиная с 1946 г., развитие отечественного ракетостроения происходило по этапам, которые определялись военно-политическим и промышленно-экономическим положением в стране. На технический уровень создаваемых ракет оказывали влияние научно-технические достижения.

В совокупности с этими условиями велась разработка ЖРД в КБ "Энергомаш" ("НПО Энергомаш").

На 1-м этапе (1946-1950 гг.) создавалась фундаментальная научно-техническая база разработки, изготовления и испытаний ЖРД для ракет дальнего действия. Формировалось ядро творческого коллектива.

На 2-м этапе (1950-1960 гг.) заложены основы отечественной

школы создания ракетных двигателей.

На 3-м этапе (1960-1970 гг.) - бурное развитие ракетного вооружения, становление космической отрасли.

На 4-м этапе (1970-1990 гг.) - создание уникальных двигателей для сверхтяжелых ракет.

На 5-м этапе (1990-1995 гг.) - работа "на грани выживания". Финансирование государственного заказа на изготовление двигателей снизилось с 80 % до 5 %. Назревала угроза полного свертывания производства двигателей и распада годами сложившейся кооперации предприятий.

Не имея надежда на получение в ближайшие годы государственного заказа на производство двигателей, руководство "НПО Энергомаш" с разрешения и при поддержке Президента Российской Федерации приняло активные действия по развертыванию внешнеэкономической деятельности на рынке космической техники.

Работа АО "НПО Энергомаш" с привлечением всей необходимой кооперации российских предприятий по разработке, изготовлению и продаже двигателя РД180, обеспечив приток валютных поступлений в страну, дала возможность не только переломить негативные тенденции, но и успешно продвинуться в решении целого ряда проблем, связанных с модернизацией всех производственных процессов и повышением технического и технологического уровня разработок.

Внешнеэкономическая деятельность АО "НПО Энергомаш" на международном рынке средств выведения, связанная с разработкой, изготовлением и продажей двигателя РД180, позволила обеспечить дальнейшие перспективы развития предприятия и сохранение необходимой для производства ЖРД кооперации отечественных предприятий.

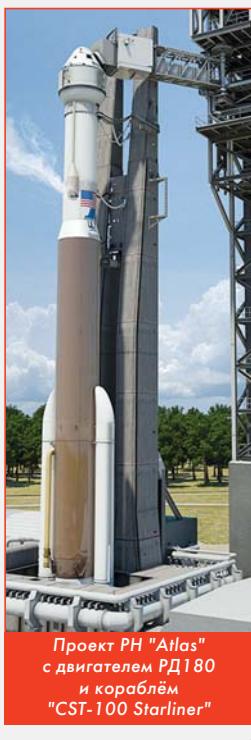
Сегодня (в 20-х годах нынешнего столетия) складывается аналогичная началу 90-х годов ситуация с объемами государственного заказа для АО "НПО Энергомаш" и работающих с ним предприятий кооперации. В связи с политическим решением американского правительства о прекращении использования российских ЖРД на американских ракетах близится период перехода отечественного двигателестроения на государственные заказы. Несмотря на развитие новых российских проектов по созданию РН среднего класса "Союз-5" ("Иртыш"), РН сверхтяжелого класса "Енисей", а также начало интенсивной летной эксплуатации РН семейства "Ангара", объем финансирования неизбежно упадет.

В очередной раз возникает угроза потери уникальных технологий создания и успешной эксплуатации кислородно-керосиновых ЖРД нового поколения РД171МВ, РД191М и пр. АО "НПО Энергомаш" вынуждено искать новые рынки для обеспечения загрузки предприятия профильной продукцией.

Эффективное сохранение уникальных новых технологий мощных кислородно-керосиновых ЖРД и сохранение сложившейся кооперации предприятий-смежников возможно только при сохранении производства двигателя РД180, как наиболее показательного представителя семейства, сложившегося на высокотехнологичном международном уровне. Для этого двигатель РД180 должен получить "российское гражданство".

Предпосылки для этого:

- двигатель РД180 может стать основой (двигателем 1 ступени) моноблочной кислородно-керосиновой РН, которая может прийти на смену широко используемым, но довольно устаревшим РН семейства "Союз-2", перспективы модернизации которой полностью исчерпаны. Это может быть РН "Союз-6". По исследованиям компании Euroconsult и ФГУП ЦНИИмаш космические аппараты с массами, запускаемыми РН семейства "Союз-2", будут востребованы еще не менее 15 лет. Потенциально можно предполагать, что потребное количество двигателей РД180 для моноблочной РН составит около 20 экземпляров в год. На смену РН семейства "Союз-2" придет современная РН, открывающая неограниченные перспективы по наращиванию грузоподъемности (в т.ч. за счет использования в последующих перспективных модернизациях кислородно-водородного ЖРД на второй ступени, который, в свою очередь, на последующих этапах позволит полностью отказаться от использования разгонного



Проект РН "Atlas" с двигателем РД180 и кораблём "CST-100 Starliner"

блока для решения большинства задач, тем самым сократив количество ступеней и снизив стоимость РН;

- возможно использование РН "Союз-6" в пилотируемом варианте. Американская корпорация United Launch Alliance до конца 2019 года планирует запустить на РН "Atlas" с двигателем РД180 пилотируемый космический корабль фирмы Boeing "CST-100 Starliner". Американские специалисты считают, что решения, заложенные в двигателе, в том числе по системе аварийной защиты, позволяют по американским нормативам запускать пилотируемые аппараты;

- запуск РН с двигателем РД180 может осуществляться с пускового места на космодроме, которое предназначено для РН "Союз-5", т.к. данные РН могут иметь схожие конфигурации хвостовых частей и одинаковые интерфейсы;

- двигатель РД180 практически не требует средств на отработку, необходима только адаптация двигателя под конкретную РН, что было когда-то реализовано в проекте РН "Русь-М", с учетом значительной положительной статистики летных испытаний;

- новый космический ракетный комплекс с РН "Союз-6" будет логичным и надежным дублером РН семейства "Ангара" учитывая, что выход, пусть даже временный, из строя унифицированного ра-

кетного модуля, полностью остановит программу пусков всех вариантов РН семейства "Ангара" до устранения причин;

- если двигатель РД180 получит "российское гражданство" можно с уверенностью заявлять, что будет сохранена конструкторско-технологическая школа создания лучших в мире кислородно-керосиновых ЖРД.

#### Выводы

В результате активной научно-технической, маркетинговой и внешнеэкономической деятельности, проводимой "НПО Энергомаш", с помощью и при поддержке государственных ведомств реализован беспрецедентный и исключительно важный для отечественной ракетной техники проект по разработке и внедрению на мировой рынок средств выведения ЖРД РД180. В соответствии с этим проектом осуществлена полномасштабная отработка и сертификация кислородно-керосинового двигателя РД180 для американского семейства РН "Atlas" среднего и тяжелого классов нового поколения.

Мощный кислородно-керосиновый двигатель РД180 отрабо-



Проект РН "Союз-5" с РД171МВ

тран и сертифицирован для полетов в широком диапазоне режимов и условий работы. Уровень технического совершенства двигателя РД180 (по удельному импульсу тяги, удельной массе и др.) превосходит все известные российские и зарубежные эксплуатируемые в своем классе аналоги.

Конструкторские и технологические решения, реализованные в двигателе РД180, открыли возможность их использования в других разработках АО "НПО Энергомаш".

Создание РД180 для семейства РН "Atlas" позволило АО "НПО Энергомаш" занять исключительное и доминирующее положение на мировом рынке мощных маршевых двигателей средств выведения. Такое положение обеспечивает предприятию значительные конкурентные преимущества.

Для сохранения уникальных технологий мощных кислородно-керосиновых ЖРД, сохранения загрузки предприятия профильной продукцией, сохранения сложившейся кооперации, составляющей более 200 предприятий, необходимо сохранить в России в АО "НПО Энергомаш" производство двигателя РД180 с учетом потенциальной возможностью его дальнейшей модернизации!

