

Самый мощный в мире жидкостный ракетный двигатель РД-170

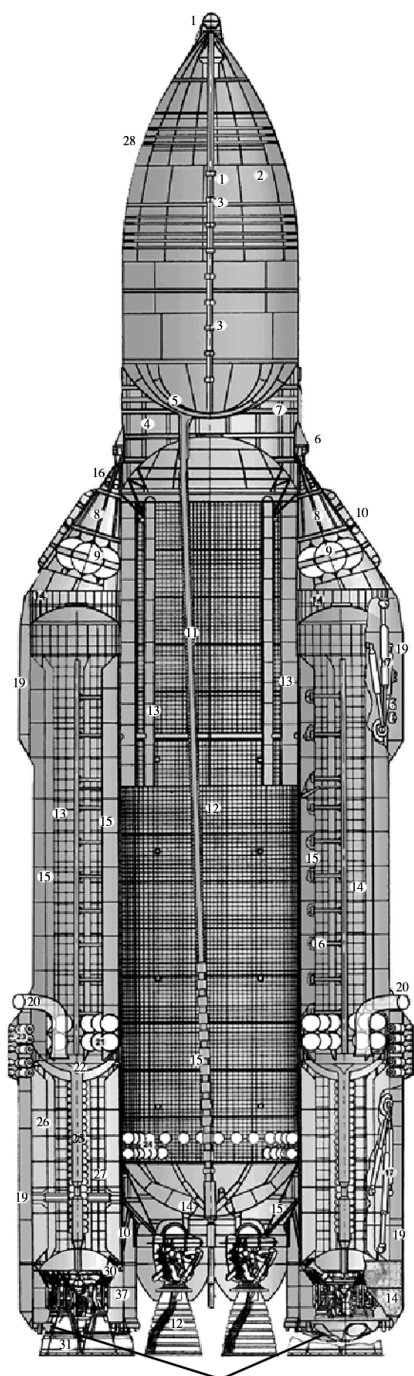
В.С. СУДАКОВ,
начальник отдела научно-технической информации
А.П. СУДАРЧЕНКО,
специалист отдела ЖРД
НПО “Энергомаш” им. академика В.П. Глушко

В конце 1960-х гг. – начале 1970-х гг. в создании тяжелых ракет-носителей американцы вырвались вперед. У нас в это время прекратилась разработка мощного жидкостного двигателя РД-270, создававшегося под руководством главного конструктора академика В.П. Глушко для РН сверхтяжелого класса УР-700 конструкции академика В.Н. Челомея; авариями закончились четыре пуска ракеты-носителя “Н1-Л3” (1969–1972). Причиной аварий компетентная комиссия признала, в том числе, и ненадежность двигателей первой ступени НК-15 и НК-33 конструкции академика Н.Д. Кузнецова. Несколько раньше, в январе 1966 г., ушел из жизни Сергей Павлович Королёв – главный конструктор ОКБ-1 и ракеты-носителя “Н1-Л3”. Это не могло не сказаться на сроках создания этой мощной ракеты.

К началу 1970-х гг. в КБ “Энергомаш” под руководством главного конструктора академика В.П. Глушко изготовлены и испытаны различные модельные двигательные установки на компонентах топлива жидкий кислород с керосином. В основном к ним относились проектные проработки, направленные

на создание двигателя тягой более 500 тс, и велись они в плане научно-исследовательских разработок.

В конце 1973 г. академик В.П. Глушко провел совещание (по существу, научно-технический совет расширенного состава) по вопросу окончательного выбора конструктивного облика мощного двигателя тягой более 500 тс. Конструкторы предложили два варианта: с одной и четырьмя камерами сгорания. После многодневного обсуждения выбрали вариант конструкции двигателя с четырьмя камерами сгорания, так как в этом случае можно проводить автономные испытания основных наиболее трудоемких в изготовлении и доводке агрегатов двигателя на базе материальной части предыдущих двигателей тягой 100 тс на азотном тетраоксиде (АТ) и несимметричном диметилгидразине (НДМГ). Эти двигатели необходимо было доработать путем замены материалов на такие, которые позволили бы использовать жидкий кислород и керосин. Решение об автономном испытании сначала основных агрегатов двигателя на этих компонентах топлива, а уже затем двигателя в целом ста-



ЖРД РД-170

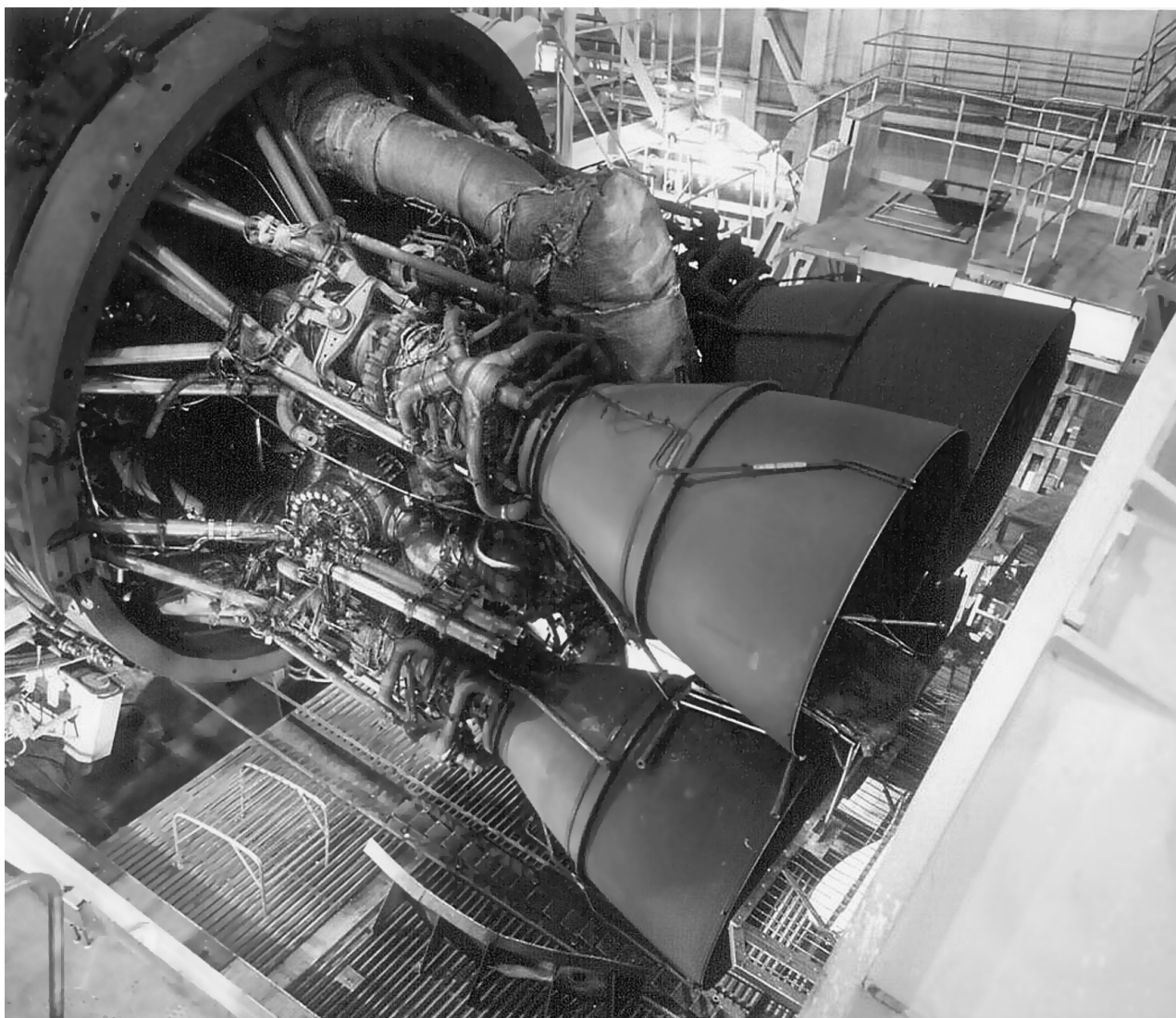
Схема РН «Энергия» с четырьмя боковыми блоками первой ступени, на которых установлены четырехкамерные ЖРД РД-170.

ло основополагающим для стратегии. Однако техническое задание на разработку такого двигателя было получено позже, в начале 1976 г. Предыдущие три года ушли на экспериментальное обоснование реальности создания задуманного двигателя.

В мае 1974 г. произошли события, определившие дальнейшее развитие космического ракетостроения. Ракетную фирму ОКБ-1 (бывшее ЦКБЭМ), которой многие годы руководил академик С.П. Королёв, преобразовали в НПО «Энергия» (ныне РКК «Энергия» им. С.П. Королёва). Кроме «головного» конструкторского бюро этой фирмы, во вновь созданное объединение вошли два опытных завода и наше конструкторское бюро вместе с опытным заводом. Генеральным конструктором и директором НПО «Энергия» назначили академика В.П. Глушко.

Началось конструирование ряда ракет-носителей, обеспечивающих широкий круг задач военного и мирного назначения. Общее руководство поручалось НПО «Энергия» и его руководителю академику В.П. Глушко; на него же возлагалась ответственность за создание многоразовой ракетно-космической системы «Энергия – Буран». Необходимо было создать двигатель, в значительной степени универсальный, для сверхмощной РН «Энергия» и РН среднего класса «Зенит». Проектирование ракеты-носителя «Зенит» поручили конструкторскому бюро «Южное» (Днепропетровск) во главе с генеральным конструктором академиком В.Ф. Уткиным. (Причем первая ступень РН «Зенит» по сути представляет собой боковой блок «Энергии».) Эти носители должны использовать будущий мощный двигатель на первых ступенях.

В первом квартале 1976 г. НПО «Энергия» и КБ «Южное» выдали технические задания на разработку двигателей тягой 740 тс на земле, применявших компоненты топлива – жидкий кислород и керосин – для первых ступеней ракет «Энергия» и «Зенит». Двигатель для РН «Энергия» должен был быть многоразового использования, пригодным для ремонта и повторного использования без переборки. Эти и другие технические требования существенно превышали характеристики других отечественных двигателей. Ведущим



Жидкостный ракетный двигатель РД-170 на огневом стенде НПО "Энергомаш". 1980-е гг.

конструктором двигателей РД-170 и РД-171 для РН "Энергия" и РН "Зенит" соответственно назначили начальника двигательного отдела М.Р. Гнесина. Талантливый и энергичный руководитель, он все силы отдавал созданию двигателей, своим энтузиазмом заражал всех участников работы, сплотил вокруг себя активных единомышленников не только в двигательном отделе, но и в других подразделениях конструкторского бюро, завода и научно-испытательных подразделений, а также на смежных предприятиях.

Споры велись не только по размерности двигателя, количеству камер в нем, выбору схемы двигателя (с до-

жиганием восстановительного газа или окислительного), но и по величине давления в камере сгорания; в итоге остановились на 250 атм. Многие утверждали, что схема с дожиганием восстановительного газа надежнее, так как меньше предрасположена к возгораниям в горячем тракте турбины. Однако она, во-первых, энергетически менее выгодна и, во-вторых, исключает возможность многократных запусков двигателя из-за обилия сажи, удаление которой – серьезная проблема. В конечном счете выбрали схему с дожиганием окислительного газа, поскольку она по сумме преимуществ оказалась предпочтительнее.



*Начальник и главный конструктор
КБ "Энергомаш" член-корреспондент РАН
В.П. Радовский.*

На базе материальной части ракетных двигателей на АТ-НДМГ тягой 100 тс удалось в срок чуть более полугода создать модельные двигатели для проверки процессов в камере и газогенераторе. Так, для отработки камеры специалисты создали модельный двигатель 2УКС, который позволял развивать тягу, равную 80% от необходимой. На нем проведено 68 огневых стендовых испытаний и решены основные вопросы по камере натурного двигателя. На другом модельном двигателе для проверки процессов в газогенераторе выполнили 132 испытания. Для того, чтобы "дoveсти" турбонасосный агрегат (ТНА) в автономном режиме, пришлось создать установку на основе натурной материальной части – это практически рабочий двигатель, но без камер сгорания, вместо которых поставили сопротивления. Данная установка была создана после

автономной отработки практически всех видов агрегатов двигателя. На ней проведено 32 огневых испытания, которые показали, что решение проблем по созданию ТНА с мощностью турбины более 250 тыс. л.с. – задача крайне сложная. Основной проблемой стало обеспечение работоспособности агрегата при устранении возгорания турбины и в условиях повышенной вибрационной активности. Работы по автономной доводке горячих агрегатов двигателя заняли три года и завершились в 1979 г. Всего для автономных испытаний изготовили пять разновидностей установок – УК (установки кислородные).

25 августа 1980 г. состоялся первый пуск двигателя РД-171, характеристики которого превышали все ранее достигнутые как в отечественном, так и в зарубежном ракетном двигателестроении. В этот день (испытание проводилось вечером) все сотрудники оставались в крайнем напряжении. В пультовой огневого стенда собралось много народу: стендовики и конструкторы, включая главного конструктора В.П. Радовского, здесь же дежурил генеральный конструктор В.П. Глушко, а также приглашенные из вышестоящих организаций. Проходят получасовая готовность, и все другие... Пуск! Что можно ждать от первого пуска? Авария... Началась тяжелая работа: анализ параметров, поиски причин поломки, осмотр частей и агрегатов двигателя.

Дела поначалу шли что называется из рук вон плохо. Средняя продолжительность первых 10 испытаний оказалась минимальной – 10,2 с, из них два аварийные; в числе 20 – пять удачных, из 50 – только десять. Ломался в основном турбонасосный агрегат: то возгорание в газовом тракте турбины, то другие поломки из-за сильных вибраций. Принимается решение проводить пуски на пониженном щадящем режиме работы. Наконец 9 июня 1981 г. состоялось первое успешное испытание двигателя (150 с) на полном ресурсе и

в режиме тягой 700 т. Внешний осмотр: никаких существенных замечаний к двигателю, но буквально за два дня двигатель разобрали. Всю материальную часть направили в цеха-изготовители для подробной проверки повреждений. Основным интерес представлял турбонасосный агрегат, поскольку наибольшее число дефектов в результате предыдущих испытаний обнаружилось именно в нем. Для того, чтобы контролировать ход работ в КБ “Энергомаш”, приехал министр общего машиностроения С.А. Афанасьев. Он внимательно осмотрел турбонасосный агрегат двигателя и задумчиво произнес: *“Если бы не увидел своими глазами, то не поверил бы, что получилось”*.

По результатам работ специалисты предприятия приняли решение готовиться к наземным испытаниям первой ступени ракеты-носителя “Зенит”. 26 июня 1982 г. проведено испытание двигателя в составе ее первой ступени. К этому времени было проведено 50 стендовых испытаний на 26 двигателях с суммарной длительностью 3106 с; максимальное время работы одного двигателя достигло 690 с, а число включений – 12. Однако стендовое испытание двигателя РД-171 в составе первой ступени РН “Зенит” закончилось аварийно – разрушение двигателя и уникального и единственного стенда для наземной отработки первых ступеней мощных ракет. Работы по созданию предельно важных на тот период времени ракетно-космических комплексов резко замедлились.

Второе испытание первой ступени РН “Зенит” состоялось на стенде в НИИ Химического машиностроения только 1 декабря 1984 г. – потребовалось около 2,5 лет на восстановление стенда и дальнейшее совершенствование двигателя. В этот период проведены сотни огневых испытаний двигателя, доводочные завершающие испытания всех узлов и агрегатов, решены сотни вопросов, касающихся отработки узлов и агрегатов двигателя и двигателя в це-



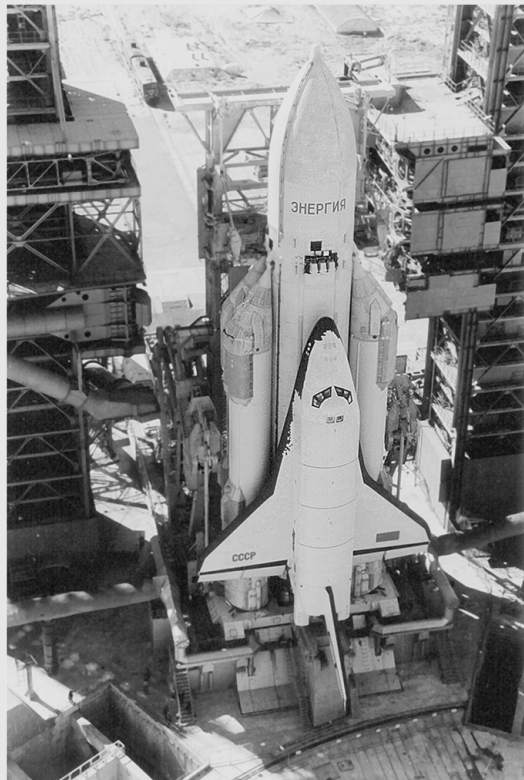
Запуск РН “Зенит” на космодроме Байконур. Конец 1980-х гг.

лом. Весь коллектив КБ “Энергомаш” работал в течение многих месяцев не только по 11 часов ежедневно, но и без выходных.

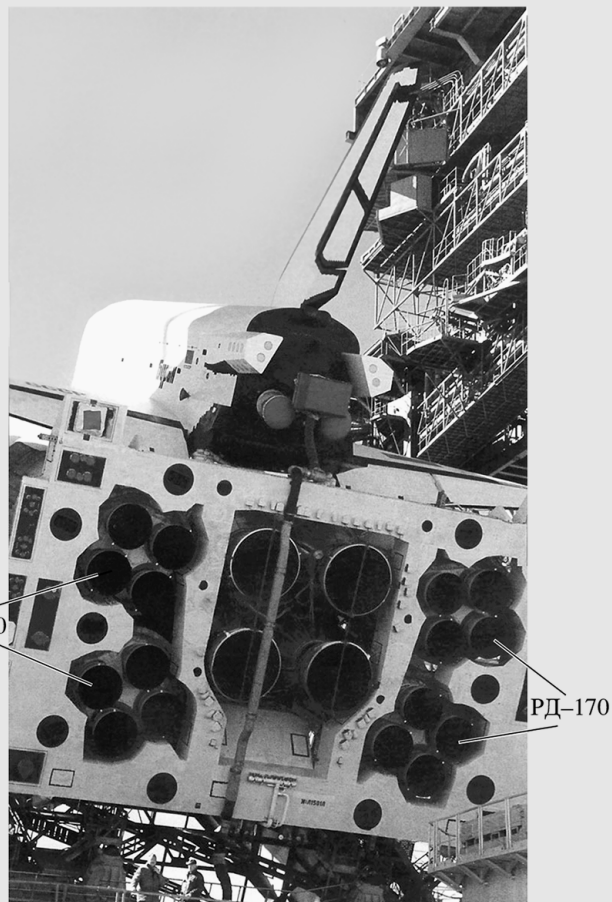
Смежников у нас при разработке РД-170 (171) было десятки сотен. Наибольший вклад внесли научно-исследовательские институты: НИИТП, ЦНИИ-маш, НИИТМ, НИИХМ и другие.

Следующее испытание двигателя в составе ступени РН “Зенит” в третьей декаде декабря 1984 г. прошло также удачно. Предстоял следующий этап работы – летно-конструкторские испытания.

Итак, с начала 1973 г. до начала 1985 г. прошла целая эпоха создания мощного ЖРД, выполнены все необходимые наземные испытания, в том чис-



Многоразовая ракетно-космическая система «Энергия – Буран». Космодром Байконур. Октябрь 1988 г.



Двигательная установка ракетно-космической системы «Энергия – Буран». Космодром Байконур. Октябрь 1988 г.

ле в составе первой ступени ракеты-носителя «Зенит».

13 апреля 1985 г. состоялся первый запуск РН «Зенит» с площадки № 45 космодрома Байконур. Ведущих специалистов представлял главный конструктор предприятия В.П. Радовский. Пуск прошел практически без замечаний к РД-171. Затем прошли более десятка лётно-конструкторских испытаний, и каждый раз все проходило успешно. В декабре 1987 г. ракетно-космический комплекс «Зенит» принят специальной Государственной комиссией в эксплуатацию. С этого момента

начались штатные пуски этой ракеты. Нельзя не упомянуть о двух авариях «по вине двигателя» в 1990-е гг. Однако компетентная комиссия установила однозначно причины аварии: они носили технологический характер, к конструкции замечаний не имелось, принятые меры гарантировано устраняли повторение дефекта, поэтому эти аварии не повлияли на требуемую надежность двигателя.

В мае 1987 г. и ноябре 1988 г. успешно выполнены два пуска РН «Энергия» с двигателями РД-170 (Земля и Все-

ленная, 1987, № 6; 1989, № 1, с. 3–5; 1989, № 2).

Итак, в период с 1974 г. по 1987 г. создан уникальный ракетный двигатель для ракет-носителей “Зенит” и “Энергия”. В двигателе применено значительное количество новшеств: два газогенератора и качание камер сгорания в сильфонных узлах, нагруженных высокотемпературным окислительным газом.

Разработка этих двигателей стала качественно новым шагом в создании ЖРД. Самый мощный в мире четырехкамерный ЖРД РД-170 массой 9750 кг и диаметром каждого сопла 3,6 м обладает наивысшим уровнем параметров и характеристик для двигателей данного класса: тяга – 740 тс на уровне моря и 806 тс (!) в пустоте, удельный импульс – 309 с на уровне моря и 337 с – в пустоте; давление в камере сгорания – 250 атм (!), энергомассовое совершенство (отношение тяга/вес) – 82, время работы – 150 с. На четырех боковых блоках первой ступени РН “Энергия” установлены двигатели РД-170, предназначенные для многократного использования и возврата на Землю с помощью парашютов. В 1990 г. двигатель РД-170 сертифицирован на четырехкратное использование, в 1992 г. – на десятикратное.

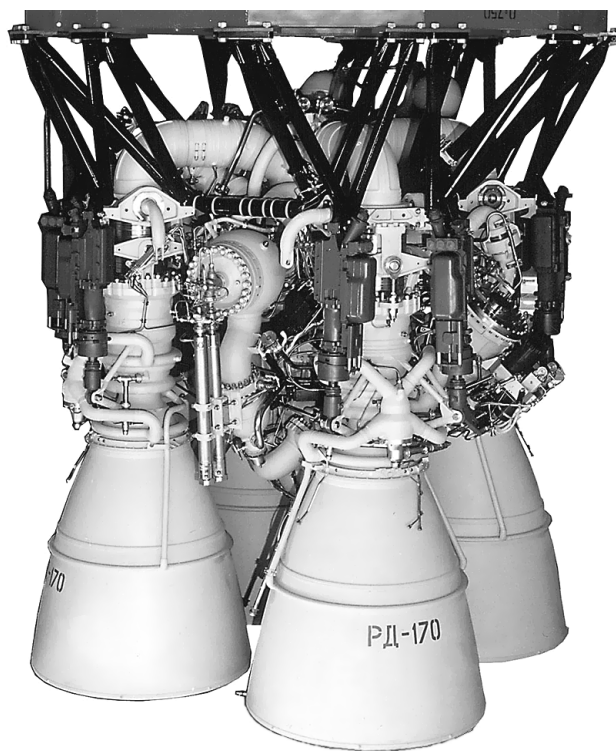
Один из экземпляров двигателя испытан на огневом стенде до 20 раз. Двигатель характеризуется высокой надежностью функционирования, контролем работы систем, пригодностью для ремонта и имеет большой запас по ресурсу (не менее пяти), то есть после последнего полетного использования двигатель все еще имеет гарантированный ресурс для дополнительного пятикратного использования. Управление вектором тяги двигателя осуществляется благодаря созданию уникального сильфонного узла качания камер, работающего в зоне высокотемпературного газового потока. Двигатели прошли более тысячи огневых ис-

пытаний общей продолжительностью свыше 100 тыс. с.

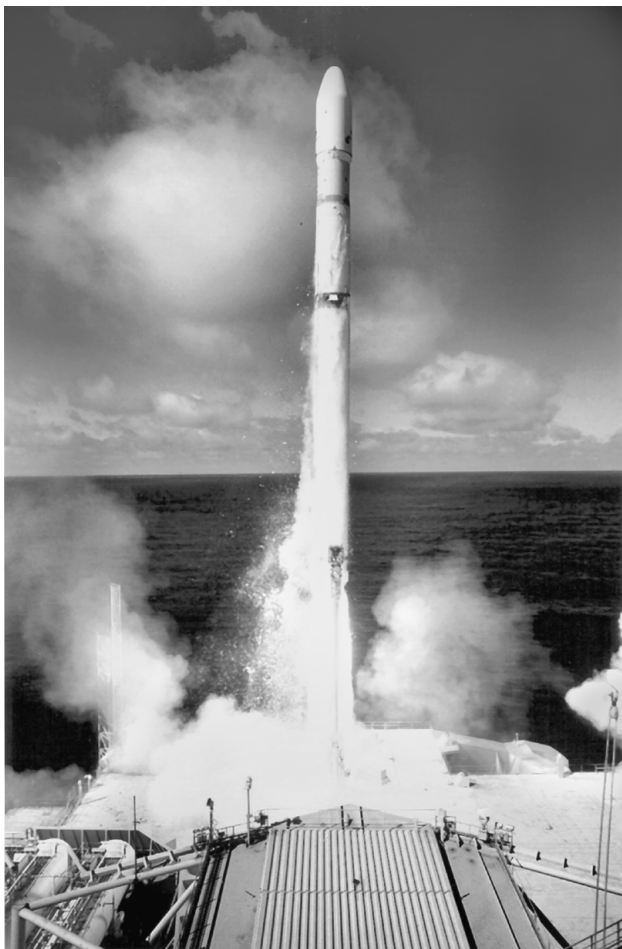
За создание двигателей РД-170 и РД-171 (отличаются лишь системой управления вектором тяги – качание камер в одной или в двух плоскостях) его ведущий конструктор доктор технических наук М.Р. Гнесин, главный инженер опытного завода доктор технических наук Г.Г. Деркач и начальник отдела летных испытаний Д.Е. Астахов удостоены звания лауреатов Ленинской премии. Большая группа работников КБ, опытного завода и испытателей получила государственные награды.

В процессе разработки этих двигателей созданы уникальные стенды, обеспечивающие доводку агрегатов и двигателя в целом.

Позвольте привести несколько сравнений. Стенд для испытаний насосов позволяет работать при расходе более тонны воды в секунду и давлении в несколько сотен атмосфер; мощность его силовой установки составляет



Четырехкамерный ракетный двигатель РД-170.



Старт РН "Зенит" с плавучей платформы в Тихом океане по программе "Морской старт". 2000-е гг.

68 тыс. (!) л.с., мощность турбины – 250 тыс. (!) л. с. Для сравнения: силовая атомная установка ледокола "Ленин" обладает мощностью 44 тыс. л.с. Известно, что мощность силовой установки одного из самых больших американских авианосцев "Интерпрайз" длиной около 300 м (несет около ста боевых самолетов) составляет 220 тыс. л.с. В то время как двигатель РД-170 можно уместить в кубе с гранью, равной 4 м (!).

Эксплуатация универсальной сверхтяжелой РН "Энергия" прекратилась с развалом СССР, и программу пришлось закрыть. Но эксплуатация двигателей РД-171 продолжилась на РН "Зенит", которые запускались с космо-

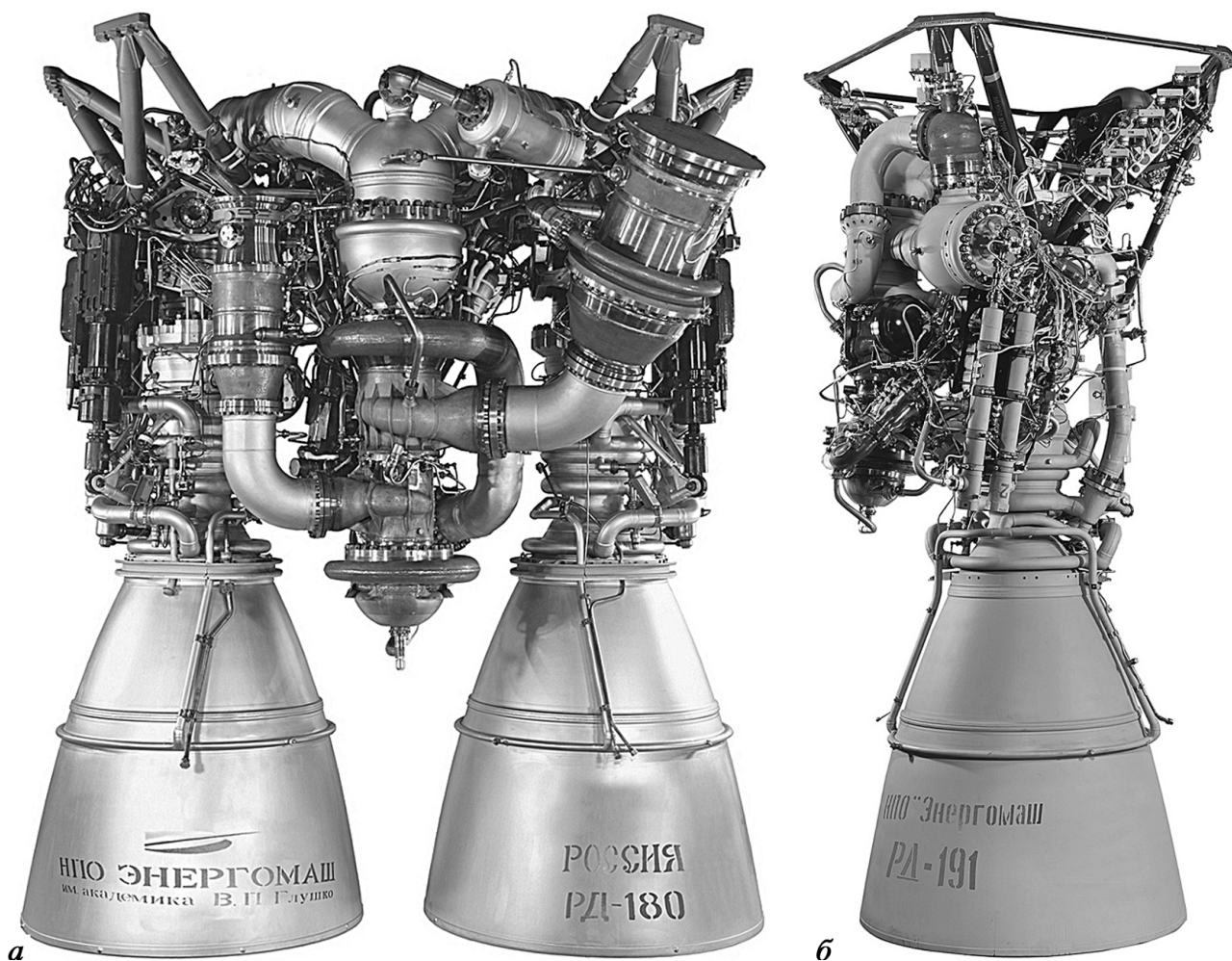
дрома Байконур, а затем пришел черед программы "Морской старт".

Первый пуск РН "Зенит-3SL" с двигателем РД-171 по программе "Морской старт" состоялся 28 марта 1998 г. Работы по модернизации двигателя РД-171 проведены в 2003–2004 гг. Сертификация двигателя РД-171М завершена 5 июля 2004 г. Первый пуск РН "Зенит-3SL" с РД-171М выполнен в феврале 2006 г.

Серийное производство двигателя РД-171М осуществлялось в НПО "Энергомаш" им. академика В.П. Глушко в Химках. В 2014 г. производство РН "Зенит" в Производственном объединении "Южмаш" (Днепропетровск) прекращено, соответственно приостановлено и производство РД-171М.

Но нам представляется, что этот двигатель имеет безграничную перспективу и в текущем тысячелетии. Существуют проекты российской сверхтяжелой ракеты-носителя, рассчитанной на вывод груза массой 135 т на низкую околоземную орбиту, на которой могут быть установлены двигатели РД-170/171. Мы надеемся, что придет время и эти проекты будут реализованы, а наши двигатели будут снова востребованы.

На базе двигателей РД-170 и РД-171 в НПО "Энергомаш" создано семейство кислородно-керосиновых двигателей: двухкамерный РД-180 (тяга в пустоте – 423 тс, удельный импульс в вакууме – 337 с, время работы – 270 с) и однокамерные РД-191, РД-181 (тяга в пустоте – 212,6 тс, удельный импульс в вакууме – 337 с, время работы – 270 с). Двигатели РД-180 уже более 60 раз успешно работали в составе американских РН семейства "Атлас", двигатели РД-191 дебютировали в двух пусках РН "Ангара 1.2" и "Ангара 5" в 2014 г. (Земля и Вселенная, 2014, № 6, с. 106–107; 2015, № 3, с. 86–87); первые два двигателя РД-181 поставлены в США для РН "Антарес". В этом семействе существуют и проекты новых модификаций: в частности, РД-175 для перспектив-



Семейство кислородно-керосиновых двигателей, созданных на основе РД-170: а) РД-180 для американской РН “Атлас-5”, б) РД-191 для российских ракет-носителей “Ангара”.

ных сверхтяжелых ракет-носителей, РД-195 – для многоразовых носителей, РД-193 – для модификаций РН “Союз”.

НПО “Энергомаш” и сегодня остается мировым лидером в области создания и изготовления мощных жидкостных ракетных двигателей. Предприятие поддерживает и укрепляет традиции, заложенные основателем и руководителем предприятия академиком Валентином Петровичем Глушко – основопо-

ложником отечественного жидкостного ракетного двигателестроения и его последующими приемниками на должности главного конструктора предприятия членом-корреспондентом РАН Виталием Петровичем Радовским, академиком РАН Борисом Ивановичем Каторгиным и доктором технических наук Владимиром Константиновичем Чвановым.