

Движущая сила "Сатаны"

В середине шестидесятых годов после принятия на вооружение королевской Р-9, челомеевской УР-100, янгелевской Р-36 ракетно-ядерный потенциал СССР существенно вырос, можно было переходить к количественному наращиванию принятых на вооружение боевых ракетных комплексов. Но такое ответственное дело, как создание ракетного вооружения, не терпит остановки, топтания на месте. Это отчетливо понимали в конструкторских бюро Янгеля и Челомея, ставших к этому времени практически единственными организациями в СССР по разработке стратегических межконтинентальных ракет, так как после сдачи на вооружение в 1965 году ракеты Р-9 и в 1968 году твердотопливной РТ-2 ОКБ Королева полностью переключилось на космическую тематику.

По сложившейся практике деятельности ракетных ОКБ, еще задолго до окончания работы над очередным боевым ракетным комплексом в проектных подразделениях начиналась работа над следующим, отвечающим новым тактико-техническим требованиям заказчика. На этот раз ОКБ Янгеля и ОКБ Челомея совместно с ведущими НИИ МОМ и МО разработали собственные концепции путей дальнейшего развития стратегического ракетного вооружения и подготовили проекты новых БРК.

Поскольку межконтинентальные баллистические ракеты являлись основой стратегии, обороны страны, вопрос о путях дальнейшего развития этого вида вооружений был вынесен на заседание Совета Оборона. Именно этот орган заслушал в августе 1969 года предложения Челомея и Янгеля. Подводились итоги необъявленного конкурса по перспективам боевого ракетостроения между двумя ведущими в СССР ракетными ОКБ.

Концепция Челомея основывалась на необходимости иметь на боевом дежурстве большое количество относительно дешевых в изготовлении и простых в эксплуатации ракет среднего класса УР-100Н. Главный мотив — количество через дешевизну, которая обеспечивается простотой конструкции ракеты и пусковой установки. Эффективность такого подхода объяснялась тем, что в этом случае вероятный противник при нанесении опережающего удара не сможет подавить многочисленные пусковые ракетные установки (шахты), а при ответном массированном ударе противоракетная оборона противника не справится с обрушившимися на нее многочисленными боеголовками. При кажущейся внешней простоте концепция Челомея имела глубокую проработку с учетом военной доктрины вероятного противника и экономического положения СССР.

Концепция Янгеля содержала три "ударных" фактора: создание ракеты, обладающей более совершенными по сравнению с ракетой Р-36 характеристиками, в том числе устойчивостью к поражающим факторам ядерного взрыва; обеспечение повышенной защищенности пусковой ракетной установки; дальнейшее повышение боеготовности всего ракетного комплекса, включая "минометный" старт ракеты из транспортно-пускового контейнера. Янгель предложил создать два новых БРК: ракеты тяжелого класса Р-36М и среднего класса МР-УР-100, причем обе ракеты имели высокую степень унификации, что позволило бы существенно сократить сроки и средства на их разработку. Достоинством этих ракет являлось также гарантированное боевое дежурство без технического обслуживания. В своей концепции развития ракетного вооружения Янгель не оставил без внимания и экономический фактор. С учетом того, что ракеты Р-36М и МР-УР-100 должны решать

различные боевые задачи и что ракета Р-36М была существенно дороже, предлагалось изготавливать их в меньшем количестве, чем МР-УР-100.

В последующей за докладами дискуссии концепцию Янгеля поддержали президент АН СССР М.В.Келдыш, директор ЦНИИМаш Ю.А.Мозжорин, главные конструкторы ракетных систем. В своих выступлениях они подчеркнули, что Янгель предлагает разработку ракет нового поколения, создание которых открывает широкие перспективы для дальнейшего развития проектных работ и углубленных научных исследований, и что, кроме роста оборонного потенциала, разработка ракеты Р-36М укрепляет статус СССР как великой державы. В предложении Челомея они отметили количественное наращивание военной мощи и обеспечение долговременной загрузки промышленных предприятий ракетной и смежных с ней отраслей промышленности. Проект Челомея был поддержан авторитетной Военно-промышленной комиссией (ВПК) при Совете Министров СССР и представителями института Министерства обороны. Министр обороны А.А.Гречко и министр общего машиностроения С.А.Афанасьев, отдававшие до обсуждения на Совете Обороны предпочтение проекту Челомея, в своих выступлениях отметили достоинства обоих проектов и высказались за более глубокое изучение высказанных предложений представителями науки.

Подводя итоги докладам и дискуссии, председатель Совета Обороны Л.И.Брежнев высказался в пользу проекта Р-36М, а по ракетам МР-УР-100 и УР-100Н предложил продолжить работы на конкурсной основе. Это решение было закреплено постановлением ЦК КПСС и Совета Министров СССР от 2 сентября 1969 года, получившим дальнейшее развитие в решениях ВПК при Совете Министров СССР от 3 ноября 1969 года и от 21 октября 1970 года.

Пожалуй, впервые в области ракетостроения был объявлен открытый конкурс. И можно сразу сказать, что в итоге оба проекта были признаны победителями. Надо отдать должное обоим ОКБ — их разработки оказались настолько совершенными и благодаря некоторым отличиям в тактико-технических характеристиках так удачно дополняли одна другую, что обе ракеты были приняты межведомственными комиссиями и переданы в производство. Немаловажным обстоятельством для такого решения явилась необходимость равномерного размещения заказов на заводах отрасли. В этом проявилась одна из основных черт социалистической экономики, планирующей загрузку всех имеющихся мощностей промышленности.

На Совете Обороны происходила не только борьба концепций дальнейшего развития боевого ракетостроения, это была борьба двух ракетных ОКБ за получение заказа на разработку и производство ракет по своему проекту. А это уже касалось и двигателей, так как по сложившейся ранее кооперации на ракеты Янгеля двигатели разрабатывались в ОКБ Глушко, а для ракет Челомея — в воронежском КБХА, в котором после смерти в 1965 году С.А.Косберга главным конструктором был назначен его заместитель А.Д.Конопатов. Так было до середины шестидесятых годов.

Однако на стадии проектно-конструкторских проработок новых ракет в КБ "Южное" его главный конструктор сделал неожиданный ход. Началось все в духе следования традициям, сложившимся при разработке ракет Р-16 и Р-36. Проектировщики скомпоновали первую ступень ракеты Р-36М в составе шести однокамерных двигателей, а вторую ступень — из одного однокамерного двигателя, максимально унифицированного с двигателем первой ступени — отличия были только в высотном сопле камеры. Все как и прежде, но... Но к разработке двигателя для Р-36М Янгель решил привлечь КБХА Конопатова.

В чем же причины столь неожиданного для КБ Энергомаш поворота многолетнего партнера — головного разработчика? Отчетливо просматриваются по крайней мере две причины. Первая, официальная: КБ Энергомаш увязло в разработке двигателя по схеме "газ—газ" для ракеты УР-700 ОКБ Челомея. И вторая, неофициальная: Янгель с плохо скрываемым неудовольствием отнесся к альянсу Глушко со своим главным конкурентом Челомеем, в разработке сначала двигателя для "пятисотки", а затем и для УР-700.

Что можно сказать по данной ситуации? С морально-этической стороны претензии Янгеля к Глушко вроде бы имели право быть. А если стать на позицию Глушко, положение выглядит иначе. Разработчики ракетных систем, каковыми и являются двигателисты, находятся в положении "невесты на выданье в ожидании сватов", т.е. зависят от приглашения ракетчиков в партнеры. И если будешь перебирать, то останешься без работы. А свои интересы всегда ближе. Это тоже из области, примыкающей к этической оценке поведения. Попробуем объективно рассмотреть производственную сторону этого вопроса. Благодаря заказу на разработку двигателя для "пятисотки", во-первых, была модернизирована производственно-стендовая база опытного завода в Химках и, во-вторых, КБ Энергомаш получило неоценимый опыт создания мощных двигателей, работающих по схеме "газ—жидкость". Новые конструкторские решения, современные технологии, усовершенствованная методика доводки ЖРД, модернизированные стенды и обновленное технологическое оборудование — все это мог КБ Энергомаш положить на чашу весов, предлагая свое участие в разработке комплексов Р-36М и МР-УР-100. А что на другой чаше? Уязвленное самолюбие главного конструктора? Это тоже немало, но серьезные дела так не решаются.

Глушко предложил для первой ступени ракеты Р-36М четыре однокамерных двигателя, работающих по схеме с дожиганием окислительного генераторного газа, каждый тягой по 100 тс, давление в камере сгорания 200 атм, удельный импульс тяги у земли 293 кгс-с/кг, управление вектором тяги путем отклонения двигателя. По классификации КБ Энергомаш двигатель получил обозначение РД-264 (четыре двигателя РД-263 на общей раме). Для ракеты МР-УР-100 был предложен двигатель РД-268, являющийся форсированным по тяге вариантом двигателя РД-263: тяга у земли — 117 тс, давление в камере сгорания — 230 атм, удельный импульс тяги у земли 296 кгс-с/кг. Предложения Глушко были приняты, КБХА была поручена разработка двигателя второй ступени для Р-36М. Двигатель второй ступени для МР-УР-100 взялось разрабатывать КБ-4 И.И.Иванова, входящее в состав КБ "Южное".

На выбор двигателей в пользу КБ Энергомаш оказало влияние позиция днепропетровского "Южмаша", производственные службы которого привыкли к техническому почерку химкинских конструкторов, к требованиям их документации, да и разработка двигателей в КБ Энергомаш гарантировала передачу их в серийное производство на "Южмаш". Хотя отношения В.П.Глушко и директора "Южмаша" А.М.Макарова никогда не были доброприятельскими, но когда вопрос касался загрузки завода, его перспектив и благополучия — все личное отходило на задний план. Макаров высказался за двигатели Глушко. А двигатель разработки КБХА так и не попал в производство "Южмаша".

Что еще характерно для этой истории? Натянутые отношения между Янгелем и Глушко оказали влияние только на высшее руководящее звено КБ "Южное", а на уровне среднего и рядового инженерного состава этот холодок в отношениях был воспринят с неудовольствием. Старые крепкие связи, которые установились между КБ Энергомаш и КБ "Южное" за многие годы совместной плодотворной работы, к

всеобщему удовлетворению не были разрушены. И на Совет Обороны Янгель вышел с проектом новых ракет в партнерстве с Глушко, чей авторитет также работал в пользу разработок КБ "Южное".

Придавая огромное значение разработке новых двигателей, Глушко решил освободить основные конструкторские отделы от работ по двигателям, находящимся в производстве на серийных заводах. В шестидесятые годы двигатели разработки КБ Энергомаш изготавливались в Куйбышеве, Перми, Красноярске, Омске и Днепропетровске. Производство модернизированных вариантов двигателей РД-107 и РД-108 на куйбышевском заводе обеспечивалось Приволжским филиалом, двигатель РД-253 изготавливался под надзором Камского филиала, двигатели РД-119 и РД-216 изготавливались на "Красмаше", при этом в 1967 году силами Красноярского филиала началась модернизация двигателя РД-216 для космической ракеты "Космос". Коллективы филиалов обладали достаточным опытом, их начальники имели статус заместителей главного конструктора КБ Энергомаш и решали практически все технические вопросы, возникающие в серийном производстве, самостоятельно. Этому способствовало то обстоятельство, что комплекты конструкторской документации на изготавливаемые двигатели были переданы в филиалы, т.е. филиалы являлись так называемыми калькодержателями с правом внесения в чертежи и технические условия (ТУ) технических изменений. Консультации по отдельным вопросам с конструкторами—разработчиками двигателей не отнимали у последних много времени. Несколько по-другому строилась работа с днепропетровским "Южмашем". На этом заводе у КБ Энергомаш не было филиала, эту роль выполняло двигательное КБ в составе КБ "Южное", главному конструктору которого И.И.Иванову была дана доверенность от Глушко на решение текущих производственных вопросов. Но окончательные решения по изменению конструкторской документации или по относительно серьезным отступлениям от нее в производстве принимались конструкторами КБ Энергомаш. Кроме обычного текущего сопровождения по изготовлению двигателей РД-251 и РД-252, в 1968 году в КБ Энергомаш велись еще работы по переработке комплекта документации на эти двигатели в плане их изготовления без огневых контрольно-технологических испытаний, а также была начата разработка конструкторской документации по применению этих же двигателей в составе ракеты-носителя "Циклон".

В 1968 году Министерство общего машиностроения приняло ряд организационных решений. В связи с окончанием серийного изготовления двигателей РД-218 и РД-219 на Моторостроительном заводе им. П.И.Баранова был ликвидирован Омский филиал КБ Энергомаш. С целью специализации красноярского "Красмаша" по производству ракет морского базирования было принято решение передать изготовление двигателей РД-119 на завод Энергомаш в Химки, разработку двигателя РД-216М — в КБ Энергомаш, а его изготовление — на "Южмаш". Исходя из сложившейся обстановки Глушко в июне 1968 года принял решение создать в КБ серийный конструкторский отдел, передав в его ведение проведение всех работ, связанных с днепропетровским заводом. В состав отдела были включены конструкторы, имевшие опыт ведения серийного производства на "Южмаше".

Освободившись от рутинной работы, конструкторские отделы в короткие сроки разработали эскизные проекты по новым двигателям. Эскизный проект двигателя РД-264 для ракеты Р-36М вышел в свет в 1969 году, а двигателя РД-268 для ракеты МР-УР-100 — в 1970 году.

Конструкция двигателей впитала в себя все лучшие достижения конструкторской

мысли и новые технологические возможности, полученные при проектировании и изготовлении двигателей РД-253 и РД-270. Так что разработка двигателей для Челомея, вызвавшая негативную реакцию у Янгеля, обернулась солидными плюсами в двигателях, разрабатываемых для КБ "Южное".

Одновременная разработка двух двигателей, близких по своим характеристикам и условиям работы, позволила вновь вернуться к старому, хорошо освоенному принципу модульности. Двигатель РД-268 разрабатывался как форсированный по тяге за счет давления в камере сгорания модульного двигателя РД-263. Действительно, эти параметры у двигателей составляли 117 тс и 100 тс, 230 атм и 200 атм. Безусловно, у этих двигателей были конструктивные отличия, но в целом конструкция двигателя, его агрегаты, примененные материалы и используемые технологические процессы были в большой степени унифицированы. К конструктивным особенностям двигателя РД-264 следует отнести разработку агрегатов наддува баков окислителя и горючего, состоящих из окислительного или восстановительного низкотемпературных газогенераторов, корректоров расхода и отсечных клапанов. Кроме того, этот двигатель имел возможность отклонения от оси ракеты на 7 градусов для управления вектором тяги, в то время как двигатель РД-268 крепился к ракете неподвижно.

При разработке конструкции камеры был широко использован научно-технический задел, полученный при проектировании и отработке камер двигателей РД-253 и РД-270. Возможность моделирования газожидкостного смесеобразования значительно уменьшило число вариантов смесительной головки, проверяемых непосредственно в составе двигателя. Для обеспечения надежного охлаждения корпуса камеры и сопла были использованы хорошо проверенные меры: теплозащитное керамическое покрытие и пояса внутреннего охлаждения. Отработка характеристик рабочего процесса в камере сгорания не вызвала каких-либо дополнительных трудностей.

Опыт отработки двухзонного газогенератора на двигателе РД-253 показал, что наибольшие сложности были связаны с организацией ввода окислителя во вторую зону. И вообще, наличие металлоконструкции в потоке горячего окислительного газа по своему изначальному положению снижает надежность газогенератора. Исходя из этих соображений при проектировании газогенератора для двигателей РД-263 и РД-268 была поставлена задача выполнить его в однозонном варианте. Эта задача была успешно решена. Устойчивость процесса горения в газогенераторе была обеспечена двухъярусной подачей компонентов топлива через однокомпонентные центробежные и струйно-центробежные форсунки, установленные по сотовой схеме, и применением ячеистой конструкции внутреннего днища. Отсутствие первой "горячей" зоны позволило исключить керамическое покрытие цилиндрической стенки газогенератора.

Особенностью конструкции ТНА явились стальные корпуса насосов, выполненные литьем. Это было впервые в практике КБ Энергомаш, до этих двигателей корпуса насосов изготавливались из алюминиевого сплава. Применение стали было обусловлено высоким уровнем давления, создаваемого насосами: по окислителю более 500 атм, по горючему более 600 атм. Кроме того, для улучшения антикавитационных характеристик насосов дополнительно к уже традиционным входным шнекам были установлены струйные преднасосы. Это позволило снизить давление наддува баков ракеты и соответственно их массу.

Управление запуском и остановом двигателя построено на применении пирогидравлической автоматики, что является наиболее оптимальным решением.

Выбранный тип автоматики не требует обслуживания при нахождении двигателей в составе ракет. Периодические проверки сводятся только к контролю целостности электроцепей и могут проводиться в автоматическом режиме, занимая минимальное время.

Особое место в разработке двигателя заняла отработка запуска в условиях минометного старта ракеты. До этого все двигатели первых ступеней запускались в статических условиях, двигатели вторых ступеней при тандемной схеме ракеты запускались в условиях положительного ускорения движения ракеты. Обеспечение надежного запуска двигателя при минометном старте ракеты было новой и сложной задачей. При выборе схемы и циклограммы запуска столкнулись с тем, что процессы заполнения жидкостных магистралей двигателя и воспламенения в газогенераторе и в камере должны проходить в условиях кратковременной невесомости. Эти процессы ранее не были изучены, а имитировать невесомость в условиях огневого стенда не представлялось возможным. Для выхода из этого положения было признано целесообразным создать при запуске двигателя такие условия, при которых невесомость не оказывала бы влияния на процессы заполнения магистралей и воспламенения при запуске двигателя в натуральных условиях и запуск в условиях стенда не искажался бы. Эти соображения, а также необходимость обеспечения минимальной разновременности запуска двигателей РД-263 в составе ступени РД-264 привели к разработке специального пускового устройства. Такой запуск был успешно отработан на стенде.

Первые огневые испытания двигателей РД-263 на стенде начались в апреле 1970 года, а уже в 1971 году конструкторскую документацию начали передавать на "Южмаш" для подготовки серийного производства и разработки технологии. Работа по передаче документации и оказанию технической помощи в освоении нового двигателя была поручена серийному конструкторскому отделу. Она была организована по уже проверенному и хорошо себя зарекомендовавшему методу комплексных бригад из ведущих работников конструкторских отделов и технологов опытного завода Энергомаш.

Хороший производственный потенциал "Южмаша" и высокая технологичность конструкции двигателя РД-263 позволили в короткий срок освоить изготовление нового двигателя. Но замкнутого технологического цикла изготовления двигателей РД-263 на "Южмаше" сразу не получилось — отставала стендовая база, реконструкция которой несколько затянулась. В связи с этим испытания установочной партии двигателей, подтверждающие освоенность технологии изготовления нового двигателя перед товарными поставками, проводились на огневом стенде КБ Энергомаш.

Испытания проводились в декабре 1972 — январе 1973 годов и прошли успешно. Дорога к изготовлению двигателей на серийном заводе была открыта: контрольно-выборочные испытания (КВИ) от первого серийного комплекта двигателей изготовления "Южмаша" были проведены на стенде в Химках в мае 1973 года. С проведением установочных испытаний связана одна интересная деталь: с командировки в Химки началась трудовая биография молодого специалиста, недавнего выпускника Днепропетровского государственного университета Ю.С.Алексеева, нынешнего генерального директора "Южмаша", сменившего на этой должности в октябре 1992 года Л.Д.Кучму, ставшего сначала премьер-министром, а затем президентом Украины.

Стендовая отработка двигателя завершилась проведением межведомственных

огневых испытаний, по результатам которых комиссия в сентябре 1972 года рекомендовала двигатели к проведению ЛКИ.

В ходе летных испытаний ракеты Р-36М выявилась необходимость форсирования двигателя на 5%, что было успешно реализовано за счет запасов работоспособности двигателя путем повышения давления в камере сгорания с 200 до 210 атм и небольших конструкторских изменений. Летные испытания двигателей прошли успешно, причем при ЛКИ использовались двигатели, изготовленные на двух заводах — химкинском и днепропетровском.

Вместе с тем, анализ технологии изготовления пусковых устройств, оценка вероятности появления недопустимой негерметичности в условиях ампулизированной ракеты, когда в течение длительного периода времени исключается контроль и ремонт или замена вышедшего из строя агрегата, показали необходимость организации запуска на более простых и надежных основах.

Расчетно-экспериментальные исследования, проведенные в процессе стендовой отработки двигателей, показали принципиальную возможность и в условиях минометного старта применить конструкторские и схемные решения запуска "самотеком", успешно использованные при разработке двигателя РД-253. (Еще один плюс для ракеты Янгеля из опыта разработки двигателя для Челомея! К великому сожалению, М.К.Янгель уже не мог это оценить должным образом — в октябре 1971 года в день своего шестидесятилетия он скоропостижно скончался.)

Расчеты показали, что хотя невесомость в момент запуска исключает гидростатическое давление столбов жидкости, но давление наддува при условии принятия дополнительных мер по гидравлическим магистралям двигателя, обеспечивающих более раннее поступление горючего в газогенератор, оказывается достаточным для надежного запуска. С этой целью в гидравлику двигателя были внесены коррективы, обеспечившие гарантированный запас располагаемой мощности турбины в период ее раскрутки, и запуск «самотеком» был обеспечен. Результаты стендовых испытаний с новым запуском были обобщены, проанализированы и завершились выпуском в марте 1973 года "Обоснования возможности запуска двигателей РД-263 и РД-268 без пускового устройства".

Стендовая отработка была завершена в сентябре 1973 года проведением межведомственных испытаний четырех экземпляров форсированного варианта двигателей без пускового устройства.

Внедрение новой схемы запуска произошло на 28-м комплекте двигателей, изготовленных на заводе в Химках, и на 16-м комплекте двигателей, изготовленных на днепропетровском заводе.

Летные испытания ракет Р-36М с модернизированными двигателями были продолжены. И здесь реализовалось правило — "лучшее — враг хорошего". В декабре 1974 года летное испытание ракеты с двигателем без пускового устройства закончилось аварийно из-за дефектов камеры, возникших вследствие развитых высокочастотных колебаний давления в камере на режиме запуска. Этот же дефект проявился в январе 1976 года при проведении контрольно-выборочного испытания на стенде "Южмаша". Анализ показал, что все случаи высокочастотной неустойчивости произошли на двигателях с запуском без пускового устройства при летных или стендовых испытаниях при вертикальном положении двигателя. Надо сказать, что ландшафт химкинской испытательной базы не позволяет испытывать двигатели в вертикальном положении, поэтому вся экспериментальная отработка была

проведена при наклонном — 16° к горизонту — положении двигателя. Специальными проливками камер в наклонном и вертикальном положениях была установлена разница в поступлении горючего к форсункам на запуске двигателя. Благодаря принятым конструктивным мерам эти различия были устранены: гидравлика вертикально расположенной камеры была приближена к гидравлике наклонной. Эффективность введенных мероприятий была подтверждена огневыми испытаниями экспериментальных двигателей, и камеры измененной конструкции были внедрены в серийное производство двигателей РД-263.

В сентябре 1976 года Межведомственная комиссия рассмотрела состояние отработки конструкторской и технологической документации по двигателям РД-263 и РД-264 с агрегатами наддува и согласовала их. В том же году БРК Р-36М был принят на вооружение.

Однако в феврале 1977 года при контрольном пуске ракеты Р-36М и в июне 1977 года при КВИ на стенде "Южмаш" снова возникли развитые высокочастотные колебания в камере при запуске.

Вот как бывает в двигателестроении: причину нашли, меры приняли, экспериментально подтвердили их эффективность — и все начинается вновь. А внедренные мероприятия имели хорошую родословную — именно так была устранена неустойчивость в камерах при запуске двигателей РД-250 и РД-216М. Устранена надежно, тому подтверждением статистика сотен запусков этих двигателей на стенде и в составе ракет. Так что каждый двигатель имеет свой "характер" и требует индивидуального подхода.

Опять были подключены отраслевые институты НИИТП и НИИХМ, опять последовали предложения по доработке конструкции со ссылкой на опыт других двигательных КБ. Но все это требовало длительной экспериментальной проверки. А заводы стоять не могли, шло перевооружение Ракетных войск стратегического назначения. Обстановка накалялась. Требовались конструкторское решение, которое могло быть быстро проверено при автономных испытаниях, методика, позволявшая проверить эффективность мер на ограниченном числе двигателей, новая конструкция должна была быть высокотехнологичной для быстрого освоения на серийном заводе, а также обеспечивать доработку уже собранных двигателей... Казалось невозможным выполнить одновременно все эти условия. Предлагалось даже вернуться к запуску с пусковым устройством, было подготовлено решение об изготовлении оснастки и восстановлении технологии изготовления. Но именно в таких экстремальных условиях приходят озарения.

Конструкторы КБ Энергомаш разработали конструкцию перегородок из пластмассы, которые крепятся к форсункам камеры собранного двигателя и разделяют полость горения на локальные объемы. Благодаря оригинальному креплению и физико-механическим свойствам материала эти перегородки существуют в камере в период запуска, т.е. именно в то время, когда возникают высокочастотные колебания. Через 1,5 — 2с перегородки выбрасываются потоком газа из камеры, не нанося ей повреждений.

Отработка крепления и определение времени существования перегородок были проведены при автономных модельных испытаниях с использованием парогАЗа и имитатора смесительной головки. Эффективность влияния перегородок на процессы неустойчивого горения была исследована в НИИТП на полноразмерной модели камеры двигателя РД-263. В результате было установлено, что наличие перегородок

существенно снижает резонансные свойства камеры, при этом были определены оптимальная высота перегородок и схема их установки.

Для аттестации эффективности антипульсационных перегородок в составе работающего двигателя было предложено использовать разработанную сотрудниками НИИХМ методику, позволяющую получить достоверные результаты при ограниченном числе испытаний двигателей. Суть методики заключалась в импульсном возбуждении процесса горения от постороннего источника — возбуждающего устройства, разработанного в НИИХМ совместно с ИХФ АН СССР. В качестве критерия оценки эффективности антипульсационных перегородок был использован декремент затухания начальной амплитуды искусственного импульса.

Проверка эффективности антипульсационных перегородок проводилась параллельно на двигателях РД-263 на стенде "Южмаш" и на двигателях РД-268 на стенде пермского завода. Сравнительные испытания двигателей с импульсным возбуждением процесса горения в камере с антипульсационными перегородками и без них показали высокую эффективность предложенного варианта устранения высокочастотных колебаний в камере в период запуска. Полученные результаты были подтверждены при проведении контрольно-выборочных и специальных проверочных стендовых испытаний двигателей РД-263 и РД-268 с антипульсационными перегородками. Все работы были проведены с апреля по ноябрь, итогом стал выход в декабре 1977 года совместного решения промышленности и заказывающего управления Министерства обороны о внедрении перегородок в камеры двигателей РД-263 и РД-268, а также о доработке двигателей, не установленных в транспортно-пусковые контейнеры.

Устранение высокочастотных колебаний при запуске двигателей РД-263 стало последним вмешательством в конструкцию двигателей на стадии их серийного изготовления. Эти двигатели стали одними из самых надежных, используемых на ракетах боевого назначения. Надо отметить, что двигатели РД-263 впервые в практике КБ Энергомаш были разработаны без обязательного проведения контрольно-технологических испытаний (КТИ) перед установкой их в ракеты. Для аттестации качества и стабильности изготовления проводились КВИ одного двигателя от комплекта в пять двигателей, т.е. результаты огневого испытания одного двигателя подтверждали пригодность четырех остальных, устанавливаемых в ракету. Впоследствии, когда надежность и стабильность качества изготовления серийных двигателей достигла определенного уровня, было принято решение об увеличении размеров партии двигателей, защищаемой КВИ, вначале до девяти, а через некоторое время и до тринадцати двигателей, т.е. результаты стендового испытания одного двигателя аттестовали двигатели, устанавливаемые в три ракеты. Для исторической точности необходимо отметить, что в практике КБ Энергомаш были случаи поставки двигателей без КТИ: в 1964 году после проведения специальных работ и ужесточения требований конструкторской документации двигателя РД-214, изготавливаемые на пермском заводе им. Я.М.Свердлова, стали устанавливаться в ракеты Р-12 и "Космос", аттестованные только по результатам КВИ от партии в 21 двигатель. Такое же решение после проведения соответствующих работ и введения дополнительных контрольных операций было принято в августе 1989 года и по двигателям РД-216М, устанавливаемым в ракеты типа "Космос", используемые для отработки различных новых ракетных систем.

Параллельно с разработкой РД-263, но с некоторым сдвигом начала работ велась разработка двигателя РД-268. Так, первое огневое испытание этого двигателя было проведено в марте 1971 года. В дальнейшем все основные конструктивные

изменения, проводившиеся на двигателях РД-263, реализовались и в конструкции двигателя РД-268: также было ликвидировано пусковое устройство, также проводились исследовательские работы по проверке эффективности антипульсационных перегородок, после чего они были внедрены в конструкцию. Это было мероприятие "на всякий случай", так как высокочастотные колебания давления в камере при запуске двигателей РД-268 не проявлялись ни разу: ни при наклонном положении двигателя при испытаниях на стенде в Химках, ни при вертикальном положении при пусках ракет и испытаниях на стендовой базе пермского завода. Надо сказать, что в связи с переходом на разработку кислородно-керосиновых двигателей в КБ Энергомаш огневые стенды подверглись капитальной реконструкции, поэтому стендовые испытания двигателей РД-268 в августе 1975 года были переданы на стенд пермского завода, где испытывались двигатели РД-253 для "Протона". Последнее стендовое испытание РД-268 было проведено 19 августа 1980 года. Из двигателей, используемых в эксплуатации в составе ракет, РД-268 стал единственным, который от начала разработки до прекращения его производства изготавливался только на заводе Энергомаш, все остальные после отработки конструкции и технологии передавались для производства на серийные заводы.

В 1976 году КБ "Южное" приступило к разработке модифицированных вариантов БРК Р-36М и МР-УР-100, получивших наименование Р-36МУ и МР-УР-100У. Новые ракеты отличались от своих базовых вариантов боевым оснащением: наряду с моноблочными боеголовками на них устанавливались разделяющиеся головные части индивидуального наведения.

Достигнутый при разработке двигателей РД-263 и РД-268 уровень технических характеристик, включая стойкость к воздействию поражающих факторов ядерного взрыва (ПФЯВ), позволил использовать эти двигатели в модифицированных ракетах без каких-либо изменений. В связи с этим дополнительных ЛКИ двигателей не проводились.

Модифицированный вариант Р-36МУ по классификации НАТО получил обозначение SS-18 и звучное наименование "Satan" — "Сатана".

Завершая рассказ о разработке двигателей для ракет семейства "Сатана", следует сказать, что главный конструктор КБ Энергомаш В.П.Радовский (он сменил в мае 1974 года в этой должности В.П.Глушко, но об этом ниже) за их разработку был удостоен в 1976 года звания Героя Социалистического Труда, начальникам комплексов В.Г.Захарову и Ю.Н.Ткаченко было присвоено звание лауреатов Государственной премии, группа работников КБ и завода Энергомаш получила государственные награды.

Развертывание принятых на вооружение БРК нового поколения: Р-36М, Р-36МУ, МР-УР-100, МР-УР-ЮОУ, УР-100Н, УР-ЮОНУ создало новую военно-политическую обстановку в мире. Исходя из этого, СССР в семидесятых годах объявил о военно-политической концепции отказа от превентивного применения ядерного оружия, хотя США и блок НАТО продолжали открыто ориентироваться на нанесение первого ядерного удара по стратегическим центрам СССР. Более того, в США были развернуты работы в направлении дальнейшего совершенствования противоракетной обороны (ПРО), обеспечивающей перехват советских баллистических ракет на активном участке их полета, и создания "ядерного зонтика", противодействующего достижению боевыми ядерными боеголовками территории США. Советская сторона должна была искать ответ на брошенный ей военно-политический вызов. Здесь не место приводить все аспекты этого противодействия, остановимся только на одном

фрагменте, в котором КБ Энергомаш принимало непосредственное участие.

В сложившейся международной военно-политической обстановке КБ "Южное" под руководством академика В.Ф.Уткина выдвинуло в рамках стратегии сдерживания предложение разработать новый БРК, обладающий повышенной живучестью в условиях ядерного взрыва и имеющий технические возможности преодоления ПРО США. Этот БРК, получивший впоследствии наименование Р-36М2, предполагалось создать путем модернизации БРК Р-36МУ. Именно модернизации, так как только такой путь дальнейшего усовершенствования тяжелых стратегических ракет был разрешен в подписанном в 1979 году главами СССР и США международном договоре об ограничении стратегических вооружений. Хотя этот договор не был в то время ратифицирован Верховным Советом СССР, обе стороны выполняли взятые на себя обязательства.

Предложение модернизировать двигатель первой ступени ракеты Р-36МУ в части его форсирования по тяге и обеспечения стойкости при воздействии ПФЯВ повышенного уровня поступило в КБ Энергомаш в первой половине 1980 года. Это было самое тяжелое время в отработке кислородных двигателей РД-170 и РД-171 для первых ступеней ракет-носителей "Энергия" и "Зенит". Первая реакция главного конструктора КБ Энергомаш В.П.Радовского на это предложение — отказаться от участия в модернизации двигателей РД-264, так как практически все творческие силы КБ Энергомаш были заняты отработкой РД-170, РД-171 и РД-120 (вторая ступень РН "Зенит"). Однако коллектив серийного отдела под руководством заместителя главного конструктора по серийному производству В.Ф.Рахманина провел экспресс-исследование предстоящих работ, анализ имеющихся результатов испытаний двигателей РД-263 на форсированных режимах и составил перспективный план экспериментальной отработки, включавший обеспечение стойкости двигателя. Вооруженные этим планом и горячим желанием выполнить важную и интересную работу, энтузиасты сумели убедить своего главного конструктора поручить им модернизацию двигателя. В свою очередь они торжественно обязались не отвлекать основные отделы КБ от работы по кислородным двигателям. Было выдвинуто только одно условие — пополнить состав серийного отдела двумя-тремя специалистами по ядерной физике для проведения работ, связанных с обеспечением требований по стойкости двигателей. Все условия были приняты, и В.П.Радовский без видимого удовольствия подписал письмо в КБ "Южное" с согласием включить КБ "Энергомаш" в состав участников модернизации ракеты. Он уступил энергичному напору "серийщиков".

Дружный коллектив серийного отдела с энтузиазмом взялся за новое для него дело. В конце декабря 1980 года были выпущены технические предложения по разработке двигателя РД-263Ф (Ф — форсированный), в ноябре 1981 года КБ "Южное" выдало техническое задание, а в марте 1982 года был выпущен эскизный проект на разработку модернизированного двигателя первой ступени, получившей наименование РД-274 (двигатель РД-274 состоит из четырех блоков РД-273). В проекте было показано, что оптимальным является повышение тяговооруженности двигателя благодаря повышению давления газов в камере сгорания с 210 до 230 атм, при этом частота вращения ТНА увеличивалась с 21 000 до 22 500 об/мин, что обеспечивалось некоторым увеличением расхода окислительного генераторного газа и повышением его температуры. Выбранный вариант форсирования позволил максимально сохранить общую компоновку двигателя и конструкцию агрегатов базовой модели. В результате тяга первой ступени модернизированной ракеты увеличилась на 44 тс, а удельный импульс тяги у поверхности Земли возрос до 296

кгс-с/кг. Кроме того, на новом двигателе вместо системы регулирования кажущейся скорости (РКС) была применена система поддержания давления (СПД), исключавшая регулировку двигателя по давлению в камере сгорания, что упрощало его стендовую отработку.

Одновременно с модернизацией двигателя проводилась оптимизация системы горячего наддува баков первой ступени ракеты, заключающаяся в повышении температуры газов для наддува, что привело к сокращению непродуктивного расхода компонентов топлива для этой цели.

Был представлен методический план работ по обеспечению стойкости двигателей к воздействию поражающих факторов ядерного взрыва, предусматривающий участие отраслевых и академических НИИ.

Эскизный проект был принят КБ "Южное" и использован как составная часть эскизного проекта на разработку всего БРК.

В марте 1983 года получило широкую известность заявление президента США Р.Рейгана о стратегической оборонной инициативе (СОИ). Новая ракетно-ядерная стратегия создания эшелонированной системы ПРО с элементами космического базирования вела к разрушению сложившегося военно-стратегического паритета между СССР и США. Это обстоятельство еще больше убедило правительство СССР в правильности выбранного направления дальнейшего развития тяжелых баллистических ракет наземного базирования. В августе 1983 года вышло постановление ЦК КПСС и Совета Министров СССР о разработке БРК Р-36М2. В этом постановлении, наряду с многими организационными положениями, КБ Энергомаш поручались работы по двигателю первой ступени.

Коллектив серийного отдела КБ Энергомаш в 1983—1984 годы выпустил конструкторскую документацию, и "Южмаш" приступил к технологической подготовке изготовления агрегатов двигателя РД-273 измененной конструкции. Особенностью работ по этому двигателю являлась территориальная разобщенность конструкторов (г.Химки) и производственно-испытательной базы (г. Днепропетровск). Но это обстоятельство не вызывало больших трудностей, так как уже имелся положительный опыт проведения подобных работ по двигателям РД-216М для РН "Космос", РД-261 и РД-262 для РН "Циклон". Большую помощь в конструкторском сопровождении при изготовлении экспериментальных двигателей и их доводочных испытаниях на "Южмаше" все эти годы оказывал коллектив двигательного КБ-4 КБ "Южное" под руководством вначале И.И.Иванова, а затем А.В.Климова.

С учетом высокой преемственности конструкции базового варианта, а также солидной статистики работы прототипа на форсированных режимах, соответствующих номинальному режиму нового двигателя, в комплексный план экспериментальной отработки двигателя, выпущенный в июне 1984 года, было заложено весьма ограниченное число испытаний двигателей. Априори считалось, что необходимо только подтвердить работоспособность двигателя и провести обязательные по методике отработки ЖРД завершающие доводочные испытания (ЗДИ) и межведомственные испытания (МВИ). Однако практика внесла свои коррективы. Нужно напомнить, что изначально конструкция базового двигателя РД-263 разрабатывалась на давление в камере сгорания 200 атм и по результатам ЛКИ первого этапа Р-36М двигатель был форсирован без каких-либо изменений конструкции на 5%, т.е. до давления 210 атм. Таким образом, вторичное

форсирование по давлению в камере составило уже 15%, давление газов в газогенераторе и на выходе из насосов заметно превышало этот уровень. И хотя расчеты прочности показывали возможность сохранения конструкции двигателя практически без изменений, в процессе доводочных испытаний выявилась необходимость дополнительного упрочнения некоторых агрегатов. Кроме того, выяснилось, что автомат разгрузки возникающей осевой силы в ТНА при работе двигателя на некоторых режимах не выполняет свои функции, что приводит к разрушению подшипников. Эти и другие дефекты конструкции двигателя РД-273 устранялись в процессе проведения доводочных испытаний, которые были завершены в мае 1985 года.

Параллельно с традиционной отработкой работоспособности двигателя проводились работы по обеспечению его стойкости к воздействию ПФЯВ. Требования к функционированию ЖРД при воздействии поражающих факторов ядерного взрыва, заданные в ТЗ, привели к возникновению нового направления в отработке ЖРД, что, в свою очередь, вызвало необходимость проведения всесторонних исследований с целью изучения новых эффектов, возникающих в конструкционных материалах, компонентах топлива, процессах, протекающих в ЖРД, и разработки защитных мер для обеспечения заданной надежности ЖРД. Работы проводились путем расчетно-теоретических и экспериментальных исследований в тесном сотрудничестве с НИИТП, ЦНИИМаш, ВВА им.Жуковского, Обнинским филиалом Института химической физики (ИХФ) АН СССР. В результате были разработаны дополнительные меры по защите двигателей, которые были введены в конструкцию.

Итогом этих работ стал выпуск технического отчета, основным выводом которого было подтверждение выполнения требований ТЗ по стойкости двигателей при воздействии поражающих факторов ядерного взрыва заданного уровня. Отчет был принят головным разработчиком БРК и заказчиком от Министерства обороны.

В июле—августе 1985 года были проведены ЗДИ двигателей, изготовленных с учетом всех дополнительных мер, определенных при доводке и отработке стойкости. Наземная отработка двигателей завершилась успешным проведением в декабре 1985 года — феврале 1986 года комплекса МВИ.

ЛКИ двигателей в составе ракет проводились с марта 1986 года по апрель 1988 года. Двигатели отработали без замечаний. Однако при первом пуске проявился эффект "первого блина", приведший к серьезным потерям. Из-за досадной небрежности при сборке ракеты в процессе минометного старта не прошла команда на подачу стартового наддува баков первой ступени, и запуск двигателей не состоялся. Ракета, вылетев из шахты и не получив дальнейшего ускорения от двигателей, упала точно в ствол шахты, где произошло разрушение баков и возник пожар, приведший к ликвидации одной из шахт для проведения экспериментальных пусков. В дальнейшем ЛКИ подтвердили высокую степень наземной отработанности всех ракетных систем, и в августе 1988 года последний в СССР боевой комплекс с жидкостной ракетой тяжелого класса был принят на вооружение.

За создание двигателя, обладающего высокой стойкостью к воздействию поражающих факторов ядерного взрыва, ведущий конструктор разработки заместитель главного конструктора КБ Энергомаш В.Ф.Рахманин был удостоен звания лауреата Государственной премии, а группа сотрудников предприятия получила государственные награды.

Созданием двигателей для Р-36М2 КБ Энергомаш завершило свои работы по

двигателям для боевых ракетных комплексов. Подводя некоторые итоги этому направлению работ, хочется отметить плодотворное участие в них военного представительства. Именно участия, так как его офицеры не только осуществляли контроль производства и соответствия конструкторской документации тактико-техническим требованиям Министерства обороны, но и принимали непосредственное участие в отработке качества и надежности двигателей. Контролируя процесс изготовления двигателей и принимая вместе с конструкторами решения о допустимости или недопустимости к дальнейшему использованию деталей с выявленными отступлениями от конструкторской документации, служащие военного представительства критически оценивали мероприятия по устранению таких отступлений и настаивали на принятии радикальных мер. Это способствовало дальнейшему совершенствованию технологии изготовления и повышению качества двигателей. Активное участие военпреды принимали и в процессе доводки двигателей. Обладая солидным опытом, они как равноправные участники процесса создания двигателей обсуждали технические мероприятия по обеспечению работоспособности двигателей. Их организационная независимость позволяла твердо настаивать на выполнении ранее намеченных совместных планов по объему и срокам их проведения. При возникновении таких конфликтов некоторые производственники и конструкторы высказывали недовольство упорством военпредов при отстаивании своих позиций и обвиняли их в тривиальном упрямстве, употребляя часто более крепкие определения. И здесь нужно отметить, что и Глушко, и Радовский чаще всего поддерживали требования военного представительства. И сейчас, бросив ретроспективный взгляд на всю историю разработки двигателей в ОКБ-456 (КБ Энергомаш), нужно констатировать, что в большинстве случаев позиция военного представительства способствовала созданию надежных ракетных двигателей.

Остается упомянуть руководителей военной приемки при ОКБ-456 (КБ Энергомаш), оставивших заметный след в развитии отечественного ракетного двигателестроения. Это кандидат технических наук полковник Б.Я.Копылов (с 1952 по 1967 год), лауреат Государственной премии полковник Н.П.Селяев (с 1967 по 1976 год), кандидат технических наук полковник Ю.А.Фатуев (с 1976 по 1988 год).