

РАЗРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ КАМЕР КС-50 И ЭД-140 ВАЖНЫЙ ЭТАП В РАЗВИТИИ ЖРД В НАШЕЙ СТРАНЕ

В.К. Чванов, В.С. Судаков, В.Ф. Рахманин, Р.Н. Котельникова

В конце 40-х годов в ОКБ-456 под руководством главного конструктора В.П. Глушко был успешно воспроизведен двигатель немецкой ракеты А-4 и на его основе налажено производство двигателя РД-100. Проводились работы над созданием модернизированных двигателей РД-101 и РД-103 на базе немецкой конструкции. Однако разработкой двигателя РД-103 были практически исчерпаны возможности базовой модели РД-100. Дальнейшее развитие ракетного двигателестроения требовало иных, качественно новых конструкторских решений, которые были найдены на базе отечественного задела конструкций основных агрегатов ЖРД 30-40-х годов и достижений, полученных под руководством В.П. Глушко в результате работ с экспериментальными камерами КС-50 и ЭД-140, начатых в 1948 г.

Новая паяно-сварная конструкция камеры, эффективно охлаждаемая горючим и имеющая плоскую смесительную головку, позволила использовать более эффективные топлива, существенно повысить давление и температуру в камере сгорания. Именно такая конструкция и технология стала применяться во всех последующих разработках НПО Энергомаш и в других ОКБ нашей страны. В первую очередь это относится к двигателям РД-107 и РД-108, разработанным для межконтинентальной баллистической ракеты Р-7.

Еще не были проведены запуски ракет Р-1 и Р-2 с двигателями РД-100 и РД-101, а в ОКБ-1 была задумана разработка существенно более мощной ракеты Р-3 с двигателем с тягой 120 т. За разработку двигателя взялись на конкурсной основе ОКБ-456 под руководством В.П. Глушко и коллектив под руководством А.И. Полярного из НИИ-1 МАП.

В ходе подготовительных работ по разработке двигателя РД-110 для боевой баллистической ракеты увеличенной дальности, начавшихся в 1947 г., была поставлена задача опережающей отработки форсуночной головки и модельной камеры сгорания с увеличенным удельным импульсом тяги, обеспечивающие надежную работу длительностью не менее 200 сек при давлении 60 атм при сохранении общей концепции конструкции камер, заимствованной от немецкой. В ОКБ-456 было принято решение положить в основу новой разработки конструкцию двигателей РД-100 и РД-101. Но новые, чрезвычайно высокие для того времени параметры двигателя требовали существенных изменений в конструкции камеры. В первую очередь необходимо было изменить организацию смесеобразования в камере, т.е. форкамеры. Вторым, но столь же важным вопросом было обеспечение эффективного охлаждения керосином.

В 1948 г. в ОКБ-456 в Химках создается стенд для огневых испытаний экспериментальных камер сгорания тягой 7 т. Подача компонентов топлива осуществлялась с помощью стендового ТНА. Его турбина была заимствована с ТНА двигателей РД-100 и РД-101. Насос горючего обеспечивал подачу 6,5 кг/сек керосина при давлении до 100 атм, а насос окислителя - 18 кг/сек кислорода при давлении до 80 атм. Аналогичный ТНА использовался и для подачи жидкости для охлаждения камеры сгорания. Это позволяло осуществлять подачу компонентов топлива независимо от подачи жидкости на охлаждение камеры сгорания. Для привода ТНА использовались доработанные газогенераторы двигателя РД-101.

В 1948-1949 годах было испытано 8 типов форсуночных головок. Целями испытаний были исследования качества смесеобразования при различных форсунках: одно- и двухкомпонентных и различных схемах их расположения, а также исследование охлаждающих свойств керосина. Одновременно велась отработка пайки. Именно отработка технологии пайки позволила создать качественно новую конструкцию, открывающую путь для создания ЖРД огромных тяг. В результате этих испытаний была разработана форсуночная головка ЭД121-200 с однокомпонентными центробежными форсунками, которая при испытаниях в составе экспериментальной камеры сгорания ЭД140-000 при давлении 40-45 атм обеспечивала удельный импульс величиной 225 сек.

В 1949 г. продолжались работы как по улучшению имеющихся форсуночных головок и

созданию новых вариантов, так и по улучшению технологии пайки с целью повышения прочности припайки стенок, устранения свищей и пор в медных стенках, возникающих в процессе пайки. Эти работы проводились практически параллельно с работами по экспериментальной камере КС-50. Кроме того, ведутся исследования по использованию керосина для охлаждения камер сгорания для определения эффективности и надежности этого варианта охлаждения.

В 1950-1951 году отработка новых типов форсуночных головок продолжается. С целью экономии средств вначале испытания форсуночных головок шли на охлаждающей трубе простейшей конструкции: было проведено 34 огневых испытания продолжительностью по 60-70 сек 13 типов форсуночных головок, ряд из которых требовал радикальных конструктивных изменений, так как часто происходили прогары огневого днища из-за недостаточно организованного его охлаждения. Лучшие результаты были получены на форсуночных головках с одно- и двухкомпонентными центробежными форсунками. Затем отработка отобранных вариантов форсуночных головок продолжилась на камерах сгорания с соплом (ЭД140-100 и ЭД140-280). Испытания начались на камере ЭД140-100, а с декабря 1950 г. продолжались на камере ЭД140-280 без выходного конуса сопла с целью ускорения и упрощения производства. Всего на этом этапе было проведено 119 огневых испытаний: 38 на ЭД140-100 и 81 на ЭД140-280. Давление при огневых испытаниях достигало 60 атм, и было испытано 13 вариантов форсуночных головок. По результатам этих испытаний был выбран вариант двухкомпонентной центробежной эмульсионной форсунки, которая обеспечивала лучшую надежность и наибольший удельный импульс. С октября 1951 г. проведено 15 огневых испытаний этой головки на удлиненной камере сгорания, примененной для исследования влияния объема камеры сгорания на рабочие процессы, причем удельный импульс увеличился на 3 единицы по сравнению с обычной камерой сгорания. На этой форсуночной головке провели ресурсные испытания, а также провели испытания для снятия дроссельной, характеристики. Всего было испытано 8 экземпляров головки ЭД121-280, причем окончательно доведенная головка имела ресурс более 200 сек. Другие типы форсуночных головок давали худшие результаты, при этом у струйных форсунок, как правило, случались прогары при выходе на режим (обычно прогорали стальные форсунки, чем вызывали прогар медного огневого днища).

Параллельно с этими испытаниями шла отработка охлаждения камеры сгорания водой, антифризом, керосином, причем ресурс камер сгорания с качественно отработанной пайкой достигал 1050 сек. Испытывали и варианты установки форсунок в гнезда огневого днища: с помощью одного или нескольких уплотнительных колец, а затем с жестким гарантированным уплотнением без колец с последующей опрессовкой после изготовления.

Всего за 1950-1951 г. было испытано 18 типов форсуночных головок и выбрана конструкция форсуночной головки с двухкомпонентными центробежными эмульсионными форсунками, которые при давлении в камере сгорания около 60 атм обеспечили удельный импульс величиной 214-220 сек, что в пересчете для условий РД-110 давало бы удельный импульс до 307 сек. Опытное производство освоило методы изготовления экспериментальных камер сгорания.

Постановление Правительства по разработке двигателя РД-110 было принято в декабре 1950 г., хотя работы по этому двигателю были начаты еще в 1947 г. Этот двигатель тягой 140 т и удельным импульсом 285 сек в пустоте при давлении 60 атм со сферической камерой сгорания должен был иметь 19 форсуночных головок. Было разработано два варианта охлаждения двигателя: раздельное - водой и керосином, и только керосином, которое и стало после проведения ряда исследований основным. Керосиновое охлаждение позволяло значительно упростить схему, повысить надежность и снизить вес двигателя. Многие агрегаты автоматики двигателя РД-110 устанавливались в двигатель РД-103. Разработка двигателя была прекращена в 1951 г., когда по результатам экспериментальных исследований, проведенных с камерой сгорания ЭД-140, выявилась возможность создания двигателя с более высокими показателями, чем у двигателя РД-110.

Исследования различных процессов в камерах сгорания, форсуночных головках продолжались с использованием экспериментальных камер сгорания ЭД-140 еще много лет. Так в 1950 г. проводились исследования камер сгорания с увеличенным объемом, в 1952 г. -

исследования эффективности внутреннего охлаждения вводом керосиновой завесы, в 1954-56 гг. - исследования работоспособности камер сгорания со стальными огневыми стенками, в 1956 г. - исследования по повышению устойчивости горения.

Практически параллельно с этими работами в 1949 г. ОКБ-456 приступило к выполнению темы по разработке экспериментальной камеры для высокоэффективных топлив. В итоге этой работы в 1949 г. были разработаны и испытаны экспериментальные камеры КС-50 с тягой 50-100 кг. Испытания проходили на кислороде с керосином и кислороде с металлизированными суспензиями (алюминия-магния) в керосине. Сама экспериментальная камера КС-50 имела плоскую головку с одной двухкомпонентной форсункой, цилиндрическую паяную камеру, к которой пристыковывается сопло. Внутренние стенки были сделаны из меди, наружные - из стали. Толщина медной стенки составляла 1 мм. Именно в ходе этих работ была разработана и осуществлена эффективная система охлаждения, благодаря использованию интенсивного оребрения тонких сечений, высокотеплопроводного материала для внутренней стенки (медь) и разгрузки тонкостенной медной горячей стенки путем припайки по вершинам ребер к наружной силовой несущей стальной стенке. В конструкции корпуса камеры был использован опыт организации охлаждения камер типа ОРМ в 30-х годах и РД-1, РД-2 первой половины 40-х годов. Конфигурация развитой за счет оребрения охлаждаемой поверхности внутренней стенки получила существенное добавление - пайку по вершинам ребер с наружной силовой стенкой. Связанные таким образом оболочки явились принципиальным новым шагом в конструкции отечественных ЖРД.

Для достижения силовой пайки по вершинам ребер внутренней и наружной стенки биметаллической конструкции в опытном производстве ОКБ-456 разработали методику вакуумной пайки, для чего были созданы новые установки и разработана новая технология. Производство столкнулось со значительными трудностями при осуществлении высокопрочного соединения интенсивно-оребреной медной стенки камеры со стальной несущей рубашкой. Были опробованы пять видов пайки: на генераторах токов высокой частоты, пламенем ацетилено-кислородной горелки, электроконтактная пайка на точечных машинах, в соляных ваннах и в электропечах. Лишь последний вид пайки в электропечах с окислительной средой с применением флюсов показал сравнительно лучшие результаты. Имеющаяся термическая электропечь оказалась непригодной, пришлось проектировать и строить новые типы электропечей с вертикальным и горизонтальным положением спаиваемых узлов. Печи имели вращательное устройство для обеспечения равномерного прогрева паяемых изделий. Неравномерность температурного поля в рабочей зоне печи составляла около 10-15°C. В ходе экспериментальных работ проверялась пригодность флюсов, припоев, самих печей, прижимов, шло определение режимов пайки. Сначала удалось добиться пайки разнородных металлов (стали и меди) на образцах, затем перешли к отработке пайки на реальной конструкции. Камера сгорания КС-50 и стала первым изделием, изготавливаемым по новой технологии с применением соединения стальной и медной стенок сложной конфигурации посредством пайки твердым припоем в электропечи. На этом этапе плотность прилегания стенок обеспечивалась их прессовой посадкой с предварительным нанесением флюса и прокладкой припоя в виде ленточной фольги, причем сама пайка производилась без прижимного приспособления. Пайка же форсуночных головок проводилась с прижимом под прессом.

В процессе экспериментальных работ были проведены огневые испытания на этиловом спирте и кислороде, на керосине и кислороде, на алюминиево-магниевых суспензиях и кислороде при давлениях до 40 атм с устойчивой работой камеры до одного часа. Сама установка для огневых испытаний КС-50 представляла собой модель ЖРД. Подача топлива осуществлялась из баллонов с вытеснением воздухом или азотом высокого давления. Подача воды из бака емкостью 130 л для охлаждения камеры производилась воздухом или азотом. Цикл испытаний начался с отработки зажигания в камере сгорания. С этой целью провели доводку пиросвечей, а также из-за их малого количества и отработку других упрощенных методов зажигания. Был выбран режим подачи компонентов топлива, обеспечивающий надежное зажигание. Отладочные запуски проводились на этиловом спирте и газообразном кислороде. Первые испытания начались 26 апреля 1949 г. на макетной камере без охлаждения, а уже в мае испытания проходили на рабочей камере с подачей керосина и кислорода. В этом же месяце (25 мая) проведены контрольно-

сдаточные испытания стенда с камерой при давлении 30 атм. В июне 1949 г. было произведено форсирование КС-50 по давлению в камере сгорания. Было достигнуто давление 41 атм и тяга 75 кг. Дальнейшее форсирование было ограничено параметрами стендовых систем. Необходимо отметить, что работа КС-50 на форсированных режимах была ровной, без пульсаций, прогаров, и перегревов отдельных частей камеры не наблюдалось. Всего было проведено 55 огневых испытаний.

В июне 1949 г. были проведены еще 4 испытания установки на суспензии с кислородом. Было достигнуто давление 24,5 атм и тяга 39 кг с удельным импульсом 183 сек. В ходе таких испытаний имели место прогары форсунок, наблюдалось большое отложение продуктов сгорания на внутренних поверхностях стенок камеры. Эти дефекты были устранены путем изменения конструкции форсунок и их материала, а также введением предварительного подогрева суспензий перед испытанием.

Для обеспечения научно-исследовательских работ в Институте горючих ископаемых АН СССР по исследованию процессов в камерах сгорания, работающих на высокотеплопроизводительных топливах, ОКБ-456 изготовило и передало в этот институт специальную экспериментальную установку со всей аппаратурой и запасными камерами сгорания, а также оказывало практическую помощь в проведении таких испытаний. Контрольно-сдаточные испытания этой установки прошли в ОКБ-456 в июне 1949 г.

Таким образом, результаты, полученные в НПО Энергомаш в 50-х годах при испытаниях экспериментальных установок с камерами ЭД-140 и КС-50, работающими на жидких компонентах топлива с принципиально новым исполнением паяно-фрезерованных конструкций камер, охлаждаемых одним из компонентов топлива, плоской форсуночной головкой с одно- или двухкомпонентными форсунками, открыли путь к созданию высокоэффективных российских ЖРД РД-107 и РД-108 для первой и второй ступеней семейства ракет-носителей Р-7, двигателей, которые и поныне обеспечивают выполнение российской космической программы и коммерческих международных программ. Сегодня эти технологии доведены до совершенства, и благодаря им российские жидкостные ракетные двигатели и в первую очередь двигатели НПО Энергомаш являются самыми высокоэффективными в мире.