

Возмутители спокойствия из Самары

И.Афанасьев



НК-33-1 отличается от прототипа раздвижным сопловым насадком, шарнирным подвесом и входными трубопроводами.

У двигателя РД-191, создаваемого в НПО "Энергомаш" имени академика В.П.Глушко (г. Химки Московской обл.) для первой ступени нового семейства российских РН "Ангара", появился конкурент - НК-33-1. Он разработан специалистами Самарского научно-технического комплекса имени академика Н.Д.Кузнецова на основе НК-33 - полностью отработанного на стенде двигателя многократного запуска и многократного применения. Макет нового ЖРД впервые был представлен на международной выставке "Двигатель-2002", прошедшей 15-21 апреля на ВВЦ в Москве. Приводим беседу корреспондента НК с главным конструктором по ракетной тематике ОАО "Моторостроитель" В.Н.Чижухиным и ведущим конструктором СНТК "Двигатели НК" А.И.Ивановым об особенностях и перспективах НК-33-1.

- Владимир Николаевич, расскажите подробнее о новой концепции двигателя первой ступени, предложенной самарскими специалистами.

- НК-33-1 предлагается для установки на центральный блок РН среднего класса "Ямал", более известной сейчас как "Аврора" (НК №8, 2001, с.36-38). ЖРД оснащен двухпозиционным раздвижным сопловым насадком. На первом этапе (от старта и до большой высоты полета) последний убран - и двигатель функционирует на оптимальных режимах, не допуская работы сопла с потерями на перерасширение газов. Затем, при достижении "ближнего космоса", насадок раздвигается и "высотность" сопла значительно возрастает, а вместе с ней растет удельный импульс - важнейший показатель экономичности двигателя. Фактически мы совмещаем в одном изделии сразу два: маловысотный ЖРД с коротким "атмосферным" соплом и высотный двигатель с большой степенью расширения сопла.

- Есть ли аналоги такому решению в мировой практике?

- Двигательная установка (ДУ) первой ступени с раздвижными соплами предлагалась на одном из этапов работы по системе Space Shuttle. Но, как известно, шаттлы, так же, как и остальные современные ракеты, летают на ЖРД с насадками фиксированной степени расширения. По разным причинам (и, прежде всего, из-за неочевидности получаемых выгод при достаточной сложности реализации) многочисленные предложения раздвижных сопел на первой ступени РН, что называется,

"не прошли". Хотя для верхних ступеней ракет с твердотопливными двигателями (РДТТ) они применяются уже довольно давно, как за рубежом, так и у нас - например, на БРПЛ. Но там они служат, главным образом, для уменьшения габаритов отсека ракеты, в котором размещено сопло.

- Что дает двухпозиционное сопло "Авроре"?

- Оно позволяет увеличить массу полезного груза (ПГ), выводимого на низкую околоземную орбиту, на 500 кг - до 12.1 т (т.е. на 4.8%) при пуске с Байконура. И это при прежних стартовой массе и составе двигателей, что и в "штатном" варианте!

- Александр Иванович, расскажите об особенностях НК-33-1.

- Двигатель более чем на 95% состоит из агрегатов и частей исходного НК-33. Кроме насадка, мы ввели шарнирный подвес для качания ЖРД по двум осям (рама - наша, "сустав" шарнира и, возможно, привод - воронежский, с "водородника" РД-0120), форсировали двигатель и, по просьбе ракетчиков, изменили компоновку трубопроводов. В ближайшем будущем - опять же, если нас попросят, - обеспечим отбор горячего газа для рулевых сопел по крену, упростим ДУ ступени, отказавшись от автономного четырехкамерного управляющего двигателя.

Неохлаждаемый сопловой насадок, изготовленный из углерод-углеродного композиционного материала, а также реечный электромеханизм для его развертывания делает для нас НПО "Искра" (г.Пермь) - предприятие, специализирующееся на мощных РДТТ различной размерности. Мы уверены, что это им по силам, хотя задача отнюдь не тривиальна - ведь раскладывание насадка происходит, что называется, "на струе" - во время работы двигателя.

Обычно у РДТТ сначала развертывается сопло, а потом включается двигатель. Нам же нужно сопло с двумя режимами работы (на малой и большой высоте), и выключить ЖРД для его развертывания мы не можем.

- Собираетесь ли вы проводить испытания НК-33-1?

- Конечно, как испытывали и все наши двигатели, в т.ч. и НК-43 - самый мощный в мире высотный ЖРД (см. табл.). Для имитации условий работы на высоте развертывания сопла применяется специальная газодинамическая труба - эжектор (А.Иванов: "Вообще, для этого можно просто обрезать сопло, снизив его "высотность" - так мы сделали в предлагаемом нами двигателе НК-39К. Для ЖРД небольшой размерности часто используют эксгаустерный насос, создавая за соплом вакуум. В случае с НК-33-1 задача сложнее: надо детально обеспечить и рассмотреть динамику развертывания соплового насадка."); ее насадок образует узкий зазор между стенкой и соплом. При работе двигателя газ, истекающий из сопла, сам создает разрежение. Полной имитации высотных условий не получается, но рассчитать и экстраполировать результаты можно.

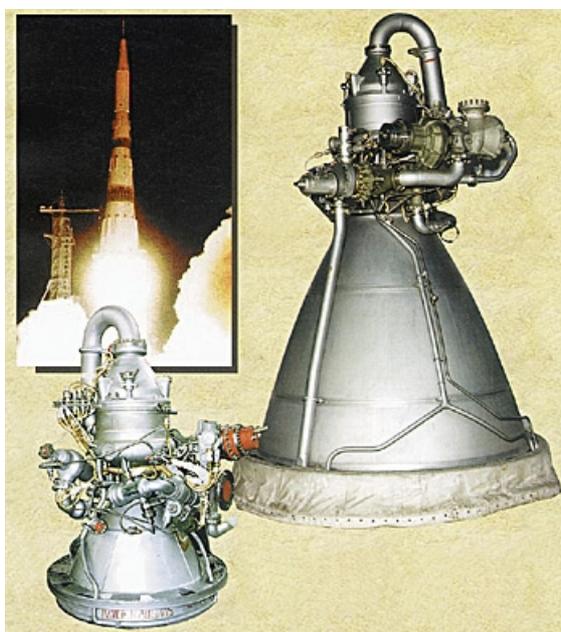
- Как отнесся к изменениям в двигателе заказчик "Авроры" - корпорация APSC (Asia Pacific Space Corporation)?

- Попросил подтвердить заявленные характеристики на стенде и по возможности снять поставленные вопросы при прожиге одного двигателя. Их особенно интересует работа при малых давлениях на входе в турбонасосный агрегат (ТНА), фактически - кавитационный срыв. Для GenCorp Aerojet мы уже проводили испытания на разных входных давлениях, да еще и на "горячем" кислороде. Мы все это проходили, и неоднократно. У нас накоплен колоссальный опыт, и в этом вопросе нет ничего сложного. Но, на всякий случай, готовы использовать дополнительные (бустерные) преднасосы.

- Как ваши предприятия - ОАО СНТК "Двигатели НК" и ОАО "Моторостроитель" - работают по программе НК-33-1?

- Полным ходом идет создание конструкторской документации, в т.ч. с переносом чертежей на электронные носители (А.Иванов: "Завод уже давно не берет бумагу; говорят: "Давай дискеты, компакт-диски!"). Совместно с ЦСКБ "Прогресс" проектируются новые узлы - трубопроводы, шарнирный подвес и бустеры. Мы хотим идти в ногу со временем. Сейчас давление на входе в НК-33 - 1.6 кг/см², а для современных двигателей аналогичной тяги декларируется 0.5 кг/см². У нас и так стоит встроенный бустер, но это - шестидесятые годы. Сейчас считается, что все надо по-другому делать.

Предполагается, что на летные испытания "Авроры" пойдут немного переделанные имеющиеся НК-33, из задела - те, что еще остались после продажи крупной партии "Аэроджету". Ну, а затем, как вы уже писали в журнале (НК №8, 2000, с.36-38), будет развернуто серийное производство. Тогда, возможно, переделаем (оптимизируем) весь внутренний каскад ТНА.



Исходный двигатель НК-39 и его "земной собрат" НК-39К с укороченным соплом. Этим двигателем очень интересовались американские ракетчики, работающие над проектом легкого носителя RASCAL.

- По заявленной тяге НК-33-1 переходит совсем в другой класс двигателей, становясь на одну ступеньку с РД-191. Означает ли это, что вы будете конкурентами "Энергомашу"?

- Фактически, да. При открытии выставки "Двигатель-2002" многие официальные представители Росавиакосмоса, вдохновившись нашим рассказом о НК-33-1, прямо заявляли, что "программу носителя "Ангара" надо пересматривать!". Еще бы - наш двигатель превосходит РД-191 по высотному удельному импульсу, по удельной массе, стоимости, и, что самое главное, мы имеем огромную стендовую наработку для ЖРД-прототипа.

- Можно ли в денежном отношении оценить, сколько для заказчика может стоить

НК-33 и сколько РД-191?

- У меня есть американские данные. Насколько они верны для российских реалий - трудно сказать (И.Афанасьев: "В проспекте GenCorp Aerojet за 1998 г. приводилась возможная цена продажи "американизированного" НК-33 - AJ26-НК33А - 4 млн \$ за двигатель. Стоимость РД-191 оценить пока трудно, но широко известна договоренность о приобретении Lockheed Martin у НПО "Энергомаш" 101 двигателя РД-180 на общую сумму порядка 1 млрд \$. Если считать, что РД-191, как и РД-180, - во многом "производная" РД-170, то по цене 1 тс тяги эти двигатели примерно соответствуют: 25.97 тыс \$ для НК-33 и 25.38 тыс \$ для РД-180/191").

- Александр Иванович, по большому счету ваше предприятие специализируется на авиадвигателях. Влияют ли на основную тематику ракетные разработки?

- Курс СНТК сейчас таков: каждый конструктор любого отдела должен знать и уметь работать как по авиационной, так и по ракетной тематике, поскольку из авиационных в ракетные проекты и наоборот идет перекачка идей и технологий.

- Можно ли назвать примеры такого обмена?

- Многофорсуночная головка на [самарские] авиадвигатели пришла из ЖРД. А наш ТНА решен фактически как газотурбинный двигатель (ГТД): коаксиальное (вал в валу) положение каскадов высокого (18 тыс об/мин) и низкого (4 тыс об/мин) давления. При разработке двигателя мы боролись за каждый килограмм веса и не стали делать выносные преднасосы - это позволило значительно облегчить ЖРД.

Кроме того, при рассмотрении авиационных ГТД можно обратить внимание, что их камеры внутри как будто окрашены в зеленый цвет. Это термоэмалевое покрытие. Тот же принцип реализован в НК-33, где газовый тракт покрыт специально разработанной термоэмалью. Наши конкуренты использовали сплавы и покрытия на основе никеля.

К сожалению, специфика работы ЖРД (по составу, давлению и температуре газа) не позволила нам широко применить в его конструкции авиационные материалы. Лопатки турбин современных авиадвигателей, изготовленные из специальных сплавов и охлаждаемые воздухом, держат 1750°C. У нас температура на турбине ТНА умеренная - примерно 450-500°C.

И вообще, по нынешним маркам НК-33 относится к двигателям средней энергонапряженности. Он гораздо "спокойнее", чем РД-191 (А.Иванов: "По словам руководителя РКК "Энергия" Ю.П.Семенова, самарский двигатель можно ставить на носитель для пилотируемого корабля, а химкинский пока нельзя").

Однако разработчики из НПО "Энергомаш" утверждают, что их гораздо более напряженный двигатель имеет такие же, если не большие, запасы прочности, чем наши, менее напряженные. Конечно, это отражается на его массе.

- Но ведь это не столь важно - масса двигателя для первой ступени не так критична, как для верхних. Гораздо важнее ресурс и надежность.

- Да, но двигатель нагружает вибрациями всю ракету. Да и потом одно дело - "качать" в шарнире легкий ЖРД, и другое - тяжелый.

- Все это так, но мне уже неоднократно приходилось слышать, что и "Ангара", и даже "Аврора" будут летать на РД-191...

- Тут уж мы ничего не можем сказать - такие решения принимаются не за конструкторским кульманом, а в "высоких" кабинетах. Допустим, в случае невозможности возобновления производства НК-33 обе ракеты будут летать на химкинских двигателях - все может быть. Никто не спорит, что "Энергомаш" в результате сделает очень хороший ЖРД - опыта подобных работ у них, пожалуй, побольше, чем у нас. Но очень маловероятно, что в Химках успеют пустить в серию РД-191 к началу летных испытаний "Авроры". Скорее всего, первые полеты она сделает на нашем двигателе. И тогда наконец прямой потомок НК-33 увидит небо...

Для объективности приведенную выше беседу необходимо подкрепить некоторыми числовыми выкладками. Прежде всего сравним конкурентов с цифрами в руках (подробные характеристики РД-191 см. в НК №9, 2001, с.58). Можно заметить, что тяга ЖРД на земле примерно одинакова. Самарский двигатель на 470 кг легче химкинского, что немало - 21.4%. При этом после раскрытия соплового насадка НК-33-1 более чем на 4% (13.4 сек) превосходит РД-191 по пустотному удельному импульсу, но проигрывает 1.38% (4.5 сек) по удельному импульсу интегральному, т.е. за все время работы двигателя, что называется, "от земли до космоса" (точнее, до момента раскрытия насадка).

Представляется, что из-за особенностей циклограммы выведения для ДУ первой ступени последний показатель важнее, чем удельный импульс в пустоте.

Несложные баллистические расчеты показывают, что при замене РД-191 на НК-33-1 "Ангара-1.2" выводит на низкую околоземную орбиту на 160 кг (т.е. на 4.32%) больше. Стоит ли ломать копыта из-за такой прибавки - судить не нам, а разработчикам ракеты и их заказчикам. Однако это ведь для легкой ракеты, исходная масса ПГ которой составляет всего 3.7 т. Вот если рассмотреть улучшение характеристик среднего и тяжелого вариантов "Ангара", где установка НК-33-1 на центральном блоке была бы особенно выгодна... Но, к сожалению, из-за недоступности [для нас] циклограммы выведения на орбиту в настоящее время это не представляется возможным.

Самара свое слово сказала. Что ответят Химки?

Кислородно-керосиновые ЖРД разработки СНТК "Двигатели НК"						
Основные данные	НК-33-1	НК-43	НК-33	НК-39К	НК-39	НК-31
Использование в системе Н-1/Л-3	—	II ступень	I ступень	—	III ступень	IV ступень
Тяга на земле, тс	195	—	154	29.8	—	—
Тяга в пустоте, тс	223	179	171.5	37.7	41	41
Удельный импульс на земле, сек	307.8	—	297	256	—	—
Удельный импульс в пустоте, сек	350.6	346	331	323.9	353	353
Давление в камере сгорания, кгс/см²	183.8	148.3	148.3	93.8	93.8	93.8
Удельная масса, кг/тс	7.76	7.8	8.1	15.9	17.6	17.6

При работе над материалом использованы проспекты ОАО НПО "Энергомаш" имени академика В.П.Глушко (по РД-191), ОАО СНТК имени Н.Д.Кузнецова (по ЖРД) и ГКНПЦ имени М.В.Хруничева (по семейству РН "Ангара" на основе универсального ракетного модуля).