

КОСМИЧЕСКИЕ ДВИГАТЕЛИ СНТК ИМЕНИ Н.Д.КУЗНЕЦОВА

С.Н. Тресвятский, генеральный директор
ОАО «СНТК имени Н.Д.Кузнецова»

Д.Г.Федорченко, генеральный конструктор
ОАО «СНТК имени Н.Д.Кузнецова»

В.П.Данильченко, главный конструктор
ОАО «СНТК имени Н.Д.Кузнецова»

Коллектив ОАО «Самарский научно-технический комплекс имени Н.Д.Кузнецова» начал заниматься жидкостными ракетными двигателями с мая 1959 г.

26.06.1959 г. вышло постановление ЦК КПСС и Совета Министров СССР о создании ЖРД для первой ступени ГР-1. Двигательная установка первой ступени, по замыслу С.П.Королёва и Н.Д.Кузнецова, должна была состоять из четырёх автономно работающих одиночных двигателей, установленных на общую раму и объединённых общей системой питания жидким кислородом и керосином.

Двигательная установка имела индекс 8Д717. Каждый одиночный двигатель - 8Д517 тягой 36 тс был выполнен по замкнутой схеме с дожиганием окислительного генераторного газа.

Двигатель 8Д517 был изготовлен в конце 1960 г. Его огневые испытания начались 12 января 1961 г. на стендах НИИ ХИММаша (г. Загорск). В течение 1961 г. были проведены три успешных испытания одиночного двигателя на режиме главной тяги ($R=35$ тс). Давление в камере сгорания 8Д517 при испытании составляло более 100 кгс/см². Для сравнения - существовавшие двигатели работали по открытой схеме при давлении в камере 80 кгс/см². На ряде двигателей были проведены повторные успешные испытания до суммарной наработки 255 с.

Во второй половине 1960 г. по инициативе С.П.Королёва в ОКБ Н.Д.Кузнецова была начата проработка ЖРД для лунного комплекса ракеты Н1-Л3. При этом давление в камере сгорания должно было составлять не менее 150 кгс/см².

Во второй половине 1961 г. коллектив ОКБ приступил к разработке ЖРД для трёх ступеней лунного ракетного комплекса Н1-Л3.

После выхода постановления ЦК КПСС и Совета Министров СССР

(24.09.1962 г.) двигатель первой ступени получил индекс 11Д51 (НК-15), второй ступени - 11Д52 (НК-15В), третьей ступени - 11Д53 (НК-19).

В июле 1962 г. чертежи двигателя 11Д51 были переданы в производство.

Первое испытание 11Д51 прошло 15 ноября 1963 г., 11Д52 - 20 сентября 1967 г., 11Д53 - 15 июля 1964 г.

Двигатели НК-15 в 1967 г. успешно прошли государственные стендовые испытания и были допущены к лётно-конструкторским испытаниям в составе ракеты Н1-ЛЗ. Наземная отработка двигателей была завершена огневым испытанием блока РН Н1 с двигательной установкой (суммарной тягой 1200 тс), которое проводилось в испытательном центре НИИ ХИММаша 23 июня 1968 г.

В 1968 г. была начата разработка модификаций указанных двигателей для многоразового применения: НК-33, НК-43, НК-39 и НК-31.

На двигателях НК-33 и НК-43 были впервые применены:

- камера сгорания с оригинальным конструкторским решением выноса акустической энергии из области горения;
- двухзонный газогенератор с антипульсационными перегородками в зоне горения, обеспечивающими устойчивость процесса горения по отношению к высокочастотным колебаниям;
- двухкаскадные (двухвальные) встроенные насосы окислителя и горючего с механическим и гидроприводом преднасосов;
- малогабаритный высокооборотный насос горючего, питающий газогенератор;
- шестерёнчатый привод большой мощности для насоса горючего, работающий в среде керосина без автономной системы смазки и охлаждения;
- дифференциальные расходные клапаны окислителя и горючего, обеспечивающие многократный запуск;
- разделительное устройство между насосами окислителя и горючего, обеспечивающее постоянное избыточное давление азота;
- высокостабильный пиротурбинный способ запуска двигателя на самовоспламеняющихся компонентах «кислород-триэтилалюминий», обеспечивающий плавное начало процессов горения в газогенераторе и камере сгорания с помощью технологии эмульсирования азотом горючего (керосина);

- термостойкая эмаль для покрытия газового тракта турбины, обеспечивающая надёжную защиту материала от воздействия горячего окислительного газа;
- высокопрочные алюминиевые сплавы для корпусных деталей насосных агрегатов.

Высокая надёжность двигателей была подтверждена большой положительной статистикой, полученной в процессе стендовой отработки - 221 испытанием 76 двигателей в широком диапазоне (существенно превышающем требования ТЗ) изменения внешних и внутренних факторов. Надёжность многократного за- пуска была подтверждена на 24 экземплярах двигателей с кратностью повторений запусков до 10 на одном двигателе. При этом параметры процесса запуска при повторных пусках сохранялись стабильными и не зависели от количества проведенных пусков.

Для подтверждения надёжности был разработан и внедрён в практику испытаний комплекс высокоэффективных измерительных и диагностических средств анализа быстропротекающих динамических процессов. Были применены методы детального математического и гидродинамического моделирования нестационарных режимов работы двигателей, а также методы искусственного физического воспроизведения при стендовых испытаниях различных предполагаемых (даже маловероятных) отказов двигателей.

Например, проводились испытания с забрасыванием на вход в кислородный насос работающего двигателя больших порций металлической стружки, крепёжных деталей (винтов, га- ек), больших кусков грубой протирочной ткани (размером 60х60 см) и др.

Всё это не привело к аварийным исходам. Даже резкое, ударное перерезывание («гильотирование») с помощью специального устройства входного трубопровода горючего на работающем двигателе не приводило к взрыву и пожару, а вызывало плавное прекращение рабочего процесса с сохранением работоспособности двигателя при последующих пусках.

Двигатели НК-33 и НК-43 подвергались не только контрольно-выборочным испытаниям, но и контрольно-сдаточным. Это оказалось возможным благодаря многократности запуска двигателей, допускаясь проведение контроль- ных пусков без последующих переборок. Однако модифицированные двигатели НК-33 и НК-43, успешно прошедшие весь комплекс доводочных испытаний, в лётных условиях не испытывались.

В мае 1974 г. лунная программа Н1-Л3 была свёрнута. Но Н.Д.Кузнецов не уничтожил двигатели, как было приказано «сверху», а дал указание сохранить их.

В 1976 г. один из двигателей первой ступени НК-33 вместо 140 с, требуемых техническим заданием, проработал на стенде 14.000 с. Пот-

рясающая надёжность!

Двигатели НК-33 после 20 лет хранения успешно прошли последовательные многократные огневые испытания в США и России.

Так, в 1995 г. были проведены огневые испытания двигателя №Ф115026М (пять пусков с суммарной наработкой 410 с) и в 1998 г. - двигателя №Ф115014М (шесть пусков с суммарной наработкой 524 с), включая длительное испытание с форсированием тяги до 114% и длительную работу на «горячем» кислороде при глубоком дросселировании до 50% от номинальной тяги. Испытания двигателей были проведены без переборки после длительного хранения в складских условиях в течение 23 и 26 лет. Работа выполнялась на стенде фирмы «Аэроджет» в г. Сакраменто (шт. Калифорния), США.

В 1998 г. проведены успешные огневые испытания двигателя №Ф115001 без переборки на стенде ОАО «Моторостроитель». Было выполнено три пуска с суммарной наработкой 280 с.

Подготовка двигателей к огневым испытаниям осуществлялась по технической документации как для вновь изготовленных двигателей после окончательной сборки.

В 1997 г. была проведена контрольная разборка двигателя №114061 после 24 лет хранения, имевшего суммарную наработку 1236 с. Дефектация материальной части после разборки не выявила факторов, влияющих на работоспособность двигателя.

За весь период в общей сложности был испытан 191 двигатель НК-33 (выполнено 469 запусков с суммарной наработкой 44.393 с) и 42 двигателя НК-43 (с высотным соплом), на которых проведены 92 испытания с суммарной наработкой 8600 с. Суммарная наработка при успешных ресурсных испытаниях серийных двигателей-прототипов составила 43.560 с.

Таким образом, суммарная наработка, подтверждающая надёжность модифицированных двигателей НК-331 и НК-431, составляет 96.000 с.

Максимальное число пусков на одном двигателе без съёма со стенда равно 17. Двигатель К-004 наработал 4,5 ч без съёма со стенда, двигатель К-005 - 3 ч, двигатель Ф-002/2 - 1,4 ч, а двигатель К-007/2 - 1,5 ч.

Восемь раз производился демонтаж-монтаж ГГ без съёма двигателя со стенда. Все испытания прошли без последствий. Демонтаж ГГ позволяет оценить техническое состояние внутренних полостей ГГ, соплового аппарата, рабочего колеса турбины, выполнить инструментальный контроль тел качения в подшипнике соплового аппарата.

Многоразовость действия и возможность повторных переборок или замены отдельных узлов в стендовых условиях позволили апробировать на

НК-33 элементы технологии многоразового использования и эксплуатации ЖРД по техническому состоянию.

Испытания двигателей НК-33, проведённые в США и России, являются уникальным экспериментом в практике мирового двигателестроения, подтвердившим работоспособность и надёжность ЖРД после длительных сроков его хранения в складских условиях.

По оценке фирмы «Аэроджет» (1995 г.), «НК- 33 является самым надёжным из всех существующих двигателей, работающих на кислороде и керосине, и демонстрирует максимальное от- ношение тяги к массе».

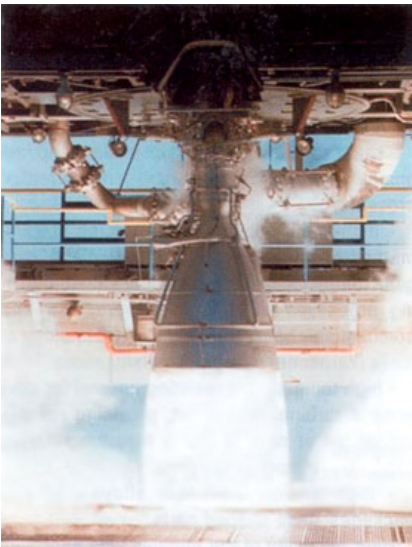
Все эти испытания проводились с целью подтверждения возможности использования двигателей НК-33 и НК-43 на американских коммерческих ракетах-носителях «Атлас», «Дельта», «Кистлер».

В последнее время регулярно появляются проекты новых ракет-носителей: «Ямал», «Ав- рора», «Союз-2-3», предусматривающие использование модифицированных двигателей НК-331 для обеспечения существенного увеличения полезного груза, выводимого на орбиту.

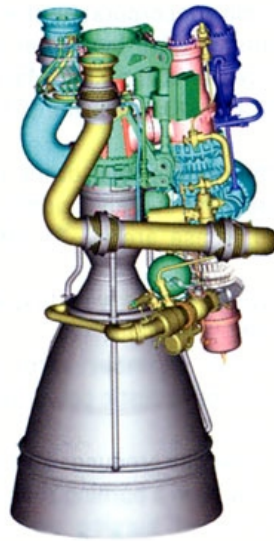
Существуют и такие проекты, как «Воздушный старт», с модернизированным двигателем НК-431. Эти двигатели снабжены узлом качания, системой управления по крену, бустерным агрегатом насоса окислителя (при необходимости), что позволяет получить большую полезную нагрузку на ракете-носителе.

Востребованность модифицированных ракетных двигателей НК-331 и НК-431 определяется их высокой конкурентоспособностью, зависящей, как известно, от технического совершенства рабочего процесса, эксплуатационных расходов, надёжности и себестоимости.

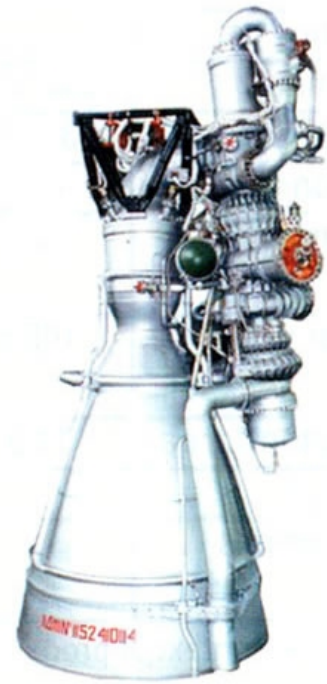
Особое место при выборе конструкторских решений по важнейшим элементам ЖРД НК-331 и НК-431, которые определяют безопасность эксплуатации, занимает принцип авиационного подхода к ним при конструировании и отработке, позволяющий выполнить многократные запуски без снятия двигателя со стенда и осуществить повторные переборки двигателей в цехе с восстановлением исходного качества.



Огневые испытания двигателя НК-33 на стенде фирмы «Аэроджет», г. Сакраменто, США, 1995 г.



Двигатель НК-331



Двигатель НК-33

Характеристики ЖРД марки «НК»

Двигатель	8Д517	8Д717	НК-31	НК-39	НК-39К	НК-33	НК-43	НК-331	НК-431
Параметр									
Год создания	1960,1963	1962	1972	1970	1970	1970	1972	2007	2007
Тяга на земле, тс	36,38	152	-	-	29,8	154	-	185	-
Тяга в вакууме, тс	43,5	174	41	41	37,7	171,5	179	202,6	212
Удельный импульс тяги в вакууме, с	328	328	353	353	322,7	331	346	333,9	349
Давление в камере сгорания, кгс/см ²	105,5	105,5	93,8	93,8	93,8	148,3	148,3	175	175
Удельная масса, кг/тс	11,3	10,4	17,6	17,6	15,9	8,1	7,8	9,2	8,7
Ресурс, с			1140	1140		600	600	1200	1200
Суммарная наработка, с			43650 102440*)	16700 61910*)		44393 96000*)	8600	96000*)	96000*)

*) – наработка с учетом серийных испытаний двигателей-прототипов: НК-15 (НК-33), НК-15В (НК-43), НК-19 (НК-39), НК-21 (НК-31).