

"ВОЗДУШНЫЙ СТАРТ" -

ВЫСОКАЯ НАДЕЖНОСТЬ

Анатолий Карпов,

генеральный директор ЗАО

"Аэрокосмическая корпорация "Воздушный старт"

В настоящее время человечество запускает около сотни космических аппаратов различного назначения ежегодно. В связи с "промышленными" масштабами эксплуатации космоса особенно остро стоят две проблемы: экономичности и надежности ракетной техники. Обострившееся внимание мирового сообщества к экологическим аспектам привело к существенному росту стоимости каждого пуска ракеты-носителя (РН). Особенно сильно по "экологическим" причинам выросли расходы при аварийных пусках. Оплата отчуждаемых зон падения отработавших ступеней тяжким бременем ложится на стоимость каждого килограмма полезной нагрузки, выводимого на орбиту, да и сама по себе потеря РН вместе с космическим аппаратом, стоящим нередко десятки, и даже сотни миллионов долларов, умножает суммы убытков. Таким образом, надежность самым непосредственным образом влияет на экономическую привлекательность конкретной ракетно-космической системы.



Испытания НК-33

Концепция "Воздушного старта" привлекательна для потенциальных заказчиков по многим причинам. Во-первых, обеспечивается возможность выведения космических аппаратов на орбиты с любым наклоном, что существенно расширяет круг потенциальных заказчиков. Во-вторых, практически снимается уже упоминавшаяся проблема содержания зон падения, поскольку пуски можно производить над морскими просторами. И все же, важнейшую роль в создании привлекательного имиджа ракеты-носителя "Полет" призвана сыграть ее высочайшая надежность, определяемая, прежде всего, надежностью двигательной установки (ДУ). Следует подчеркнуть, что высокую надежность предполагается обеспечить уже на начальном этапе эксплуатации ракетного комплекса "Воздушный старт". С этой целью принято решение использовать в составе ДУ каждой из двух ступеней по одному двигателю, причем сами эти "движки" создать на базе существующих, многократно проверенных и подтвердивших высокую надежность НК-43 и 11Д58М, являющихся лучшими кислородно-керосиновыми ЖРД в своем классе.

Надежность двигателя первой ступени

В составе ДУ первой ступени РН "Полет" предусматривается использовать ЖРД НК-43М, который является "близким родственником" НК-33 и отличается от последнего наличием высотного сопла и узла качания в двух плоскостях. Высотное сопло было отработано еще в

семидесятые годы на НК-43, а узел качания планируется позаимствовать без существенных изменений от кислородно-водородного двигателя РД-0120 (11Д122) РН "Энергия", успешно прошедшего летную отработку. Прототипом для двигателя многоразового действия НК-33 послужил серийный, прошедший межведомственные испытания "одноразовый" двигатель НК-15, предназначавшийся для использования в составе ДУ первой ступени ракеты Н1. С учетом большой степени преемственности в конструкции двигателей НК-15, НК-33, НК-43 и НК-43М для оценки вероятности безотказной работы последнего привлекался экспериментальный материал по первым трем ЖРД.

Надежность НК-33 была подтверждена испытаниями в объеме, необходимом для перехода к летно-конструкторским испытаниям ракеты Н1. От начала отработки НК-33 (декабрь 1969 г.) до завершения работ по программе ракеты-носителя Н1 (апрель 1974 г.) стендовые испытания прошел 191 двигатель; всего было выполнено 469 запусков с суммарной наработкой 44 393 с. Параллельно производилась доводка ЖРД многократного включения НК-43, предназначавшегося для второй ступени Н1. В ходе испытаний 42 двигателя этого типа запускались 92 раза, наработав 8600 с. Кстати, до сегодняшнего дня НК-43 является самым мощным в мире высотным кислородно-керосиновым ЖРД.

Двигатель НК-33 прошел отработку на гарантийный ресурс 365 с и три запуска. В ходе специальных испытаний демонстрировалась работоспособность двигателя на 10 полетных циклах по режимам и условиям ракеты Н1 (суммарно 1200 с при числе запусков от трех до шести).

Двигатели НК-33 и НК-43 до апреля 1974 г. находились в серийном производстве. Одних только НК-33 было изготовлено свыше 120; каждый серийный ЖРД проходил контрольно-сдаточные испытания в течение 40 с, после чего без переборки мог устанавливаться в ракетный блок. Кроме того, на одном из семи двигателей проводилось контрольно-выборочное испытание (КВИ) с двумя запусками продолжительностью 40 и 285 с, после чего производилась его разборка и дефектация. Только в случае положительного исхода КВИ партия из шести двигателей допускалась к установке на РН.

Работоспособное состояние двигателей после длительного хранения подтверждено следующими данными. Изготовленный в 1972 г. двигатель был подвергнут разборке в 1992 г. (после 20 лет хранения). Результаты внешнего осмотра, пневмо- и электроиспытаний до разборки, дефектации и исследований после разборки узлов и агрегатов, состояние гальванических, эмалевых и лакокрасочных покрытий двигателя подтвердили их соответствие техническим условиям. В августе-сентябре 1998 г. на стенде ОАО

"Моторостроитель" проводились огневые испытания двигателя НК-33 (зав. № Ф115001М). За три успешных пуска суммарная наработка двигателя составила 281 с.

В ходе сотрудничества с фирмой "Аэроджет" (США) на стенде этой фирмы проводились испытания двух двигателей НК-33. Первый из них (зав. № Ф115026М), изготовленный в 1972 г., после 23 лет хранения, транспортировки автомобилем на расстоянии свыше 1000 км и самолетом до США успешно выдержал испытания в октябре-ноябре 1995 г. на режимах 57,6...114,5 % от номинального значения по давлению в камере сгорания при суммарной наработке 410 с за 5 пусков. Разборка двигателя показала удовлетворительное состояние узлов и агрегатов.

Второй двигатель НК-33 (зав. № Ф115014М), отлежавший на складе 25 лет, наработал 524 с за шесть пусков. Испытания этого двигателя продолжаются. Замечу, что испытания двигателей НК-33 в США являются поистине уникальным экспериментом в истории мирового ракетостроения, на практике подтвердившим работоспособность и надежность ЖРД после четвертьвекового хранения в складских условиях. По оценке фирмы "Аэроджет", "НК-33 является самым надежным из существующих двигателей, работающих на кислороде и керосине..."

Для оценки вероятности безотказной работы ДУ первой ступени РН "Полет" привлекался следующий фактический материал:

- суммарная наработка двигателей-прототипов НК-15 и НК-15В при успешных ресурсных испытаниях составила 43 560 с, что эквивалентно проведению 363 испытаний продолжительностью 120 с;

- суммарная наработка двигателей НК-33 и НК-43 при успешных длительных испытаниях составила 48 250 с, что эквивалентно проведению 402 испытаний продолжительностью 120 с.

Оценка надежности ЖРД семейства НК-33 производилась по биномиальной схеме распределения отказов при частоте успешных испытаний, равной 1,0. Для доверительной вероятности $P_d = 0,9$ точечная оценка значения вероятности безотказной работы одного двигателя превысила 0,999. Иными словами, из тысячи двигателей в ходе 120-секундного цикла может отказать не более одного.

Надежность двигателя второй ступени

В составе ДУ второй ступени ракеты-носителя "Полет" предусматривается использование ЖРД многократного запуска 11Д58МФД. Последний является модификацией двигателя 11Д58М, а тот, в свою очередь, - усовершенствованным вариантом 11Д58, который успешно эксплуатировался в составе ракетного разгонного блока "Д" в 1967...1976 гг. С использованием ЖРД 11Д58 были выведены на орбиту 26 космических аппаратов.

ЖРД 11Д58М создавался в 1970...1974 гг. для унифицированного ракетного разгонного блока "ДМ", применяемого в качестве четвертой ступени ракеты-носителя "Протон". С начала отработки по настоящее время двигатель прошел 4342 наземных автономных испытания (пуска) с общей наработкой 696 020 с. От прототипа 11Д58МФД отличается повышенным давлением в ка-

мере сгорания и увеличенной степенью расширения сопла. На первом этапе эксплуатации ракеты-носителя "Полет", до завершения отработки 11Д58МФД, во второй ступени предусматривается использование существующего 11Д58М.

В августе 1973 г. успешно завершились комплексные стендовые испытания двигателя 11Д58М в составе восьми разгонных блоков "ДМ". Общая наработка ЖРД в ходе этих испытаний составила 9230 с при 44 пусках. С 1974 г. двигатель 11Д58М успешно эксплуатируется в составе унифицированного многоцелевого разгонного блока "ДМ". К настоящему времени с использованием этого блока выведено на орбиту более 200 космических аппаратов.

При автономной отработке 11Д58М нашли подтверждение его высокие ресурсные характеристики. Так, двигатель с зав. № 12056345 отработал 22 786 с, оставшись в работоспособном состоянии. Ресурсные испытания, в том числе в специально

усложненных условиях (с форсированием до 30 % по подаче компонентов топлива), позволили прогнозировать надежную работу камеры сгорания в течение 35 000 с. Максимальное количество запусков одного ЖРД (зав. № 12056365) достигло 86!

Высокая надежность двигателя обеспечивается тем, что каждый экземпляр 11Д58М подвергается стендовому огневому испытанию с измерением основных характеристик, включая вибрационное состояние ТНА и камеры сгорания, и без переборки устанавливается в ракетный блок.

16 ноября 1990 г. было проведено огневое испытание двигателя 11Д58М (зав. № 1202950131) в составе блока "ДМ" (зав. № 4С-К). Двигатель запускался 10 раз, наработав 1520 с, при этом был израсходован трехкратный запас топлива в баках блока "ДМ". Замечаний по работе двигателя не было.

Надежность двигателя 11Д58М для условий эксплуатации в составе блока "ДМ" при доверительной вероятности $P_d = 0,9$ оценивается следующими значениями:

- нижняя граница вероятности безотказной работы по гарантированному времени функционирования - 0,997;
- нижняя граница вероятности безотказной работы по гарантированному числу включений - 0,998.

Иными словами, из тысячи двигателей в течение заданного ресурса могут отказать не более двух-трех.

Таким образом, применение хорошо зарекомендовавших себя двигателей для ракеты-носителя "Полет" позволяет гарантировать многократное увеличение надежности и удешевление пусков космической техники одновременно с удовлетворением самых строгих требований экологической безопасности. Это особенно важно в связи с прогнозируемым ростом числа выводимых орбитальных объектов в начале грядущего тысячелетия при одновременном сокращении стоимости вывода на орбиту каждого килограмма полезного груза.



DIGEST

The Design concept of "Air Start" is very attractive for potential customers because of many reasons. Firstly, it provides space flight vehicle launching into orbit with any inclination that significantly expands a circle of potential customers. Secondly, the problem of a falling area is successfully settled because launches are supposed to be over a sea area. Nevertheless, an important role in the attractive image of "Poliot" rocket launch vehicle will play the highest reliability. For this purpose it is proposed to use such many-times checked and verified engines of high reliability as NK-33 and 11D58M which are the best lox/kerosene engines in their class.

"AIR START" - HIGH RELIABILITY