

Основные направления развития двигательных установок для перспективных средств выведения России

Доклад на Международной конференции "Европейская космическая политика: амбиции 2015 года"

Сессия 1 "Общий взгляд на двигательные установки: РН завтрашнего дня"

Средства выведения являются основой обеспечения космической деятельности, гарантированного доступа и постоянного присутствия в космическом пространстве. За неполные 50 лет космической эры создано большое количество ракет-носителей легкого, среднего и тяжелого классов, обеспечивающих современные потребности космической деятельности. Основные недостатки современного поколения средств выведения - высокая удельная стоимость выведения полезного груза (3...10 тыс. долл./кг на низкую орбиту, 15...40 тыс. долл./кг на геопереходную орбиту) и недостаточная надежность (в среднем $P_{\text{вывед}} = 0,95$). Необходимость их совершенствования и качественного обновления определяется жизненно важным требованием снижения затрат на вывод в космос КА в условиях возрастающей конкуренции на мировом рынке пусковых услуг.

Космические двигатели являются одним из критических элементов, определяющих совершенство транспортных космических систем. Достижения космонавтики в значительной мере были обеспечены успехами в области космического двигателестроения.

В настоящее время в России для выведения КА и развертывания космических систем используются ракеты-носители легкого ("Космос", "Циклон"), среднего ("Союз", "Зенит") и тяжелого ("Протон") классов (слайд 1). Существующая система средств выведения, в основном, удовлетворяет потребностям эксплуатируемых КА.

Для поддержания и развития потенциала средств выведения (в первую очередь, среднего и тяжелого классов) завершаются работы по модернизации базовых РН "Союз" и "Протон-К" и разгонных блоков для них (типа "Фрегат", "ДМ", "Бриз-М"), ведется разработка РН тяжелого класса "Ангара-А5" на экологически безопасных компонентах топлива кислород-керосин (слайд 2). В рамках Федеральной космической программы на 2006-2015 гг. предусмотрены опытно-конструкторские работы по созданию ракетно-космического комплекса среднего класса нового поколения повышенной грузоподъемности до 15 т на низкой орбите, а также по многоразовой ракетно-космической системе и базовому ЖРД для нее. В легком классе представляет интерес создание авиационно-космической системы выведения грузоподъемностью до 4 т ("Воздушный старт").

На РН "Ангара-А5" на центральном и боковых блоках предусмотрено

использование ЖРД РД-191 (создается на базе двигателей РД-170, РД-180, эксплуатируемых в составе РН "Зенит" и "Атлас-5"), а на верхней ступени - ЖРД РД-0124 (двигатель модифицирован для его возможного применения в РН "Ангара" и на III ступени РН "Союз-2" - слайд 3).

В качестве разгонного блока РН "Ангара-5А" предусмотрено использование кислородно-водородного РБ и, возможно, транспортных модулей на основе электроракетной ДУ и солнечной тепловой ДУ.

Модульный принцип построения РН "Ангара-А5" позволяет создать на базе двух типов ракетных модулей семейство ракет-носителей легкого, среднего и тяжелого классов грузоподъемностью от 4 т до 25 т (слайд 4)

К числу основных требований к перспективным транспортным космическим средствам и их двигательным установкам относятся (слайд 5):

- максимально достижимая (близкая к уровню авиационной техники) надежность и безопасность, исключение катастрофических последствий возможных отказов отдельных элементов, в первую очередь двигателей, увеличение надежности двигателей до уровня 0,999 и выше;

- существенное снижение удельной стоимости выполнения транспортных операций (в несколько раз по сравнению с реализованным уровнем), уменьшение стоимости жизненного цикла двигателей;

- сведение к минимуму возможного экологического ущерба при возможном расширении космических программ, в том числе масштабов перевозок по трассе "Земля-орбита";

- увеличение энергетических характеристик;

- уменьшение удельных массовых характеристик двигателей.

Приоритет в требованиях концепции развития космического двигателестроения должен быть отдан высокой надежности и низкой стоимости выведения КА. С точки зрения этапности выполнения работ можно выделить два этапа:

- ближайшая перспектива (2010-2015 гг.) - модернизация существующих двигателей и разработка двигательных установок для новых ракетно-космических комплексов с целью увеличения грузоподъемности РН однократного использования по сравнению с современным уровнем и снижение затрат на выведение КА, повышение надежности;
- дальняя перспектива (после 2015 г.) - создание ЖРД многоразового использования и совершенствование двигателей одноразового применения исходя из полного удовлетворения требований по надежности, стоимости, экологии.

Одним из актуальных направлений развития ЖРД на современном этапе является разработка двигателя многоразового использования для многоразовой ракетно-

космической системы (МРКС), обеспечивающей снижение удельной стоимости выведения на низкую околоземную орбиту до 1000 долл./кг и менее с одновременным повышением надежности выведения до уровня не менее $p=0,999$ (в настоящее время в среднем по всему мировому парку носителей $p=0,95$).

Из многочисленных проектов МРКС различных схемных решений в качестве первого этапа рассматриваются двухступенчатые носители тяжелого класса с вертикальным стартом и горизонтальной посадкой возвращаемой первой ступени (слайд 6). На современном этапе развития космической техники наиболее реально к 2015-2020 гг. создание частично многоразового носителя с крылатой многоразовой первой ступенью и второй ступенью однократного применения, что позволит в 1,5-2,0 раза снизить удельную стоимость выведения. Полностью многоразовые двухступенчатые средства выведения позволят примерно в 5 раз снизить удельную стоимость выведения. Однако, их создание связано со значительным увеличением затрат. Для их окупаемости в приемлемые сроки требуется интенсивная программа использования, по оценкам, в 2...5 раз превышающая современные программы эксплуатации всех имеющихся средств выведения в тяжелом классе (~ 25 пусков в год).

Создание одноступенчатых средств выведения многоразового использования позволяет в 10 раз снизить удельную стоимость выведения, однако связано с большим техническим риском и требует для реализации высокого конструктивно-технологического уровня космической техники. Возможный срок создания таких систем 2030 год.

Наряду с системами вертикального старта на базе ЖРД в качестве более отдаленной перспективы наиболее высокой экономической эффективности (снижение удельной стоимости выведения в 20...50 раз, создание после 2030 года) рассматриваются многоразовые системы выведения горизонтального старта с использованием атмосферного воздуха в двигательной установке на основе гиперзвуковых ракетно-прямоточных двигателей.

Концепция многоразовой ракетно-космической системы в настоящее время еще не выбрана (слайд 7). Один из возможных вариантов: грузоподъемность 25-35 т, 1-я многоразовая ступень с кратностью использования 100 на компонентах кислород-углеводородное горючее, 2-я одноразовая ступень на компонентах кислород-водород.

Основные задачи создания многоразового ЖРД тягой 200-300 т для МРКС (слайд 8):

- выбор компонентов топлива (кислород-керосин, кислород-метан);
- выбор схемы двигателя (открытая схема, замкнутая схема, схема с дополнительным охлаждающим компонентом);
- выбор конструктивно-технологических решений, обеспечивающих кратность использования двигателя не менее 25 раз при минимальной

стоимости межполетного обслуживания;

- разработка методологии отработки высоконадежных двигателей при минимальных затратах;
- обеспечение надежности многодвигательной установки не менее 0,999;
- разработка эффективной системы диагностики и аварийной защиты двигателя и двигательной установки в целом

Требование высокой надежности двигательной установки, приближающейся к уровням соответствующих авиационных систем, вытекает как из уникальности и высокой стоимости полезных нагрузок, так и высокой стоимости самой системы выведения, каждый экземпляр которой должен заменить десятки одноразовых ракет-носителей. Таким образом, ставится задача обеспечения выполнения программы пуска даже при нештатном отключении одного из двигателей в многодвигательной ДУ.

В рамках европейско-российского сотрудничества по программам "Волга", "Урал" (слайд 9) предусмотрена работа ЖРД многократного использования тягой 200-400 т на компонентах кислород-метан, обеспечивающего удельный импульс тяги в вакууме 360 с, удельную массу двигателя не более 12,5 кг/т и кратность использования до 25 полетов.

В настоящее время в России в обеспечение разработки кислородно-метанового двигателя в результате теоретических, экспериментальных работ и конструктивных проработок получен научно-технический задел по проблемам (слайд 10):

- восстановительной газогенерации;
- смесеобразования и горения (совершенство рабочего процесса в камере сгорания $\phi_k = 0,98$);
- охлаждения и коксообразования (достоинства метана - высокие охлаждающие свойства и термостабильность);
- надежной системы воспламенения.

Проведены схемно-конструктивные проработки ДУ и испытания модельных двигателей на метане.

Для схемы кислородно-метанового ЖРД с восстановительным газогенератором характерна достаточно высокая вероятность неинтенсивного развития аварийных процессов (период развития которых превышает 0,1...0,5 с). При таких авариях, как правило, не происходит внешнего разрушения газового тракта, обеспечивается эффективная работа систем аварийной защиты с одновременным повышением коэффициента охвата аварийных ситуаций до 0,9.. 0,95 (против 0,5.. 0,65 для двигателя с окислительным газогенератором).

Важным направлением повышения эффективности как одноразовых, так и многоразовых двигателей и двигательных установок является применение в конструкции их агрегатов углерод-углеродных композиционных материалов (слайд 11). Прежде всего, это применение в ЖРД углерод-углеродных сопловых насадков как

стационарных, так и раздвижных. Например, для российского кислородно-керосинового двигателя РД-58 разгонного блока "ДМ" углерод-углеродные насадки прошли полный цикл наземной огневой отработки и подтвердили свою работоспособность в составе разгонного блока "ДМ-SL" при нескольких успешных пусках РН "Зенит-3SL" по программе "Морской старт". Значительный эффект должно дать применение композиционных материалов в силовой оболочке топливных баков, а также в ферменных конструкциях ступеней.

Касаясь двигательных установок перспективных средств межорбитальной транспортировки (слайд 12), следует отметить предложенную в России нетрадиционную схему солнечной энергодвигательной установки на основе многорежимного кислородно-водородного ЖРД малой тяги (40-80 кгс), работающего с предварительным подогревом водорода в электронагревном тепловом аккумуляторе с последующим дожиганием водорода с кислородом, так и без дожигания. Нагрев теплового аккумулятора из графита до температуры 1500-2000 К осуществляется от солнечных батарей космического аппарата (слайд 13). При этом реализуется удельный импульс тяги $1_{уд} = 510$ с при работе в режиме дожигания при соотношении расходов компонентов $K_m = 5$ и $1_{уд} = 700-750$ с при работе на водороде без дожигания.

Столь высокий уровень удельного импульса тяги двигателя обеспечивает высокую эффективность его применения в задачах выведения КА на высокие рабочие орбиты и межпланетные траектории (слайд 14). Например, применение межорбитальной ступени с подобной установкой позволяет на 50-70% увеличить выводимую на геостационарную орбиту массу КА по сравнению с традиционными системами выведения на основе обычных ЖРД (вследствие малой тяги и ограниченной электрической мощности продолжительность выведения в данном случае возрастает до 30-60 суток).

Учитывая огромную важность решения научно-технических проблем в области ракетного двигателестроения, Роскосмос в рамках новой ФКП 2006-2015 гг. открывает ряд новых тем по данному направлению работ.