



Современные ракеты на химическом топливе отлично справляются с задачей вывода на орбиту космонавтов и геостационарных телекоммуникационных спутников. Однако для полетов к далеким планетам они не слишком хороши — тут важна не высокая мощность, пусть и на краткое время, а долгая, стабильная работа и небольшая масса двигателя. Струя раскаленных газов из обычной химической ракеты течет «медленно». А вот в ионных двигателях, например, скорость выбрасываемого потока атомов может быть выше на порядок, и, значит, топлива потребуется на порядок меньше. Об этом писал еще Циолковский, но только теперь мы приближаемся к решению задачи.

ИГОРЬ АФАНАСЬЕВ

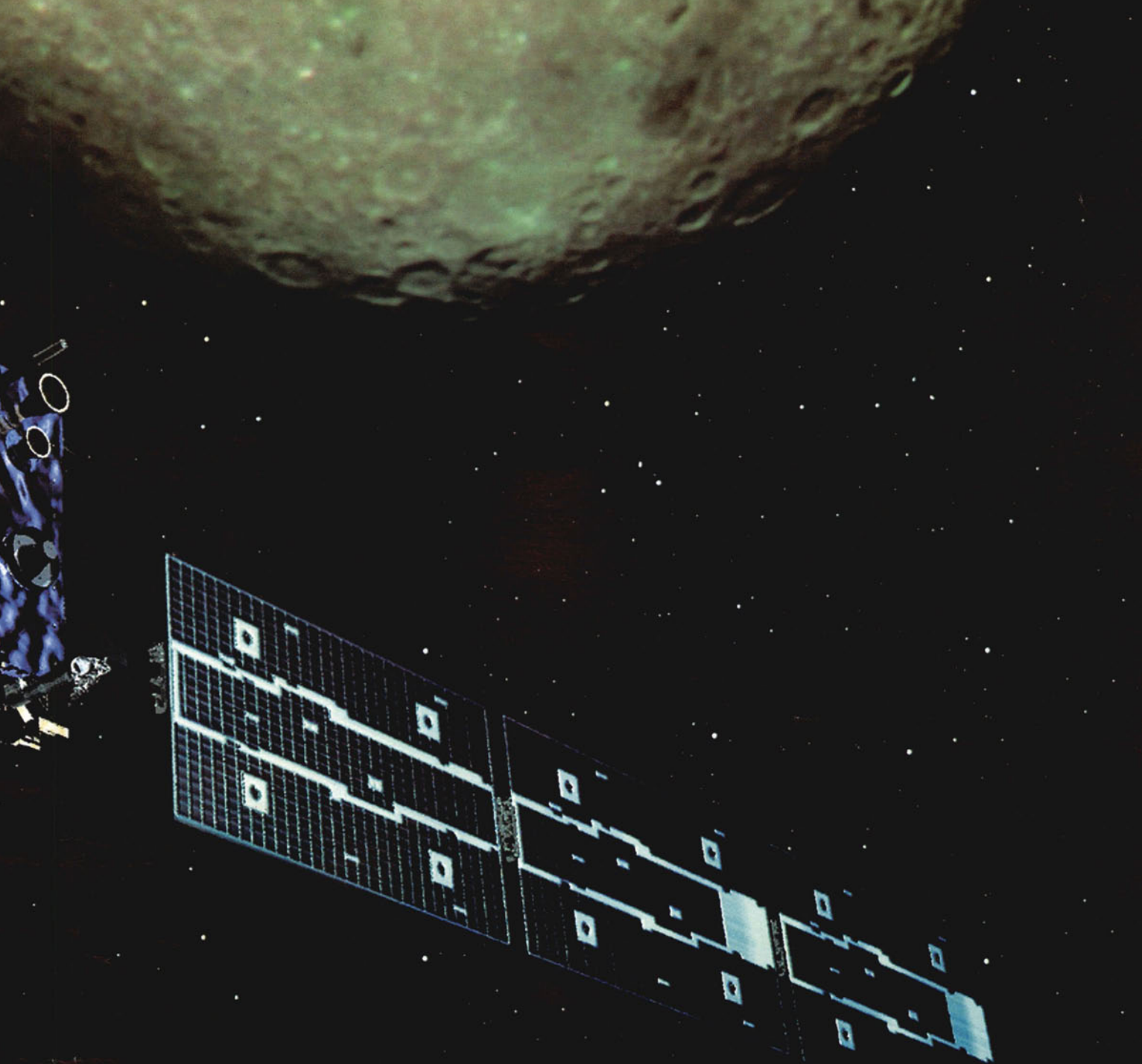
АТОМНЫЕ

Американская межпланетная станция New Horizons, которая стала самым быстрым в истории космическим аппаратом, была выведена на траекторию полета к Плутону 19 января 2006 года. Ее скорость относительно Земли в момент отделения от ракетносителя составила 16,207 км/с и вплотную приблизилась к третьей космической — барьеру, после которого тело навсе-

гда покинет пределы Солнечной системы. Станцию весом 465 кг вывела на орбиту новейшая ракета Atlas 5, оснащенная традиционными реактивными двигателями. New Horizons будет лететь до Плутона долго, почти 10 лет. И это несмотря на предстоящий ускоряющий гравитационный маневр при пролете Юпитера.

Несмотря на то что New Horizons на данный момент яв-

ляется практически венцом технической мысли, ясно тем не менее, что ракеты с химическими двигателями почти исчерпали свой потенциал в межпланетных полетах. Можно бесконечно совершенствовать карету, но автомобиль все равно поедет быстрее, поэтому все чаще с задачей окончательного разгона и маневра справляются двигатели, использующие нетепловой способ разгона от-



ЭЛЕКТРОХОДЫ

брасываемой массы. New Horizons не оснащен такими двигателями, но можно не сомневаться, что уже в самом недалеком будущем они перехватят пальму первенства у химических ракет.

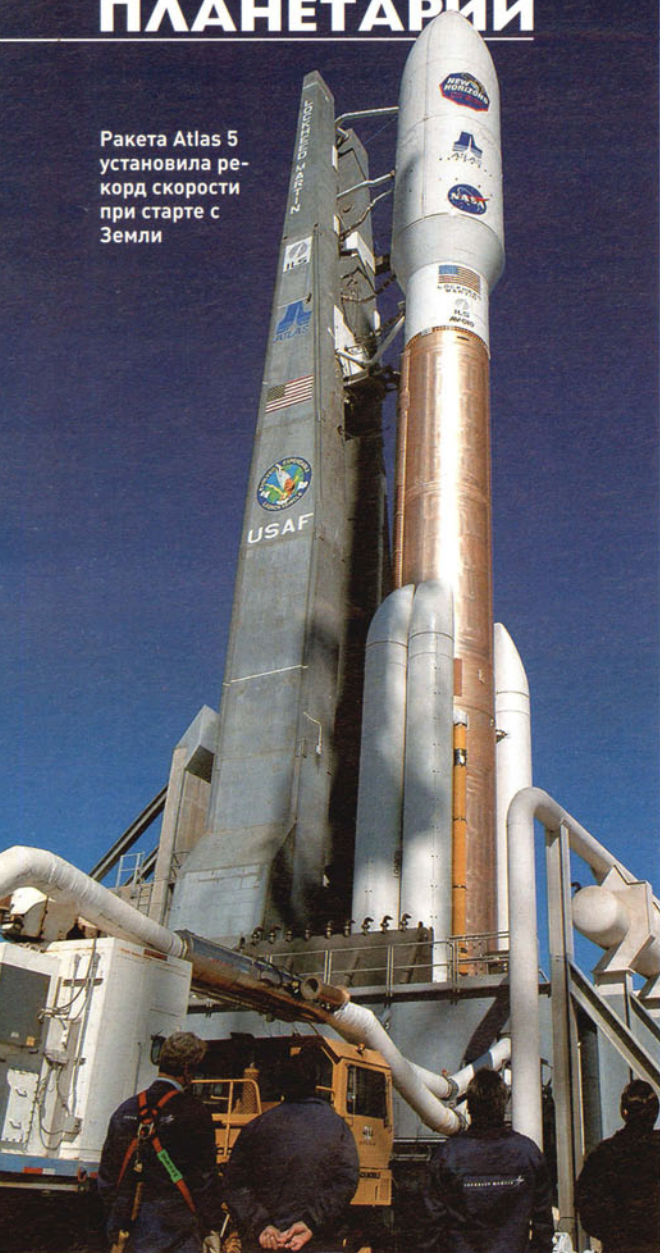
Для того чтобы вывести космический аппарат хотя бы в район Юпитера, надо придать ему у Земли скорость не менее 14 км/с. Обычно старт таких аппаратов производится с про-

межучточной орбиты. Если делать это с помощью существующих ракет-носителей и разгонных блоков, оснащенных химическими двигателями, то к планете улетает очень маленький объект — в 5—10 раз меньше по массе, чем выведенный на низкую околоземную орбиту разгонный блок. А ведь космическому кораблю надо еще затормозить при подлете, чтобы стать спутником исследуемой плане-

ты. Вот и получается, что полезная масса исследовательской аппаратуры ограничивается всего парой сотен килограммов.

Несмотря на доведенную почти до совершенства технологию существующих химических ракетных двигателей, невысокий предел скорости истечения продуктов горения становится той стеной, которую нельзя пробить... Но, как ни странно, можно объехать! Это позволя-►

Ракета Atlas 5 установила рекорд скорости при старте с Земли



ют сделать ракетные двигатели, в которых источник энергии и отбрасываемая масса разделены.

ОБХОДНЫЕ ПУТИ

Чем же можно заменить обычные ракетные двигатели? Например, можно нагреть до высокой температуры сверхлегкие газы (водород, гелий, метан) и заставить их течь через сопло со скоростями в 2,0—2,5 раза выше, чем у химических ракетных двигателей. Это можно сделать с помощью либо компактного ядерного реактора, либо нагревательного элемента, работающего от солнечных батарей. Ядерные ракетные двигатели для пилотируемых экспедиций на Марс, которые так стремились осуществить США и СССР на заре космонавтики, активно разрабатывали в 1960—1970-е годы. Правда, из-за опасности радиационного заражения подобные работы были остановлены на фазе наземных испытаний.

Еще более экономичны и быстры плазменные и ионные электроракетные двигатели. В них поток заряженных частиц разгоняется до высоких скоростей с помощью электромагнитного поля, почти как в ускорителе элементарных частиц. Определяющим их тягу параметром оказывается мощность энергоустановки, создающей поле и разгоняющей частицы.

В начале 1960-х годов американские специалисты экспериментировали с компактными ядерными реакторами, оборудованными турбогенераторами. Они столкнулись с низкой надежностью и большими габаритами установки. Работы по улучшению характеристик системы требовали огромных финансовых вложений, и «аппетиты» пришлось ограничить сравнительно простыми радиоизотопными генераторами с полупроводниковыми термоэлектрическими преобразователями. Последние стояли на всех зарубежных аппаратах дальнего космоса — от «Пионеров» до «Кассини».

Отечественные специалисты сконцентрировали внимание на термоионных и термоэмиссионных преобразователях, встроенных в активную зону реактора. Они позволили резко уменьшить габариты и массу радиатора-излучателя при довольно высоком КПД установки в целом.

Масса ядерной энергоустановки определяется ее максимальной мощностью, причем с ростом последней удельная масса системы снижается. Появляется возможность дать больше энергии на электроракетные двигатели, и это очень удачно: при увеличении мощности абсолютная и удельная тяга растут быстрее, чем масса двигателя. Поэтому, сохраняя неизменными величину тяги▶

Скоро реактивные двигатели на нетепловых принципах перехватят пальму первенства у химических ракет



До исследования подледной воды на Европе дело пока не дошло

С КАКИМ БАГАЖОМ ЛЕТЕТЬ НА ЕВРОПУ?

В 1970-х годах американские зонды Voyager 1 и Voyager 2, пролетавшие в окрестностях Юпитера, обнаружили ледяной покров на его естественных спутниках Каллисто, Ганимеде и Европе. В 1995 году на орбиту вокруг Юпитера была выведена автоматическая станция Galileo, которая зафиксировала признаки воды под ледяным покровом Европы. Ученые предположили, что в этой воде вполне могла зародиться жизнь, пусть и в самых примитивных формах. Именно в связи с этим стали разрабатываться проекты детального исследования ледяных лун Юпитера, в первую очередь Европы.

Космические автоматы, которые побывали в этом районе Солнечной системы, можно пересчитать по пальцам. Даже самый крупный и сложный из них, Cassini, для исследования ледяного панциря Европы и жидкого океана под ним не пригоден. Для этого необходим переход на качественно новый уровень:

станция должна быть сложнее и, соответственно, многократно тяжелее всех запущенных до сего дня зондов. Предполагается, что такая станция выйдет на орбиту спутника малой планеты и будет изучать ее с помощью мощного радиолокатора.

По прогнозам, толщина ледяного покрова Европы составляет порядка 70—80 км. Таким образом, мощность излучения радара, который сможет «достать» до подледной воды, должна составлять несколько десятков киловатт, а масса научной аппаратуры, обеспечивающей его работу, — порядка тонны! Немаленьким должен быть и передатчик, который обеспечит непрерывную доставку научной информации на Землю. Для сравнения напомним, что масса приборов станции Galileo составляла всего 118 кг, а максимальная мощность системы энергообеспечения на основе радиоизотопных термоэлектрических генераторов во время полета около Юпитера не превышала 0,5 кВт.

ИОННЫЕ ПЕРВОПРОХОДЦЫ

Активные исследования в области электроракетных двигателей были начаты в СССР еще в первой половине 1960-х годов. Основной задачей для мощных «электрических ракет» в то время была пилотируемая экспедиция на Марс. Расчетные значения потребной удельной мощности (на уровне 10 МВт) и высокой удельной тяги почти однозначно определяли выбор типа двигателя — блок из 10—20 магнитоплазодинамических (МПД) ускорителей.

Исследовательский Центр имени М.В. Келдыша (в то время НИИ тепловых процессов), как головной институт космической отрасли, провел обширные теоретические и экспериментальные исследования МПД-двигателей. В первые 10 лет изучались различные рабочие тела, всевозможные конструктивные схемы, разрабатывались методы диагностики, была создана уникальная стендовая база. Позднее, в 1970—1980-х годах, было проведено более 20 летних испытаний МПД-ускорителей, созданных в Центре Келдыша. Также в нашей стране интенсивные исследования МПД-двигателей велись в НПО «Энергия», ЦНИИмаш, ОКБ «Факел», МАИ, МИРЭА и МГТУ. Интерес к разработке ракетных МПД в 1970-е годы заметно снизился, что было вызвано в первую очередь трудностями генерации требуемой мощности в космосе. Так что сейчас работы по большим МПД продолжаются только в МАИ. Стоит заметить, что наряду с такими очевидными достоинствами данного типа двигателей, как высокие электрическая мощность и удельная тяга, у них имеется и один крупный недостаток — малый ресурс работы. В более выгодном положении оказались так называемые «стационарные плазменные двигатели» (СПД). Установки на их базе уже давно и успешно применяются на отечественных спутниках (первое испытание произошло в 1972 году на борту аппарата «Метеор»). Штатная эксплуатация серийных СПД была начата в 1982 году со спутника «По-

ток», где они использовались для коррекции геостационарной орбиты по долготе (в направлении «восток-запад»). Позже СПД устанавливались на спутниках связи «Луч», «Луч-2», «Купон», «Ямал-100», «Ямал-200». С 1994 года в составе геостационарных аппаратов «Галс», «Экспресс», «Экспресс-А», *Sesat* и «Экспресс-АМ» в космосе эксплуатируются довольно мощные СПД, которые корректируют орбиту как по долготе, так и по наклону (в направлении «север-юг»). Надо отметить, что все они получают питание от солнечных батарей.

В настоящее время ведущие космические державы активно используют российские электроракетные двигатели на своих аппаратах. Уже в 2002 году предпринимались попытки вывести на геостационарную орбиту спутники *Stentor* и *Astra 1K* с нашими СПД, но оба аппарата были потеряны из-за аварий ракет-носителей.

В 2003 году Европейское космическое агентство запустило к Луне научный аппарат *SMART 1*, оснащенный двигателем *PPS-1350*, который стал результатом совместной деятельности российского ОКБ «Факел» и французской компании *Snesta*.

С этого момента зарубежные спутники с российскими электроракетными двигателями на борту стали запускаться регулярно. В 2004 году в космос ушли сразу несколько подобных аппаратов. Так, в июне на «геостационар» выведены *Intelsat 10-02* и *Telstar 18*, в августе — *Amazonas*, а в феврале 2005 года запущен *AMC-12/WorldSat 2*. Не отстают и отечественные спутникостроители, которые оснащают мощными СПД спутники серии «Экспресс-АМ», «Монитор-М» и другие.

Разработчиком двигателей, установленных на борту указанных выше аппаратов, является ОКБ «Факел». В настоящее время активные работы по электроракетным двигателям также проводятся еще в двух организациях — в Центре Келдыша и ЦНИИмаш.

и время перелета, можно уменьшить необходимую массу топлива и выиграть в массе полезной нагрузки аппарата.

За такими двигателями — будущее, а наша страна, кстати, располагает уникальным опытом создания и эксплуатации реакторных энергоустановок в космосе. В 1960-е годы в СССР были разработаны ядерные энергоустановки «Бук» (с термоэлектрическим преобразователем мощностью 3 кВт) и «Тополь» (более известна как «Топаз», с термоэмиссионным преобразователем мощностью 5 кВт). Первый спутник с «Буком» был выведен на околоземную орбиту в 1970 году, а в период до 1988 года состоялись запуски в общей сложности 32 аппаратов данного типа. В 1987 году на орбиту были выведены два спутника с «Топазом». Для сравнения: единственный американский аппарат с атомным реактором *SNAP 10A* и термоэлектрическим преобразователем мощностью около 0,5 кВт был запущен США в 1965 году. Затем работы по ядерной энергетике в космосе в Америке надолго перешли в теоретическую плоскость и были возобновлены лишь в 2002 году в рамках программы «Инициатива по ядерным установкам».

Умеют у нас в стране делать и так называемые «стационарные плазменные двигатели» (СПД), имеющие на порядок большую удельную тягу, чем традиционные химические. Установки на их базе уже давно и успешно работают на многих отечественных и зарубежных спутниках. Удельная тяга, то есть отношение силы тяги к секунднему расходу топлива, — важнейшая характеристика любого ракетного двигателя. Чем выше скорость истечения газов, тем выше тяга при одинаковом расходе топлива, а с ней и экономичность двигателя.

РАДИОЗОНДАЖ СПУТНИКА ЮПИТЕРА

Недавно российские специалисты Центра Келдыша и НПО имени С.А. Лавочкина (фирма-создатель отечественных «межпланеток») разработали проект автоматической станции с мощным ионным двигателем для исследования спутника Юпитера Европы. Аппарат будет оснащен радиолокатором дециметрового▶

У России есть уникальный опыт эксплуатации ядерных реакторов в космосе

Орбитальная станция с ядерным реактором *SNAP*. Для безопасности реактор вынесен на штанге на 20 метров от станции. Эскиз проекта 1960-х годов



GFN/NASA



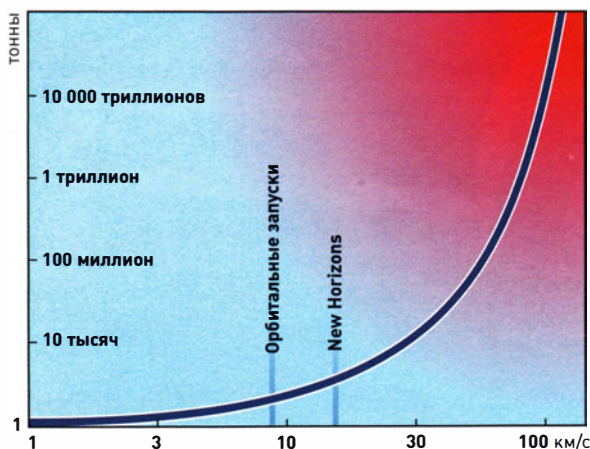
Российский проект станции с ядерным реактором (слева) и ионными двигателями (справа) пока даже не получил названия. Выйдя на рабочую орбиту, станция раскроет антенну радара, которая заслоняет сопла двигателей



Для доставки к Юпитеру тонны аппаратуры хватит двигателя мощностью 100 кВт

ФОРМУЛА ЦИОЛКОВСКОГО

Затраты топлива на разгон тонны груза до заданной скорости при скорости истечения газов 3 км/с



КОСМИЧЕСКИЙ ТЯНИТОЛКАЙ

Птица в полете опирается на воздух, спортсмен-прыгун отталкивается от земли, а у корабля в безвоздушном пространстве нет точки опоры. Поэтому остается только один способ ускорения — выброс части собственной массы с максимальной скоростью в сторону, противоположную той, куда надо двигаться. Но если скорость истечения топлива мала, то большая часть энергии уходит на то, чтобы разогнать вместе с ракетой запасы рабочего тела. В результате КПД ракетной установки резко падает, когда конечная скорость становится заметно больше скорости истечения. Чисто теоретически обычные химические двигатели могут разогнать космический аппарат до скорости, близкой к световой, только топлива для этого понадобится больше, чем все разведенные запасы нефти и газа.

го диапазона с мощностью 30 кВт и раскладывающейся антенной площадью 100 м². Прототип антенны, сверхлегкий раскладной «зонтик» размером 19х6м, разработан и испытан в наземных условиях ОКБ МЭИ совместно с КБ «Салют» (разработчик пилотируемых лабораторий «Салют» и модулей комплексов «Мир» и Международной космической станции). Подобная антенна будет использоваться как для зондирования поверхности Европы, так и для передачи полученных данных на Землю.

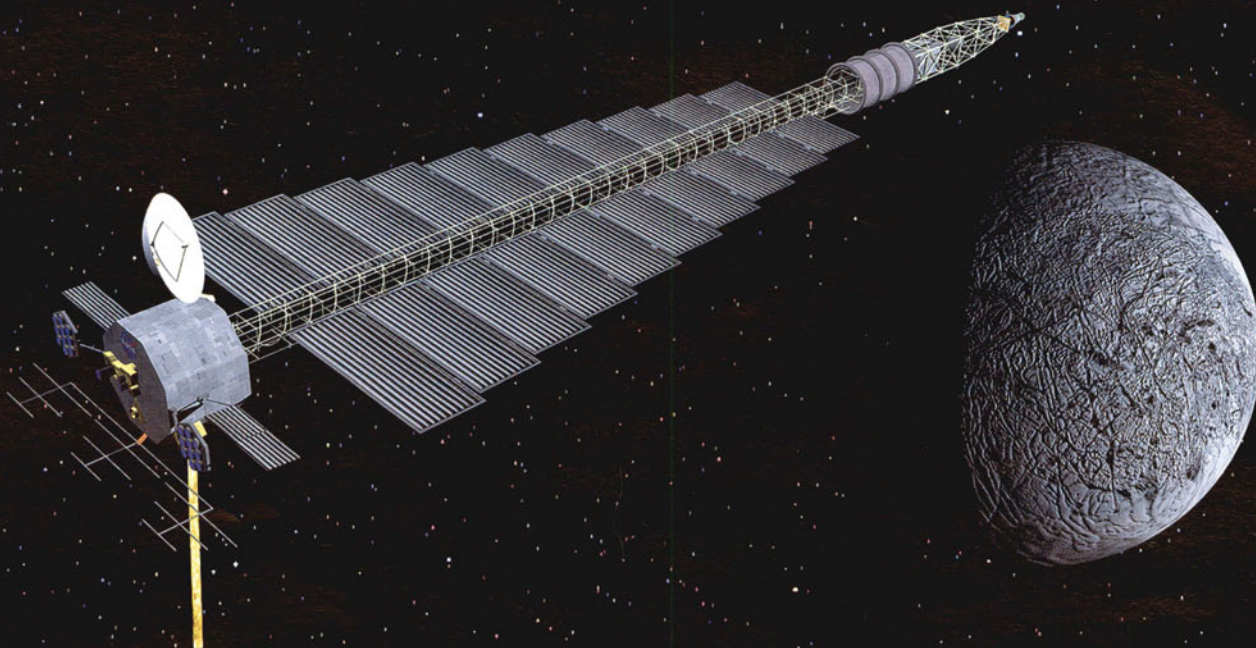
Баллистика проекта непроста: тяжелая исследовательская станция начинает свою миссию, раскручивая витки спирали на электроракетных двигателях с радиационно безопасной околоземной орбиты высотой 800 км, на которую ее доставляют носитель «Протон-М» или перспективная ракета «Ангара-5», проектирование которой ведется в настоящее время российским Центром имени М.В. Хруничева. Далее с околоземной орбиты стартует «автобус» массой 18,9—21,5 т. За 330—490 суток аппарат постепенно выходит из гравитационного поля Земли и начинает межпланетный полет. Здесь его «ядерное сердце» не

останавливается, и двигатели продолжают работать, а станция набирать скорость. Время перелета «Земля—Юпитер» составит 1 600—1 800 суток, из которых 530—570 суток работает двигатель — сначала на разгон, а затем на торможение.

В сфере действия Юпитера траектория движения станции приобретет форму скручивающейся спирали, маневрирование для выхода на орбиту вокруг Европы продлится 280—435 суток. Итого в общей сложности перелет займет 2 200—2 700 суток, то есть 6—7 лет. Более половины времени полета двигатель аппарата будет находиться в работе! Отметим: все станции, летавшие к планетам юпитерианской группы, большую часть полетного времени провели в практически выключенном состоянии.

Как показали расчеты, для того, чтобы доставить на орбиту вокруг Европы полезную нагрузку 1 000—1 500 кг, нужна маршевая электроракетная двигательная установка мощностью всего 100 кВт, которую легко можно запитать от небольшого ядерного реактора.

В результате на «околоевропейской» орбите окажется грандиозный аппарат массой 7,0—8,5 т! Его внешний вид не характерен для отечественных спутников и станций. Он будет напоминать футуристический дизайн кораблей из голливуд-►



SPL/EAST NEWS (6)

Проект «атомного электролета» сравним по важности с экспедицией на Марс

Американский проект JIMO. «Крылья», отходящие от осевой фермы, — это не солнечные батареи, а радиаторы для сброса в космос «отработанной» тепловой энергии

сих научно-фантастических фильмов: объект неправильной формы, кажущийся случайным нагромождением ферм, ящиков с аппаратурой и параболических антенн сложной формы. Одним словом, атомный электроход для исследования дальнего космоса!

МЕЖДУНАРОДНОЕ СОТРУДНИЧЕСТВО

Отечественный проект аппарата для исследования ледяных океанов Европы выполнен в рамках Федеральной космической программы на период 2006—2015 годов, которая предусматривает переход от оценки роли ядерной энергетики в реализации перспективных космических программ к реализации «в железе» аппаратов с использованием ядерных энергетических установок. Материалы концептуального проекта были представлены на 41-й сессии Научно-технического подкомитета Комитета ООН по космосу в 2004 году и изложены в докладе на 55-м Международном космическом конгрессе IAC (International Astronautical Congress), который проходил 4—8 октября 2004 года в Ванкувере (Канада).

Данный Конгресс вообще стал крупной вехой на пути к

космической ядерной энергетике: на нем очень пристально рассматривались стратегия, архитектура, концепции и технологии развития космонавтики с использованием ядерно-электрических двигательных установок.

Американцы тоже задумываются о мирном применении энергии атома в космосе. Выдвинутая в 2002 году «Инициатива по ядерным установкам» включала в себя два направления — разработку радиоизотопных генераторов нового поколения и реакторов для питания электроракетных двигателей. Через год она была дополнена третьим направлением — разработкой большой ядерно-электроракетной станции JIMO (Jupiter Icy Moons Orbiter) для исследования трех ледяных спутников Юпитера — Каллисто, Ганимеда, Европы.

«Инициатива» получила название «Проект Прометей» и стала одной из главных программ по созданию технологического обеспечения будущих межпланетных миссий, как автоматических, так и пилотируемых. Предполагается, что из 1 500 кг научной аппаратуры, которая будет установлена на «Джимо», примерно 350—400 кг могут быть выделены

спускаемому на поверхность Европы аппарату.

Уровень проекта «Прометей» был международным, и президент США призвал все страны участвовать в нем по мере возможности. Однако это оказалось просто декларацией: на деле Америка не содействовала международной кооперации, проект так и остался только национальным. После того как американцы взяли за данную разработку, они столкнулись с рядом очень серьезных технологических трудностей. В результате к настоящему времени основные компоненты «Джимо» существуют лишь на бумаге.

У отечественных специалистов здесь имеются огромные преимущества в виде серьезного научно-технического задела и разработок, готовых к практической реализации. По мнению ряда независимых экспертов, проект российского «атомного электрохода» настолько важен по сути и широк по объему технологических инноваций, что его можно сравнить с полетом человека на Марс. Такая амбициозная программа, позволяющая создать практически полный набор технологий для следующей ступени освоения космоса, как раз и необходима России, чтобы восстановить передовые позиции в исследовании космоса.●