

А.Гафаров

ЯДЕРНЫЙ КОСМОС

Прогресс науки и техники, прежде всего космической, вплотную приблизил человечество к решению фундаментальных научных проблем — происхождения Солнечной системы и жизни в ней.

В 1970-х годах американские автоматические межпланетные станции (АМС) Voyager 1 и Voyager 2 при пролете Юпитера обнаружили ледяной покров на его естественных спутниках — Каллисто, Ганимеди и Европе. Выведенная в 1995 г. на орбиту вокруг Юпитера американская АМС Galileo зафиксировала признаки существования воды под ледяным покровом Европы. По мнению ряда ученых, в этой воде могут находиться живые организмы, характерные для начальной стадии зарождения жизни. Таким образом, изучение подледной воды на Европе может дать разгадку одной из тайн мироздания. И в связи с этим стали разрабатываться проекты детального исследования ледяных лун Юпитера, в первую очередь Европы.

Однако для осуществления такого проекта необходим переход на качественно новый уровень энергодвигательного обеспечения межпланетных полетов. Это связано прежде всего с тем, что, по результатам предварительного анализа, при прогнозируемой толщине ледяного покрова Европы на уровне 70-80 км для обнаружения под ним воды мощность излучения радиолокатора должна составлять несколько десятков киловатт; при этом его масса с обеспечивающими системами будет порядка 1000 кг (для сравнения: масса полезной нагрузки АМС Galileo составляла 118 кг, а максимальная мощность ее системы энергоснабжения на основе радиоизотопных термоэлектрических генераторов во время полета около Юпитера не превышала 0.5 кВт. Необходимый для зондирования Европы уровень энергоснабжения в рассматриваемых условиях может быть обеспечен только энергоустановкой на основе ядерного реактора деления. Такая энергоустановка позволит также увеличить на порядки скорость и объем передаваемой на Землю информации и в результате — выйти на принципиально новый уровень научной эффективности полета межпланетного КА.

Для проведения детального радиолокационного зондирования ледяного покрова Европы требуется также решение новой баллистической задачи — вывод КА на орбиту вокруг этого спутника Юпитера. Как показал анализ, решить эту задачу с доставкой на орбиту вокруг Европы полезной нагрузки массой 1000-1500 кг возможно только при использовании маршевой электроракетной двигательной установки (ЭРДУ), питающейся от ядерной энергоустановки (ЯЭУ) мощностью порядка 100 кВт.

В принятой Правительством РФ в 1998 г. «Концепции развития космической ядерной энергетики в России» предусматривается применение ядерных энергодвигательных установок как для решения ряда актуальных задач в околоземном космосе, так и для выполнения широкого спектра межпланетных полетов.

В рамках работ по реализации Концепции в Центре Келдыша, головном предприятии Федерального космического агентства по данному направлению, начиная с 1999 г. ведутся исследования эффективности ядерных энергоустановок для изучения Солнечной системы. В частности, в 2000 г. совместно с НПО имени С.А. Лавочкина был выполнен предварительный анализ полета межпланетного КА к Юпитеру с выходом его на орбиту вокруг Европы. Его результаты показали, что поставленная задача не решается в полном объеме при использовании ракеты-носителя среднего класса типа «Ямал» (грузоподъемность 12 т на опорной орбите высотой 200 км) и ЯЭУ электрической мощностью 50 кВт. Даже при использовании ЭРДУ с удельным импульсом 6000 сек масса полезной нагрузки КА оказалась существенно меньше 1000 кг при потребном ресурсе ЯЭУ и ЭРДУ около 10 лет. Вместе с тем в данной работе была обоснована целесообразность применения маршевой ЭРДУ не только на всех участках межпланетного полета, но и для выхода КА из сферы действия Земли.

Новая, более углубленная проработка КА для зондирования Европы была выполнена в 2003 г. с привлечением специалистов ЦНИИмаш и МАИ. Прежде всего, в рамках данного концептуального проекта были уточнены характеристики основной целевой аппаратуры такого КА — бортового радиолокатора. С учетом зависимости эффективной глубины зондирования ледяного покрова от частоты используемого излучения и принятой толщины ледяной коры на уровне 70-80 км был выбран декаметровый диапазон излучения с верхней частотой не более 10 МГц ($\lambda \sim 30$ м) и рабочей полосой частот до 9 МГц. При ограничении на площадь антенны в 100 м² потребная средняя мощность электромагнитного сигнала составляет около 30 кВт. В качестве прототипа антенного устройства для зондирующего радиолокатора была принята разработанная ОКБ МЭИ совместно с КБ «Салют» раскладная антенна размером 19x6 м² (рис. 1).

Эту же антенну предусматривается использовать для зондирования поверхностных слоев Европы в метровом и дцм-диапазонах, а также для передачи данных на Землю. Суммарная масса такого целевого комплекса составляет 967 кг, а его габариты обеспечивают компоновку в составе КА.

С точки зрения баллистики в данном проекте рассматривается старт межпланетного КА с ЯЭУ и ЭРДУ с радиационно безопасной околоземной орбиты высотой 800 км, на которую он доставляется ракетой-носителем «Протон-М» или «Ангара-5» с химическим разгонным блоком (ХРБ). С помощью ЭРДУ, питаемой от ЯЭУ, осуществляется выход КА из гравитационного поля Земли, межпланетный перелет и движение КА в гравитационном поле Юпитера с выходом на орбиту вокруг Европы. В соответствии с таким сценарием полета исследовались варианты КА, различающихся величиной электрической мощности ЯЭУ типа «Топаз» (в диапазоне $N=50-100$ кВт), параметрами

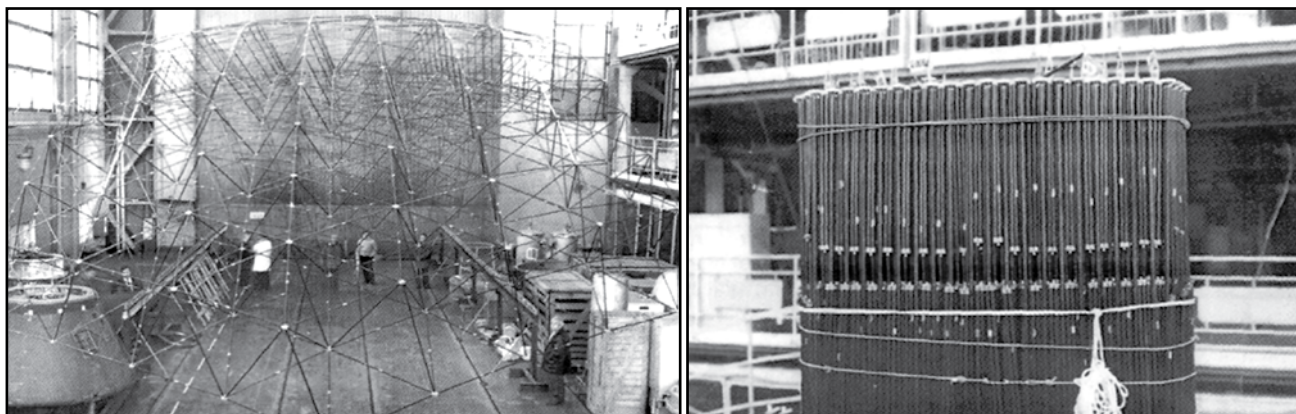


Рис. 1. Прототип антенного устройства для зондирующей РЛС разработки ОКБ МЭИ и КБ «Салют» в транспортном и развернутом состоянии

ЭРДУ (величиной тяги P и удельного импульса тяги в диапазоне $R_{уд} = 2500-6000$ сек) и типом используемых РН.

Как показал анализ, наиболее рациональным является использование на всех участках полета ЭРДУ максимальной электрической мощности — 100 кВт.

Из расчетов следует, что при принятых предположениях время работы ЯЭУ (и ЭРДУ) практически не превысит 5 лет, а время полета — 8 лет, при этом масса КА на орбите назначения может достигать 8500-9600 кг. На рис. 2 в качестве примера представлена проекция на плоскость эклиптики гелиоцентрического участка оптимальной траектории перелета длительностью 1800 суток при использовании РН «Протон-М» и ЭРДУ с удельным импульсом тяги 4500 сек. Здесь положение Земли и Юпитера в момент старта КА с околоземной орбиты обозначено как $T_{сз}$ и $T_{сю}$, а положение Юпитера в момент прибытия к нему КА — как $T_{пю}$. На рис. 2 показана также линия апсид α - π и линия узлов Ω орбиты Юпитера, ось X направлена в точку весеннего равноденствия.

Следует отметить наличие на данной траектории двух пассивных участков (обозначенных пунктиром). При сокращении времени перелета до 1400 суток на траектории остается только один пассивный участок, но при этом увеличивается время работы ЭРДУ на перелете, растет расход топлива на 842 кг и соответственно уменьшается масса КА на подлете к сфере действия Юпитера.

На основе результатов баллистических расчетов в НПО имени С.А. Лавочкина был проработан проектный облик и состав КА. На рис. 3 представлен общий вид космической головной части, состоящей из головного блока и головного обтекателя, а также общий вид головного блока в составе химического разгонного блока и КА при отделении от ракеты-носителя.

Следует отметить, что благодаря компактности ЯЭУ с термоэмиссионным преобразователем типа «Топаз» в сложенном состоянии (диаметр 3.7 м, длина 4.5 м при мощности 105 кВт) обеспечивается размещение головного блока под стандартным обтекателем, предназначенным для РН «Протон-М» и «Ангара-5».

В состав КА входят:

- служебный модуль с исследовательской аппаратурой;
- ядерная энергетическая установка (ЯЭУ);
- электроракетная двигательная установка (ЭРДУ);
- жидкостная ракетная двигательная установка (ЖРДУ).

На рис. 4 представлен общий вид КА на участках работы ЭРДУ. После отделения ХРБ производится успокоение КА с помощью ЖРДУ, развертывание и запуск ЯЭУ, ориентация и стабилизация КА в требуемом направлении при помощи ЖРДУ и включение ЭРДУ. Стабилизация КА по тангажу и крену обеспе-

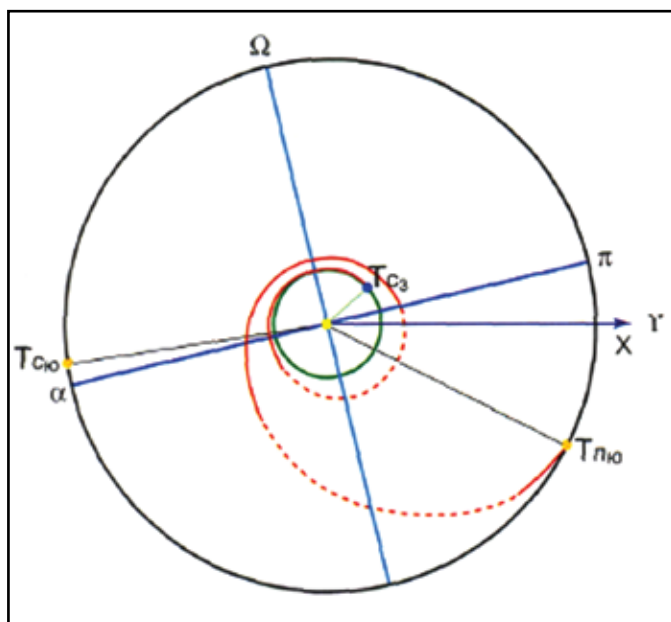


Рис.2. Траектория перелета к Юпитеру

чивается поворотом двух блоков электроракетных двигателей, а за счет их разнотяговости обеспечивается стабилизация КА по каналу рысканья. Связь с Землей на всех этапах полета обеспечивается остронаправленной двухметровой параболической антенной с соответствующей аппаратурой радиокомплекса.

На рис. 4 (внизу) показан общий вид КА на орбите вокруг Европы. При выходе на эту орбиту производится ориентация КА при помощи ЖРД малой тяги продольной осью на поверхность спутника Юпитера и развертывание радиолокационной антенны, которая в сложенном состоянии находилась внутри блока баков ЭРДУ. При необходимости коррекция орбиты может проводиться двигателями малой тяги, работающими на гидразине.

Описанные выше материалы концептуального проекта были отражены в презентации Роскосмоса на 41-й сессии Научно-технического подкомитета Комитета ООН по космосу и изложены в докладе, представленном на 55-м Международном космическом конгрессе (International Astronautical Congress — IAC).

Столь повышенное внимание на Конгрессе к космической ядерной энергетике связано с возросшей активностью ведущих космических держав в этой области. В феврале 2002 г. в США была принята программа под названием «Инициатива по ядерным системам» (Nuclear Systems Initiative), предусматривающая разработку радиоизотопных генераторов нового поколения, а также двигательных установок (ДУ) на основе реакторных энер-

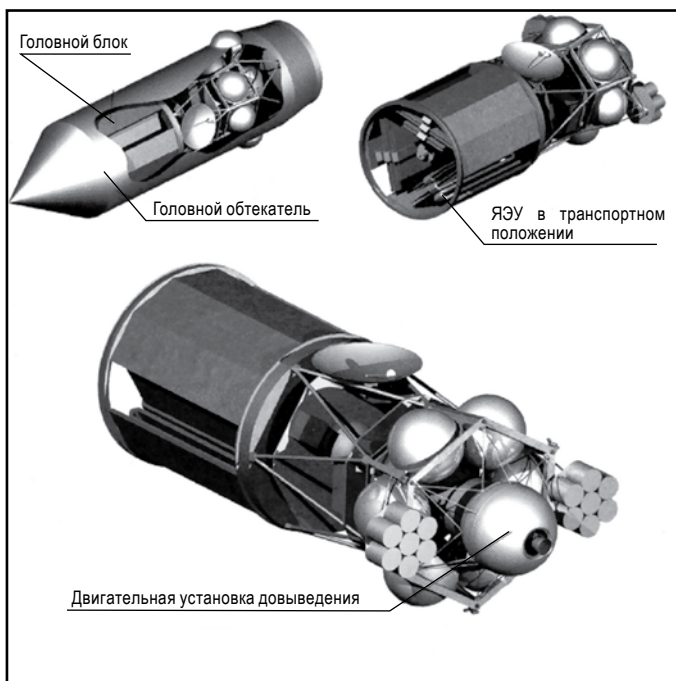


Рис. 3. Конфигурация АМС под обтекателем и после отделения от ракеты-носителя

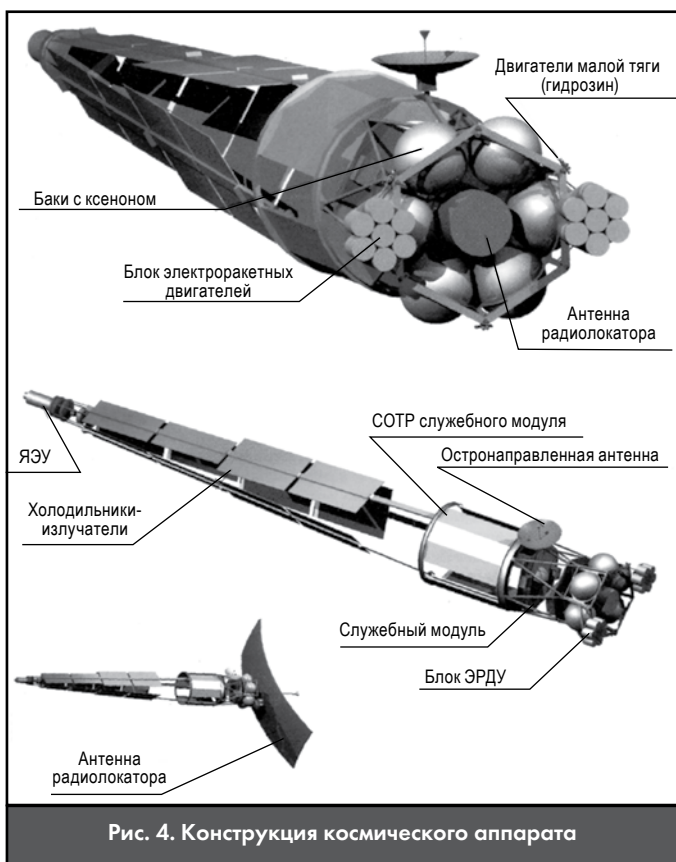


Рис. 4. Конструкция космического аппарата

главных среди программ технологического обеспечения будущих перспективных межпланетных полетов как автоматических, так и пилотируемых аппаратов. Ядерной энергетике отводится значительная роль и в реализации перспективной долгосрочной программы космических исследований ЕКА под названием «Аврора» (Aurora). В Китайской Народной Республике ведутся работы по созданию ЯЭУ с термоэмиссионным преобразователем для применения на околоземных спутниках.

В связи с изложенным с большим интересом ожидалось доклады по космической ядерной энергетике на Конгрессе в Ванкувере. Этому способствовали сообщение о выборе в конце июля — начале августа 2004 г. разработчиков реактора и электроракетной ДУ для АМС JIMO и полученное буквально накануне Конгресса (20 сентября) сообщение о выборе головного подрядчика по проекту JIMO, которым стала компания Northrop-Grumman Space Technology. Однако ожидания оправдались только частично. На Конгрессе так и не был представлен заявленный обзорный доклад по Проекту «Прометей», одним из соавторов которого является его директор А. Ньюхауз. Как следует из аннотации доклада, в нем изложены краткая история проекта, его современное состояние и направления будущих работ.

Аннотациями ограничились и представители Jet Propulsion Laboratory, головной организации NASA по проекту JIMO. Их доклады должны были содержать результаты предварительных исследований по использованию технологий, разработанных в рамках Проекта «Прометей», для выполнения ряда высокоприоритетных миссий. В частности, предполагалось показать влияние требований со стороны этих миссий на основные элементы JIMO и пути обеспечения его использования для выполнения широкого круга научных миссий. Одна из миссий, связанных с доставкой на полярную орбиту вокруг Нептуна КА с зондами, была темой также представленного только аннотацией доклада группы специалистов во главе с представителем компании Boeing.

Среди поступивших на Конгресс полноразмерных докладов можно отметить работу одного из членов группы по разработке программ научных исследований для JIMO. Эта группа, в частности, рекомендовала, чтобы масса полезной нагрузки КА составляла порядка 1500 кг, при этом до 25% этой массы предназначалась для спускаемой на поверхность Европы научной аппаратуры. Еще один доклад был посвящен анализу возможности использования высокомошной радиолокационной зондирующей аппаратуры, которую планируется установить на JIMO, для проведения широкого круга научных исследований.

В докладе представителя ЕКА была изложена схема организации технологических разработок в рамках западноевропейской программы «Аврора». Ее конечной целью является осуществление пилотируемых полетов на Марс. Среди технических средств для реализации второго этапа этой программы, предусматривающего использование усовершенствованных транспортных средств и начало создания инфраструктуры на поверхности планеты, планируется разработка ядерных электроракетных двигательных установок и напланетных энергоустановок. Для реализации третьего этапа программы, предусматривающего длительное пребывание астронавтов на Марсе, предполагается разработка ядерных ракетных (тепловых) двигателей, обеспечивающих быстрые перелеты между Землей и Марсом.

Среди других докладов, посвященных различным аспектам создания и применения в космосе ядерных источников энергии различных типов, на Конгресс был представлен доклад, где рассмотрены вопросы разработки электроракетных двигателей, предназначенных для совместного использования с ядерными энергоустановками.

Неосомненно, что широкое обсуждение перспектив применения космической ядерной энергетике будет продолжено.

гоустановок и электроракетных двигателей. Спустя год было объявлено о расширении работ по Инициативе за счет разработки проекта КА с ядерно-электрической ДУ под названием JIMO (Jupiter Icy Moons Orbiter — орбитальный аппарат для исследования ледяных лун Юпитера). Расширенная таким образом ядерная инициатива получила название «Проект «Прометей»» (Project Prometheus). А в начале 2005 года, в рамках объявленной президентом США новой широкомасштабной инициативы по исследованию космоса, проект «Прометей» стал одним из

