

Таким образом, в результате исследований по обоснованию областей предпочтительного применения ядерных энергетических и энергодвигательных установок и проблемных вопросов создания транспортно-энергетических модулей на их основе для решения перспективных энергоемких задач радиолокационного наблюдения могут быть сформулированы следующие выводы:

выведение космических аппаратов с энергопотреблением до 15—20 кВт на высокие орбиты при использовании ракет-носителей среднего класса предпочтительно с помощью солнечных транспортно-энергетических модулей с электрическими и тепловыми ракетными двигателями;

решение энергоемких задач на геосинхронных орбитах с использованием ракет-носителей тяжелого класса по предварительным оценкам не является строго безальтернативной областью применения ядерных энергетических или энергодвигательных установок;

целесообразно продолжить исследования по обоснованию безальтернативных областей применения ядерных энергетических или энергодвигательных установок в задачах развертывания и поддержания в готовности геостационарных орбитальных систем информационного назначения с использованием ракет-носителей тяжелого класса.

УДК 629.7.064.52:523.217

ПЛАНЕТНАЯ АЭС НА ОСНОВЕ ТЕРМОЭМИССИОННОГО РЕАКТОРА-ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ

Синяевский В.В., Юдицкий В.Д.

(Ракетно-космическая корпорация «Энергия» им. С.П. Королева)

Создание лунной и марсианской баз и поселений с технологическим освоением и использованием их природных ресурсов потребует применения мощных источников энергии, достаточно компактных, чтобы их можно было доставить средствами космической техники уже в первой трети XXI в. Таким универсальным источником энергии, эффективность которого не зависит от расстояния до Солнца и продолжительности лунных и марсианских суток, является АЭС.

В разработке концепции планетной АЭС использованы те же принципы, что и в бортовых ЯЭУ космических аппаратов и энергодвигательных блоков. Однако условия эксплуатации существенно отличаются от работы в свободном космическом пространстве вследствие наличия гравитационного поля и рельефа. Требования, предъявляемые условиями эксплуатации на поверхности Луны и Марса, состоят в следующем:

доставка на поверхность планет осуществляется средствами космической техники, поэтому конструкция АЭС должна иметь минимальные габариты и удобно размещаться в отсеке полезной нагрузки ракеты-носителя и космического транспортного корабля;

конструкция должна быть приспособлена для посадки на поверхность планет и установки в рабочее положение с минимальными затратами труда космонавтов или полностью в автоматическом режиме;

среда планет допускает отвод отбросной теплоты термодинамического цикла только посредством теплового излучения.

Совокупности перечисленных требований отвечает предложенная концепция герметизированной планетной АЭС на базе космической высокотемпературной термоэмиссионной ЯЭУ, изготавливаемой из тугоплавкого конструкционного материала, например, ниобиевого сплава. Такая АЭС, включая термоэмиссионный реактор-преобразователь, радиационную защиту и холодильник-излучатель, заключена в герметичную камеру. При этом внешний теплообмен осуществляется за счет применения высокотемпературного экранированного стенками камеры холодильника-излучателя, что позволяет тем не менее реализовать большую мощность.

Важным достоинством предлагаемой АЭС является совместимость с планетной средой. Обеспечивается защита не только ЯЭУ от воздействия планетной среды, но и уникальной планетной среды от воздействия химических и газообразных продуктов деления АЭС. Упрощается конструкция посадочной ступени, решаются вопросы защиты АЭС от выбросов посадочного двигателя и планетной пыли при посадке на поверхность планеты. Упрощается консервация отработавшей планетной АЭС.

На рисунке показано устройство планетной АЭС на базе космической термоэмиссионной ЯЭУ. Все системы энергетической установки станции находятся внутри герметичной камеры. Герметичная камера устанавливается на поверхности планеты таким образом, что реактор энергетической установки находится в нижней, т.е. обращенной к поверхности планеты части. В образующих активную зону реактора термоэмиссионных многоэлементных электрогенерирующих сборках теплота, выделяющаяся при делении ядер, превращается в постоянный ток.

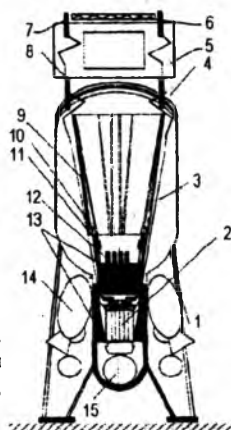
Электрический ток выводится из камеры через герметичные токовыводы. Через герметичные проходные вводы выводится измерительная информация о функционировании систем АЭС и вводятся сигналы управления. Возможна работа АЭС как в автономном режиме, так и по командам с пультов управления планетной базы, специального космического аппарата или с Земли.

Отбросная теплота термодинамического цикла при 1100—1200 К поглощается циркулирующим через активную зону теплоносителем ${}^7\text{Li}$ и доставляется к поверхности холодильника-излучателя ЯЭУ. С его поверхности тепло излучается на внутреннюю поверхность герметичной камеры и с внешней поверхности излучается в окружающее пространство.

В ЯЭУ предусмотрена пусковая система, обеспечивающая первый и при необходимости повторные пуски из состояния с замороженным литиевым теплоносителем. Особенностью пусковой системы на основе тепловых труб является использование тепла ядерного реактора для расплавления и разогрева теплоносителя, т.е. для пуска не требуется энергоемкий источник электроэнергии.

В условиях радиационного теплообмена с окружающей средой фактором, ограничивающим передаваемую тепловую мощность, является температура наружной стенки камеры. Если принять температуру поверхности камеры 700 К, что, с одной стороны, позволяет расширить выбор материалов корпуса камеры, в том числе применить относительно слабоактивирующиеся сплавы железа или титана, с другой, обеспечивает работоспособность электрического привода органов регулирования нейтронной мощности реактора, то можно оценить энергетические и массогабаритные характеристики при различных средствах доставки АЭС на поверхность планеты. Так, при использовании тяжелой ракеты-носителя типа «Протон» и электрореактивного буксира на поверхность Луны может быть доставлена АЭС массой около 8 т электрической мощностью 15—20 кВт с габаритами поверхности излучения $3,2 \times 8$ м с отводимым теплом 240 кВт, сверхтяжелой типа «Энергия» — 110—150 кВт при массе до 45 т и габаритах $5,8 \times 34$ м с отводимой тепловой мощностью 1850 кВт. Планетная АЭС электрической мощностью до 200 кВт будет иметь массу ~75 т и габариты поверхности охлаждения $8,5 \times 32$ м при отводимой тепловой мощности ~2500 кВт.

Общий вид планетной АЭС: 1 — вакуумная камера и опорная конструкция; 2 — термоэмиссионный реактор; 3 — шина; 4 — теплоизоляция; 5 — отсек электрооборудования; 6 — выходные шины АЭС; 7 — система управления; 8 — гермовыводы; 9 — холодильник-излучатель на тепловых трубах; 10 — литиевый контур и зоны испарения тепловых труб; 11 — электромагнитный насос; 12 — приводы регуляторов; 13 — защита; 14 — двигатели посадочной ступени; 15 — сборник газообразных продуктов деления



Мощность в рассматриваемых ЯЭУ может быть повышена за счет увеличения числа модулей с едиными отработанными техническими решениями. Это позволит в относительно короткие сроки при готовности новых средств выведения перейти на более высокий уровень электрической мощности. Нарращивание мощности возможно и увеличением числа одновременно работающих АЭС одинаковой размерности. В этом случае легко решается резервирование мощности, покрытие пиковых нагрузок.

В предлагаемой концепции АЭС предусматривается использовать задел и многие технические решения по разрабатываемым космическим ЯЭУ на основе теплового реактора. При этом открывается возможность применения независимо от конкретных условий универсальной конструкции собственно энергетической установки. Это в свою очередь позволяет в наибольшей степени унифицировать разработку планетной АЭС с созданием бортовых ЯЭУ и наиболее экономично построить программу единой унифицированной ядерной энергоустановки космического назначения, что в дальнейшем обеспечит высокий уровень серийности изготовления таких ЯЭУ.

Такая АЭС может быть использована для энергопитания автоматических планетных исследовательских комплексов, баз и производственных комплексов.

УДК 629.19:621.039.578

КОСМИЧЕСКИЕ ТЕРМОЭМИССИОННЫЕ ЯЭУ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ С ВЫНЕСЕННЫМИ ИЗ АКТИВНОЙ ЗОНЫ РЕАКТОРА ЭЛЕКТРОГЕНЕРИРУЮЩИМИ СИСТЕМАМИ

*Ярыгин В.И., Ионкин В.И., Купцов Г.А., Овчаренко М.К., Ружников В.А.,
Пышко А.П., Михеев А.С., Ярыгин Д.В. (ГНЦ РФ—ФЭИ им. А.И. Лейпунского),
Евстихин В.А., Богущ И.П., Люблинский И.Е., Чуманов А.Н. (ГП «Красная Звезда»)*

В соответствии с Концепцией развития космической ядерной энергетики, которая принята Постановлением правительства № 144 от 2 февраля 1998 г., современные требования ориентируют разработчиков на создание ЯЭУ для транспортных энергетических модулей, обеспечивающих выведение космических аппаратов с помощью электроракетных двигательных установок на высокие геостационарные и геосинхронные орбиты и последующее длительное энергообеспечение бортовых систем космических аппаратов на уменьшенной примерно в 2 раза электрической мощности, и основаны на нескольких базовых положениях: электрическая мощность — 120—150 кВт в транспортном и 50—60 кВт в номинальном (дежурном) режиме, ресурс работы — 7 лет и более (до 10—15), массогабаритные характеристики не должны заметно превышать ~4000 кг при ограничении продольного размера 4—4,5 м. Кроме того, требуется значительно сократить время разработки термоэмиссионных ЯЭУ при одновременном уменьшении финансирования, а также числа реакторных установок, в которых в настоящее время проводятся испытания традиционных ЭГК с совмещенными полостями твэлов и межэлектродного пространства термоэмиссионных преобразователей. Отсюда вытекает практическая невозможность экспериментального подтверждения у таких ЭГК стабильности выходных электрических характеристик в течение требуемого ресурса, а также характеристик собственно термоэмиссионных ЯЭУ.

Для удовлетворения перечисленным требованиям на современном этапе НИОКР, по нашему мнению, следует отказаться от традиционной концепции термоэмиссионных ЯЭУ со встроенными в активную зону ЭГК и приступить к разработке ЯЭУ нового поколения с вынесенными из активной зоны реактора термоэмиссионными электрогенерирующими системами. Такой подход позволит разработчикам разделить задачи создания и испытания собственно реактора и ЭГК, экспериментальное подтверждение ресурсной стабильности выходных электрических характеристик которых возможно в процессе их испытаний на стендах с электронагревом. В принципиальном плане для