

ЯДЕРНАЯ ЭНЕРГИЯ В КОСМОСЕ

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
Минск, Республика Беларусь

Самойлович Я. М.

Забелина И. А – канд. техн. наук, доцент

Проблема оснащения космических аппаратов надежными системами энергообеспечения стала очевидной после запусков первых искусственных спутников Земли. Химические аккумуляторные батареи не могли удовлетворить стремительно растущие потребности в энергообеспечении для решения серьезных энергоемких задач в космосе.

Один из вариантов решения проблемы предусматривал применение солнечных батарей для питания бортовой аппаратуры полезной нагрузки и служебных систем космического аппарата (КА). Этот вариант было достаточно просто реализовать в техническом плане, он был относительно дешев и надежен при эксплуатации. Однако элементы солнечных батарей имели ограниченный срок эксплуатации и не могли обеспечить энергией спутник во время нахождения на теневом участке орбиты – в этом случае энергия поступала от аккумуляторов, имеющих значительную массу и небольшой срок службы. В настоящее время с появлением новых материалов и технологий для производства солнечных батарей, этот способ обеспечения энергией космических аппаратов является основным в мировой космонавтике.

Другой вариант предусматривал использование ядерных источников энергии. Однако их применение на космических аппаратах было сопряжено с решением большого комплекса проблем обеспечения радиационной безопасности – как биосферы Земли на участке выведения спутника, так и полезной нагрузки КА в космическом пространстве. В 1965 г. были запущены два экспериментальных КА связи типа «Стрела-1» с радиоизотопными термоэлектрическими генераторами (РИТЭГ) «Орион-1», работающими на полонии-210. Вес генераторов составлял 14,8 кг, электрическая мощность – 20 Вт, срок работы – 4 месяца.

В последующие годы проводились работы, направленные на повышение мощности и ресурса РИТЭГ для луноходов и автоматических межпланетных станций. Разработанные конструкции РИТЭГ отличались применяемыми изотопами, термоэлектрическими материалами и конструктивными формами. Все это значительно усложняло и удорожало создание подобных энергетических установок. Сравнительно низкая энергоемкость, высокая стоимость РИТЭГ, сложности с решением проблем их использования в космосе, успехи в разработке энергетических установок на основе ядерного реактора явились причиной прекращения работ по созданию новых РИТЭГ для космоса.

В то же время в Советском Союзе наряду с работами по созданию ядерных энергетических установок (ЯЭУ) с термоэлектрическими генераторами проектировались ЯЭУ с термоэмиссионными преобразователями. Термоэмиссионное преобразование по сравнению с термоэлектрическим позволяет увеличить КПД, повысить ресурс и улучшить массогабаритные характеристики энергоустановки и космического аппарата в целом. В 1970–1973 гг. были созданы и прошли наземные энергетические испытания первые прототипы термоэмиссионной ЯЭУ. Эти испытания подтвердили возможность получения удовлетворительных выходных параметров реактора-преобразователя. Проводились работы по ЯЭУ двух типов: ТЭУ-5 «Тополь» (Топаз-1) и «Енисей» (Топаз-2). Летные испытания двух образцов ЯЭУ «Тополь» были проведены в 1987–1988 гг. на КА «Плазма-А» разработки КБ «Арсенал» («Космос-1818» и «Космос-1867»). ЯЭУ на КА «Космос-1818» проработала в течение 142 суток, а ЯЭУ на «Космос-1867» – в течение 342 суток. В обоих случаях окончание работы ЯЭУ было связано с плановым исчерпанием запасов цезия, используемого при работе термоэмиссионного реактора-преобразователя.

Отличительной чертой установки «Тополь» стало соединение реактора с термоэмиссионным (термоионным) преобразователем тепловой энергии в электрическую. Такой преобразователь подобен электронной лампе: катод из молибдена с вольфрамовым покрытием, нагретый до высокой температуры, испускает электроны, которые преодолевают промежуток, заполненный ионами цезия под низким давлением, и попадают на анод. Электрическая цепь замыкается через нагрузку. Реактор имел тепловую мощность 150 кВт, количество урана-235 в реакторе было снижено до 11,5 кг по сравнению с 30 кг в БЭС-5 «Бук». Выходная электрическая мощность преобразователя составляла от 5 до 6,6 кВт. Расчетный срок службы был не менее 3-х лет.

Использование термоэлектрических и термоэмиссионных преобразователей энергии в сочетании с ядерными реакторами позволило создать принципиально новый тип установок, в которых источник тепловой энергии (ядерный реактор) и преобразователь тепловой энергии в электрическую объединены в единый агрегат – реактор-преобразователь.

Первый советский термоэлектрический реактор-преобразователь «Ромашка» был впервые запущен в Институте атомной энергии 14 августа 1964 г. Термоэлектрический преобразователь на кремний-германиевых полупроводниковых элементах выдавал мощность до 800 Вт. Испытания «Ромашки» закончились в середине 1966 года, реактор так и не был использован в космосе.

В настоящее время в России ведется разработка и создание космических ядерных энергетических установок следующего поколения. Созданные ранее установки «Бук» и «Тополь» имели уровень мощности 3–10 кВт и ресурс работы от 3-х месяцев до одного года. Имеется практический задел по созданию установок мощностью до 100 кВт и с ресурсом работы от 5 до 10 лет.

Применение ядерных энергоустановок в космосе предусматривает их использование только в тех сферах, где отсутствует возможность эксплуатации других источников энергии. В настоящее время основным ис-

точником энергии на околоземных орбитах являются солнечные элементы. Еще несколько лет назад разработчики ЯЭУ ориентировались на уровень мощности 20 кВт; сегодня такой уровень планируется обеспечивать солнечными источниками энергии. В то же время для полетов в дальний космос, в частности, для осуществления таких масштабных проектов, как экспедиция на Марс, использование ЯЭУ не имеет альтернативы. ЯЭУ может служить не только источником энергии для жизнеобеспечения экипажа и питания аппаратуры, но и средством, обеспечивающим движение, в том числе с помощью ядерного ракетного двигателя, транспортно-энергетического модуля, обеспечивающего вывод аппарата на орбиту или возможность смены орбиты. Такая двухрежимная установка с уровнем мощности около 100 кВт позволит обеспечить вывод космического корабля на рабочую орбиту, а также энергопитание на более низком уровне мощности.

Список использованных источников:

1. О.Ф. Прилуцкий, С.Н. Родионов. «Ядерная энергия в космосе: военные аспекты и опасность для окружающей среды», Наука и всеобщая безопасность, — 1989. — Т. 1, № 1-2, — С. 83–92.
2. Гудилин В.Е., Слабкий Л.И. Ядерные ракетные двигатели // Ракетно-космические системы (История. Развитие. Перспективы). — М., 1996. — 326 с
3. Журнал «Атомная стратегия», июнь 2007 г., № 30.

ЭНТРОПИЯ КАК МЕРА ХАОСА ВО ВСЕЛЕННОЙ

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники

Минск, Республика Беларусь

Ерёмина Е. О.

Молочко А.П. – канд. техн. наук, доцент

Вселенная — наш большой необозримый дом. И очень хочется, чтобы процессы в ней были стабильны, поскольку все мы зависим от их результатов. Изучение и прогнозирование их представляет безусловный интерес. Энтропия Вселенной постоянно меняется. Ученые проводят целый ряд исследований, чтобы определить общие закономерности и иметь возможность сделать верные прогнозы развития.

«Все процессы в мире происходят с увеличением энтропии» — эта расхожая формулировка превратила энтропию из научного термина в какое-то непреложное свидетельство обреченной борьбы человека с окружающей его беспорядком. Но что в оригинале скрывается за этой физической величиной? Впервые термин «энтропия» в 1865 году ввел немецкий физик Рудольф Клаузиус. Тогда он имел узкое значение и использовался в качестве одной из величин для описания состояния термодинамических систем — то есть, физических систем, состоящих из большого количества частиц и способных обмениваться энергией и веществом с окружающей средой. Проблема заключалась в том, что до конца сформулировать, что именно характеризует энтропия, ученый не смог. К тому же, по предложенной им формуле можно было определить только изменение энтропии, а не ее абсолютное значение. Упрощенно эту формулу можно записать как $dS = dQ/T$. Поскольку Клаузиус так и не смог сформулировать физический смысл энтропии, она осталась абстрактным понятием до 1872 года — пока австрийский физик Людвиг Больцман не вывел новую формулу, позволяющую рассчитывать ее абсолютное значение. Она выглядит как $S = k \ln W$ (где S — энтропия, k — константа Больцмана, имеющая неизменное значение, W — статистический вес состояния). Благодаря этой формуле энтропия стала пониматься как мера упорядоченности системы. Со времен появления формулы Больцмана **термин «энтропия» проник практически во все области науки и оброс новыми парадоксами.**

Возьмем, к примеру, астрофизику и пару **«черная дыра — падающее в нее тело»** (рис. 1). Ее вполне можно считать изолированной системой, а значит, энтропия такой системы должна сохраняться. Но она бесследно исчезает в черной дыре — ведь оттуда не вырваться ни материи, ни излучению. Что же происходит с ней внутри черной дыры? Некоторые специалисты теории струн утверждают, что эта энтропия превращается в энтропию черной дыры, которая представляет собой единую структуру, связанную из многих квантовых струн (это гипотетические физические объекты, крошечные многомерные структуры, колебания которых порождают все элементарные частицы, поля и прочую привычную физику). Впрочем, другие ученые предлагают менее экстравагантный ответ: пропавшая информация, всё-таки возвращается в мир вместе с излучением, исходящим от черных дыр.

Энтропия Вселенной — это, попросту говоря, мера хаоса (рис. 2). Появляются работы, в рамках которых специалисты пытаются рассчитать точное значение этой меры. Однако оценки такой величины, как энтропия Вселенной, значительно отличаются — на 1–3 порядка. Это связано с тем, что при расчетах необходимо учитывать влияние на нее не только небесных объектов, но и темной энергии, особенности которой пока изучаются. По мнению ученых, самым крупным источником беспорядка в нашем мире являются такие образования, как массивные и сверхмассивные черные дыры.

Связана также энтропия Вселенной с теорией большого взрыва и грядущей тепловой смертью. Наступить такое состояние должно в тот момент, когда значение этой величины достигнет максимума. Тогда в создавшейся замкнутой системе перестанут происходить какие-либо процессы, невозможной станет также жизнь.

Еще один парадокс, идущий вразрез со вторым началом термодинамики — это существование и функционирование живых существ. Ведь даже живая клетка со всеми ее биослоями мембран, молекулами ДНК и уникальными белками — это высокоупорядоченная структура, не говоря уже о целом организме.