

4. Былкин Б.К., Савченко В.А. Концептуальные аспекты снятия ядерных установок в России // Теплотехника, 1996, № 11, с. 45-48.
5. Концепция вывода из эксплуатации промышленных уран-графитовых реакторов, инв. № 04-01281. Утв. Федеральным агентством по атомной энергии 04.02.2005 г.
6. Фатеев В., Бауэр Х., Раболд Х. Некоторые вопросы, связанные с окончанием расчетного срока службы АЭС. – В сб.: Пути сокращения сроков и совершенствования методов строительства, монтажа и освоения мощности, а также снижения затрат при сооружении АЭС с реакторами ВВЭР. – Будапешт, 1979, с. 252.
7. Кузнецов В. Чему учит чужой опыт? // Мировая энергетика, 2005, № 5, с. 97-98.
8. Nuclear Power Reactors in the World // IAEA issue 2. - Vienna, 2002, p. 26.

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЯДЕРНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК И РАДИОИЗОТОПНЫХ ТЕРМОПРЕОБРАЗУЮЩИХ ГЕНЕРАТОРОВ В КОСМОСЕ**

С.А. Майкова, В.Ю. Борисов  
Томский политехнический университет  
ЭНИН. АТЭС, группа 5032

История развития ядерной энергетики берет свое начало еще с прошлого века и продолжается до сих пор. Сначала энергию деления атомного ядра люди использовали в военных целях, а именно для создания атомной бомбы. Затем были созданы экспериментальные, а далее и промышленные ядерные реакторы, с помощью которых получают тепло и свет. Однако область применения ядерных энергетических установок (ЯЭУ) не ограничивается земной поверхностью.

В 60-е годы прошлого столетия началась разработка ядерных энергетических установок для космических летательных аппаратов. В то время всего две страны активно занимались разработкой ядерных реакторов для использования в космосе: Россия (на тот момент СССР) и США. На данный момент продолжается тенденция использования ЯЭУ в космосе. Кроме того, помимо России и США, разработкой ядерных реакторов для космических аппаратов стали заниматься и ряд других стран, что повлекло за собой совместное сотрудничество некоторых стран.

Существует два способа генерации электроэнергии с использованием ядерной энергии:

- С использованием ядерных реакторов;
- С использованием радиоизотопных электрических генераторов.

Ранние разработки

Термоэлектрический реактор-преобразователь «Ромашка»

СССР стала первой страной, которая начала разрабатывать космические ядерные энергетические установки. Советский термоэлектрический реактор-преобразователь «Ромашка» (рис.1) был впервые запущен в Институте атомной энергии («Курчатовский институт») 14 августа 1964 г. Это первая в мире установка, в которой тепловая энергия, выделившаяся в результате ядерной реакции, преобразовывалась непосредственно в электрическую. Реакторная установка работала на нейтронах с энергией больше 0,1 МэВ ( быстрые нейтроны) и имел тепловую мощность 40кВт. Термоэлектрический преобразователь выполненный из кремний-германиевых полупроводниковых элементов выдавал мощность до 800 Вт. В качестве топлива использовался карбид урана, максимальная температура которого в активной зоне составляла 1800°C. [1]

Особенностью таких установок является то, что в реакторе отсутствует теплоноситель, а отвод тепла из активной зоны (АЗ) осуществляется путем теплопроводности материалов АЗ и бериллиевого отражателя. [2]

#### SNAP-10A (System of Nuclear Auxiliary Power)

Первым в мире ядерным реактором, который был применен на космическом аппарате, стал американский SNAP-10A (рис.2). Реакторная установка была разработана компанией Boeing по заказу ВВС и комиссией по атомной энергетике США. Запуск состоялся 3 апреля 1965 г. Реактор работал на тепловых нейтронах, АЗ которого состояла из твэлов со смесью металлического урана 235 с обогащением 93% и гидрида циркония (замедлитель). Тепловая мощность которого состояла 40 кВт, в качестве теплоносителя использовался жидкий металл. Тепловая мощность нагревала жидкометаллический теплоноситель до температуры 475-540°C, затем тепло сбрасывалось в полупроводниковый преобразователь, который выдавал на выходе электрическую энергию до 550 Вт. [1]

В отличие от вышеперечисленных ядерных установок, Кассини (рис.3) – целая космическая станция, выполняющая исследование Сатурна. Запуск состоялся 15 октября 1997 г.

Так как расстояние между Солнцем и Сатурном велико, невозможно использовать солнечный свет в качестве источника энергии. Поэтому энергия на борту космической станции вырабатывается за счет радиоизотопного электрического генератора, работающего на оксиде плутония-238. В результате генератор выдавал мощность порядка 628 Вт. [3]

#### Современные разработки

##### *«Новые горизонты»-*

Автоматическая межпланетная станция НАСА, которая предназначена для изучения Плутония. Запуск состоялся 19 января 2006 г. (рис.4)

В качестве источника энергии используется радиоизотопный электрический генератор, работающий на оксиде плутония-238. Вырабатываемая электрическая мощность равна 200 Вт. [4]

#### Ядерная энергетическая установка SAFE-300-ТЭП

SAFE-300-ТЭП (рис.5) предназначена для эксплуатации в составе лунной базы в качестве основного источника энергоснабжения. Ее основной отличительной особенностью является использование реактора типа SAFE-300 в соче-

тании с теплотрубной (ТТ) системой теплоотвода из активной зоны и низкотемпературным термоэмиссионным преобразователем (ТЭП), размещенным в зоне конденсации ТТ.

Реактор SAFE-300 работает на быстрых нейтронах, в котором при сгорании топлива – урана-235 с обогащением 97%- вырабатывается тепловая мощность, примерно равная 300 кВт. Выходная электрическая мощность составляет 30 кВт. [6]

#### Сравнение

Существенные отличия между этими способами заключаются в том, что в ядерных реакторах источником энергии является цепная реакция деления, происходящая в активной зоне реактора, с последующей передачей тепла на преобразователи; в то время как радиоизотопные термоэлектрические генераторы (РИТЕГ) используют энергию естественного распада радиоактивных изотопов, после чего она преобразуется в электроэнергию с помощью термоэлектродгенератора. [5] В отличие от ядерных реакторов, РИТЕГ имеет сравнительно маленькие размеры и не требуют обслуживания на протяжении длительного периода. Это связано с отсутствием движущихся частиц. При всех своих плюсах и относительной безопасности у РИТЕГ существует и недостаток- выходная мощность не велика и достигает значений в несколько сот ватт, невысокий КПД.

Как можно заметить история создания ядерных энергетических установок для использования в космосе началась еще в прошлом веке. Первым шагом стал вывод космических аппаратов с ЯЭУ и РИТЕГ на околоземную орбиту. Сейчас же человек ставит для себя более крупные задачи- исследование отдаленных уголков нашей галактики, а даже выход за ее пределы. Как показывает практика одной солнечной энергии недостаточно, необходимы более мощные источники, которые смогут обеспечивать энергией длительное время. Выражая свое мнение, хочу сказать, что по опыту прошлых лет для подобных целей возможно использование как ядерных энергетических установок, так и радиоизотопных термоэлектрических генераторов, но что именно будет иметь большее преимущество, покажет только время.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. "ПРОАтом" [ Электронный ресурс]/ Информационное агентство- Режим доступа: <http://www.proatom.ru/modules.php?name=News&file=print&sid=2740>, свободный
2. Энциклопедия по машиностроению XXL [ Электронный ресурс]/ Оборудование, материаловедение, механика и ...- Режим доступа: <http://mash-xxl.info/info/770180/>, свободный
3. Википедия [ Электронный ресурс]/Свободная энциклопедия- Режим доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%B0%D1%81%D1%81%D0%B8%D0%BD%D0%B8\\_\(%D0%BA%D0%BE%D1%81%D0%BC%D0%B](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%B0%D1%81%D1%81%D0%B8%D0%BD%D0%B8_(%D0%BA%D0%BE%D1%81%D0%BC%D0%B)

- 8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B9\_%D0%B0%D0%BF%D0%BF%D0%B0%D1%80%D0%B0%D1%82), свободный
4. Википедия [ Электронный ресурс]/Свободная энциклопедия- Режим доступа:  
[https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%B0%D1%81%D1%81%D0%B8%D0%BD%D0%B8\\_\(%D0%BA%D0%BE%D1%81%D0%BC%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B9\\_%D0%B0%D0%BF%D0%BF%D0%B0%D1%80%D0%B0%D1%82\)](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%B0%D1%81%D1%81%D0%B8%D0%BD%D0%B8_(%D0%BA%D0%BE%D1%81%D0%BC%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B9_%D0%B0%D0%BF%D0%BF%D0%B0%D1%80%D0%B0%D1%82)), свободный
  5. Википедия [ Электронный ресурс]/Свободная энциклопедия- Режим доступа:  
[https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%B0%D1%81%D1%81%D0%B8%D0%BD%D0%B8\\_\(%D0%BA%D0%BE%D1%81%D0%BC%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B9\\_%D0%B0%D0%BF%D0%BF%D0%B0%D1%80%D0%B0%D1%82\)](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%B0%D1%81%D1%81%D0%B8%D0%BD%D0%B8_(%D0%BA%D0%BE%D1%81%D0%BC%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B9_%D0%B0%D0%BF%D0%BF%D0%B0%D1%80%D0%B0%D1%82)), свободный
  6. Ярыгин В.И., Лазаренко Г.Э., Овчаренко М.К., Пышко А.П., Лазаренко Д.Г. Космическая язу на основе реактора на быстрых нейтронах safe с низкотемпературными термоэмиссионными преобразователями.//
  7. Известия высших учебных заведений. Ядерная энергетика, 2011, N 4, с18-26

Научный руководитель: С.В. Лавриненко, ст. преподаватель каф. АТЭС ЭНИН ТПУ.