

УДК 621.38

**ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ КОСМИЧЕСКИХ МИССИЙ: ОТ СОЛНЕЧНЫХ БАТАРЕЙ ДО РАДИОИЗОТОПНЫХ ИСТОЧНИКОВ  
ENERGY SOLUTIONS FOR SPACE MISSIONS: FROM SOLAR BATTERIES TO RADIOISOTOPIC SOURCES**

М.Р. Горбатовский

Научный руководитель – С.В. Сизиков, к.т.н., доцент  
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

M. Gorbatovsky

Supervisor – S. Sizikov, Candidate of Technical Sciences, Docent  
Belarusian national technical university, Minsk

**Аннотация:** В статье рассматриваются технологии энергоснабжения космических аппаратов, включая солнечные батареи и радиоизотопные источники. Обсуждаются проблемы космического мусора и необходимость повышения надежности систем для успешных миссий.

**Abstract:** The article discusses spacecraft power supply technologies, including solar panels and radioisotope sources. The problems of space debris and the need to improve system reliability for successful missions are discussed.

**Ключевые слова:** космические миссии, электроэнергия, Радиоизотопные источники энергии, солнечные панели.

**Keywords:** space missions, electricity, Radioisotope energy sources, solar panels.

**Введение**

Освоение и исследование космоса является одним из важнейших направлений научно-технического прогресса человечества. Реализация космических программ и миссий требует решения сложных технических задач, среди которых обеспечение надёжного и эффективного энергоснабжения космических аппаратов занимает ключевое место.

Электрическая энергия является жизненно важным ресурсом для функционирования всех бортовых систем космического аппарата, включая двигательные установки, системы связи, телеметрии, управления, научные приборы и другие критически важные компоненты. Без надёжного источника электропитания невозможно осуществление полётов в космос, проведение научных исследований и выполнение целевых задач космических миссий.

В связи с этим, вопросы выбора, разработки и применения различных типов источников электрической энергии в космических условиях находятся в центре внимания учёных и инженеров, работающих в области космической техники. Каждый тип источника энергии, будь то солнечные батареи, аккумуляторные батареи, термоэлектрические генераторы или ядерные реакторы, обладает своими уникальными характеристиками и особенностями, определяющими их целесообразность использования в том или ином виде космической деятельности.

Детальное изучение и сравнительный анализ различных технологий космической энергетики позволяет выбрать наиболее оптимальные решения для

обеспечения энергетических потребностей современных и перспективных космических миссий. Это, в свою очередь, способствует успешной реализации амбициозных программ освоения и исследования космического пространства.

### Основная часть

Основными источниками электрической энергии, используемыми в космических миссиях, являются:

- солнечные батареи;
- радиоизотопные источники энергии;
- термоэлектрические генераторы.

В космических миссиях используются различные источники электрической энергии, каждый из которых имеет свои особенности, преимущества и недостатки. Основными источниками являются солнечные батареи, химические батареи, радиоизотопные источники и топливные элементы.

Солнечные батареи являются одним из самых распространенных источников энергии в космосе. Они работают на основе фотоэлектрического эффекта, при котором солнечные фотоны вызывают движение электронов в полупроводниках, что приводит к образованию электрического тока (рис. 1).

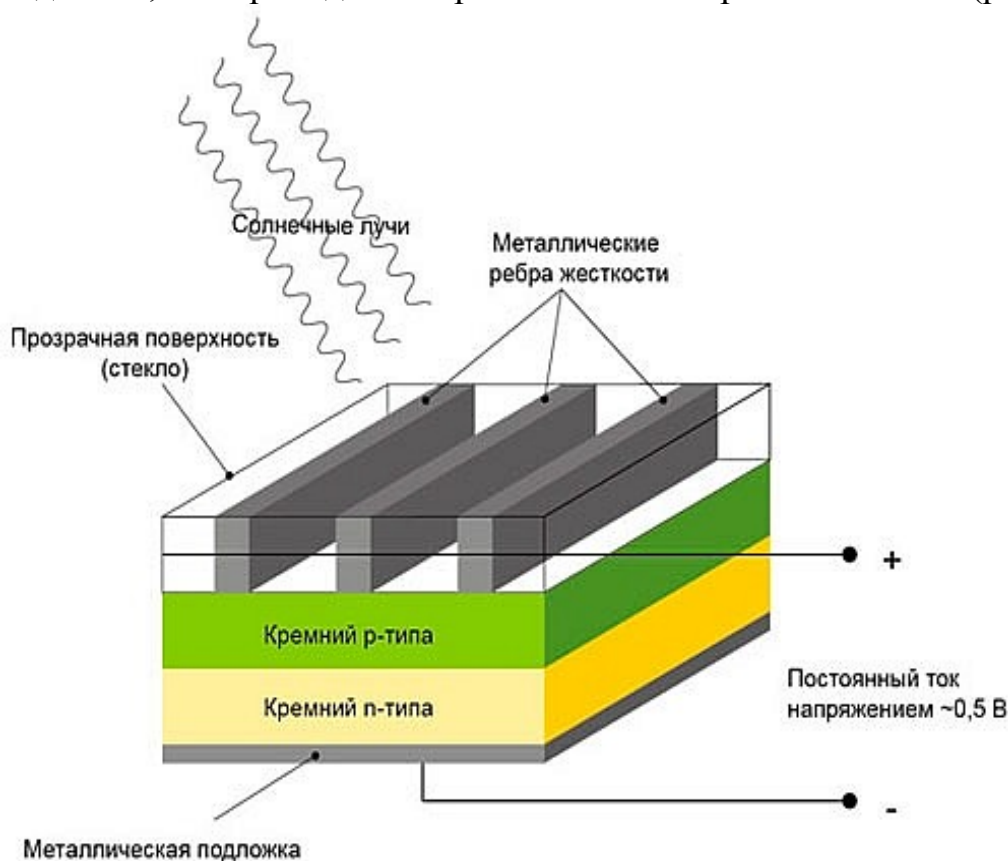


Рисунок 5 – Принцип работы солнечной батареи

Солнечные панели преобразуют солнечную энергию в электричество и состоят из множества фотоэлементов, которые могут быть соединены последовательно и параллельно для достижения необходимых значений напряжения и тока.

Первые спутники с солнечными панелями, такие как Vanguard-1 и «Спутник-3», были запущены в 1958 году. С тех пор солнечные панели стали

стандартом для большинства космических аппаратов, включая Международную космическую станцию (МКС) [1].

Преимущества солнечных панелей заключаются в их способности обеспечивать долгосрочное и стабильное энергоснабжение, особенно в условиях, когда аппарат находится на солнечной стороне орбиты. Они не требуют топлива и могут работать в течение многих лет. Однако на низкой околоземной орбите спутники периодически попадают в тень Земли, что требует наличия аккумуляторов для обеспечения непрерывного электропитания. Кроме того, эффективность солнечных панелей снижается с увеличением расстояния от Солнца, что делает их менее эффективными для миссий к дальним планетам [1]. Химические батареи, такие как серебряно-цинковые и литий-ионные аккумуляторы, используются для краткосрочных миссий или в ситуациях, когда требуется высокая мощность на короткий срок. Серебряно-цинковые аккумуляторы обеспечивали работу первых спутников, таких как «Спутник-1», в течение 21 дня.

Литий-ионные батареи становятся все более популярными благодаря своей высокой плотности энергии и возможности перезарядки. Эти батареи обладают высокой плотностью энергии, что позволяет использовать их в аппаратах, которые работают в течение нескольких дней или недель. Однако у них есть ограничения, такие как ограниченное количество циклов перезарядки и необходимость замены батарей после завершения миссии [1].

Радиоизотопные источники энергии (РИИ) работают на основе использования тепла, выделяющегося при радиоактивном распаде изотопов (рис. 2).

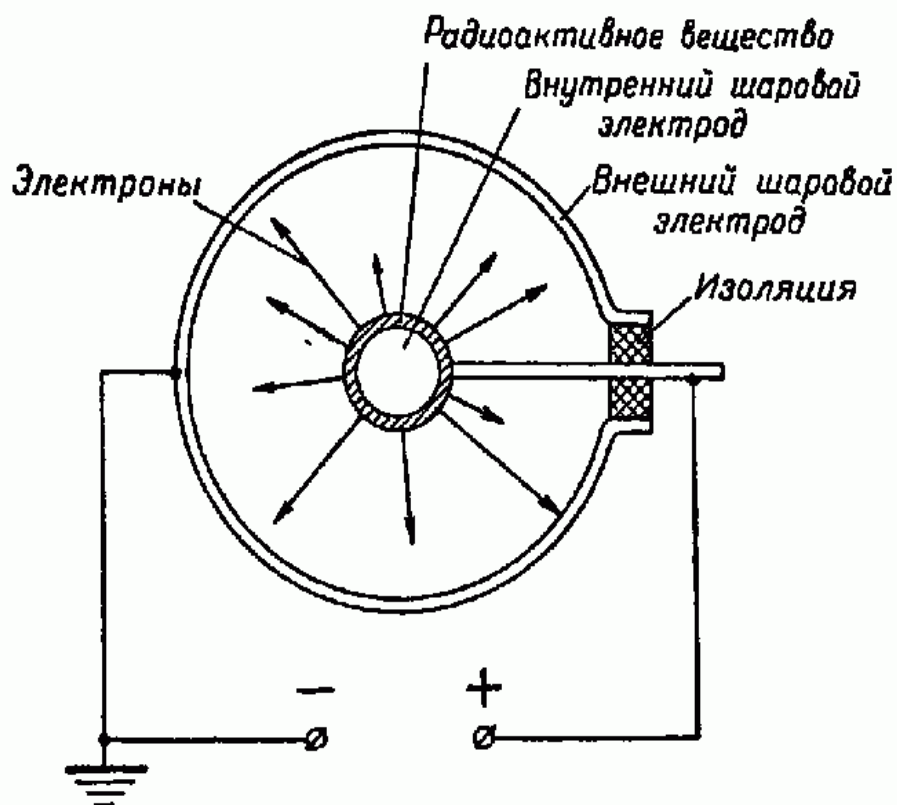


Рисунок 6 – Устройство простейшего радиоизотопного источника энергии

Эти устройства преобразуют это тепло в электрическую энергию или используют его для нагрева теплоносителей. В качестве источников тепла обычно применяются радиоактивные изотопы, такие как плутоний-238, америций-241 и стронций-90. Эти изотопы обладают достаточно долгим периодом полураспада, что позволяет им выделять тепло в течение длительного времени, что особенно важно для космических миссий, где требуется надежное и долговременное энергоснабжение.

При распаде радиоактивных изотопов происходит выделение тепла, которое может быть использовано для нагрева термоэлектрических элементов. Эти элементы создают электрический ток при наличии температурного градиента. Тепло от радиоактивного изотопа нагревает одну сторону термоэлектрического элемента, в то время как другая сторона остается холодной, что приводит к образованию электрического тока. В отличие от атомных реакторов, в РИИ не происходит управляемой цепной реакции, а используется естественный распад изотопов. Кроме термоэлектрических генераторов, в некоторых случаях применяются бета-вольтаические источники, которые работают на основе излучения бета-частиц от радиоактивных изотопов. Эти частицы взаимодействуют с полупроводниковыми материалами, создавая электрический ток. Такой подход позволяет получать электричество даже в условиях, когда солнечная энергия недоступна, например, в глубококосмических миссиях.

Радиоизотопные источники энергии также включают системы управления, которые позволяют контролировать выделение тепла и электричества, а также обеспечивают безопасность эксплуатации. Эти системы могут включать экранирование для защиты от радиации и механизмы, предотвращающие утечку радиоактивных материалов.

Радиоизотопные источники энергии нашли широкое применение в космических миссиях, особенно в тех, где солнечные батареи неэффективны, например, на дальних планетах или в условиях постоянной тени. Они обеспечивают надежное и долговременное энергоснабжение для научных инструментов, систем связи и других критически важных компонентов космических аппаратов. Примеры успешного применения РИИ включают миссии по исследованию планет, таких как «Вояджер» и «Кассини», а также марсоходы, которые работают в условиях, где солнечная энергия недоступна. Топливные элементы преобразуют химическую энергию, выделяющуюся при реакции водорода с кислородом, в электричество. Эти устройства использовались в пилотируемых космических кораблях, таких как «Аполлон» и Space Shuttle, обеспечивая как электричество, так и воду для экипажа. Топливные элементы обладают высокой эффективностью и могут производить воду в процессе работы, что является дополнительным преимуществом для пилотируемых миссий. Однако они требуют хранения водорода и кислорода, что может быть проблематично в условиях космоса [1].

Таким образом, каждый из источников электрической энергии в космических миссиях имеет свои уникальные характеристики, которые определяют его применение в зависимости от условий и требований конкретной миссии. Солнечные батареи остаются наиболее распространенным решением,

однако для долгосрочных и сложных миссий необходимы и другие технологии, такие как радиоизотопные источники и топливные элементы.

Проблемы энергопитания являются одной из ключевых тем в области космических исследований и эксплуатации спутников. Эти проблемы могут существенно влиять на успешность миссий и долговечность космических аппаратов. Энергетические потери в системах энергопитания спутников могут возникать на различных этапах, начиная от генерации энергии до её распределения и использования. Эти потери могут быть вызваны несколькими факторами, включая деградацию солнечных панелей, неэффективность аккумуляторов и потери в проводах. Например, глубина разряда аккумуляторов и деградация фотоэлементов могут значительно сократить срок активного существования спутника, что, в свою очередь, влияет на выполнение его задач и общую эффективность миссии [3].

Космический мусор представляет собой серьезную угрозу для функционирования спутников. Объекты, которые вышли из строя или были сброшены в процессе запуска, могут столкнуться с работающими спутниками, что приводит к повреждениям, особенно солнечных панелей и других критически важных систем. Такие повреждения могут вызвать снижение энергобаланса спутника, так как поврежденные солнечные панели не могут эффективно преобразовывать солнечную энергию в электричество. Это может привести к тому, что спутник не сможет выполнять свои функции или будет вынужден завершить свою работу раньше запланированного срока [2].

Системы энергопитания спутников могут выходить из строя по нескольким причинам. Наиболее распространенные из них включают отказ энергопитания, который составляет около 26% всех отказов спутников. Полная миссия, завершившаяся из-за проблем с энергоснабжением, составляет 21%. Частичные миссии, когда спутник продолжает работать, но с ограниченными возможностями, составляют 25%. Проблемы, возникающие в течение первого месяца работы, составляют 13%. Аварии ракеты-носителя, которые могут привести к потере спутника, составляют 12% [4]. Эти данные подчеркивают важность надежных систем энергопитания для успешного выполнения космических миссий и необходимость постоянного мониторинга и улучшения технологий, используемых для обеспечения энергией спутников.

### **Заключение**

Новейшие исследования в области электроэнергетического обеспечения в космических миссиях сосредоточены на разработке более эффективных и надежных систем, которые могут обеспечить энергией как пилотируемые, так и беспилотные аппараты. Одним из ключевых направлений является улучшение солнечных батарей, которые остаются основным источником энергии для большинства спутников и космических станций. Исследования направлены на увеличение эффективности преобразования солнечной энергии и продление срока службы солнечных панелей, что особенно важно для долгосрочных миссий, таких как исследования Марса и других планет.

Кроме того, активно изучаются новые технологии хранения энергии, включая более совершенные аккумуляторы и суперконденсаторы. Эти

устройства могут обеспечить более высокую плотность энергии и более быстрые циклы зарядки и разрядки, что критически важно для космических аппаратов, которые сталкиваются с изменяющимися условиями в космосе. Например, литий-ионные и натрий-ионные батареи становятся все более популярными благодаря своей высокой эффективности и долговечности.

Также ведутся исследования в области радиоизотопных источников энергии, которые могут обеспечить надежное энергоснабжение в условиях, где солнечные батареи неэффективны, например, на дальних планетах или в условиях постоянной тени. Разработка новых радиоизотопов и улучшение технологий их использования могут значительно увеличить срок службы космических аппаратов и расширить возможности их применения.

Важным аспектом является также изучение влияния космического мусора на системы энергоснабжения. Исследования направлены на создание более устойчивых к повреждениям солнечных панелей и других компонентов, что поможет минимизировать риски, связанные с столкновениями в космосе. Это особенно актуально в свете увеличения количества спутников на орбите и роста угрозы от космического мусора.

### Литература

1. NASA Technical Reports Server (NTRS) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ntrs.nasa.gov/>. – Дата доступа: 01.11.2024.
2. European Space Agency (ESA) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.esa.int/>. – Дата доступа: 01.11.2024.
3. Jahn, P. Г. Системы энергоснабжения космических аппаратов. Рестон, Виргиния: Американский институт аэронавтики и астронавтики, 2005.
4. McClure, J. W. Энергия из космоса: будущее солнечной энергии в космосе. Нью-Йорк: Springer, 2010.