



ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ

ЯДЕРНЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ ДЛЯ КОСМОСА

Человечество все активнее осваивает космическое пространство, чтобы решать, в том числе, вполне земные задачи. Для обеспечения из космоса различных высокотехнологичных видов деятельности на Земле и осуществления автоматических и пилотируемых полетов к окраинам Солнечной системы исследователи намерены в ближайшие десятилетия разработать новые технологии получения энергии, причем гораздо более эффективные — в плане легкости, надежности и продолжительности функционирования. Их поиск во многом сосредоточен в области ядерной энергии. Стандартные солнечные панели не пригодны для длительных полетов вдали от Солнца. Крайне важно также в целом минимизировать стоимость доставки на орбиту космических аппаратов и грузов.

В данном информационном бюллетене рассматриваются три перспективных источника ядерной энергии, по которым Россия занимает уверенные позиции, а где-то — держит мировое лидерство: применение америция-241 в радиоизотопных термоэлектрических генераторах, ядерный космический источник энергии мегаваттного класса, «ядерная батарейка» на никеле-63.

Трендлеттер выходит 1–2 раза в месяц. Каждый выпуск посвящен одной теме:

- Медицина и здравоохранение
- Рациональное природопользование
- Информационно-коммуникационные технологии
- Новые материалы и нанотехнологии
- Биотехнологии
- Транспортные средства и системы
- **Энергоэффективность и энергосбережение**

Следующий номер:

- Рациональное природопользование

Мониторинг глобальных технологических трендов проводится Институтом статистических исследований и экономики знаний Высшей школы экономики (issek.hse.ru)

в рамках Программы фундаментальных исследований НИУ ВШЭ. При подготовке трендлеттера использовались следующие источники: Прогноз научно-технологического развития РФ до 2030 года (prognoz2030.hse.ru), материалы научного журнала «Форсайт» (foresight-journal.hse.ru), научно-технического журнала «Полет», данные Web of Science, Orbit, marketsandmarkets.com, world-nuclear-news.org, 3dnews.ru, powerinfo.ru, ixbt.com, news-nn.com, strf.ru, ecorospace.me, solarsystem.nasa.gov, expert.ru, dept.aoe.vt.edu, chemicool.com, lpi.usra.edu, journal.iate.obninsk.ru, geektimes.ru, lenta.ru, rusila.su, mipt.ru. Более детальную информацию о результатах исследования можно получить в Институте статистических исследований и экономики знаний НИУ ВШЭ: issek@hse.ru, +7 (495) 621-82-74.

© Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», 2016

Над выпуском работали: Илья Кузьминов, Алина Лавриненко, Лилия Киселева, Анна Гребенюк, Елена Гутарук, Олег Васильев. Редакция выражает благодарность Александру Путилову за содержательные комментарии к этому выпуску.

РИТЭГ НА АМЕРИЦИИ-241 ДЛЯ ПОЛЕТОВ К БЛИЖАЙШИМ ЗВЕЗДАМ

Практически все знания об удаленных от Солнца планетах люди получили благодаря использованию плутония-238. Совсем небольшого количества этого высокорadioактивного вещества хватает для обеспечения космических зондов энергией на целые десятилетия. Однако его наработанные запасы почти исчерпаны, производство дорого и приводит к образованию большого количества радиоактивных отходов. Решением «плутониевой проблемы» может стать применение америция-241 (Am-241) в радиоизотопных термоэлектрических генераторах (РИТЭГ). В отличие от ядерных реакторов, использующих управляемую цепную реакцию, в этих устройствах тепло распада ядер преобразуется в электрическую энергию с помощью термоэлектрогенератора.

В качестве топлива для космических зондов америций-241 – более доступный материал. РИТЭГ на его основе имеют долгий жизненный цикл: период полураспада Am-241 составляет 432 года (у Pu-238 – 88 лет), что позволяет осуществлять сверхдлительные автономные космические миссии по исследованию ближайших звезд. В то же время энергетическая плотность данного изотопа в 4 раза меньше, чем у плутония, соответственно, для достижения необходимой мощности топлива нужно больше.

Технологическая эволюция: этапы развития РИТЭГ

Первый радиоизотопный источник электрической энергии Мозли
1903

Первое применение РИТЭГ в космосе для спутниковой системы навигации Transit
1961

Попытки NASA разработать «усовершенствованный РИТЭГ Стирлинга» с высоким КПД (проект закрыт из-за превышения бюджета)
2001–2013



Эффекты

- ▶ Более стабильное энергообеспечение космических аппаратов. За 15-20 лет (средняя продолжительность космических миссий по исследованию окраин Солнечной системы) мощность РИТЭГ на америции сократится всего на 3-4%, тогда как система на плутонии потеряет в мощности от 15%.
- ▶ Возможность исследований дальнего космоса, включая автономные полеты космических зондов (длительностью от десятков до сотен лет) к окраинам облака Оорта и к нескольким наиболее близким звездам.
- ▶ Снижение остроты проблемы радиоактивных отходов. Повышение экономической эффективности космических программ.

Оценки рынка

17 кг

составляют научные запасы плутония-238 в США. Этого количества может хватить на 4 генератора, один из которых уже зарезервирован для марсохода в рамках миссии «Марс-2020».

на **30-40 %**

возрастет стоимость РИТЭГ при использовании в качестве источника энергии изотопа америция-241 вместо плутония-238.

Драйверы и барьеры

- ▲ Исчерпание наработанных запасов и высокая стоимость производства плутония-238 (несколько миллионов долларов за килограмм).
- ▲ Растущий спрос на эффективные и доступные решения по энергообеспечению космических миссий.
- ▼ Сложность и продолжительность производства.
- ▼ Снижение практических свойств устройства из-за большей гамма-радиоактивности америция-241 (увеличивает вес защитных конструкций).

Структурный анализ: применение РИТЭГ в космических аппаратах

Количество РИТЭГ



Космические миссии с использованием РИТЭГ



Международные научные публикации



Международные патентные заявки



Уровень развития технологии в России

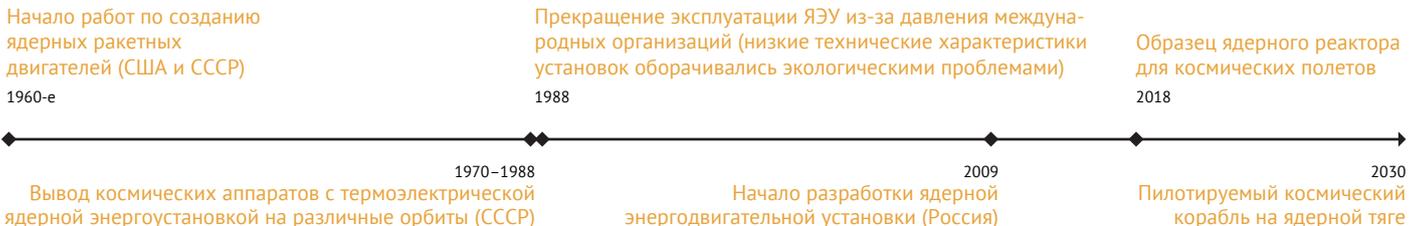
«Паритет» – уровень российских исследований не уступает мировому.

ЯДЕРНЫЙ КОСМИЧЕСКИЙ ИСТОЧНИК ЭНЕРГИИ МЕГАВАТТНОГО КЛАССА

Для отправки экспедиций на Марс, промышленного производства в космосе, очистки орбит от техногенного мусора, защиты от попадания астероидов и комет на Землю – в общем, для любых сложных задач космонавтики нужны большие пилотируемые системы. Сейчас их выводят в околоземное пространство при помощи жидкостных или твердотопливных реактивных двигателей. Однако из-за низкой энергетической плотности традиционного топлива его использование при совершении длительных космических пилотируемых полетов не эффективно – потребуются запретительно большие его запасы. Подобное ограничение снимается в случае применения в космических полетах ядерных энергетических установок (ЯЭУ) нового поколения.

В России разрабатывается экспериментальная ЯЭУ мегаваттного класса для эксплуатации в космосе. Ее принципиальное отличие от устройств предыдущего поколения – применение капельного метода охлаждения. При помощи холодильника-излучателя установка распыляет жидкость в виде капель в открытый космос и после их охлаждения улавливает обратно для повторного использования. На этой основе планируют создавать более мощные (на десятки и сотни мегаватт) установки, способные обеспечивать как движение, так и другие энергетические нужды перспективных космических систем.

Технологическая эволюция: этапы развития ядерных ракетных двигателей



Эффекты

- ▶ Увеличение уровня энергообеспечения космических аппаратов в десятки раз.
- ▶ Возможность выведения на околоземную и другие орбиты специальных кораблей-заправщиков с ядерным топливом на борту с помощью традиционных химических ракетных двигателей.
- ▶ Возможность осуществления систематических пилотируемых полетов в пределах, как минимум, ближней Солнечной системы, с многократными посадками и взлетами с различных космических тел.
- ▶ Возможность запуска масштабных проектов по очистке орбит от «космического мусора».
- ▶ Радикальное снижение стоимости космической геологодобычи.

Оценки рынка

17 МЛРД РУБЛЕЙ

выделено из федерального бюджета РФ на период до 2018 г. на создание космического транспортно-энергетического модуля на основе ядерной энергетической установки мегаваттного класса.

до **25** %

может увеличиться доля России на мировом рынке космических услуг в среднесрочной перспективе при условии внедрения ядерных космических технологий.

Драйверы и барьеры

- ▲ Международное сотрудничество в сфере космических технологий: объединение интеллектуальных, технических и финансовых ресурсов ведущих технологически развитых стран с целью осуществления пилотируемой экспедиции на Марс.
- ▲ Международное сотрудничество по предотвращению «астероидной опасности» для Земли.
- ▼ Потребность в привлечении большого числа квалифицированных кадров на всех стадиях производства.
- ▼ Необходимость в более детальной регламентации экологических требований.

Структурный анализ: мировой рынок коммерческих космических услуг в 2014 г., млрд долл.

	Всего	Спутниковые услуги	Наземная аппаратура	Производство космических аппаратов	Пусковые услуги
\$, млрд	203,3	125,7	57,8	12,4	7,4
%	100	62	28	6	4

Международные научные публикации



Международные патентные заявки



Уровень развития технологии в России



«Лидерство» – российские исследователи являются лидерами на мировом уровне.

«ЯДЕРНАЯ БАТАРЕЙКА» НА НИКЕЛЕ-63

Космические спутники получают энергию главным образом от солнечных батарей. Они довольно тяжелые, и для их доставки на орбиту необходимо специальное оборудование, что сказывается на стоимости пусковых услуг. Компактным и надежным источником питания для космических спутников может стать «ядерная батарейка» на никеле-63. По сравнению с литий-ионными источниками питания эти энергообеспечивающие устройства в 30 раз менее габаритны, функционируют в широком диапазоне температур (от -100°C до 200°C), имеют сверхдлительный срок службы (не менее 50 лет).

Разработка «ядерной батарейки» на никеле-63 основывается на технологии преобразования энергии ядерного распада (бета-излучения никеля-63) в электрическую с помощью пьезокристалла. Батарейка вырабатывает электричество в течение длительного времени вне зависимости от местонахождения спутника в тени или на солнечной стороне. Ее применение позволит создать новое поколение не только космической радиоэлектроники, но и «земной» медицинской техники.

Технологическая эволюция: этапы развития электрических аккумуляторов



Эффекты

- ▶ Энергообеспечение космических спутников сроком до 50 лет.
- ▶ Радикальная трансформация рынка энергетических решений для космоса, снижение доли рынка у производителей солнечных батарей.
- ▶ Возможность применения «ядерной батарейки» в кардиостимуляторах.

Оценки рынка

4,5 МЛН РУБЛЕЙ

может составить в 2017 г. себестоимость одного энергогенерирующего устройства на никеле-63.

Драйверы и барьеры

- ▲ Растущая потребность в надежных источниках питания с долгим сроком эксплуатации.
- ▲ Высокая экологическая безопасность в связи с простотой экранирования излучения.
- ▼ Высокая стоимость и сложная технология производства изотопа никеля-63 (не существует в природе).
- ▼ Невысокий КПД преобразования бета-распада в электроэнергию.

Структурный анализ

Типы источников энергии в космических миссиях	Срок службы	Энерговыделение (Ватт на кг)	Возможность использования	Стоимость (тыс. долл. за Ватт)
Солнечные батареи	20-25 лет (износ 2-4% в год)	25-200	орбита Земли	0,8-3
РИТЭГ на плутонии-238	88 лет (период полураспада)	5-20	межпланетные миссии	16-200
«Ядерная батарейка» на никеле-63	50 лет	2-40	межпланетные миссии	400-700

Международные научные публикации



Международные патентные заявки



Уровень развития технологии в России

«Паритет» — уровень российских исследований не уступает мировому.