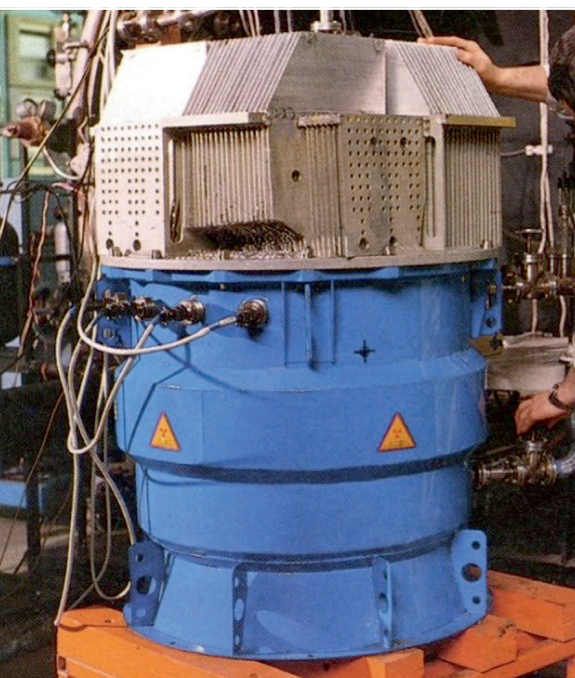




НАУКА
И ИННОВАЦИИ
РОСАТОМ

АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОТЧЕТ

РАДИОИЗОТОПНЫЕ АВТОНОМНЫЕ ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ (АИП)



**ПОТЕНЦИАЛЬНЫЕ
ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ
И ПОТРЕБИТЕЛИ АИП**

**СОСТОЯНИЕ
КОММЕРЧЕСКОГО РЫНКА
РАДИОИЗОТОПНЫХ
ИСТОЧНИКОВ НА БЕТА-
РАСПАДЕ**

**ПРАКТИЧЕСКИЕ
КОМПЕТЕНЦИИ
ГОСКОРПОРАЦИИ
«РОСАТОМ»
ПО НАПРАВЛЕНИЮ АИП**

**ПЕРСПЕКТИВЫ
КОММЕРЦИАЛИЗАЦИИ**

Государственная корпорация
по атомной энергии «Росатом»
Частное учреждение «Наука и инновации»
Центр аналитических исследований
и разработок

Государственная корпорация по атомной энергии «Росатом»
Частное учреждение «Наука и инновации»
Центр аналитических исследований и разработок

РАДИОИЗОТОПНЫЕ АВТОНОМНЫЕ ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ (АИП)

Москва
2022

УДК 621.311

ББК 31.4

Р 15

Р 15 Радиоизотопные автономные источники питания (АИП). Аналитический отчет / Архангельский Н.В., Пономарев А.В., Птицын П.Б., Сафиканов Д.И. – М.: ЦАИР, частное учреждение «Наука и инновации», 2022. – 98 с.

ISBN 978-5-498-00895-0

© ЦАИР, частное учреждение «Наука и инновации», 2022

Подписано в печать 2.09.2022. Формат 60x84 1/8. Бумага мелованная.
Гарнитура Rosatom. Печать офсетная. Усл. печ. л. 11,39.
Тираж 100 экз. Заказ № 6172.

Отпечатано в ООО «Элефант»:
610040, г. Киров, ул. Мостовая, д. 32/7,
www.hibox.pro

НАЗВАНИЕ РАБОТЫ:

Радиоизотопные автономные источники питания (АИП).

АВТОРЫ:

Архангельский Н.В., аналитик группы ПННТР отраслевого Центра аналитических исследований и разработок частного учреждения «Наука и инновации», кандидат технических наук.

Пономарев А.В., советник группы ПННТР отраслевого Центра аналитических исследований и разработок частного учреждения «Наука и инновации».

Птицын П.Б., заместитель директора – директор отраслевого Центра аналитических исследований и разработок частного учреждения «Наука и инновации».

Сафиканов Д.И., главный специалист отдела ЯТЦ отраслевого Центра аналитических исследований и разработок частного учреждения «Наука и инновации».

РЕЦЕНЗЕНТЫ:

Федоров Е.Н., главный научный сотрудник АО «НИИ НПО «ЛУЧ».

Бутаков Д.С., начальник лаборатории радиоизотопных источников питания АО «ИРМ».

РЕФЕРАТ:

В настоящем отчете проведен анализ современного уровня развития радиоизотопных автономных источников питания и перспектив их применения в различных отраслях экономики. Авторами систематизирована информация об основных видах АИП, физических принципах их работы, технических характеристиках и уровне разработок. Приведена информация о потенциальных областях применения и потребителях АИП. Проведен анализ текущего состояния научно-технических исследований в области радиоизотопных АИП на основании обзора публикаций в реферативной базе данных научных публикаций Scopus. Рассмотрена международная и российская нормативно-правовая база, регулирующая использование АИП. Приведен обзор текущего состояния коммерческого рынка АИП на бета-распаде, рассмотрены основные разработки зарубежных конкурентов, представленные на данном рынке. В отчете также систематизирована информация о практических компетенциях организаций Госкорпорации «Росатом» по направлению АИП, включая работы по созданию радионуклидных термоэлектрических генераторов (РИТЭГов) и бета-вольтаических ядерных батарей. Кроме того, авторами документа приводятся рекомендации по формированию кооперации с рядом отраслевых и внеотраслевых структур для коммерциализации радиоизотопных АИП, разрабатываемых организациями Госкорпорации «Росатом».

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

Автономный источник питания, АИП, РИТЭГ, ядерная батарея, бета-вольтаическая батарея, Росатом, ЦАИР.

ЦИТИРОВАНИЕ:

Радиоизотопные автономные источники питания (АИП) / Архангельский Н.В., Пономарев А.В., Птицын П.Б., Сафиканов Д.И. – М.: ЦАИР, частное учреждение «Наука и инновации», 2022. – 98 с. – Рус. – Деп. 28.04.2022, № 12-В2022.

TITLE:

Radioisotope autonomous power sources.

AUTHORS:

Arkhangelskiy N.V., Ponomarev A.V., Ptitsyn P.B., Safikanov D.I., Centre of Analytical R&D (CARD), Private Enterprise “Science and Innovations”, State Atomic Energy Corporation Rosatom.

REVIEWERS:

Fedorov E.N., “SRI SIA “LUCH” JSC.

Butakov D.S., INM JSC.

ABSTRACT:

This report analyzes the current state of the development of radioisotope autonomous power sources and the prospects for their use in various sectors of the economy. It provides the overview of the main types of radioisotope power sources, underlying physical principles, technical characteristics, and the level of the development. Potential applications and consumers of such sources are given. The report examines the current state of the scientific research in the field of radioisotope power sources based on a review of publications in Scopus database. The international and national legal framework regulating the use of radioisotope power sources is considered. An overview of the current state of the commercial nuclear battery market is given, the main R&D of foreign competitors are considered. The report systematizes information on the practical competencies of Rosatom organizations in the field of radioisotope power sources, including radioisotope thermoelectric generators (RTG) and nuclear batteries. In addition, the authors also provide recommendations on the cooperation with a number of Rosatom subsidiaries and other organizations in order to commercialize radioisotope power sources developed in Rosatom.

KEYWORDS:

Autonomous power source, RTG, nuclear battery, betavoltaic battery, Rosatom, CARD.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	7
1. ВИДЫ АИП	9
1.1. АИП с тепловым циклом	11
1.1.1. Радионуклидные термоэлектрические генераторы (РИТЭГи)	11
1.1.2. Радиоизотопные термоэмиссионные генераторы	17
1.1.3. Радиоизотопные комбинированные генераторы	19
1.1.4. Радиоизотопные турбоэлектрогенераторы	20
1.1.5. Радиоизотопные термофотоэлектрические генераторы	22
1.1.6. Радиоизотопные генераторы на основе термоэлектрических преобразователей энергии со щелочными металлами (АМТЕС)	23
1.2. АИП без теплового цикла (ядерные батареи)	25
1.2.1. Ядерные батареи с непосредственным сбором заряда	25
1.2.2. Бета-вольтаические ядерные батареи (на полупроводниковом р–п-переходе)	27
1.2.3. Ядерные батареи на контактной разности потенциалов	30
1.2.4. Фотоэлектрические ядерные батареи	31
1.2.5. Ядерные батареи со вторичной электронной эмиссией	33
1.2.6. Пьезоэлектрические ядерные батареи	34
2. ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ АИП	37
2.1. Потенциальные потребители РИТЭГов	39
2.2. Потенциальные потребители ядерных батарей на основе радиоизотопов с бета-распадом	41
3. НОРМАТИВНО-ПРАВОВАЯ БАЗА, РЕГУЛИРУЮЩАЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АИП	45
4. ТЕКУЩЕЕ СОСТОЯНИЕ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ В ОБЛАСТИ АИП	49
5. ТЕКУЩЕЕ СОСТОЯНИЕ КОММЕРЧЕСКОГО РЫНКА АИП НА БЕТА-РАСПАДЕ	57
5.1. Разработки компании City Labs	59
5.2. Разработки компании Widetronix	62
5.3. Разработки компании BetaBatt Inc.	64
5.4. Разработки компании Qynergy Corporation	65
5.5. Разработки компании Direct Kinetic Solutions	66
5.6. Анализ характеристик радиоизотопных АИП	67

6. ПРАКТИЧЕСКИЕ КОМПЕТЕНЦИИ ОРГАНИЗАЦИЙ	
ГОСКОРПОРАЦИИ «РОСАТОМ» ПО НАПРАВЛЕНИЮ АИП	73
6.1. РИТЭГи (ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», АО «НИИТФА»,	
АО «РИ» и АО «НИИ НПО «ЛУЧ»)	73
6.2. Ядерные батареи.....	75
6.2.1. АО «ИРМ».....	75
6.2.2. АО «НИИ НПО «ЛУЧ»	78
6.2.3. АО «ВНИИНМ».....	79
7. ПРЕДЛОЖЕНИЯ И РЕКОМЕНДАЦИИ.....	83
7.1. РИТЭГи.....	83
7.2. Ядерные батареи.....	84
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	88
ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ И ОБОЗНАЧЕНИЙ	92





ВВЕДЕНИЕ

Внедрение инновационных решений в различных отраслях экономики и промышленности (аэрокосмическая отрасль, медицина, микроэлектроника, коммуникация, оборона и т.д.) требует новых безопасных источников энергии, которые могут удовлетворить производственные и бытовые нужды там, где применение традиционных технологий нерентабельно или невозможно. К их числу относятся источники на основе радиоактивного распада ядер с выделением большого количества энергии, которую можно преобразовать в электроэнергию. Это так называемые радиоизотопные источники энергии. Они принципиально отличаются от ядерных реакторов тем, что в них используется не энергия цепной реакции деления, а энергия радиоактивного распада ядер.

Наибольшую актуальность имеют радиоизотопные автономные источники питания (АИП), которые обеспечивают бесперебойную и автономную работу в течение длительного времени, занимают небольшой объем и надежны даже в экстремальных условиях. Мощность радиоизотопных АИП зависит от используемого радиоизотопа, компоновки и способа преобразования энергии и может составлять от нано- до нескольких сотен ватт.

Наиболее перспективными сферами применения АИП являются космос, малые беспилотные аппараты, медицина (кардиостиму-

ляторы, нейростимуляторы), индустрия микроэлектромеханических устройств, системы безопасности капитальных сооружений и высотных строений, системы «умного автомобиля», системы обслуживания нефтегазопроводов и др. В зависимости от назначения и выполняемых задач к радиоизотопным АИП предъявляются различные требования (по мощности, сроку службы, размерам и т.д.).

Об актуальности тематики, связанной с созданием радиоизотопных АИП, свидетельствует количество НИОКР, которые проводятся как в России (в научных институтах и на отдельных предприятиях), так и в других странах, например, в США, Великобритании, Японии, Южной Корее, Китае. НИОКР ведутся по таким направлениям, как повышение эффективности преобразования энергии распада в электроэнергию, увеличение выходной мощности, разработка новых конструктивных решений, повышение безопасности и др.

С полными версиями аналитических отчетов отраслевого Центра аналитических исследований и разработок можно ознакомиться на следующих ресурсах:

1. Портал отраслевого Центра аналитических исследований и разработок (доступ осуществляется через внутреннюю сеть КСПД Росатома)



2. Раздел отраслевого Центра аналитических исследований и разработок на портале «Страна Росатом» (доступ осуществляется через внутреннюю сеть КСПД Росатома)

