

## ОТЗЫВ

научного руководителя,

профессора, доктора технических наук Рисованого Владимир Дмитриевича на диссертационную работу **Бутакова Дениса Сергеевича «Автономные источники питания конденсаторного типа с прямым преобразованием энергии распада радиоизотопов в электричество»**, представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.4.9. «Ядерные энергетические установки, топливный цикл, радиационная безопасность».

По запасенной энергии радиоизотопы существенно превышают все известные химические источники питания, включая широко используемые ионно-литиевые батареи, конденсаторы, топливные и другие элементы. Большой период полураспада радиоизотопов позволяет создавать миниатюрные автономные источники питания с длительным временем работы, не требующих внешней подзарядки. В настоящее время не существует альтернативы радиоизотопным источникам питания небольшого размера (менее 1 см<sup>3</sup>), с длительностью работы более 20 лет в нано и микро ваттной областях удельных мощностей, которые востребованы во многих областях науки и техники, и, прежде всего, в микроэлектронике. Поэтому, диссертационная работа, посвященная разработке нового вида источников питания прямого преобразования энергии распада радиоизотопов в электричество, является актуальной.

Автор диссертационной работы проводит анализ литературных данных по бета-вольтаическим ядерным батареям с различными радиоизотопами и полупроводниковыми структурами и делает вывод о их низких вольт-амперных характеристиках, удельной мощности менее 1 мкВт/см<sup>3</sup>, КПД менее 2%, что в настоящее время ограничивает их широкое коммерческое применение. Очень сложно преодолеть технические ограничения бета-вольтаических батарей по повышению мощностных характеристик, прежде всего, из-за радиационных повреждений полупроводниковых структур и невозможности использования радиоизотопов с большой энергией испускаемых электронов и альфа-частиц. Поэтому, объектом исследований в диссертационной работе стали принципиально новые конструкции источников питания прямого преобразования энергии распада радиоизотопов в электричество конденсаторного типа, работоспособность которых была впервые продемонстрирована в 2016г и получивших название самозаряжающихся супер-конденсаторов.



Целью диссертационной работы Бутакова Д.С. была разработка конструкций и технологий изготовления автономных источников питания (АИП) конденсаторного типа с удельной мощностью более 5 мкВт/см<sup>3</sup>. Для ее достижения был выбран и обоснован радиоизотоп <sup>90</sup>Str/<sup>90</sup>Y, изучены характеристики ионных жидкостей, исследованы коррозионные характеристики материалов корпуса источников питания, измерены вольт-амперные характеристики различных конструкций АИП, проведены теоретические расчеты мощностей, получивших экспериментальное подтверждение.

Автор диссертационной работы продемонстрировал высокие научные и организационные компетенции при создании специализированного участка с оснащением его научным оборудованием для проведения научных исследований в рамках отраслевого тематического плана Росатома по данной тематике. Все исследования и разработки проведены под непосредственным руководством и участии диссертанта в специализированной специально созданных вначале группе, а затем научной лаборатории, начальником которых он являлся.

Квалифицированный анализ полученных экспериментальных данных, проведенные аналитические исследования позволили обеспечить высокую аргументированность научных результатов. Правильная реакция на замечания научного руководителя и рецензентов работы свидетельствуют о взыскательности и высокой требовательности диссертанта к себе и своим трудам.

Проведенное Бутаковым Денисом Сергеевичем исследование свидетельствует о том, что автор в достаточной мере владеет методами научного анализа, обладает высоким уровнем подготовленности к проведению глубоких научных изысканий, имеет широкую эрудицию в области радиационных технологий, источников питания и радиационного материаловедения.

Диссертация Бутакова Дениса Сергеевича является законченной самостоятельной научно-исследовательской работой, содержащей новые конкретные решения по использованию конструкций источников питания, не имеющие полупроводниковые структуры и которые могут работать как в режиме постоянного тока, так и в импульсном режиме. Результаты проведенных исследований опубликованы в 4-х научных журналах из перечня ВАК, обсуждены на представительных научных конференциях и семинарах.

Уровень научной подготовки и представленной диссертационной работы позволяет считать, что Бутаков Денис Сергеевич заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.4.9.

«Ядерные энергетические установки, топливный цикл, радиационная безопасность».

Научный руководитель, профессор,  
доктор технических наук, Научный  
руководитель АО «НИИ НПО «ЛУЧ»  
Государственной корпорации РОСАТОМ

142103, Московская область, г. Подольск, ул. Железнодорожная, 24

*13.09.2024*  
Подпись Рисованого В.Д. заверяю  
Начальник отдела кадров



*[Signature]*  
В.Д. Рисованный

*[Signature]*  
М.В. Мельникова