

## ОТЗЫВ

**официального оппонента Симонова Бориса Ферапонтовича на диссертационную работу Брянцева Андрея Анатольевича на тему «Разработка и исследование микропроцессорного имитатора литий-ионной аккумуляторной батареи космического аппарата», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.09.03 – Электротехнические комплексы и системы**

Диссертация Брянцева Андрея Анатольевича посвящена решению научно-технической задачи по актуальному направлению: поиску новых технических решений и алгоритмов в области создания имитаторов литий-ионного аккумулятора (ИЛИА) и батареи (ИЛИАБ) для тестирования энергопреобразующей аппаратуры (ЭПА) систем электропитания (СЭП) космического аппарата (КА).

**Диссертация** включает введение, четыре главы, заключение, список литературы из 136 наименований, 5 приложений. Основное содержание работы изложено на 159 страницах машинописного текста, содержит 63 рисунка, 9 таблиц. Результаты выполненных исследований отражены в 15 научных работах, в том числе: 2 публикациях в изданиях, входящих в перечень ВАК для диссертаций, 4 патентах РФ, 9 публикациях в сборниках материалов научно-технических конференций.

**Во введении** приведено обоснование актуальности диссертационной работы, поставлены цели и задачи исследования. Сформулирована научная новизна и практическая значимость выполненных исследований, представлены основные положения, выносимые на защиту.

**В первой главе** представлен краткий обзор существующих ИЛИАБ отечественных и зарубежных производителей, приведены их основные характеристики, недостатки и достоинства. Выполнен анализ методов определения параметров модели ЛИА. Сформулированы требования к

алгоритмам оценивания параметров моделей ЛИА и технической реализации микропроцессорных имитаторов ЛИАБ, которые используются при тестировании ЭПА СЭП КА.

**Во второй главе** рассматривается построение математической и имитационной моделей ЛИА на базе эквивалентных электрических схем замещения, показано введение в модель переменных параметров для повышения адекватности представления процессов, происходящих при различных режимах работы аккумулятора. Приведен способ непосредственного вычисления параметров полученной модели в ходе циклов заряда-разряда ЛИА и ЛИАБ. Выполнено количественное сравнение характеристик построенной модели ЛИАБ и реальной батареи с алгоритмом определения ее параметров в тестовом режиме.

**В третьей главе** приведены структурно-функциональная схема ИЛИА и его схемотехническое решение с программной реализацией алгоритма определения параметров модели ЛИА. Проведена оценка точности представленных методов и алгоритмов на основе компьютерного моделирования в среде Matlab. Выполнен анализ влияния погрешностей измерительных устройств на точность работы алгоритмов.

**В четвертой главе** рассмотрена реализация ИЛИА в режиме заряда, приведены методика определения параметров модели ЛИА в режиме заряда, а также необходимое стендовое оборудование. Кроме того, представлены модифицированные варианты микропроцессорных ИЛИА и ИЛИАБ, раскрывающие потенциал алгоритма определения параметров модели ЛИА и возможность тестирования ЭПА СЭП КА.

**В заключении** изложены основные результаты диссертационного исследования, отражающие решение теоретических и практических вопросов.

Проведенный всесторонний анализ диссертационной работы свидетельствует о том, что диссертация Брянцева Андрея Анатольевича является завершенной научной квалификационной работой, в которой

содержится решение поставленной научной задачи. Диссертация и автореферат написаны ясным и профессиональным языком, принятая терминология и стиль изложения соответствуют общепринятым нормам. Автореферат полностью отражает содержание диссертации.

**Актуальность темы диссертации** определяется тем, что принципы построения и конфигурация существующих промышленно выпускаемых ИЛИАБ не позволяют в полной мере выполнить наземные испытания ЭПА СЭП КА с учетом воспроизведения индивидуальных характеристик каждого аккумулятора батареи.

Диссертационная работа А.А. Брянцева посвящена разработке и исследованию микропроцессорного ИЛИАБ космического аппарата. Выполнение алгоритмов оценки параметров модели ЛИА и ЛИАБ в режиме реального времени процессов их заряда/разряда требует оригинальных решений задач обозначенной темы работы. Это позволяет считать ее своевременной и актуальной.

**Степень обоснованности и достоверности полученных научных положений, выводов и рекомендаций** подтверждается корректным применением известных теоретических методов, сопоставлением с результатами других исследований, тщательным анализом и оценкой принятых исходных и полученных данных, сравнением результатов моделирования с экспериментальными данными. Основные выводы и результаты работы теоретически обоснованы и получены автором впервые. Результаты исследований обсуждались на международных и всероссийских конференциях, научных семинарах подразделений НИ ТПУ и АО «НПЦ «Полюс».

Выполненные исследования и техническая реализация специализированного имитатора ЛИАБ для наземных испытаний ЭПА СЭП КА характеризуются следующими **научными результатами**:

1. Предложены структуры имитаторов ЛИА, создающие условия для максимального учета изменяемых характеристик аккумуляторов путем

агрегирования их имитаторов в ИЛИАБ и обеспечивают воспроизведение режимов заряда, дозаряда и балансировки аккумуляторов с рекуперацией избыточной энергии на полезную нагрузку при проведении испытаний ЭПА СЭП КА.

2. Созданы статические и динамические модели ЛИА и ЛИАБ на основе схем замещения Шеферда и Тевенина, учитывающие изменение ЭДС и поляризационной составляющей внутреннего сопротивления ЛИА в процессе отдачи или приема энергии, что значительно уменьшает число неизвестных переменных (не более пяти). Максимальная погрешность алгоритма определения параметров моделей аккумулятора не превышает  $\pm 2\%$  в режимах имитации заряда и разряда.

3. Разработан испытательный стенд, полноценно выполняющий экспериментальные исследования микропроцессорного ИЛИАБ с необходимым количеством ИЛИА. Наличие персонального компьютера в составе стенда позволяет автоматизировать не только процесс определения параметров моделей ЛИА, но и все операции, связанные с тестированием ЭПА СЭП КА.

4. Разработан микропроцессорный ИЛИАБ, реализующий созданные алгоритмы и программное обеспечение, расширяющий функциональные возможности данного класса имитаторов и превосходящий по своим характеристикам имеющиеся аналоги.

**Степень обоснованности и достоверности полученных результатов научных положений, выводов и рекомендаций** подтверждается корректным применением известных теоретических методов, сопоставлением с результатами других исследований, тщательным анализом и оценкой принятых исходных данных и полученных результатов.

#### **Основные замечания по работе:**

1. Применение имитаторов для длительных испытаний силовой преобразовательной техники сопряжено с эффективностью использования электрической энергии от источника питания. Возникает вопрос о

коэффициенте полезного действия разработанного имитатора и методике его расчета. Было бы полезно и целесообразно рассмотреть задачу рекуперации неиспользуемой энергии в сеть переменного тока.

2. Очевидно, что свойства материалов ЭРИ и ЛИАБ на космическом аппарате значительно изменяются со временем, соответственно, программа наземных испытаний энергопреобразующей аппаратуры должна включать этот факт. Неясно, каким образом алгоритм построения моделей ЛИА и ЛИАБ учитывает явление деградации их параметров при воздействии факторов космического пространства?

3. Экспериментальная проверка работы алгоритма выполнена лишь на двух типах батарей ЛИГП-10 и 8ЛИ40, что может быть недостаточно. Кроме того, разработанный алгоритм оценки параметров модели ЛИАБ требует достаточно высокой точности используемого профиля тока заряда и разряда, что может затруднить разработку измерительной системы в условиях длительных сроков эксплуатации СЭП КА.

Следует отметить, что приведенные замечания не снижают научную ценность и практическую значимость предоставленной к защите диссертации.

#### **Общее заключение по диссертации.**

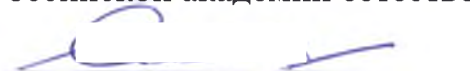
Полученные результаты исследований доказывают, что Брянцев Андрей Анатольевич качественно выполнил научные изыскания по решению задач разработки и применения алгоритмов для повышения эффективности электротехнических комплексов и систем, имеющих важное прикладное значение на всех этапах проектирования и эксплуатации имитаторов ЛИАБ космических аппаратов.

Диссертация является законченной научно-квалификационной работой, выполнена автором единолично, имеет научную новизну и практическую значимость. Соискатель ученой степени внес значительный вклад в разработку и промышленный выпуск серии имитаторов ЛИА и ЛИАБ, используемых на АО «НПЦ «Полюс» при выполнении опытно-



конструкторских и хоздоговорных работ. Серийный образец имитатора ЛИА зарегистрирован в Государственном реестре средств измерения РФ под номером № 69035-17, его характеристики полностью соответствуют требуемым значениям.

В заключении следует отметить, что диссертационная работа «Разработка и исследование микропроцессорного имитатора литий-ионной аккумуляторной батареи космического аппарата» по уровню и объему и значимости соответствует требованиям п.п. 8 – 10 Порядка присуждения ученых степеней Национального исследовательского Томского политехнического университета, (приказ № 66/од от 28 августа 2019 г.), предъявляемым к защищаемым диссертациям, а ее автор – Брянцев Андрей Анатольевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.09.03 – Электротехнические комплексы и системы.

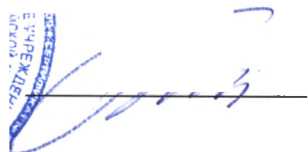
Официальный оппонент: доктор технических наук, старший научный сотрудник, ведущий научный сотрудник ФГБУН Института горного дела им. Н.А. Чинакала СО РАН, академик Российской академии естественных наук  
Симонов Борис Ферапонтович 

«22» 09 2021 года

Россия, 630091, г. Новосибирск, Красный проспект, 54,  
тел. (383) 205-30-30, доб. 100 (приемная)  
e-mail: simonov\_bf@mail.ru

Подпись Симонова Б.Ф.  
заверяю:  
Заместитель директора Института  
горного дела СО РАН, д.т.н.



 Данилов Б.Б.