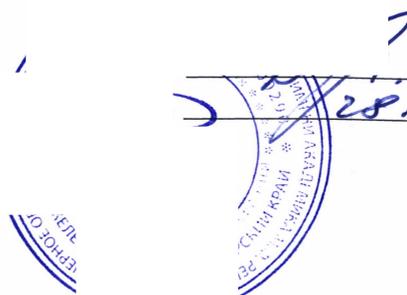




УТВЕРЖДАЮ

Член Президиума НТС, председатель секции НТС №2,
заместитель генерального конструктора,
лауреат Премии Правительства Российской Федерации
им. Ю.А. Гагарина в области космической деятельности,
кандидат технических наук, ~~доцент~~

С.Г. Кочура
28.10.2021 г.



ОТЗЫВ

Акционерного общества «Информационные спутниковые системы» имени академика М.Ф. Решетнёва» на автореферат диссертационной работы Брянцева Андрея Анатольевича «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.

Актуальность темы исследований.

Диссертационная работа А.А. Брянцева посвящена разработке и исследованию микропроцессорного имитатора литий-ионной аккумуляторной батареи (ИЛИАБ) космического аппарата (КА), применению эффективных алгоритмов определения параметров литий-ионных аккумуляторов (ЛИА) в режиме реального времени.

В ходе наземной экспериментальной отработки (НЭО) энергопреобразующей аппаратуры (ЭПА) и системы электропитания (СЭП) КА осуществляется подтверждение соответствия ЭПА и СЭП в целом предъявленным к ним требованиям, таким как:

- обеспечение заряда литий-ионной аккумуляторной батареи (ИЛИАБ) в квазипотенциостатическом режиме;
- обеспечение требуемого качества выходного напряжения СЭП при полном разряде комплекта ИЛИАБ с имитацией отключения нагрузки КА и подтверждением достаточности временной задержки между отключением нагрузки и блокировкой разрядных устройств ЭПА;
- подтверждение проектных значений мощности тепловыделения ЭПА.

Для качественной и достоверной отработки ЭПА и СЭП в указанных режимах требуется, чтобы ИЛИАБ формировал в автоматическом режиме индивидуальные и нелинейные разрядно-

зарядные характеристики имитируемой ЛИАБ, которые должны быть максимально близки к разрядно-зарядным характеристикам реальной аккумуляторной батареи (АБ). Существующие ИЛИАБ не позволяют в автоматическом режиме воспроизводить близкие к реальным разрядно-зарядные характеристики ЛИАБ с индивидуальными разрядно-зарядными характеристиками ЛИА. Существующие ИЛИАБ способны формировать лишь фиксированные значения напряжения ЛИА и ЛИАБ, которые не являются индивидуальными для каждого из имитируемых ЛИА. Поэтому теоретические исследования и разработка ИЛИАБ, позволяющего в автоматическом режиме имитировать индивидуальные нелинейные разрядно-зарядные характеристики каждого ЛИА в ЛИАБ, являются актуальной научно-технической задачей.

Целью работы является повешение точности и расширение функциональных возможностей ИЛИАБ при наземных испытаниях ЭПА СЭП КА.

Для достижения указанной цели поставлены и решены следующие задачи:

- Проведен анализ и сравнительная оценка структур ИЛИАБ, определены требования к основным параметрам специализированного имитатора ЛИАБ.
- Исследовано математическое моделирование статических и динамических процессов в электрических схемах замещения ЛИА.
- Созданы алгоритмы определения параметров модели ЛИА.
- Разработаны схмотехнические решения и программное обеспечение ИЛИАБ.
- Разработано стендовое оборудование для испытания опытных образцов ИЛИАБ.

Научная новизна работы заключается в следующем:

- Разработана математическая модель ЛИА, учитывающая изменяемый характер ЭДС и поляризационной составляющей внутреннего сопротивления аккумулятора и обеспечивающая исследование зависимости выходного напряжения от емкости в статических и динамических режимах работы;
- Предложен алгоритм определения параметров модели ЛИА, повышающий точность воспроизведения зависимости выходных напряжений от емкости за счет введения эмпирических коэффициентов, определенных при прямо-сдаточных испытаниях;
- Разработана имитационная модель ЛИАБ, включающая модели аккумуляторов, байпасных переключателей коммутационного типа, датчика температуры и позволяющая обеспечить максимальное соответствие электрических характеристик реальной батареи;
- Предложена структура ИЛИАБ, обеспечивающая высокую функциональную эффективность тестирования ЭПА СЭП путем агрегирования требуемого количества имитаторов ЛИА (ИЛИА).

Теоретическая значимость работы заключается в том, что автором разработана имитационная модель ЛИАБ, включающая модели аккумуляторов, байпасных переключателей коммутационного типа, датчика температуры и позволяющая обеспечить максимальное соответствие электрических характеристик реальной батареи.

Практическая значимость работы определяется следующим:

- Создан программный продукт в пакете MatLab Simulink, реализующий имитационную модель ЛИАБ и позволяющий исследовать динамические процессы в аккумуляторах с возмож-

ностью прогноза изменения параметров ЛИАБ при решении задач балансировки, дозаряда или исключения неисправного аккумулятора из состава батареи.

- Разработана программа работы контроллера ИЛИА, позволяющая осуществить управление, контроль состояния силовой части имитатора с отображением информации на персональном компьютере для решения задач автоматизации процессов при наземных испытаниях ЭПА СЭП КА.

- Разработан и внедрен в промышленную эксплуатацию имитатор ЛИАБ, обеспечивающий рекуперацию энергии при тестировании ЭПА СЭП в режиме заряда и дозаряда батареи.

Результаты диссертационной работы Брянцева А. А. использованы в рамках научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ АО «Научно-производственный центр «Полюс» (г. Томск) в виде схемотехнических и программных решений при разработке ИЛИАБ для тестирования ЭПА СЭП КА и позволили значительно повысить качество и полноту НЭО ЭПА.

В качестве замечания отметим следующее:

- Сокращение времени подбора параметров модели ЛИА и вычислительной сложности не совсем актуально для ИЛИА, т.к. для наземного оборудования в этом нет жестких ограничений. Возможно, стоило вместо этого или в дополнение к параметрической модели рассмотреть целесообразность применения более «физичных» моделей ЛИА, обеспечивающих наилучшую точность воспроизведения зарядно-разрядных кривых в статических и динамических режимах.

- При проведении НЭО оборудования СЭП КА, в том числе ЭПА, необходимо оперировать гарантируемыми производителем оборудования характеристиками. Связь гарантируемых производителем характеристик ЛИАБ с параметрами модели показана недостаточно явно.

Приведенные замечания не снижают научную и практическую ценность диссертационного исследования и положительной оценки работы в целом.

Заключение

Анализ материалов представленного автореферата позволяет нам сделать следующее заключение:

1. Диссертационная работа А.А. Брянцева представляет собой завершенную научно-исследовательскую квалификационную работу, выполненную на актуальную тему, результаты работы содержат научную новизну и практическую значимость.
2. Автором диссертации сформулирована и решена важная научно-техническая задача создания имитатора ЛИАБ, предназначенного для выполнения наземной экспериментальной отработки ЭПА, СЭП и КА в целом (в составе испытательного оборудования СЭП), обеспечивающего максимальное соответствие электрических характеристик разработанного имитатора характеристикам реальной АБ.
3. Соискателем разработана совокупность теоретических, технических и методических решений, внедрение которых можно рассматривать как вклад в развитие научного направления, связанного с реализацией устройств имитации электрических характеристик литий-ионных аккумуляторных батарей.
4. Диссертационная работа Брянцева Андрея Анатольевича соответствует требованиям ВАК Российской Федерации и п.п. 8-9 нормативного документа «Порядок присуждения ученых степеней Национального исследовательского Томского политехнического университета, (приказ №66/од от 28 августа 2019 г.)», предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор – Брянцев А. А. заслуживает при-

суждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.09.03 – Электротехнические комплексы и системы.

Настоящим выражаем согласие специалистов АО «ИСС», подписавших данный отзыв, на включение персональных данных в аттестационные документы соискателя ученой степени кандидата технических наук Брянцева Андрея Анатольевича и их дальнейшую обработку.

Главный ученый секретарь НТС,
Действительный член Российской и
Международной инженерных академий,
Заслуженный инженер России,
Заслуженный создатель космической техники,
Лауреат премий Правительства
Российской Федерации
в области науки и техники,
доктор технических наук, профессор


Евгений Николаевич Головенкин
28.10.21

Начальник отдела разработки бортовых систем
электропитания космических аппаратов,
Лауреат премии Правительства
Российской Федерации в области науки и техники


Михаил Владленович Нестеров