

Отзыв официального оппонента

на диссертационную работу Хандорина Михаила Михайловича «**Метод, алгоритмы и микропроцессорное устройство оценивания параметров литий-ионной аккумуляторной батареи космического аппарата**», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.05 – Элементы и устройства вычислительной техники и систем управления.

На отзыв представлена диссертационная работа, содержащая 147 страниц (120 страниц основного текста и 27 страниц приложений), 4 раздела, 55 рисунков, 5 таблиц, библиографический список из 86 наименования, а также ее автореферат. Объем, структура диссертации и автореферата соответствуют рекомендациям ВАК и ГОСТ Р 7.011-2011.

Актуальность темы диссертации

Современные литий-ионные аккумуляторные батареи (ЛИАБ) позволяют обеспечить космическому аппарату значительно больший запас энергии на борту, чем другие типы батарей. Однако их применение требует создание приборов контроля и защиты для обеспечения корректных режимов работы батареи. В промышленно выпускаемых приборах не решена задача оценки остаточной емкости, степени заряженности и технического состояния батареи в процессе эксплуатации. При этом для космических аппаратов, работающих на низких и средних орбитах, а также для аппаратов с интенсивно меняющимся потреблением полезной нагрузкой эта задача имеет большое значение для планирования сеансов работы. Кроме того, в ситуациях, когда аппарат находится в аварийном режиме с дефицитом энергии на борту точная оценка состояния батареи позволяет избежать развития аварийной ситуации и потери аппарата.

С учетом того, что литий-ионные аккумуляторные батареи находят все более широкое применение в космической технике задача создания блоков электроники, проводящих оценку состояния батареи в реальном времени, становится все более актуальной.

Общая методология исследования

Автором диссертации на основе анализа различных источников были определены основные направления развития приборов контроля и защиты ЛИАБ, методов оценки остаточной емкости и степени заряженности ЛИАБ и элементной базы специального назначения. На основании проведенного анализа сделан вывод о затруднительности применения существующих моделей ЛИАБ и методов оценки параметров на микроконтроллерах специального назначения, при необходимости реализации режима реального времени. Автором разработана новая математическая модель ЛИАБ на основе схемы замещения Тевенина с применением сплайн-функций и метод оценки параметров батареи, на основе модели с перестраиваемыми параметрами, обладающие

низкой вычислительной сложностью. Автором произведена разработка экспериментальных установок для проверки адекватности предложенных методов и моделей, а также технических решений для создания прибора контроля и защиты аккумуляторной батареи. Предложенные методы проверены на адекватность, проведена статистическая обработка результатов. В заключительной части выполненной работы, описанной в последней главе, приведены примеры практического использования полученных результатов на экспериментальной установке и приборе контроля и защиты аккумуляторной батареи. Все это придает диссертации завершённый характер как с научной, так и с практической точек зрения. Итоги выполненных теоретических и экспериментальных исследований легли в основу сформулированных в автореферате элементов научной новизны и научных положений, выдвигаемых автором на защиту.

Оценка структуры и содержания диссертации

В целом, как следует из предыдущего раздела, диссертационная работа имеет четкую логическую структуру. Она хорошо проиллюстрирована и демонстрирует глубокое знание автором диссертации вопросов, относящихся к теоретической стороне выполненных исследований.

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

В первой главе приведен краткий обзор существующих блоков электроники ЛИАБ ведущих отечественных и зарубежных производителей, приведены их основные характеристики, достоинства и недостатки. Также в первой главе рассматриваются существующие методы и алгоритмы оценки SOC и технического состояния батареи. Кроме того, приведен анализ отечественной, высоконадежной элементной базы и выдвинуты требования к методам и алгоритмам оценки SOC батареи, которые могут быть реализованы в блоке электроники космического аппарата.

Во второй главе рассмотрено построение математической модели ЛИА и ЛИАБ на основе модели Тевенина, показано введение в модель переменных параметров для адекватного представления эффектов, происходящих в аккумуляторе при заряде-разряде и при изменении температуры. Приведен способ прямого вычисления параметров полученной модели в ходе циклов заряда-разряда АБ. Проведено количественное сравнение характеристик построенной модели с реальной ЛИАБ и методики определения ее параметров в тестовом режиме.

Суммарная погрешность математической модели и метода оценки параметров ЛИА, определенная по вычислению напряжения ЛИА, не превышает $\pm 0,8\%$. При экспериментальной проверке результатов модель ЛИАБ показала погрешность от ± 5 до $\pm 7\%$.

Таким образом, построенная модель может быть использована для создания методов и алгоритмов оценки остаточной емкости, степени заряженности и технического состояния ЛИАБ.

В третьей главе приведены метод и алгоритмы оценки SOC батареи и ее технического состояния на основе математических и имитационных моделей. Проведена оценка точности представленных метода и алгоритмов путем компьютерного моделирования в среде Matlab. Дана оценка влияния погрешностей измерительных устройств на точность работы алгоритмов.

В четвертой главе рассмотрены экспериментальные установки для проверки точности алгоритмов оценки SOC батареи и её технического состояния, приведены результаты экспериментальных исследований. Кроме того, представлены основные аппаратно-программные решения, необходимые для построения блока электроники, выполняющего алгоритм оценки SOC ЛИАБ и ее технического состояния.

В заключении приведены основные теоретические и практические результаты научных исследований.

В приложении представлен листинг программного кода алгоритмов оценивания степени заряженности аккумуляторной батареи и ее технического состояния, копии патента на изобретение и свидетельства на программный продукт, акты внедрения результатов работы.

Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов и рекомендаций.

Основные научные выводы и положения подтверждаются теоретическим анализом, результатами экспериментальных исследований на реальных аккумуляторных батареях с применением экспериментальных установок, а также результатами вычислительных экспериментов, выполненных в программной среде для математических и инженерных расчетов MATLAB. Все научные положения аргументированы, полученные результаты исследований логически непротиворечивы и не идут вразрез с известными научными положениями. Они также подтверждены результатами испытания приборов контроля и защиты ЛИАБ, что подтверждено актами внедрения.

Научная новизна и практическая значимость полученных результатов

Научная новизна включает новые математические модели литий-ионного аккумулятора, новый метод оценки параметров модели, метод и алгоритмы оценки остаточной и полной емкости литий-ионного аккумулятора: Основную научную новизну составляют:

1. Математическая модель литий-ионного аккумулятора, обладающая меньшей вычислительной сложностью по сравнению с аналогами;
2. Метод и алгоритм оценки степени заряженности и остаточной емкости литий-ионного аккумулятора на основе модели с подстраиваемыми параметрами, работающий в режиме реального времени и позволяющий повы-

- сить точность оценки этих параметров в условиях воздействия дестабилизирующих факторов космического пространства;
3. Технические решения приборов контроля и защиты ЛИАБ космических аппаратов, позволяющие реализовать на практике предложенные алгоритмы.

Значение выводов и рекомендаций для науки и практики

Разработана новая математическая модель литий-ионного аккумулятора, имеющая меньшую вычислительную сложность по сравнению с существующими аналогами при сравнимой точности. Кроме того, создан новый метод оценки параметров батареи таких, как остаточная емкость, степень заряженности, полная емкость и внутренне сопротивление, которые в совокупности позволяют оценить техническое состояние батареи в процессе эксплуатации.

Кроме того, в работе представлены технические решения для резервированных приборов контроля и защиты литий-ионных аккумуляторных батарей космического аппарата, которые позволяют реализовать предложенные алгоритмы в условиях воздействия факторов космического пространства.

Соответствие содержания автореферата содержанию диссертации

Содержание автореферата полностью отражает текстовый материал диссертационной работы, полученные в ней научные результаты, основные выводы и приведенные рекомендации.

Соответствие содержания диссертации содержанию опубликованных работ.

Основные результаты исследования опубликованы в 11 печатных работах, которые включают 4 статьи в журналах, рекомендуемых ВАК РФ, 1 статей в рецензируемых журналах, 4 доклада в сборниках научных трудов, 1 патент на изобретение, 1 авторское свидетельство о государственной регистрации программ.

Соответствие темы диссертации заявленной научной специальности

Тема диссертационной работы соответствует паспорту специальности 05.13.05 – «Элементы и устройства вычислительной техники и систем управления» по следующим пунктам:

-пункт 2. Теоретический анализ и экспериментальное исследование функционирования элементов и устройств вычислительной техники и систем управления в нормальных и специальных условиях с целью улучшения технико-экономических и эксплуатационных характеристик так, как в работе

приводится анализ работы средств вычислительной техники в специальных условиях (условиях космического пространства) при решении задачи оценки заряженности и технического состояния литий-ионной аккумуляторной батареи космического аппарата.

- пункт 4. Разработка научных подходов, методов, алгоритмов и программ, обеспечивающих надежность, контроль и диагностику функционирования элементов и устройств вычислительной техники и систем управления так как в работе разрабатываются новые метод и алгоритмы для оценки остаточной емкости и технического состояния литий-ионной аккумуляторной батареи, которые могут быть использованы в приборах контроля и защиты литий-ионных аккумуляторных батарей, а также схемотехнические решения таких приборов.

По диссертации имеются следующие замечания:

1. Вывод уравнения (2.3) из системы уравнений (2.2) выполнен при фиксированном токе нагрузки, что делает схему замещения (рис 2.3) формально не соответствующей формуле (2.3). Кроме того, такая модификация модели может привести к увеличению погрешности, если ток разряда или заряда аккумулятора будет изменяться с частотой существенно выше постоянной времени аккумулятора и амплитудой соизмеримой с номинальным разрядным током.

2. В главах 2 и 3 при описании метода оценки степени заряженности аккумулятора, автор недостаточно обосновывает выбор способа решения дифференциальных уравнений методом Рунге-Кутты 4 порядка. Хотя применение явных методов 1 или 2 порядка могла бы дать существенный выигрыш в вычислительной сложности, возможно автора не устроила точность таких методов, однако об этом остается только догадываться.

3. На рисунке 3.1 приведена блок-схема алгоритма оценки степени заряженности батареи, однако в подрисуночной подписи указано «Алгоритм оценки степени заряженности аккумулятора», что очевидно неверно. Кроме того, в блок-схеме для переменной цикла использован символ «i», что вносит путаницу так, как по тексту работы для обозначения величины тока используется символ «I».

4. В главе 4 описана схема устройства управления с холодным резервом для применения в приборе контроля и защиты ЛИАБ. Несмотря на наличие в ней автоматического устройства управления резервом, в ней отсутствует контроль исправности внешнего интерфейса, это обуславливает необходимость использования внешней команды для переключения резерва.

Указанные замечания не снижают ценности представленной диссертационной работы.

Заключение

Диссертационная работа Хандорина Михаила Михайловича «Метод алгоритмы и микропроцессорное устройство оценивания параметров литий-ионной аккумуляторной батареи космического аппарата» является завершенной квалификационной работой, выполненной на актуальную тему, в которой решена важная научно-техническая задача создания блока электроники ЛИАБ космического аппарата, выполняющего оценку остаточной емкости, степени заряженности и технического состояния ЛИАБ. По своей актуальности, научной новизне, объему выполненных исследований и практической значимости полученных результатов, представленная работа соответствует п. 9 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24.09.2013 г., предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор Хандорин Михаил Михайлович заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.05 – Элементы и устройства вычислительной техники и систем управления.

Доктор технических наук,
 профессор, профессор кафедры
 «Системы автоматизации,
 автоматизированное управление и
 проектирование» института
 космических и информационных
 технологий Сибирского
 федерального университета
 Рабочий адрес: 660074, г.
 Красноярск, ул. Киренского 26
 корп. УЛК.
 Тел. +7 (391) 291-22-35
 e-mail: Vlvanchura@sfu-kras.ru



В.И. Иванчура



ФГАОУ ВО СФУ
 Подпись В.И. Иванчура заверяю
 Начальник общего отдела С. Миргалач
 - 18.09 2018г.