

## О Т З Ы В

на автореферат диссертации **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.

Диссертационная работа посвящена важной задаче создания прибора для контроля и защиты устанавливаемых на космических аппаратах литий-ионных аккумуляторных батарей (ЛИАБ), позволяющего оценивать техническое состояние батареи в реальном времени.

Автором выполнен обширный обзор существующих приборов контроля и защиты ЛИАБ и методов оценки ее технического состояния. Показано, что приборы на основе средств микропроцессорной техники, позволяющие с достаточной точностью оценивать остаточную емкость и техническое состояние ЛИАБ в реальном времени, в настоящее время отсутствуют. Главным препятствием к внедрению алгоритмов оценки технического состояния и параметров ЛИАБ становится либо их недостаточно высокая точность, либо слишком высокая вычислительная сложность для реализации на микроконтроллерах. Автором ставится задача разработки менее затратных с вычислительной точки зрения моделей и методов для контроля и диагностики ЛИАБ.

В своей работе автор предлагает новые математические модели ЛИАБ на основе модели Тевенина и методы оценки параметров предложенной модели. Он также приводит основанный на модифицированной модели оригинальный метод оценки степени заряженности и остаточной емкости ЛИАБ, отличающийся меньшей вычислительной сложностью по сравнению с известными аналогами. Проведенные эксперименты по сравнению работы предложенных методов с имитационной моделью пакета Simulink и проверка предложенных решений в натурных испытаниях показали, что новый метод обладает меньшей вычислительной сложностью при сопоставимой точности. Разработанная автором экспериментальная установка позволяет в автоматизированном режиме проверять работу предложенных методов с реальными батареями. Она же была использована и для проверки заложенных в создаваемом приборе контроля и защиты батареи новых технических решений. Важное значение для внедрения предложенных методов и алгоритмов в практику имеет разработанное диссертантом устройство для контроля и защиты ЛИАБ, обеспечивающее устойчивую работу алгоритмов при наличии отказов аппаратуры. Эффективность приведенных технических решений подтверждается актами внедрения.

Основные результаты и положения диссертационной работы соответствуют пунктам 2 и 4 паспорта специальности 05.13.05, так как в работе выполнен теоретический анализ и экспериментальное исследование функционирования ЛИАБ в различных режимах и специальных условиях с целью улучшения их технико-экономических и эксплуатационных характеристик путем разработки методов, алгоритмов, программ и устройств их контроля и диагностики в процессе эксплуатации.

Научную новизну результатов составляют: новые математические модели ЛИАБ, новые методы и реализующие их алгоритмы оценки ее параметров, в том числе остаточной емкости и степени деградации батареи, обладающие значительно меньшей вычислительной сложностью, чем известные аналоги, при сопоставимой точности.

Результаты исследований отражены 10 публикациях, в том числе 4 работы – из перечня ВАК, один патент на изобретение и одно свидетельство о регистрации программы.

Недостатки и замечания:

1. Структура таблицы 1 не очень удачна, т.к. в одну графу сведены данные, повторяющиеся для большинства устройств. Кроме того, в ней нет сведений о таких характеристиках, как вероятность безотказной работы и степень резервирования, что затрудняет сравнение различных устройств между собой.
2. Многие важные аспекты излагаемого материала или совсем не представлены в автореферате, или излагаются недостаточно ясно. Так, совершенно отсутствует информация о режиме работы ЛИАБ и условиях ее эксплуатации. Ведь она может работать как в циклическом режиме, так и в режиме постоянной подзарядки (как это имеет место в системах энергоснабже-

ния с солнечными элементами). И нигде не сказано, в какой момент (заряда, разряда, подзарядки) и как (путем снятия, или, наоборот, увеличения нагрузки, или путем непрерывной регистрации временных изменений) снимаются показания (надо полагать, тока и напряжения) на клеммах ЛИАБ. Рисунок 1 должен иллюстрировать влияние на ЛИАБ температурных возмущений, но ни из него, ни из текста неясно, как и когда оно проявляется, и какой вид при этом имеет температурный график. Аналогично, рисунок 4 иллюстрирует, скорее, процесс потери степени заряженности ЛИАБ со временем, а не погрешность ее оценки. В уравнении 4 непонятно, как при нулевом токе может возникнуть разность между напряжением на клеммах батареи и величиной ее э.д.с.? Кстати, не поясняется, в чем различие между напряжением  $U$  с разными индексами ( $m, j, b_j$ ) и что автор вкладывает в понятие "переходный процесс"? Термин "аккумулятор" используется вместо "ячейка ЛИАБ" или "элемент ЛИАБ".

3. Помимо перечисленных, имеются и другие неточности в оформлении содержательной части. Так, отсутствует ссылка на рисунок 6. Не расшифрована, и, на мой взгляд, достаточно произвольно используется аббревиатура ЛИА вместо и наряду с ЛИАБ, не расшифрованы аббревиатуры АБ, ТЗЧ, ВЭП, имеются отдельные случаи несогласованности падежей, не пояснены некоторые переменные в формулах (1-6).

Однако, данные замечания не являются критическими, не оказывают влияния на положительную оценку диссертации и не снижают общей ценности работы. Она представляет несомненный научный интерес и имеет большое практическое значение для специалистов, занимающихся разработкой и исследованиями систем контроля и защиты ЛИАБ и не только в космической отрасли, но и при разработке, например, систем энергоснабжения электромобилей.

Содержание автореферата, а также представленные в научных публикациях сведения позволяют утверждать, что диссертация является завершённой научно-квалификационной работой, выполненной на высоком научном уровне, полностью соответствует требованиям кандидатским диссертациям, изложенным в п.9. Положения о присуждении ученых степеней в редакции постановления Правительства РФ от 21.04.2016 № 335, и ее автор достоин присуждения ему учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.13.05 – Элементы и устройства вычислительной техники и систем управления.

Заведующий кафедрой информатики, вычислительной техники и информационной безопасности, зав. лабораторией информационно-измерительных систем ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», д.т.н., профессор.

Научная специальность: 05.13.05 – Элементы и устройства вычислительной техники и систем управления

656038, Барнаул, проспект Ленина, 46.

АлтГТУ, ФИТ, каф. ИВТ и ИБ

Тел. +7(3852) 290-786 раб/факс,

e-mail: [yakunin@agtu.secna.ru](mailto:yakunin@agtu.secna.ru)

Якунин Алексей Григорьевич

Подпись заверяю:

