

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОЕО СОВЕТА Д 212.268.03,  
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО  
БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО  
ОБРАЗОВАНИЯ «ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ» (ТУСУР)  
МИНИСТЕРСТВА НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ  
ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ  
СТЕПЕНИ КАНДИДАТА ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК**

аттестационное дело № \_\_\_\_\_

решение диссертационного совета от 18 октября 2018 г. № 14

О присуждении Хандорину Михаилу Михайловичу, гражданину России, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Метод, алгоритмы и микропроцессорное устройство оценивания параметров литий-ионной аккумуляторной батареи космического аппарата» по специальности 05.13.05 – Элементы и устройства вычислительной техники и систем управления принята к защите 31 мая 2018 г., протокол № 6, диссертационным советом Д 212.268.03, созданным на базе ТУСУРа (634050, г. Томск, пр. Ленина, 40). Приказ о создании диссертационного совета от 11.04.2012, № 105/нк.

Соискатель Хандорин Михаил Михайлович, 1988 года рождения, в 2010 году окончил ТУСУР, а в 2017 году – аспирантуру Национального исследовательского Томского политехнического университета (ТПУ). В настоящее время работает инженером-конструктором в АО «Научно-производственный центра «Полюс» (АО «НППЦ «Полюс», г. Томск).

Диссертация выполнена в инженерной школе энергетики ТПУ и в АО «НППЦ «Полюс». Научный руководитель – Букреев Виктор Григорьевич, доктор технических наук, профессор, профессор отделения электроэнергетики и электротехники инженерной школы энергетики ТПУ.

Официальные оппоненты: Иванчуря Владимир Иванович, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры систем автоматизации, автоматизированного управления и проектирования Института космических и информационных технологий



Сибирского федерального университета, г. Красноярск; Орлов Павел Евгеньевич, кандидат технических наук, старший научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории «Безопасность и электромагнитная совместимость радиоэлектронных средств» ТУСУРа дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – Акционерное общество «Информационные спутниковые системы» имени академика М.Ф. Решетнёва» (г. Железногорск), в своем положительном заключении, составленном Головенкиным Е.Н., д.т.н., профессором, главным ученым секретарем НТС, Нестеришиным М.В., начальником отдела бортовых систем электропитания, и утвержденном Тестоедовым Н.А., генеральным директором, доктором технических наук, профессором, член-корреспондентом РАН, указала, что диссертационная работа Хандорина М.М. выполнена на высоком научно-техническом уровне, является законченной научно-исследовательской, квалификационной работой. Автором диссертации сформулирована и решена важная научно-техническая задача создания блока электроники литий-ионной аккумуляторной батареи (ЛИАБ), выполняющего оценку остаточной емкости, степени заряженности и технического состояния ЛИАБ. Соискателем разработана совокупность теоретических, технических, методических и инженерных решений, внедрение которых можно рассматривать как вклад в развитие научного направления, связанного с реализацией элементов и устройств контроля и защиты литий-ионных аккумуляторных батарей. Автореферат диссертации в целом отражает ее содержание. Диссертационная по своей актуальности, научной новизне и практической значимости отвечает п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней» ВАК РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.05 – Элементы и устройства вычислительной техники и систем управления.

По теме диссертации автором опубликовано 11 печатных работ: 4 работы в изданиях из перечня ВАК, одна работа в рецензируемом журнале, 4 публикации в материалах всероссийских и международных конференций, 1 патент на изобретение и 1 свидетельство о регистрации программы для ЭВМ. Общий объем – 60 п.л. (Личный вклад – 50 п.л.).



Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

1. Хандорин М.М. Оценка остаточной емкости литий-ионного аккумулятора на основе эталонной модели / М.М. Хандорин, В.Г. Букреев // Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М.Ф. Решетнева. – 2014. – № 1(53). – С. 94 – 97.

2. Хандорин М.М. Оценка остаточной емкости литий-ионного аккумулятора в режиме реального времени / М.М. Хандорин, В.Г. Букреев // Электрохимическая энергетика. – 2014. – Т. 14., № 2. – С. 65 – 69.

3. Хандорин М.М. Экспериментальная проверка алгоритма оценки остаточной емкости литий-ионной аккумуляторной батареи для применения на космическом аппарате / М.М. Хандорин, В.Г. Букреев // Авиакосмическое приборостроение. – 2017. – № 3. – С. 45 – 55.

4. Хандорин М.М. Методика оценки остаточной емкости литий-ионной аккумуляторной батареи / М.М. Хандорин, В.Г. Букреев // Доклады ТУСУРа. – 2017. – Т. 21. – № 2. – С. 120 – 122.

5. Пат. 2621885 Российская Федерация, МПК G 01 R 31/6. Способ оценки остаточной емкости литий-ионного аккумулятора / Букреев В. Г., Хандорин М. М. ; заявитель и патентообладатель Акционерное общество «Научно-производственный центр «Полнос». – № 2015145496 ; заявл. 22.10.15 ; опубл. 07.06.17, бюл. № 16.

На диссертацию и автореферат поступило 8 положительных отзывов из следующих организаций: Юго-западный государственный университет, г. Курск (д.т.н. профессор кафедры вычислительной техники Бобырь М.В); АО «Ракетно-космический центр «Прогресс», г. Самара (к.т.н. начальник сектора проектирования СЭП КА Фомакин В.Н.), Уфимский государственный авиационный технический университет (д.т.н., профессор кафедры «Информационно-измерительная техника» Ураксеев М.А.), Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, г. Барнаул (д.т.н., проф., зав кафедрой информатики, вычислительной техники и информационной безопасности, зав. лабораторией информационно-измерительных систем Якунин А.Г.), Московский государственный университет гражданской авиации (д.т.н., проф., зав.



кафедрой электротехники и авиационного электрооборудования Халютин С.П.); Национальный исследовательский университет «МИЭТ», г. Москва, Зеленоград (д.т.н. профессор института микроприборов и систем управления Якунин А.Н.), АО «НПО Лавочкина», г. Химки Московской обл. (д.т.н. гл. науч. сотр. Ефанов В.В.; начальник отдела разработки систем электроснабжения Назимко А.И.), Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А. (д.т.н., заведующий кафедрой «Системотехника» Томашевский Ю.Б.).

В отзывах указаны следующие основные замечания. В работе принято допущение о том, что увеличение погрешности оценки параметров ЛИАБ при больших глубинах разряда (более 90 %) не отражается на качестве оценки, поскольку работа ЛИАБ в данном режиме осуществляется крайне редко, при этом более точная оценка остаточной энергоемкости при значительной глубине разряда могла бы обеспечить необходимое уточнение значений напряжения ЛИАБ, при котором следует прекращать ее разряд во избежание повреждения. Логика управления зарядом не связана с наличием или отсутствием в составе ПКЗ АБ энергонезависимой памяти, в отличие от того, что сказано в диссертации. Из представленной информации следует, что разработанная программа занимает около половины располагаемой памяти программ устройства управления, при этом не указано, какой объём занимают прочие программы, обеспечивающие выполнение прибором своих целевых функций контроля и управления ЛИАБ. 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). Недостаточно обоснован выбор способа решения дифференциальных уравнений методом Рунге-Кутты 4 порядка. В схеме устройства управления отсутствует контроль исправности внешнего интерфейса, это обуславливает необходимость использования внешней команды для переключения резерва. В работе отсутствуют выбор и обоснование используемой эквивалентной схемы аккумулятора. Апробация разработанных математической модели, метода и алгоритмов выполнена только для цикла разряда, что в полной мере не отражает реальные условия эксплуатации ЛИАБ космических аппара-



тов. В работе не приведены расчет или оценка надежности аппаратной реализации разработанного метода.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их достижениями в данной области исследования и способностью объективно оценить диссертационную работу. Оппонент Иванчура В.И. имеет достижения и публикации в области автоматизированных систем управления, систем электропитания космических аппаратов и моделирования литий-ионных аккумуляторных батарей. Оппонент Орлов П.Е. имеет достижения и публикации в области математического моделирования процессов, протекающих в бортовой аппаратуре космических аппаратов, и создания отказоустойчивых устройств с резервированием. Ведущая организация АО «ИСС им. академика М.Ф. Решетнева» имеет общепризнанные достижения в области вычислительной техники и систем управления космических аппаратов, квалифицированных специалистов, которые способны определить и аргументированно оценить научную и практическую ценность диссертационной работы, что подтверждается публикациями в рецензируемых научных журналах.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

**разработаны** алгоритмы и программное обеспечение оценки остаточной емкости и степени заряженности батареи на основе перенастройки параметров математической модели каждого аккумулятора, отличающиеся низкой вычислительной сложностью при реализации на микроконтроллере в реальном времени и позволяющие внедрить в прибор контроля и защиты ЛИАБ дополнительные функции – оценку остаточной емкости и технического состояния при сохранении массогабаритных характеристик (получено свидетельство о регистрации программы для ЭВМ № 2017618778).

**Теоретическая значимость исследования** обоснована тем, что:

**изложена** математическая модель литий-ионного аккумулятора на основе схемы замещения Тевенина, отличающаяся использованием сплайн функций при определении ее параметров в режимах заряда-разряда с учетом влияния температуры и де-

градации, позволяющая проводить корректировку ряда своих параметров при штатной эксплуатации ЛИАБ;

**изложен** способ оценки остаточной емкости и степени заряженности ЛИАБ на основе ее математической модели, учитывающий саморазряд батареи и работающий без прерывания режима эксплуатации и позволяющий проводить оценку остаточной емкости при ограничениях на вычислительные ресурсы микропроцессорной измерительной системы, на который получен патент РФ № Пат. 2621885.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

**разработано и внедрено** в АО «НПЦ «Полус» резервированное устройство управления для приборов контроля и защиты ЛИАБ, экспериментальная установка для исследования процессов заряда/разряда ЛИАБ;

**разработаны и внедрены** в учебный процесс инженерной школы энергетики ТПУ модель ЛИАБ и метод оценки ее параметров, способ оценки степени ее заряженности и остаточной емкости.

**Оценка достоверности результатов исследования выявила:**

результаты проведенных экспериментальных работ получены с применением сертифицированных измерительных приборов, **показана** их воспроизводимость в различных условиях;

**идея** базируется на обобщении передового опыта в области оценки заряженности и технического состояния ЛИАБ и разработке резервированных микропроцессорных устройств контроля и защиты ЛИАБ;

**установлено**, что результаты математического моделирования оценки точности предложенных модели ЛИАБ и метода оценки ее параметров согласуются с экспериментальными данными.

**Личный вклад соискателя состоит** в разработке способа оценки степени заряженности и остаточной емкости литий-ионного аккумулятора. Автором созданы экспериментальные установки, алгоритмическое и программное обеспечение микропроцессорного устройства, а также проведена верификация математических моделей литий-ионной аккумуляторной батареи и способов оценивания ее параметров путем



постановки серии экспериментов с последующей обработкой данных статистическими методами.

На заседании 18.10.2018 г. диссертационный совет принял решение присудить Хандорину М.М. ученую степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 18 человек, из них 8 докторов наук по специальности 05.13.05 – Элементы и устройства вычислительной техники и систем управления, участвовавших в заседании, из 26 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за 17, против 1, недействительных бюллетеней нет.

Заместитель председателя  
диссертационного совета Л212.268.03



Ю.А. Шурыгин

Ученый секретарь  
диссертационного совета Л212.268.03

Д.Д. Зыков

19.10.2018 г.