

ОТЗЫВ

официального оппонента Симонова Бориса Ферапонтовича на диссертационную работу Козлова Романа Викторовича «Оптимизация энергомассовых характеристик системы электропитания геостационарного космического аппарата», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.09.03 – Электротехнические комплексы и системы

Диссертация Козлова Романа Викторовича посвящена решению научно-технической задачи по актуальному направлению: повышению удельной мощности систем электропитания (СЭП) геостационарных космических аппаратов (КА).

Диссертация включает введение, четыре главы, заключение, список литературы из 87 наименований, 2 приложения. Основное содержание работы изложено на 176 страницах машинописного текста, содержит 67 рисунка, 25 таблиц. Результаты выполненных исследований отражены в 14 научных работах, в том числе: 4 публикациях в изданиях, входящих в перечень ВАК для диссертаций, 3 патентах РФ, 1 свидетельстве на программу для ЭВМ, 5 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 структурных схем СЭП, рассмотрены их недостатки и достоинства, осуществлена постановка задачи исследования. Предлагается методика формирования требований к СЭП, определен критерий оптимизации энергомассовых характеристик СЭП как максимум удельной (по массе) выходной мощности СЭП, рассмотрены подходы к созданию имитационной модели СЭП, сформулированы требования к имитационной модели СЭП как к инструменту исследования.

Во второй главе осуществляется построение математической и имитационной моделей СЭП на базе электрических схем замещения и параметрического моделирования. Предлагаются варианты имитационных моделей солнечной (БС) и аккумуляторной батарей (АБ), энергопреобразующей аппаратуры (ЭПА) (включая методику оценки параметров энергетической эффективности), имитационной модели СЭП. Разработанная имитационная модель СЭП обладает свойством масштабируемости, реализует функции

преимущественного использования и экстремального регулирования мощности БС, заряда АБ в квазипотенциостатическом режиме, а также учитывает нестационарность вольт-амперной характеристики БС и зарядно-разрядной характеристики АБ. Показано, что дополнительно введенные параметры энергетической эффективности энергопреобразующей аппаратуры позволяют получить адекватную оценку энергетической эффективности ЭПА с погрешностью не более 1,5% по критерию трех сигм нормального распределения ошибки случайной величины.

В третьей главе определены функциональные зависимости массы составных частей СЭП (с учетом бортовой кабельной сети (БКС)), исследована возможность оптимизации энергомассовых характеристик двух подсистем СЭП: «БС – БКС БС», «АБ – БКС АБ». Приведены методика и алгоритм оптимизации энергомассовых характеристик СЭП, предложены рекомендации по заданию требований к параметрам межблочного силового интерфейса СЭП, обеспечивающих достижение максимальной удельной мощности СЭП в заданном диапазоне изменения количества последовательно соединенных фотопреобразователей и аккумуляторов.

В четвертой главе рассмотрены технические средства для проведения экспериментальных исследований и верификации модели СЭП. Приведены результаты верификации созданных моделей по экспериментальным данным. Подтверждена адекватность результатов расчета оптимальных параметров СЭП путем сравнительного анализа с характеристиками эксплуатируемых систем электропитания на космических аппаратах.

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

Проведенный всесторонний анализ диссертационной работы свидетельствует о том, что диссертация Козлова Романа Викторовича 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 существующие решения в части СЭП практически исчерпали свой потенциал в части повышения удельной мощности СЭП, которое определяется, в основном, применением более совершенной электронной-компонентной базы и повышением эффективности БС и АБ.

Диссертационная работа Р.В. Козлова посвящена исследованию возможности повышения удельной выходной мощности СЭП за счет применения в

энергопреобразующей аппаратуре мостовых резонансных конвертеров, позволяющих варьировать параметрами силового межблочного интерфейса в некоторых пределах с сохранением энергетической эффективности силовых преобразователей. Поскольку данная возможность повышения удельной мощности СЭП ранее не была исследована, это позволяет считать поставленную в диссертационной работе научно-техническую задачу 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 «ИСС».

Выполненные исследования и результаты оптимизации энергомассовых характеристик СЭП геостационарного КА характеризуются следующими **научными результатами**:

1. Предложена структура системы электропитания, позволяющая реализовать гальваническую развязку солнечной и аккумуляторной батарей от нагрузки и обеспечить возможность улучшения ее энергомассовых характеристик за счет оптимизации рабочих диапазонов напряжений БС и АБ для заданной выходной мощности.

2. Создана методика оценки энергетической эффективности ЭПА, определяющая с погрешностью не более 1,5% по критерию трех сигм нормального распределения ошибки случайной величины параметры силовых преобразователей при расчете энергетического баланса КА во всем диапазоне рабочих напряжений БС и АБ.

3. Разработана имитационная модель СЭП для статических режимов работы, позволяющая выполнить расчет энергетического баланса КА для заданной мощности нагрузки и количества последовательно соединенных элементов в БС и АБ с учетом нестационарности их вольт-амперных характеристик.

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 выводы и результаты работы теоретически и практически обоснованы и получены автором впервые.

Основные замечания по работе:

1. Недостаточно полно представлена практическая реализация предлагаемых технических решений оптимизированной СЭП.

2. Повышение количества последовательно соединенных аккумуляторов в АБ дает возможность улучшения удельной мощности СЭП, но при этом создает повышенный риск возникновения дуговых разрядов с катастрофическими отказами в случае наличия дефектов изоляции при возникновении электростатических разрядов. Возможные ограничения для увеличения количества последовательно соединенных аккумуляторов из-за наличия этого риска не были исследованы в диссертации.

3. Не проведен анализ разработанного способа оценки параметров энергетической эффективности ЭПА в течение всего срока службы СЭП, а не только на момент изготовления и испытаний образцов ЭПА.

Приведенные замечания не снижают научную ценность и практическую значимость предоставленной к защите диссертации.

Общее заключение по диссертации.

Полученные результаты исследований доказывают, что Козлов Роман Викторович качественно выполнил научные изыскания по решению задач разработки средств и методики оптимизации энергомассовых характеристик СЭП для повышения ее удельной выходной мощности, что имеет важное прикладное значение для процесса проектирования новых модификаций СЭП геостационарных КА. Следует отметить, что в практические рекомендации обеспечивают использование дополнительного транспондера полезной нагрузки для геостационарного космического аппарата типа «Экспресс-АМ5» мощностью 13 кВт.

Диссертация является законченной научно-квалификационной работой, выполнена автором единолично, имеет научную новизну и практическую значимость. Соискатель ученой степени внес значительный вклад в развитие средств проектирования систем электропитания геостационарных КА, а также направлений дальнейшего повышения удельной выходной мощности СЭП.

В заключении следует отметить, что диссертационная работа «Оптимизация энергомассовых характеристик системы электропитания геостационарного космического аппарата» по уровню и объему и значимости соответствует требованиям п.п. 8, 9 «Порядка присуждения ученых степеней Национального исследовательского Томского политехнического университета, (приказ № 66/од от 28 августа 2019 г.), предъявляемым к защищаемым диссертациям, а ее автор – Козлов Роман Викторович 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

« 06 » 10 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:

Ученый секретарь Института
горного дела СО РАН, к.т.н.



4

Коваленко К.А.