

УТВЕРЖДАЮ:

Проректор по науке

ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский
Томский политехнический университет»



М. С. Юсубов

«05» 04 2021 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Федерального государственного автономного образовательного учреждения
высшего образования «Национальный исследовательский Томский
политехнический университет»

Диссертация Козлова Романа Викторовича на тему «**Оптимизация
энергомассовых характеристик системы электропитания
геостационарного космического аппарата**» выполнена в отделении
электроэнергетики и электротехники (ОЭЭ) Инженерной школы энергетики
(ИШЭ) Федерального государственного автономного образовательного
учреждения высшего образования «Национальный исследовательский
Томский политехнический университет» (ФГАОУ ВО НИ ТПУ) и
акционерном обществе «Информационные спутниковые системы» имени
академика М. Ф. Решетнева (г. Железногорск) (АО «ИСС»).

В период подготовки диссертации Козлов Роман Викторович обучался
в очной аспирантуре ОЭЭ ИШЭ ФГАОУ ВО НИ ТПУ и работал в
акционерном обществе «Информационные спутниковые системы» в
должности начальника сектора отдела разработки бортовых систем
электропитания космических аппаратов после окончания в 2006 г.
Государственного образовательного учреждения высшего

профессионального образования «Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М.Ф. Решетнева» по специальности «Системы управления летательными аппаратами» (с отличием) и в 2008 г. Государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М.Ф. Решетнева» по направлению «Информатика и вычислительная техника».

Диплом об окончании аспирантуры серия: 107004, №0020753 выдан 06 июля 2020 г. ФГАОУ ВО НИ ТПУ.

Научный руководитель – Букреев Виктор Григорьевич, доктор технических наук, профессор, профессор ОЭЭ ИШЭ НИ ТПУ.

Во время обсуждения диссертационной работы были заданы следующие вопросы:

1. Как учитывалось влияние температуры АБ на её энергетические параметры?
2. Какие допущения были приняты при создании имитационной модели СЭП?
3. В чем заключается новизна предложенных структурных схем СЭП?
4. Каким образом осуществлялось подтверждение адекватности имитационной модели СЭП?
5. Каким образом осуществлялся расчет ошибки погрешностей модели?
6. Рассматривалась ли в работе возможность улучшения энергомассовых характеристик СЭП и ЭПА за счет повышения частоты резонансных преобразователей, если нет, то почему?
7. Возможно ли упрощение модели за счет рассмотрения более узкого диапазона выходных мощностей преобразователей ЭПА?
8. Для чего потребовалось оптимизировать энергомассовые характеристики СЭП, если очевидно, что для этого следует увеличить количество последовательно соединенных ФП в БС?

9. Каким образом учитывались коэффициенты деградации характеристик БС и АБ?
10. Каково соотношение статических и динамических режимов рассматриваемой системы?
11. С какой практически достигнутой точностью определяются параметры энергетической эффективности ЭПА по предложенной методике?
12. Каков личный вклад автора в проведении диссертационной работы?
13. За счет чего изменяется удельная мощность системы БС – бортовая кабельная сеть БС при изменении её характеристик?

По итогам обсуждения принято следующее заключение:

Диссертационная работа Козлова Романа Викторовича на тему «Оптимизация энергомассовых характеристик системы электропитания геостационарного космического аппарата» является законченной научно-квалификационной работой.

1. Актуальность темы исследования.

В составе космических аппаратов (КА) различного назначения широко применяются системы электропитания (СЭП) параллельной или последовательно-параллельной структурной схемы, в состав которых входит энергопреобразующая аппаратура (ЭПА) на базе силовых преобразователей с широтно-импульсной модуляцией понижающего и (или) повышающего типа. Вопросы создания СЭП параллельной или последовательно-параллельной структурной схемы с ЭПА на базе повышающих и (или) понижающих ШИМ преобразователей достаточно хорошо изучены.

Вместе с тем, наблюдается научный и практический интерес к разработкам ЭПА на базе мостовых инверторов, работающих в резонансных режимах. К преимуществам таких силовых преобразователей относят: снижение массы выходных фильтров ЭПА за счет повышения частоты коммутации ключевых элементов, исключение силовых коммутаторов для подключения солнечной (БС) и аккумуляторной батарей (АБ), уменьшение уровня генерируемых помех и т.д.

При этом появляется возможность повышения удельных энергомассовых характеристик СЭП за счет изменения параметров межблочного силового

интерфейса СЭП, т.е. за счет варьирования диапазонами рабочих напряжений БС и АБ.

Следовательно, теоретические исследования улучшения энергомассовых характеристик СЭП геостационарных КА с ЭПА на базе мостовых резонансных инверторов, а также разработка практических рекомендаций по их оптимизации является актуальной научно-технической задачей.

2. Личное участие и вклад соискателя в получении результатов, изложенных в диссертации

Научные результаты, выносимые на защиту и составляющие основное содержание диссертации, получены автором самостоятельно. Соискателем предложены варианты структур СЭП, разработана методика оценки энергетической эффективности ЭПА и методика оптимизации энергомассовых характеристик СЭП.

Козлов Р.В. непосредственно участвовал в создании математических моделей, алгоритмов аппаратно-программных средств, проведении экспериментальных исследований, обработке количественных и качественных данных, внедрении разработанной методики оптимизации СЭП космических аппаратов.

3. Степень достоверности результатов проведенных исследований.

Достоверность результатов исследований подтверждается строгим обоснованием расчетных методик и принимаемых допущений, корректным использованием современных методов научных исследований, а также экспериментальными исследованиями на опытно-промышленных образцах. Все разделы диссертационной работы логически взаимосвязаны, а выводы и рекомендации вытекают из материалов теоретических и экспериментальных исследований.

4. Полнота изложения материалов диссертации в опубликованных работах.

Основные положения и результаты проведенных исследований отражены в 14 публикациях, из них 4 – в рецензируемых изданиях, рекомендованных

ВАК, 1 – в индексируемых базах Scopus и Web of Science, 3-х патентах РФ на изобретение, 1 – от свидетельстве на программу для ЭВМ.

Статьи в рецензируемых периодических изданиях по перечню ВАК РФ, в которых изложены основные положения диссертации:

1. Козлов Р.В. Сравнительный анализ энергетической эффективности энергопреобразующей аппаратуры с параллельным и последовательным регулятором мощности солнечной батареи / Нестеришин М.В., Козлов Р.В., Журавлев А.В. // Доклады Томского Государственного университета систем управления и радиоэлектроники. – 2018. –Том 21.– №3. -С.98-102.

2. Козлов Р.В. Методика оценки энергетической эффективности энергопреобразующей аппаратуры систем электропитания космических аппаратов / Нестеришин М.В., Букреев В.Г., Козлов Р.В., Журавлев А.В. // Доклады Томского Государственного университета систем управления и радиоэлектроники. – 2018. –Том 21.– №1. -С.112-118.

3. Козлов Р.В. Моделирование солнечных батарей космических аппаратов в программной среде SimInTech / А.М. Поляков, А.Р. Корсаков, Р.В. Козлов, А.С. Тетерин // Научные технологии. – Москва: Издательство «Радиотехника» – 2017. – Том 18. – №12. -С. 81-84.

4. Козлов Р.В. Методика оптимизации энергомассовых характеристик системы электропитания геостационарного космического аппарата / Козлов Р.В., Букреев В.Г., Лелеков А.Т. // Доклады Томского Государственного университета систем управления и радиоэлектроники. – 2021. –Том 24.– №1. – в печати.

Публикации в базе SCOPUS.

5. Kozlov, R.V. Simulation model of spacecraft power system for power balance calculation / Kozlov, R.V., Bukreev, V.G., Nesterishin, M.V., Lelekov, A.T. // (2020) International Conference of Young Specialists on Micro/Nanotechnologies and Electron Devices, EDM, 2020-June, статья № 9153514, -р. 340-345.

Перечень патентов РФ на полезную модель и свидетельств на программный продукт, подтверждающих новизну разработанных технических решений.

6. Козлов Р.В. «Система электропитания космических аппаратов» / Гордеев К.Г., Кочура С.Г., Козлов Р.В., Нестеришин М.В., Черданцев С.П. // Патент на изобретение RU 2680245 С1, Опубликовано: 19.02.2019. Бюл. № 5.

7. Козлов Р.В. «Система электропитания космического аппарата» / Кудряшов В.С., Эльман В.О., Козлов Р.В. [и др.] // Патент на изобретение RU 2396666 С1, Опубликовано: 10.08.2010. Бюл. № 22.

8. Козлов Р.В. «Система электропитания космического аппарата» / Коротких В.В., Козлов Р.В., Нестеришин М.В., Опенько С.И. // Патент на изобретение RU 2699084 С1, Опубликовано: 03.09.2019. Бюл. № 25.

9. Козлов Р.В. «Имитационная модель системы электропитания космического аппарата в статическом режиме работы» Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2020613088, Опубликовано: 10.03.2020. Бюл. № 3.

5. Апробация диссертационной работы.

Основные научные положения и результаты диссертационной работы представлялись и докладывались на семинарах отделения электроэнергетики и электротехники инженерной школы энергетики НИ ТПУ, на производственных совещаниях АО «ИСС» имени академика М.Ф. Решетнёва, а также на конференциях: XXI Международной научно-практической конференции «Решетневские чтения» (Красноярск, 2017 г.), XX научно-технической конференции «Электронные и электромеханические системы и устройства» (АО «НПЦ «Полюс», г. Томск, 2020 г.), XX научно-технической конференции молодых специалистов «Электронные и электромеханические системы и устройства» (АО «НПЦ «Полюс», г. Томск, 2018 г.), XXI международной конференции молодых специалистов по микро/нанотехнологиям и электронным приборам (EDM 2020).

В период аспирантской подготовки результаты исследований обсуждались на семинарах отделения электроэнергетики и электротехники Инженерной школы энергетики НИ ТПУ и отделения электрического проектирования и испытаний космических аппаратов АО «ИСС».

Методика расчета энергетической эффективности ЭПА различной структуры и типов силовых преобразователей на этапе определения энергетического баланса КА применяется при проектировании СЭП в АО «ИСС».

Рассмотренные в работе структуры, модели СЭП и методика оптимизации ее энергомассовых характеристик используются в лекционных материалах для студентов профилей «Авиакосмическая электроэнергетика» и «Электропривод и автоматизация технологических комплексов» направления 13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника» Инженерной школы энергетики Национального исследовательского Томского политехнического университета».

6. Научная новизна работы.

- предложена структура ЭПА, обеспечивающая возможность независимого варьирования рабочих напряжений БС и АБ с обеспечением энергетической и энергомассовой эффективности СЭП;

- разработана методика оценки энергетической эффективности ЭПА, обеспечивающая обоснование эквивалентности параметра КПД и параметров энергетической эффективности силового преобразователя: «коэффициент передачи мощности» и «собственное потребление»;

- создана имитационная модель СЭП в статических режимах работы геостационарного КА, реализующая функции экстремального регулирования мощности БС и заряда АБ в квазипотенциостатическом режиме, с возможностью масштабирования для требуемого количества последовательно соединенных ФП в БС и аккумуляторов в АБ необходимой емкости;

- предложена методика оптимизации энергомассовых характеристик СЭП, обеспечивающая достижение ее максимальной удельной мощности в заданном диапазоне изменения количества последовательно соединенных фотопреобразователей в БС и аккумуляторов в АБ.

7. Практическая ценность работы.

- предложенная структура СЭП с применением мостовых резонансных инверторов с гальванической трансформаторной развязкой БС и АБ от нагрузки используется в ряде проектов по разработке СЭП КА;

- созданная методика оценки энергетической эффективности ЭПА различной структуры и типов силовых преобразователей применяется для расчета энергетического баланса при проектировании современных СЭП КА;

- разработанная вычислительная программа в Matlab Simulink позволяет исследовать энергетические процессы и определять оптимальные значения энергомассовых характеристик в СЭП.

8. Рассматриваемая диссертация является законченной научно-квалификационной работой, в которой содержатся теоретические и практические важные результаты. Приведены новые теоретические и инженерные решения, позволяющие обоснованно сформировать требования к массогабаритным параметрам СЭП и определить схемотехническую реализацию составных частей системы на основе оптимизации ее удельных энергетических характеристик. Диссертационная работа соответствует требованиям ВАК РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям.

Диссертация **«Оптимизация энергомассовых характеристик системы электропитания геостационарного космического аппарата»** Козлова Романа Викторовича рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.09.03 – Электротехнические комплексы и системы.

Заключение принято на заседании научного семинара отделения электроэнергетики и электротехники Инженерной школы энергетики

Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет».

Присутствовало на заседании 12 чел.

Результаты голосования: «за» – 12 чел., «против» – нет, «воздержалось» – нет.

Протокол № 8 от «01» апреля 2021 г.

Председатель научного семинара
отделения электроэнергетики и электротехники Инженерной школы энергетики
Национального исследовательского
Томского политехнического университета, д.т.н., профессор



Гарганеев
Александр Георгиевич

Секретарь научного семинара
отделения электроэнергетики и электротехники Инженерной школы энергетики
Национального
исследовательского Томского политехнического университета



Филимонова
Светлана Владиславовна

Подписи Гарганеева А.Г. и Филимоновой С.В. заверяю
Ученый секретарь Ученого совета ТПУ



Ананьева
Ольга Афанасьевна