

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА ДС. ТПУ.12,**

созданного на базе федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, по диссертации **на соискание ученой степени кандидата технических наук.**

Решение диссертационного совета от 24 ноября 2021 года № 1 о присуждении Козлову Роману Викторовичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация **«Оптимизация энергомассовых характеристик системы электропитания геостационарного космического аппарата»** по специальности 05.09.03 – «Электротехнические комплексы и системы» принята к защите 15 сентября 2021 г., протокол № 1, диссертационным советом ДС.ТПУ.12, созданным на базе федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования (ФГАОУ ВО) «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», Министерство науки и высшего образования РФ, 634050, г. Томск, пр. Ленина 30, утвержденным приказом ректора Национального исследовательского Томского политехнического университета № 15895 от 06.12.2018 г.

**Соискатель Козлов Роман Викторович**, 1982 года рождения, в 2020 г. окончил очную аспирантуру ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», Министерство науки и высшего образования РФ.

Диссертация выполнена в отделении электроэнергетики и электротехники Инженерной школы энергетики ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», Министерство науки и высшего образования РФ и в акционерном обществе «Информационные спутниковые системы» имени академика М.Ф. Решетнёва.

**Научный руководитель** – доктор технических наук, профессор Букреев Виктор Григорьевич, ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», отделение электроэнергетики и электротехники Инженерной школы энергетики, профессор.

**Дополнительно введенные члены диссертационного совета ДС.ТПУ.12:**

**Обухов Сергей Геннадьевич**, доктор технических наук, доцент, ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», отделение электроэнергетики и электротехники Инженерной школы энергетики, профессор;

**Гарганеев Александр Георгиевич**, доктор технических наук, профессор, ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», отделение электроэнергетики и электротехники Инженерной школы энергетики, профессор.

**Официальные оппоненты:**

**Симонов Борис Ферапонтович**, доктор технических наук, старший научный сотрудник, ведущий научный сотрудник Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт горного дела им. Н.А. Чинакала Сибирского отделения Российской академии наук, г. Новосибирск;

**Жусубалиев Жаныбай Турсунбаевич**, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры вычислительной техники ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», г. Курск,  
дали положительные отзывы на диссертацию.

Выбор официальных оппонентов и дополнительно введенных членов диссертационного совета обосновывается высокой профессиональной компетенцией в области электротехнических комплексов и систем, компьютерного моделирования устройств и систем, достижениями и наличием публикаций в данной области науки и практики.

Соискатель имеет 14 печатных работ, в том числе: 4 публикации в изданиях, входящих в перечень ВАК для диссертаций, 1 публикация в индексируемых базах Scopus и Web of Science, 3 патента РФ, 1 свидетельство на программу для ЭВМ, 5 публикаций в сборниках материалов научно-технических конференций. Общий объем публикаций составляет 19 печатных листов с долей авторского участия соискателя не менее 80 %. В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем работах.

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

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

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

3. Р.В. Козлов, Методика оптимизации энергомассовых характеристик системы электропитания геостационарного космического аппарата / Р.В. Козлов, В.Г. Букреев, А.Т. Лелеков // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. 2021. Том 24, № 1. С. 83-90.

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

5. Р.В. Козлов, Система электропитания космического аппарата» / В.С. Кудряшов, В.О. Эльман, Р.В. Козлов [и др.] Патент на изобретение RU

2396666 С1. Опубликовано: 10.08.2010. Бюл. № 22.

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

7. 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. -P. 340-345.

8. 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.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:

1) Отзыв на диссертацию от официального оппонента, д.т.н. **Симонова Бориса Ферапонтовича**, старшего научного сотрудника, ведущего научного сотрудника Института горного дела им. Н.А. Чинакала СО РАН, г. Новосибирск (с замечаниями); 2) Отзыв на диссертацию от официального оппонента, д.т.н. **Жусубалиева Жаныбая Турсунбаевича**, профессора, профессора кафедры вычислительной техники ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» г. Курск (с замечаниями); 3) Отзыв на диссертацию от д.т.н. **Обухова Сергея Геннадьевича**, профессора отделения электроэнергетики и электротехники Инженерной школы энергетики Национального исследовательского Томского политехнического университета, г. Томск (с замечаниями); 4) Отзыв на диссертацию от д.т.н. **Гарганеева Александра Георгиевича**, профессора отделения электроэнергетики и электротехники Инженерной школы энергетики Национального исследовательского Томского политехнического университета, г. Томск (с замечаниями); 5) Отзыв на автореферат от к.т.н. **Юдинцева Антона Геннадьевича**, директора научно-исследовательского

института автоматики и электромеханики Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники, г. Томск (с замечаниями); 6) Отзыв на автореферат от д.т.н., **Вигриянова Павла Георгиевича**, профессора кафедры электрооборудования и автоматизации производственных процессов Южно-Уральского государственного университета (НИУ), филиал в г. Златоусте (с замечаниями); 7) Отзыв на автореферат от д.т.н. **Семенкина Александра Вениаминовича**, профессора Акционерного общества Государственный научный центр Российской Федерации «Исследовательский центр имени М.В. Келдыша», заместителя генерального директора по космическим аппаратам и энергетике – начальника отделения, г. Москва (с замечаниями); 8) Отзыв на автореферат от д.т.н., **Ганджи Тараса Викторовича**, профессора кафедры компьютерных систем в управлении и проектировании ФГБОУ ВО «Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники», г. Томск (с замечаниями); 9) Отзыв на автореферат от к.т.н., **Фомакина Виктора Николаевича**, начальника сектора проектирования систем электропитания космических аппаратов АО «РКЦ «Прогресс», г. Самара (с замечаниями); 10) Отзыв на автореферат от д.т.н., **Пантелеева Василия Ивановича**, профессора Политехнического института сибирского федерального университета, заведующего кафедрой электроэнергетики, г. Красноярск (с замечаниями); 11) Отзыв на автореферат от д.т.н., **Саттарова Роберта Радилевича**, доцента ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет», профессора кафедры «Электромеханика», г. Уфа (с замечаниями); 12) Отзыв на автореферат от д.т.н., доцента, **Захаренко Андрея Борисовича**, начальника отдела общих научно-технических исследований (№18) АО «Корпорация «ВНИИЭМ», г. Москва (с замечаниями); 13) Отзыв на автореферат от к.т.н., **Гордеева Константина Георгиевича**, главного конструктора по автономной энергетике и преобразовательной технике АО «Научно-производственный центр «Полюс», г. Томск (с замечаниями); 14) Отзыв на автореферат от д.т.н.,

**Ефанова Владимира Владимировича**, главного научного сотрудника АО «НПО Лавочкина», г. Москва (с замечаниями); 15) Отзыв на автореферат от д.т.н., **Харитонов Сергея Александровича**, заведующего кафедрой электроники и электротехники Новосибирского государственного университета по специальности 05.09.03, профессора, г. Новосибирск (с замечаниями).

Все отзывы положительные, замечания являются рекомендательными и дискуссионными и касаются структурных схем систем электропитания (СЭП), методики оценки параметров энергетической эффективности энергопреобразующей аппаратуры (ЭПА), имитационной модели СЭП геостационарного космического аппарата (КА), методики оптимизации энергомассовых характеристик СЭП геостационарного КА.

**Диссертационный совет отмечает**, что на основании выполненных соискателем исследований:

**предложены** новые технические решения в части структуры СЭП с применением в качестве силовых преобразователей ЭПА мостовых резонансных инверторов с гальванической трансформаторной развязкой АБ и БС от нагрузки, обеспечивающих этим возможность независимого варьирования диапазонами рабочих напряжений БС и АБ с сохранением параметров энергетической и энергомассовой эффективности ЭПА;

**доказана** эффективность применения методики оценки энергетической эффективности энергопреобразующей аппаратуры, позволяющая представить нелинейную зависимость КПД от выходной мощности в виде линейной функции зависимости выходной мощности ЭПА от входной с двумя константами, которые обозначаются как «коэффициент передачи мощности» и «собственное потребление»;

**разработана** математическая, имитационная модель СЭП геостационарного КА в статических режимах работы, позволяющая реализовать функции преимущественного использования и экстремального регулирования мощности солнечной батареи, заряда аккумуляторной батареи в

квазистационарном режиме, с возможностью масштабирования модели для требуемого количества последовательно соединенных фотопреобразователей (ФП) в БС и аккумуляторов в АБ необходимой емкости;

**проведена** оптимизация энергомассовых характеристик СЭП геостационарного КА, обеспечившая возможность повышения удельной мощности системы электропитания относительно уже разработанных образцов и формирования рекомендаций по количественному составу фотопреобразователей в БС и аккумуляторов в АБ для нового поколения СЭП геостационарных КА.

**Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:**  
**доказана** эффективность математического моделирования и методики оптимизации энергомассовых характеристик СЭП геостационарных КА для статических режимов работы полезной нагрузки;

**применительно к проблематике** диссертации результативно (эффективно, то есть с получением обладающих новизной результатов) **использованы** методы математического и имитационного моделирования для анализа энергетического баланса геостационарного КА;

**изложены** методика оценки параметров энергетической эффективности ЭПА, обеспечивающая погрешность расчетов не более 1,5 % и результаты ее применения для моделирования СЭП;

**раскрыты** особенности влияния количественного состава элементов БС и АБ на результаты оптимизации энергомассовых характеристик СЭП геостационарного КА;

**изучена** возможность оптимизации энергомассовых характеристик двух подсистем СЭП, состоящих из: «БС и бортовой кабельной сети БС», «АБ и бортовой кабельной сети АБ»;

**проведена модернизация** требований к техническим характеристикам СЭП геостационарного КА для достижения максимальной удельной мощности.

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

**разработана и внедрена** структурная схема СЭП, использующая мостовые резонансные преобразователи с гальванической развязкой;

**получены** расчетные значения количества последовательно соединенных аккумуляторов в АБ и фотопреобразователей в БС, обеспечивающие максимальную удельную мощность СЭП;

**создано** программное обеспечение для моделирования энергетических процессов в статических режимах работы СЭП с возможностью масштабирования количественного состава ее элементов;

**представлены** результаты экспериментальных исследований БС, АБ и ЭПА системы электропитания.

**Оценка достоверности результатов исследования выявила, что:**

**для экспериментальных работ** результаты получены с использованием комплекса современного измерительного аттестованного оборудования, достигнута повторяемость и воспроизводимость экспериментов;

**теория** построена на проверяемых экспериментальных и аналитических данных и не противоречит ранее опубликованным работам по теме диссертации;

**идея базируется** на сочетании передового опыта и результатов экспериментальных исследований, отражающих положительные свойства мостовых резонансных преобразователей с гальванической развязкой;

**использовано** сравнение авторских данных и данных, полученных экспериментальным образом и от завода изготовителя БС, АБ и ЭПА;

**установлено** качественное соответствие результатов, полученных автором с результатами, представленными в опубликованных работах по данной тематике.

**Личный вклад соискателя состоит в** проведении и анализе результатов теоретических исследований, разработке математической имитационной модели СЭП, разработке методики оптимизации энергомассовых характеристик СЭП, анализе и обработке экспериментальных данных, написании текстов статей и докладов. В

работах, написанных в соавторстве, автору принадлежат: математические, имитационные модели, обоснование применения методики оценки энергетической эффективности ЭПА и методика оптимизации энергомассовых характеристик СЭП. При непосредственном участии автора сформулированы научные положения и основные выводы диссертации, выполнены и опубликованы научные работы.

Диссертация является законченной научно-квалификационной работой, в которой содержится полноценное исследование структур и моделей СЭП геостационарных КА, методик оптимизации их параметров в статических режимах работы полезной нагрузки, что имеет существенное значение для повышения удельной мощности СЭП КА, и соответствует требованиям пп. 8-10 «Порядка присуждения ученых степеней в Национальном исследовательском Томском политехническом университете».

На заседании 24 ноября 2021 года диссертационный совет принял решение присудить Козлову Роману Викторовичу учёную степень кандидата технических наук.

При проведении открытого голосования диссертационный совет в количестве 6 человек (из них 5 докторов наук по научной специальности 05.09.03 – «Электротехнические комплексы и системы»), участвовавших в заседании, из 3-х человек, входящих в состав совета, и дополнительно введенных на защиту 3-х человек проголосовали: за – 6, против – нет.

Председатель  
диссертационного совета  
ДС.ТПУ.12  
Ученый секретарь  
диссертационного совета  
ДС.ТПУ.12



Лукутин Борис Владимирович

Андреев Михаил Владимирович

24 ноября 2021 г.