

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.2.415.05, СОЗДАННОГО НА
БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «ТОМСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И
РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ» (ТУСУР) МИНИСТЕРСТВА НАУКИ И ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ, ПО ДИССЕРТАЦИИ НА
СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК**

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 14.12.2023 №3

О присуждении Рекутову Олегу Геннадьевичу, гражданину Российской Федерации ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Разработка и исследование способа формирования вольт-амперной характеристики имитатора батареи солнечной для испытания систем электроснабжения космических аппаратов» по специальности 2.4.1 – «Теоретическая и прикладная электротехника», принята к защите 5 октября 2023 г. (протокол заседания №2) диссертационным советом 24.2.415.05, созданным на базе Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, 634050, г. Томск, пр. Ленина 40, приказ о создании диссертационного совета №249/нк от 14.02.2023 г.

Соискатель Рекутов Олег Геннадьевич, «03» ноября 1982 года рождения. В 2022 году окончил Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники», Министерство науки и высшего образования Российской Федерации по направлению 13.06.01 – «Электро- и теплотехника».

Диссертация выполнена в Научно-исследовательском институте автоматики и электромеханики Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники», Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Научный руководитель – доктор технических наук, **Рулевский Виктор Михайлович**, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники», Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, ректор.

Официальные оппоненты:

Пантелеев Василий Иванович, доктор технических наук, профессор, Федеральное

государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский федеральный университет» (СФУ), заведующий кафедрой электроэнергетики;

Титов Виталий Семенович, доктор технических наук, профессор, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Юго-Западный государственный университет», профессор кафедры вычислительной техники, **дали положительные отзывы на диссертацию.**

Ведущая организация **Акционерное общество «Научно-производственный центр «Полюс» (АО «НПЦ «Полюс»)** г. Томск, в своем положительном отзыве, подписанном Апасовым Владимиром Ивановичем, кандидатом технических наук, начальником лаборатории отдела автономной энергетики и утвержденном Русановским Сергеем Александровичем, кандидатом технических наук, заместителем генерального директора по научной работе, главным конструктором АО «НПЦ «Полюс» указала, что диссертационная работа Рекутова О. Г. является самостоятельным научным исследованием. Полученные результаты являются новыми и имеют существенное значение для развития методов разработки, структурного синтеза силовых модулей имитатора батареи солнечной (ИБС), а также разработки алгоритмов эффективного управления этими модулями. Диссертация является законченной квалификационной работой, обладает практической ценностью для науки и производства и полностью соответствует критериям, установленным п.п. 9-14 Положения о порядке присуждения ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 № 842, а ее автор, Рекутов Олег Геннадьевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.4.1 – «Теоретическая и прикладная электротехника».

Соискатель имеет 24 опубликованные работы, в том числе по теме диссертации опубликовано 24 работы, из них в рецензируемых научных изданиях опубликовано 10 работ.

Наиболее значимые работы по теме диссертации:

1. **Рекутов О.Г.** Анализ способов построения имитаторов солнечных батарей для физического моделирования систем электроснабжения космических аппаратов / О.Г. Рекутов, А.Г. Юдинцев // Доклады ТУСУР. – 2020. – Т. 23, № 2. – С. 108–115.

2. **Рекутов О.Г.** Повышение качества формирования вольт-амперной характеристики имитатора солнечной батареи / О.Г. Рекутов, В.М. Рулевский, В. А. Пчельников, В. Л. Иванов, А.Г. Юдинцев // Практическая силовая электроника. – 2021. – № 2(82). – С. 12–17.

3. **Rekutov, O.G., Puchkov, A.N., Pchel'nikov, V.A. et al.** A Measuring System for Assessing the Quality of Power Conversion Equipment for Testing Power-Supply Systems of Spacecraft. *Instrum Exp Tech* 65, 246–250 (2022). doi: 10.1134/S0020441222020063.

4. Пат. 201749 Российская Федерация, МПК Н 01М 14/00. Устройство для имитации секционированной солнечной батареи / Пчельников В. А., **Рекутов О. Г.**, Рулевский В. М., Юдинцев А. Г.; заявитель и патентообладатель Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники. № 2020129126; заявл. 02.09.2020; опубл. 11.01.2021.

5. Пат. 2742379 Российская Федерация, МПК Н 01 L 31/00. Способ управления источником тока в имитаторе солнечной батареи / Пчельников В. А., **Рекутов О. Г.**, Бубнов О. В., Иванов В. Л., Юдинцев А. Г.; заявитель и патентообладатель Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники. № 2020122795; заявл. 03.07.2020; опубл. 05.02.2021.

6. Пат. 208820 Российская Федерация, МПК Н 01L 31/00. Устройство управления ключами стабилизированного источника тока в имитаторе солнечной батареи / **Рекутов О. Г.**, Пчельников В. А., Иванов В. Л., Юдинцев А. Г., Рулевский В. М., Бубнов О. В.; заявитель и патентообладатель Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники. № 2021130566; заявл. 19.10.2021; опубл. 17.01.2022.

7. Пат. 218981 Российская Федерация, МПК G 01R 31/40. Устройство управления ключами стабилизированного источника тока в имитаторе солнечной батареи / **Рекутов О. Г.**, Пчельников В. А., Бубнов О. В., Юдинцев А. Г., Карих Л. А.; заявитель и патентообладатель Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники. № 2023112157; заявл. 12.05.2023; опубл. 21.06.2023.

На диссертацию и автореферат поступило 6 положительных отзывов.

Отзывы предоставили: **Базаров А.А.**, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры электроснабжения промышленных предприятий ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет»; **Майстренко В.А.**, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры средств связи и информационной безопасности (ССиИБ) и **Пляскин М.Ю.**, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры ССиИБ ФГБОУ ВО «Омский государственный технический университет»; **Соленый С.В.**, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой электромеханики и робототехники, директор инженерной школы ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения» (ГУАП); **Корнилов Г.П.**, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры электроснабжения промышленных предприятий (ЭПП) и **Малафеев А.В.**, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры ЭПП ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»; **Глазырин А.С.**, доктор технических наук, доцент, профессор отделения электроэнергетики и электротехники (ОЭиЭ) и **Кладиев С.Н.**, кандидат технических наук, доцент, доцент ОЭиЭ ФГАОУ ВО

«Национальный исследовательский Томский политехнический университета»; **Томасов В.С.**, кандидат технических наук, доцент, директор научно-производственного центра «прецизионная электромеханика» ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский университет ИТМО».

В качестве критических замечаний по автореферату указывается:

Базаров А.А.

1. На с. 3 сказано: «Условно ИБС можно считать источником тока...». Неясно, почему принято такое решение. Логичнее предположить, что это источник напряжения.

2. На с. 6 в разделе «Методы исследования» сказано: «...В качестве инструментальных средств использовались программные пакеты MathCad и MatLab/Simulink». Неясно, при моделировании электрических схем были ли учтены свойства транзисторов?

3. На с. 17 на рис. 11 (в, г) приведены осциллограммы тока на натурной нагрузке имитатора СБ. Малый период квантования отражен в виде высокочастотных колебаний на кривой тока. Нет информации о потерях электроэнергии на коммутирующем элементе (транзисторе) и электрическом КПД.

Майстренко В.А. и Пляскин М.Ю.

1. Из материалов автореферата не ясно, была ли проанализирована устойчивость системы.

2. В автореферате не указано, какой диапазон мощности рассматривается соискателем.

3. Экспериментальная часть заключается в моделировании систем в программной среде без оценки метрологических характеристик.

Соленный С.В.

1. В качестве актуальности диссертационного исследования приводится описание сложности моделирования изменения окружающих условий затемнения, затенения и интенсивности солнечного излучения, при этом в представленных автором моделях отсутствует возможность и описание моделирования данных явлений для анализа и исследования вольт-амперных характеристик.

2. В третьей главе описывается модифицированная система управления, нацеленная на уменьшение пульсаций тока источника батарей солнечных, при этом в тексте автореферата отсутствует сравнение, анализ и сопоставление смоделированных осциллограмм тока с идеальными.

Корнилов Г.П. и Малафеев А.В.

1. Не показано, как при моделировании ВАХ солнечной батареи учитываются ее параметры в точке максимальной мощности.

2. Положение №3, выносимое на защиту, – «методика проектирования системы управления ИБС», при этом в тексте автореферата суть методики практически не раскрывается.

3. Из автореферата не понятно, каким образом можно учесть частичное затенение элементов батареи, неоднотипность их характеристик и т.д.

Глазырин А.С. и Кадиев С.Н.

1. На стр. 11 автореферата во второй главе говорится о механизме формирования вольт-амперной характеристики, принципе работы исследуемой топологии имитатора солнечной батареи и получения его математической модели в непрерывном и дискретном виде. В тексте не приводятся в явном виде эти математические модели, принятые для исследуемых режимов работы допущения и их влияние на конечный результат работы?

2. Не приведен также анализ соответствия этих математических моделей для исследуемых режимов работы математическим моделям при имитационном моделировании в MatLab/Simulink?

Томасов В.С.

1. Автор утверждает, что формируемая моделью ИБС вольт-амперная характеристика совпадает с соответствующей вольт-амперной характеристикой для СБ в трех ключевых точках. Однако, из текста автореферата не ясно, насколько такое воспроизведение обосновано.

2. Из автореферата не ясно – проводилась ли оценка повторяемости осциллограмм тока короткого замыкания ИБС при работе на динамическую нагрузку при аналоговой и цифровой реализации системы управления (СУ)?

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается тем, что **Пантелеев Василий Иванович** – доктор технических наук, профессор, является признанным специалистом в области разработки, исследования и практической реализации электротехнических и автономных систем электроснабжения. Имеет большое количество публикаций по теме диссертационной работы. **Титов Виталий Семенович** – доктор технических наук, профессор, известный специалист в области проектирования систем управления сложными техническими объектами. в том числе электротехническими комплексами. **АО «Научно-производственный центр «Полюс»** – один из крупнейших научно-производственных космических центров Российской Федерации, известными исследованиями в области создания бортовых систем электроснабжения космических аппаратов на базе устройств преобразовательной техники.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработано новое схемотехническое решение создания имитатора батареи солнечной космического аппарата на базе модифицированной топологии понижающего преобразователя с обводным контуром и алгоритмы управления, позволяющие обеспечить повышение точности воспроизведения его ВАХ;

предложена оригинальная математическая модель имитатора батареи солнечной, учитывающая значения трех граничных точек ВАХ солнечной батареи и формирующая статическую ВАХ данной СБ без нелинейного участка и методика комплексной проверки электрических параметров имитатора батареи солнечной;

доказана перспективность использования обводного контура в структуре ИБС для стабилизации тока короткого замыкания независимо от величины нагрузки, а также обоснована перспективность применения модификаций системы управления для увеличения точности воспроизведения заданной ВАХ ИБС.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

изложены положения, направленные на разработку аналитической, математической и имитационной модели модифицированного понижающего преобразователя напряжения постоянного тока, которые учитывают положение рабочей точки на вольт-амперной характеристике ИБС по величине управляющего воздействия ПИД-регулятора системы управления.

изучены зависимости причинно-следственных связей характеристик ИБС, позволяющие увеличить точность формирования ВАХ ИБС при динамическом изменении нагрузки.

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

разработан четырёхканальный электрический имитатор батареи солнечной ИБС-160/4-8 ГБНК.566111.015 и используется на предприятии АО «Информационные спутниковые системы» имени академика М.Ф. Решетнёва» (г. Железногорск);

определены пределы и перспективы практического использования результатов диссертационного исследования для улучшения точности воспроизведения вольт-амперной характеристики имитатора батареи солнечной мощностью до 10 кВт.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

для экспериментальных работ результаты получены с применением сертифицированного измерительного оборудования и характеризуются высоким уровнем совпадения результатов теоретических и экспериментальных исследований;

идея базируется на анализе практики и обобщении передового опыта применения

энергопреобразующей аппаратуры на основе импульсных преобразователей напряжения постоянного тока в космической отрасли.

Личный вклад соискателя состоит в формулировании совместно с научным руководителем цели и постановке задач исследования, обосновании и разработке методов их решения. Лично соискателем произведена теоретическая проработка и экспериментальная проверка всех положений диссертационной работы, разработаны математические модели имитатора батареи солнечной, методики расчета, схемные решения. Подготовка основных публикаций на 70% принадлежит лично автору.

В ходе защиты диссертации были высказаны следующие критические замечания:

- не проведен анализ устойчивости для модифицированных систем управления;
- недостаточно подробно раскрыто влияние модификаций систем управления на увеличение скорости их реакции на возмущения в зависимости от параметров нагрузки.

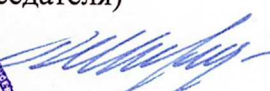
Соискатель Рекутов О.Г. ответил на задаваемые ему в ходе заседания вопросы и привел собственную аргументацию.

На заседании 14 декабря 2023 года диссертационный совет принял следующее заключение: за решение научной задачи по созданию имитатора батареи солнечной космического аппарата, имеющей важное значение для страны, присудить Рекутову Олегу Геннадьевичу ученую степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 14 человек, из них 5 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 17 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за 14, против 0, недействительных бюллетеней 0.


Председатель (заместитель председателя)

диссертационного совета

 Шурыгин Юрий Алексеевич

Ученый секретарь

диссертационного совета

 Каранский Виталий Владиславович

14.12.2023