ОТЗЫВ

дополнительного члена диссертационного совета ДС.ТПУ.12 д.т.н., профессора **Гарганеева Александра Георгиевича** на диссертационную работу **Козлова Романа Викторовича** «Оптимизация энергомассовых характеристик системы электропитания геостационарного космического аппарата», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.09.03 – Электротехнические комплексы и системы.

Диссертационная работа **Козлова Романа Викторовича** посвящена рассмотрению **актуальных вопросов** – поиску новых технических решений и алгоритмов в области повышения удельной выходной мощности систем электропитания (СЭП) геостационарных космических аппаратов (КА). Работа изложена на 176 страницах машинописного текста и содержит 25 таблиц, 67 рисунков и 2 приложения.

По теме диссертации опубликовано 14 научных работ, в том числе: 4 публикации в изданиях, входящих в перечень ВАК для диссертаций, 3 патента РФ, 1 свидетельство на программу для ЭВМ, 1 публикация в индексируемых базах Scopus и Web of Science, 5 публикаций в сборниках материалов научно-технических конференций.

Введение содержит: обоснование актуальности, цель, задачи работы, научную новизну, практическую значимость и апробацию результатов исследования.

В первой главе автором проведен обзор существующих структурных схем СЭП геостационарных КА, приведены их основные характеристики, недостатки и достоинства. Рассмотрена методика формирования требований к СЭП геостационарного КА, сформулирован критерий оптимизации энергомассовых характеристик СЭП в виде максимизации функции выходной удельной (по массе) мощности СЭП. Предложены новые структурные схемы СЭП геостационарного КА, обладающие системными преимуществами в виде возможности независимого от номинала выходного напряжения СЭП варьирования количеством последовательно соединенных элементов в аккумуляторной батарее (АБ) и солнечной батарее (БС). Предложен состав и тип оборудования рассматриваемой для оптимизации СЭП геостационарного КА. Рассмотрены подходы к разработке имитационных моделей СЭП, применяемых для расчета энергетического баланса КА, сформулированы требования к разработке имитационной модели СЭП геостационарного КА как инструменту исследования.

Во второй главе рассмотрено построение имитационной модели СЭП и ее составных частей. Предложена и применена при разработке имитационной модели методика оценки параметров энергетической эффективности энергопреобразующей аппаратуры (ЭПА), заключающаяся в представлении коэффициента полезного действия в виде линейной модели зависимости выходной и входной мощностей ЭПА. Продемонстрирована адекватная работа и подтверждена годность разработанной имитационной

модели СЭП геостационарного КА для проведения расчета энергетического баланса.

В третьей главе приведены функциональные зависимости массы от используемых для расчета энергетического баланса характеристик оборудования СЭП. Разработана методика и алгоритм проведения оптимизации энергомассовых характеристик СЭП геостационарного КА путем варьирования количеством последовательно соединенных элементов в АБ и БС. Получены поверхности удельной мощности СЭП геостационарного КА для трех случаев заданной выходной мощности при изменении количества последовательно соединенных элементов в АБ и БС в некотором рационально заданном пределе. Сформированы требования к СЭП геостационарного КА обеспечивающие достижение её максимальной удельной мощности.

В четвертой главе рассмотрены экспериментальные исследования, подтверждающие адекватность разработанной имитационной модели СЭП, адекватность выбора характеристик элементов СЭП и результатов оптимизации энергомассовых характеристик СЭП геостационарного КА для выбранных номиналов выходной мощности. Продемонстрирована корреляция между результатами оптимизации энергомассовых характеристик СЭП по разработанной методике и удельной выходной мощностью реально разработанных СЭП геостационарных КА.

В заключении приводятся результаты диссертационного исследования.

Наиболее значимые научные результаты диссертации.

1. Разработана структурная схема СЭП геостационарного КА, использующая в качестве силовых регуляторов мостовые резонансные преобразователи с гальванической развязкой, обладающая дополнительными, относительно существующих структурных схем СЭП, возможностями для повышения удельной мощности СЭП геостационарных КА.

2. Разработана имитационная модель СЭП геостационарного КА предложенной структуры и состава, обеспечивающая возможность расчета энергетического баланса КА с учетом нестационарности вольт-амперных характеристик БС и АБ, а также функций преимущественного использования и экстремального регулирования мощности БС и заряда АБ в квазипотенциостатическом режиме.

3. Разработана и внедрена методика оценки параметров энергетической эффективности ЭПА, обеспечивающая возможность учета собственного потребления силовых преобразователей ЭПА и расчета потерь мощности в преобразователях во всем диапазоне выходных мощностей с погрешностью не менее 1,5% по критерию трех сигм нормального распределения ошибки случайной величины.

4. Предложена методика оптимизации энергомассовых характеристик СЭП геостационарных КА и ряд новых СЭП геостационарных КА, обладающих максимальной удельной (по массе) выходной мощностью в

диапазоне допустимых значений количества последовательно соединенных элементов в БС и АБ.

Практическая значимость диссертации.

1. Получены расчетные значения количества последовательно соединенных аккумуляторов в АБ и фотопреобразователей в БС, удовлетворяющих условию положительного энергетического баланса КА и обеспечивающие достижение максимальной удельной (по массе) выходной мощности СЭП.

2. Создан программный продукт в пакете Matlab Simulink, реализующий имитационную модель энергетических процессов в СЭП в статических режимах работы с возможностью масштабирования количественного состава её элементов.

Достоверность полученных результатов основана на классических положениях электротехники, силовой электроники, а также подтверждается результатами испытаний реально существующих образцов составных частей СЭП и соответствующими актами внедрения.

Замечания по диссертации.

1. В работе не отмечена возможность применения разработанной имитационной модели СЭП для расчета энергетического баланса КА не только на геостационарной, но и на других типах орбит, которая может быть осуществлена заданием соответствующих исходных данных по освещенности солнечной батареи и энергопотреблению.

2. При рассмотрении возможности оптимизации подсистемы СЭП, состоящей из аккумуляторной батареи и бортовой кабельной сети, следовало также включить в эту систему прибор контроля и защиты АБ.

3. Не исследована область значений количества последовательно соединенных элементов в БС и АБ для мощности СЭП при ожидаемом изменении характеристик составных частей СЭП в ближайшей перспективе (5…7 лет), таких как: повышение удельной энергоемкости АБ, эффективности фотопреобразователей БС, снижения массы прибора контроля и защиты АБ, переходе на алюминиевые шины типа «Busbar».

4. Не представлены в явном виде критерии выбора характеристик оборудования СЭП предложенной структуры и состава, используемых для проведения оптимизации.

Приведенные замечания не снижают научную и практическую ценности диссертационных исследований.

Заключение.

Диссертация Козлова Романа Викторовича соответствует паспорту специальности 05.09.03 – Электротехнические комплексы и системы, является завершенной научной квалификационной работой, выполнена самостоятельно и на высоком научном уровне.

Диссертационная работа «Оптимизация энергомассовых характеристик системы электропитания геостационарного космического аппарата» соответствует требованиям п.п. 8, 9 нормативного документа «Порядок

присуждения ученых степеней Национального исследовательского Томского политехнического университета, (приказ № 66/од от 28 августа 2019 г.)», предъявляемым к защищаемым диссертациям, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.09.03 – Электротехнические комплексы и системы.

Дополнительный член диссертационного ДС.ТПУ.12,
ФГАОУ ВО НИ ТПУ,
д.т.н., профессор ОЭЭ ИШЭ ТПУ
Гарганеев Александр Георгиевич
«14» октября 2021 г.
Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30,
ФГАОУ ВО НИ ТПУ, ИШЭ, ОЭЭ
тел. +79
e-mail: garganeev@tpu.ru

Подпись Гарганеева А.Г
заверяю:
Ученый секретарь НИ ТПУ
Кулинич Екатерина Александровна