

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации 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»

Актуальность темы исследования

Разработка систем электропитания (СЭП) космических аппаратов (КА) осуществляется по критерию экстремума энергомассовых характеристик. Это условие предполагает, что при заданной мощности полезной нагрузки и служебных систем и определенных факторах космического пространства на интервале активного существования КА масса СЭП должна быть минимальной.

Максимальная масса космического аппарата, которую возможно вывести на целевую орбиту, обратно пропорциональна высоте этой орбиты. Поэтому стоимость вывода КА на геостационарную орбиту (36 тыс. км) является весьма значительной по сравнению со стоимостью вывода на более низкие орбиты. Современные СЭП КА обладают удельной мощностью на уровне от 25 до 32 Вт/кг, что при мощности полезной нагрузки 10 кВт дает массу системы 400 кг. При этом повышение удельной мощности СЭП дает синергетический эффект, когда одновременно высвобождаются ресурсы и массы, и мощности для установки на борт КА дополнительной полезной нагрузки. Поэтому при разработке СЭП, в особенности для геостационарных КА, наибольшее внимание уделяется поиску способов повышения энергомассовых характеристик СЭП.

В состав современных СЭП геостационарных КА входят: батарея солнечная (БС), комплект аккумуляторных батарей (АБ), прибор контроля и защиты АБ (ПКЗ АБ), а также системообразующий элемент СЭП – энергопреобразующая аппаратура (ЭПА).

В космических аппаратах различного назначения широко применяются системы электропитания параллельной или последовательно-параллельной структуры, в состав которых входит энергопреобразующая аппаратура на базе ключевых преобразователей с широтно-импульсной модуляцией (ШИМ) понижающего и (или) повышающего типа. Вопросы создания СЭП параллельной или последовательно-параллельной структурной схемы с ЭПА на базе повышающих и (или) понижающих ШИМ преобразователей, которая обеспечивает наилучшие энергомассовые характеристики, достаточно хорошо изучены.

Вместе с тем, в настоящее время наблюдается рост научно-технического интереса к разработкам ЭПА с применением мостовых резонансных инверторов импульсных преобразователей. К преимуществам таких СЭП, которые позволяют улучшить ее энергомассовые характеристики, относят: снижение уровня генерируемых помех, уменьшение массы выходных фильтров преобразователей за счет повышения частоты коммутации ключевых элементов, исключение силовых коммутаторов подключения БС и АБ и т.д.

Наряду с этими преимуществами открываются новые возможности в части повышения удельных энергомассовых характеристик СЭП КА путем изменения

параметров межблочного силового интерфейса СЭП, например, варьированием диапазонами рабочих напряжений АБ и БС.

Поэтому теоретические исследования в направлении улучшения энергомассовых характеристик СЭП на базе мостовых резонансных инверторов, а также разработка практических рекомендаций по их оптимизации является актуальной научно-технической задачей.

Значительный вклад в создание теории и практики СЭП КА сделан такими известными учеными и инженерами, как М.Ф. Решетнев, Б.П. Соустин, В.И. Иванчура, Г.Д. Эвенов, В.С. Кудряшов, В.Н. Школьный, В.О. Эльман, А.Б. Базилевский, М.Б. Каган, М.В. Лукьяненко, Borthomieu Y., Ligneel E, R. M. Nelms, L.L. Grigsby, Bauer P., Mukund R. Patel, John P.W. Stark, и рядом других.

Среди организаций, занимающихся разработкой СЭП и их составных частей, можно выделить: АО «ИСС» имени академика М.Ф. Решетнева, (г. Железногорск), АО «НПЦ «Полус» (г. Томск), ФГУП ГНП РКЦ «ЦСКБ Прогресс» (г. Самара), ФГУП «НПО им. С.А. Лавочкина» (г. Химки), РКК «Энергия» им. С.П. Королева (г. Королев), НИИ «Источник» (г. Санкт-Петербург), ПАО «Сатурн» (г. Краснодар), АО «НПП «Квант» (г. Москва), Lockheed Martin Space Systems Company (США), Space Systems/Loral (США), The Boeing Company (США), Thales Alenia Space (Франция, Италия), Saft Company (Франция) и другие.

Количество публикуемых зарубежных и отечественных работ по теме исследования, а также объективная необходимость улучшения энергомассовых характеристик СЭП геостационарных КА свидетельствует об устойчивом научном и инженерном интересе к этому вопросу.

В диссертационной работе поставлена и решена **научно-техническая задача** улучшения энергомассовых характеристик СЭП космических аппаратов.

Объектом исследования является система электропитания геостационарного космического аппарата.

Предмет исследования – структуры и модели систем электропитания, методики оптимизации их параметров в статических режимах работы полезной нагрузки космического аппарата.

Новизна исследований и полученных результатов, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

1) Предложена структура СЭП на основе мостовых резонансных инверторов с гальванической трансформаторной развязкой АБ и БС от нагрузки, обеспечивающих возможность независимого варьирования в некоторых пределах диапазонами рабочих напряжений БС и АБ с сохранением параметров энергетической и энергомассовой эффективности;

2) Разработана методика оценки энергетической эффективности энергопреобразующей аппаратуры, позволяющая представить нелинейную зависимость КПД от выходной мощности в виде линейной функции зависимости выходной мощности от входной с двумя константами, которые обозначаются как «коэффициент передачи мощности» и «собственное потребление»;

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

4) 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.

Обоснованность и достоверность научных положений и выводов

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций определяется строгим обоснованием расчетных методик и принимаемых допущений, корректным использованием современных методов научных исследований, а также подтверждается многочисленными экспериментальными исследованиями на макетных и опытно-промышленных образцах. Все разделы диссертационной работы логически взаимосвязаны, а выводы и рекомендации органически вытекают из материалов теоретических и экспериментальных исследований.

Значимость для науки и практики результатов, полученных автором диссертации

1) Получены расчетные значения количества последовательно соединенных аккумуляторов в АБ и фотопреобразователей в БС, удовлетворяющие условию положительного энергетического баланса геостационарного КА и обеспечивающие максимальную удельную мощность СЭП;

2) Создана вычислительная программа в пакете Matlab Simulink для моделирования энергетических процессов в статических режимах работы СЭП с возможностью масштабирования количественного состава ее элементов.

Общая оценка диссертационной работы (с замечаниями)

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованных источников и приложений. Работа изложена на 176 страницах основного текста, содержит 25 таблиц, 67 рисунков, библиографический список из 87 наименований.

По теме диссертации опубликовано 14 работ, из которых 4 статьи в изданиях, рекомендованных ВАК, 1 статья в изданиях, входящих в базы Scopus и Web of Science, 3 патента РФ на изобретение, 1 свидетельство о регистрации программ для ЭВМ, в материалах конференций опубликовано 5 работ.

При этом, по автореферату и диссертации имеется ряд замечаний.

1. Действительно, СЭП КА не стационарная система, в которой параметры БС и АБ изменяются со временем. Поэтому целесообразней создание динамической модели, учитывающей процессы деградации в функции времени, а не в виде статичных коэффициентов. В работе все время делается акцент на создании статических моделей, в то время как, динамические модели представляют больший интерес и информативность. К тому же в Matlab Simulink имеется много способов для создания динамических моделей.

2. В автореферате говорится о гальванической развязке между АБ, СБ и нагрузкой

КА. При этом рассматриваемые структурные схемы (рис. 1, 3), представлены как обычные гальваносвязанные схемы СЭП.

3. Не совсем понятно, каким образом в математической модели ЭПА (30) учтено применение именно резонансных преобразователей.

Заключение

Тем не менее, приведенные замечания не снижают научный уровень и практическую ценность рассматриваемой диссертации. Диссертация написана грамотным научно-техническим языком.

Автореферат и опубликованные статьи в полной мере отражают содержание диссертации. Актуальность темы, степень обоснованности выводов и научных положений работы, достоверность и новизна результатов позволяют заключить, что диссертация Козлова Романа Викторовича «Оптимизация энергомассовых характеристик системы электропитания геостационарного космического аппарата», представляет собой законченную научно-квалификационную работу, в которой содержится решение задачи, имеющей важное значение для космической промышленности.

Диссертационная работа «Оптимизация энергомассовых характеристик системы электропитания геостационарного космического аппарата» соответствует требованиям п.п. 8-10 нормативного документа «Порядок присуждения учёных 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».

Кандидат технических наук,
директор Научно-исследовательского
института автоматики и электромеханики
Томского государственного университета
систем управления и радиоэлектроники
(НИИ АЭМ ТУСУР)

А. Г. Юдинцев

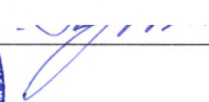
Тел. 8-(3822)-55-61-96

e-mail: yag@niiuem.tomsk.ru



«19» 10 2021 г.

Учёный секретарь Томского государственного
университета систем управления
и радиоэлектроники (ТУСУР)
Е. В. Прокопчук



«20» 10 2021 г.