

## **ОТЗЫВ**

на автореферат диссертации Кабирова Вагиза Александровича «Энергопреобразующий комплекс с резервированной цифровой системой управления для высоковольтных систем электропитания космических аппаратов», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.4.2 – «Электротехнические комплексы и системы»

### **Актуальность темы**

Одной из ключевых частей служебной платформы космического аппарата является система электропитания (СЭП). Во многом от надежности СЭП зависит жизнеспособность космического аппарата. Масса СЭП может составлять 15 – 30 % относительно общей массы аппарата среднего и тяжелого классов. Таким образом, снижение массы СЭП даже на несколько процентов позволяет заметно увеличить массу полезной нагрузки.

АО «НПЦ «Полус» разрабатывает и изготавливает комплексы автоматики и стабилизации (КАС) для СЭП космических аппаратов, основной составной частью которых является исследуемый в данной диссертационной работе энергопреобразующий комплекс (ЭПК), обеспечивающий питание полезной и служебной нагрузок космического аппарата, преобразуя энергию первичных и буферных источников.

Для повышения надежности ЭПК в КАС выполняются по модульному принципу. Цифровая схемотехника используется для общего управления и передачи телеметрии, в то время как непосредственное управление силовой частью полностью аналоговое.

Полученные автором технические решения и алгоритмы позволяют повысить надежность ЭПК благодаря разработанному многоканальному устройству выбора медианного сигнала, а также увеличить его технологичность путем большего применения цифровой схемотехники.

Таким образом, работа Кабирова В. А. является актуальной, а полученные результаты представляют интерес при проектировании и изготовлении СЭП космических аппаратов.

### **Степень достоверности результатов**

Достоверность полученных результатов подтверждается обоснованностью допущений в теоретических положениях и в предложенных имитационных моделях ЭПК, а также сходимостью результатов проведенных экспериментальных исследований с результатами математического моделирования.

## Оценка новизны и практической значимости

Автором получены новые результаты, среди которых можно выделить:

1. Предложена структурная схема системы автоматического регулирования ЭПК, позволяющая создавать комплексы из автономных унифицированных модулей стабилизации напряжения.

2. Установлена количественная связь емкости выходного фильтра с частотой работы импульсного преобразователя, его выходным импедансом и запасом по фазе контура обратной связи и напряжению.

3. Предложен цифровой широтно-импульсный модулятор, в котором реализовано асинхронное изменение содержимого регистра сравнения с частотой, превышающей частоту работы модулятора, что позволяет кратно снизить максимальное время чистого запаздывания, вносимого в контур регулирования, и повысить быстродействие цифровой системы управления.

К результатам, имеющим несомненную практическую значимость, можно отнести:

1. Предложенная структурная схема системы автоматического регулирования ЭПК может быть применена не только в СЭП космических аппаратов, но и при проектировании других энергопреобразующих установок со статическими преобразователями энергии, имеющими модульную структуру.

2. Разработанный многоканальный элемент выбора медианного сигнала при реализации в программируемой логической схеме позволяет безынерционно, с минимальной задержкой в один такт опорного генератора производить выбор сигнала по медианному алгоритму и реализовывать на его основе ЭПК, рассчитанный на два отказа и более.

3. Разработанный быстродействующий резервированный цифровой интерфейс связи, позволяющий с временной задержкой 1 мкс производить обмен сигналами управляющего воздействия и служебными данными между 25 параллельно работающими модулями стабилизации напряжения ЭПК.

4. Разработан, изготовлен и испытан опытный образец высоковольтного ЭПК с цифровой системой управления для высоковольтных СЭП космических аппаратов мощностью 2,5 кВт.

Результаты диссертационного исследования в достаточной мере опубликованы и апробированы на конференциях различного уровня. Список публикаций, приведенный в автореферате, говорит о большом объеме проведенных исследований и публикационной активности соискателя.

### **Замечания к автореферату**

1. В тексте автореферата отсутствуют параметры исследуемого ЭПК. Не указаны выходное напряжение, типы и номинальные напряжения аккумуляторных и солнечных батарей, что не позволяет делать выводы об оптимальности предлагаемого построения ЭПК.

2. Автор пишет (стр. 3), что «удельные характеристики выпускаемых ЭПК значительно уступают удельным характеристикам импульсных регуляторов напряжения некосмического применения». Однако некорректно сравнивать удельные характеристики комплексов космического и некосмического применения ввиду разных требований и условий эксплуатации.

3. В автореферате сказано (стр. 3), что «используемая на настоящий момент структура системы автоматического управления современных ЭПК не позволяет реализовать ЭПК, рассчитанные на два и более отказа». Но современные структуры систем автоматического управления, в частности используемые в АО «НПЦ «Полнос», позволяют реализовывать комплексы, рассчитанные на два отказа и более.

4. Автор указывает (стр. 4) одну из задач – «разработать быстродействующий цифровой широтно-импульсный модулятор, позволяющий уменьшить инерционность в контурах регулирования, для обеспечения высоких динамических показателей выходного напряжения и удельных показателей энергопреобразующего комплекса в целом». При этом не обоснована необходимость разработки цифрового широтно-импульсного модулятора, поскольку не указаны причины, по которым не подходят готовые модуляторы, например модули HRPWM и ePWM в микроконтроллерах семейства TMS320x2833x.

5. Недостатки по оформлению: опечатки, англицизмы, отсутствие расшифровки обозначений на рисунках (например, на стр. 9, 11 и 16).

### **Выводы**

Тема представленной работы – актуальна. К тому же по этому направлению защищается мало диссертаций, поэтому появление еще одной работы по электроснабжению космической техники можно только приветствовать.

Несмотря на указанные замечания, содержание автореферата позволяет заключить, что диссертационная работа «Энергопреобразующий комплекс с резервированной цифровой системой управления для высоковольтных систем электропитания космических аппаратов» является законченной научно-квалификационной работой, обладающей научной новизной,

практической ценностью и полностью отвечающей критериям п. 9 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 № 842, а автор диссертации Кабиров Вагиз Александрович заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.4.2 – «Электротехнические комплексы и системы».

Ведущий научный сотрудник  
кандидат технических наук

Подпись Нагорного В. О. за  
Ученый секретарь АО «НПЦ

В. О. Нагорный

Л. Н. Ракова

2025

Кандидат технических наук по специальности 05.09.03 - «Электротехнические комплексы и системы»,  
диплом серия КНД № 032838, приказ ВАК о выдаче диплома № 452/нк-2 от 17.05.2017 года,

Акционерное общество «Научно-производственный центр «Полюс» (АО «НПЦ «Полюс»),  
Кирова пр., 56 «в», г. Томск, Российская Федерация, 634050,  
ведущий научный сотрудник.

Тел. 8 (3822) 606-680, E-mail: [info@polus-tomsk.ru](mailto:info@polus-tomsk.ru)

Отзыв получен 05.12.2025 г. / Давидов МА