

## **ОТЗЫВ**

официального оппонента на диссертационную работу

**Балковского Николая Николаевича**

**«Разработка и исследование системы управления динамическим моментом двигателя-маховика системы ориентации и стабилизации космического аппарата»,**

представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.09.03 – «Электротехнические комплексы и системы»

### **Актуальность темы.**

Расширение функциональных возможностей и повышение технических характеристик полезной нагрузки космических аппаратов (КА) обуславливает постоянное повышение требований к точности ориентации КА на орбите с одновременным сохранением требований по улучшению энергетических и массогабаритных характеристик и улучшению показателей надежности при длительных сроках активного существования.

Управление процессом ориентации КА реализуется посредством управляющих двигателей-маховиков (УДМ), по сути являющимися прецизионными электроприводами с управлением по моменту с присущими на настоящий момент проблемами: нелинейный импульсный характер зависимости динамического момента от задающего воздействия, сложности формирования необходимых воздействий вблизи нулевых частот вращения УДМ, вопросы синтеза и устойчивости. В совокупности с отсутствием современной элементной базы, в частности энкодеров углового положения, датчиков скорости, преобразователей сигналов синусно-косинусных вращающихся трансформаторов и т.п. выполненная соискателем работа, посвященная решению актуальной проблемы управления динамическим моментом УДМ, улучшения его точностных и динамических характеристик, является актуальной и своевременной.

### **Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации.**

Представленные в диссертации научные положения, выводы и рекомендации получены автором с применением методов, соответствующих задачам исследования. Сформулированные в работе теоретические положения и выводы научно обоснованы и сомнений не вызывают.

Полученные результаты подтверждаются при помощи имитационного моделирования и физических экспериментов. Разработанные с участием автора в АО «НПЦ «Полюс» опытные образцы УДМ прошли комплекс наземных испытаний, подтвердивших защищаемые в диссертационной работе положения.

## **Достоверность и новизна полученных результатов.**

Научную ценность работы представляют разработанные и предложенные диссертантом основные результаты исследований, такие как:

- предложен новый способ управления динамическим моментом УДМ, позволяющий обеспечить линейную форму моментно-регулирующей характеристики во всем диапазоне изменения кинетического момента, что позволило компенсировать влияние момента сопротивления на процесс ориентации и стабилизации КА;
- разработана трехконтурная имитационная модель электропривода УДМ на основе эталонной цифровой модели (ЭЦМ) в достаточной степени корректно отражает электромеханические процессы, протекающие в системе управления двигателя-маховика;
- создан оригинальный способ сложения частот пилообразных сигналов, позволяющий в вычислительном ядре системы управления УДМ перейти от операций с тригонометрическими функциями к суммированию пилообразных сигналов, что упрощает логику управления;
- разработаны алгоритмы работы эталонной цифровой модели УДМ и алгоритмы синхронизации ее параметров с текущими выходными координатами двигателя.

Достоверность и новизна полученных научных результатов и выводов подтверждаются их соответствием общей теории электропривода, адекватностью разработанных моделей, согласованностью с результатами экспериментальных исследований, протоколами испытаний, а также положительными решениями патентных экспертиз.

## **Теоретическая и практическая значимость полученных автором результатов.**

Синтезированная система управления УДМ с двумя интеграторами, задающими эталонную траекторию движения ротора-маховика при заданном ускорении, основанная на принципе формирования корректирующего воздействия в соответствии с угловым рассогласованием, позволяет исключить влияние момента сопротивления на процесс ориентации и стабилизации КА.

Электропривод УДМ с новой системой управления позволяет исключить мертвые зоны управления – момент трогания УДМ при снижении динамических отклонений стабилизации КА.

Прецизионный электропривод УДМ с новой системой управления позволяет увеличить дискретизацию динамического момента, что уменьшает погрешность его формирования.

Изготовлены экспериментальные и опытные образцы приборов, проведены лабораторно-отрабочные испытания, испытания на ЭМС, предварительные предполетные испытания.

Значимость для науки и практики результатов диссертации подтверждается актами внедрения в производственную деятельность АО «НПЦ «Полюс» и в учебный процесс ФГБОУ ВО «Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники» (ТУСУР), актами испытаний и патентами.

### **Достоинства и недостатки в содержании и оформлении диссертационной работы, влияние отмеченных недостатков на качество исследований.**

1. Не рассмотрены иные виды компенсации помеховых моментов ДМ (импульсная, пропорциональная частоте вращения).
2. Недостаточно глубоко обсуждены результаты по синтезу и исследованию имитационной модели УДМ.
3. На стр. 51 диссертации говорится о контуре III (то же, фактически, на стр. 14 автореферата, рис.10), реализующим отрицательную обратную связь по токам инверторов, однако отсутствуют пояснения её необходимости для реализации задач электропривода.
4. На стр. 29 диссертации в выражении для тока двигателя отсутствует магнитный поток.
5. В диссертации подробно рассмотрены вопросы, касающиеся «физики» образования различных моментов механической природы, однако ничего не сказано о паразитных моментах (кроме момента «залипания»), связанных с геометрией и нелинейностью электромагнитной системы электрической машины.

Представленные замечания не являются принципиальными с точки зрения положительных результатов диссертационной работы.

Автореферат соответствует основному содержанию диссертационной работы. Диссертация и автореферат соответствуют требованиям ГОСТ Р 7.0.11-2011 «Диссертация и автореферат диссертации. Структура и правила оформления».

### **Заключение.**

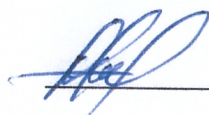
Считаю, что диссертация Балковского Н.Н. на тему «Разработка и исследование системы управления динамическим моментом двигателя-маховика системы ориентации и стабилизации космического аппарата» является законченной научно-квалифицированной работой, выполненной на актуальную тему.

Представленные теоретические и практические результаты позволяют классифицировать её как решение актуальной научно-исследовательской задачи по созданию компонентов прецизионной системы ориентации и стабилизации КА, имеющей важное народно-хозяйственное значение.

Материалы, изложенные в диссертации, в достаточной мере представлены научному сообществу: они докладывались и обсуждались на 9 научных конференциях различного уровня, отражены в 16 печатных работах, в том числе в 4 статьях в изданиях, рекомендованных ВАК, защищены 2 патентами на изобретения.

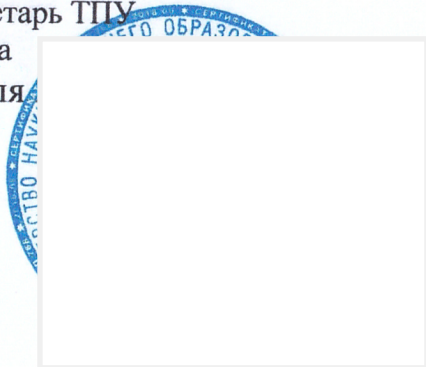
Диссертация выполнена на необходимом научном уровне, соответствует требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней» ВАК РФ и паспорту специальности 05.09.03 – «Электротехнические комплексы и системы», а ее автор – Балковой Николай Николаевич – заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук.

Официальный оппонент, д.т.н.,  
профессор отделения электроэнергетики  
и электротехники федерального  
государственного автономного  
образовательного учреждения высшего  
образования «Национальный  
исследовательский Томский  
политехнический университет»,  
634050, г. Томск, пр. Ленина 30.  
ФГАОУ ВО НИ ТПУ  
Телефон: +7 (3822) 60-63-33,  
+7 913 107 35 28  
E-mail: [garganeev@rambler.ru](mailto:garganeev@rambler.ru)



Александр Георгиевич  
Гарганеев

Подпись А.Г. Гарганеева заверяю.  
Ученый секретарь ТПУ  
О.А. Ананьева  
«25» февраля



Отзыв на учен. 27.02.2019 М.А. / Дабко М.А.

С отзывом ознакомлен 27.02.2019 (Балковой И.И.)