



АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО  
«РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКИЙ ЦЕНТР «ПРОГРЕСС»  
(АО «РКЦ «ПРОГРЕСС»)



ул. Земеца, д.18, г. Самара, 443009, тел. (846) 955-13-61, факс (846) 992-65-18, E-mail: mail@samspace.ru  
ОКПО 43892776, ИНН 6312139922, КПП 997450001

07.09.2021 № 80/1060

На № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_

Учёному секретарю диссертационного  
совета Д 212.125.05

ФГБОУ ВО «Московский авиационный  
институт (национальный  
исследовательский университет)»

Г.В. Федотенкову

125993, г. Москва,  
Волоколамское шоссе, д. 4

О направлении отзыва

Уважаемый Григорий Валерьевич!

Направляю Вам отзыв на автореферат диссертации Русских Сергея Владимировича на тему «Нелинейная механика упругих трансформируемых и управляемых космических систем», представленной на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.02.04 – Механика деформируемого твёрдого тела.

Приложение: 1. Отзыв на автореферат, на 5 л., в 2 экз.

Заместитель генерального конструктора  
по научной работе, к.т.н.

*С уважением,*

М.В. Борисов

Отдел документационного  
обеспечения МАИ

«14» 09 2021 г.



АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО  
«РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКИЙ ЦЕНТР «ПРОГРЕСС»  
(АО «РКЦ «ПРОГРЕСС»)



ул. Земеца, д.18, г. Самара, 443009, тел. (846) 955-13-61, факс (846) 992-65-18, E-mail: mail@samspace.ru  
ОКПО 43892776, ИНН 6312139922, КПП 997450001

УТВЕРЖДАЮ  
Первый заместитель  
генерального директора –  
генеральный конструктор, д.т.н.



*Равиль Нургалиевич Ахметов*  
Равиль Нургалиевич  
Ахметов \*  
2021г.

### ОТЗЫВ

#### АО «РКЦ «Прогресс»

на автореферат диссертации Русских Сергея Владимировича  
«Нелинейная механика упругих трансформируемых и управляемых  
космических систем», представленной на соискание учёной степени  
доктора физико-математических наук по специальности 01.02.04 –  
Механика деформируемого твёрдого тела

В настоящее время происходит постоянное усложнение конструкций космических аппаратов и станций. Как правило, они представляют собой составные конструкции, состоящие из твёрдых и упругих элементов. При движении космических аппаратов (КА), а также в процессе работы различных систем, в частности систем раскрытия рефлекторов, антенн, панелей солнечных батарей, возникают упругие колебания, влияющие на движение КА в целом и на отдельные его части. Возникновение колебаний приводит к затягиванию переходных процессов в системе управления КА, к помехам в работе различных оптических и радиоустройств и т.д. Поэтому разработка методов построения математических моделей, методов исследования и анализа движения упругих составных КА, а также методов гашения возникающих в их конструкции колебаний является актуальной задачей.

Отдел документационного  
обеспечения МАИ

«14» 09 2021г.

Тема диссертационного исследования Русских С.В. важна и актуальна как с научной, так и с практической точек зрения. Известные до настоящего времени методы моделирования движения упругих механических систем не обладают достаточной степенью обобщения, что затрудняет исследование влияния различных конструктивных особенностей и параметров системы на её динамическое поведение. Наиболее распространённый в настоящее время метод проведения исследования колебаний больших упругих систем - метод конечных элементов, несмотря на большие возможности и наличие программного обеспечения, при исследовании сложных систем требует больших затрат и, что ещё более существенно, не позволяет проводить качественного анализа движения упругих механических систем на начальных этапах их проектирования.

В целом, проблема моделирования динамики упругих КА и больших космических конструкций (БКК) на этапе их проектирования включает в себя несколько задач, которые имеют самостоятельное значение, а именно:

1. Построение механической модели;
2. Расчет динамических характеристик;
3. Вывод уравнений движения упругого КА или БКК.

В соответствии с этим, в результате диссертационного исследования Русских С.В. предложены:

1. Новые уравнения динамики пространственного и плоского движения космического аппарата с выпускаемым тросом в центральном гравитационном поле Земли.

2. Нелинейные уравнения с аналитическими выражениями всех коэффициентов для плоского движения в подвижной системе координат космического аппарата с присоединенной системой связанных между собой упруговязкими шарнирами стержней, допускающими большие углы поворота.

3. Уравнения нестационарного поворота и нелинейных колебаний в плоскости крена космического аппарата с двумя упругими многосекционными панелями солнечных батарей.

4. Новая функциональная схема и метод решения обратной нелинейной задачи формообразования каркаса циклически симметричной космической антенны зонтичного типа с упругими многозвенными радиальными стержнями.

5. Подход получения уравнений движения упругих составных нелинейных систем с геометрическими связями, решение которых можно получить с помощью известных стандартных алгоритмов интегрирования для «жёстких» систем.

6. Новые эффективные методы решения линейных и нелинейных задач пассивного управления упругими системами при их конечных перемещениях за определённое время из одного состояния в другое с устранением нестационарных колебаний в момент окончания операции.

Предложенный Русских С.В. способ «настройки» низших собственных частот колебаний линейных систем с постоянными параметрами, многократно выполняющих однотипные операции, позволяет существенно упростить исследования движения упругих конструкций, а также предоставляет возможность уменьшения колебательных процессов в данных системах.

Практическая значимость работы заключается в том, что, во-первых, разработанные методы могут служить основой для построения простых инженерных методик расчета динамических характеристик составных механических космических систем с упругими элементами; во-вторых, возможно использование полученных в диссертации результатов для анализа динамических свойств конкретных космических аппаратов. Методы, разработанные в диссертации, могут стать основой создания автоматизированных систем построения математических моделей упругих систем, состоящих из стандартных элементов.

Результаты диссертационного исследования Русских С.В. могут быть использованы при оценке динамических характеристик КА с целью построения эффективной системы управления ими при орбитальных манёврах.

Обоснованность и достоверность полученных результатов диссертации обеспечивается корректным использованием известных математических методов, соответствием результатов численного моделирования положениям и выводам диссертации, а также результатами практического использования разработанных методов для построения и анализа движения конкретных космических упругих систем.

К автореферату имеются следующие замечания:

1. В диссертации выполнено исследование сходимости численного интегрирования уравнений движения космического аппарата с выпускаемым тросом. Однако в автореферате отсутствует результат данного исследования.

2. Автор указывает, что обратная нелинейная задача развертывания предлагаемой им функциональной схемы циклически симметричной антенны зонтичного типа имеет несколько решений, в некоторых областях изменения параметров решение не существует. При этом не указано, при каких условиях решение задачи отсутствует.

3. На рисунках 5.4.3 и 5.4.4 автореферата отсутствуют единицы измерения.

Приведённые замечания не снижают ценности работы, которая, несомненно, обладает научной новизной и практической значимостью

Основные результаты работы в достаточной степени опубликованы в рецензируемых изданиях, а также доложены на конференциях.

Автореферат диссертации изложен доступным для понимания языком, аргументация положений ясна и убедительна.

**Вывод.** Результаты исследования, представленные в автореферате диссертации Русских С.В., вносят вклад в решение задачи моделирования движения упругих трансформируемых космических систем и конструкций.

Диссертация соответствует требованиям Положения о присуждении учёных степеней, а её автор, Русских Сергей Владимирович, достоин присуждения учёной степени доктора физико-математических наук по специальности 01.02.04 – Механика деформируемого твёрдого тела.

Заместитель  
генерального конструктора  
по научной работе, к.т.н.  
(специальность 01.02.01 –  
Теоретическая механика)



Максим Владимирович  
Борисов \*\*

\* - ул. Земеца, д. 18, г. Самара, 443009; (846) 955-06-74; e-mail: [Ahmetov@samspace.ru](mailto:Ahmetov@samspace.ru)

\*\* - ул. Земеца, д. 18, г. Самара, 443009; (846) 228-52-10; e-mail: [borisovma@samspace.ru](mailto:borisovma@samspace.ru)

Р.Н. Ахметов, М.В. Борисов выражают согласие на включение своих персональных данных в аттестационные документы соискателя учёной степени доктора физико-математических наук Русских С.В. и их дальнейшую обработку.