

## **ОТЗЫВ**

### **официального оппонента**

доктора технических наук Иголкина Александра Алексеевича  
на диссертационную работу Маринина Дмитрия Александровича  
«Разработка методик и средств модальных испытаний  
крупногабаритных трансформируемых космических конструкций»,  
представленную на соискание учёной степени  
кандидата технических наук по специальности  
05.07.03 – «Прочность и тепловые режимы летательных аппаратов»

### **Актуальность темы диссертации**

Экспериментальный модальный анализ является одним из основных видов испытаний космических аппаратов. Его целью является определение параметров собственных тонов колебаний, необходимых для контроля адекватности описания динамических характеристик реальных конструкций их расчетными математическими моделями. Расчетные модели играют важную роль в создании космической техники. Так модель космического аппарата в транспортной конфигурации необходима для динамического анализа системы ракета-носитель – выводимая полезная нагрузка. Расчетная модель спутника в орбитальной конфигурации необходима для обеспечения управляемости орбитального полета космического аппарата и требуемой точности наведения антенн связи и навигации. В этой связи тема диссертационных исследований Маринина Д.А., посвященных разработке методик и средств модальных испытаний крупногабаритных трансформируемых космических конструкций, является актуальной.

### **Структура и содержание работы**

Диссертация состоит из введения, 4-х глав, заключения, списка литературы из 123 наименований, 2-х приложений. Общий объем работы составляет 154 страницы основного текста и 2 страницы приложений, включает 73 рисунка, 19 таблиц. Структура и оформление диссертации и автореферата соответствуют требованиям ГОСТ Р 7.0.11–2011 «Диссертация и автореферат диссертации».

**Во введении** к диссертации обоснована актуальность темы, сформулированы цель и приведены задачи исследований, положения, выносимые на защиту; обозначены научная новизна, теоретическая и практическая значимость; приведена информация об апробации и использовании результатов работы.

**В первой главе** в результате анализа публикаций по теме диссертации сформулированы выводы, послужившие основой для выбора цели и задач исследований в диссертационной работе.

**Вторая глава** содержит описание методики модального анализа крупногабаритных трансформируемых конструкций (КТК) по результатам испытаний их составных частей. Отмечены проблемы модальных испытаний КТК: большие размеры и пространственная конструкция объектов испытаний требуют соответствующих по размерам помещений и сложной системы компенсации веса; для выделения собственных колебаний нужна система возбуждения с нереально большим числом каналов управления; необходимо оценить или устранить влияние воздушной среды на модальные параметры КТК.

Автором предложена методика модального анализа КТК, которая заключается в следующем:

- конструкция разделяется на составные части;
- проводятся модальные испытания составных частей;
- по результатам испытаний корректируются расчетные модели составных частей КТК;
- синтезированием расчетных моделей составных частей создается расчетная модель исходной КТК.

В главе изложена методика модальных испытаний составных частей КТК, основанная на анализе соотношений между вынужденными монофазными и собственными колебаниями конструкций. Такой подход позволяет отказаться от использования априорного математического описания диссипативных свойств механических колебательных систем. Разработан способ экспериментального определения модальных параметров, обладающий более низкой, по сравнению с известными способами, чувствительностью к ошибкам в экспериментальных данных. Приведены оценки погрешностей определения обобщенных масс и характеристик демпфирования предложенным способом. Описаны процедуры редуцирования, коррекции и стыковки расчетных моделей составных частей КТК.

**Третья глава** посвящена исследованиям влияния воздушной среды на результаты наземных модальных испытаний конструкций. Сделан обзор публикаций по рассматриваемой проблеме. Разработана установка для исследования влияния воздушной среды на динамические характеристики элементов КТК. Оценка этого влияния производилась сравнением результатов испытаний на воздухе и в вакуумной камере. Работоспособность установки подтверждена испытаниями макета панели солнечной батареи.

Для упрощения и снижения трудоемкости таких исследований автором проведен анализ возможности оценки влияния воздушной среды на мас-

штабных моделях натуральных конструкций. На примере панели солнечной батареи теоретические исследования показали, сделать такую оценку одновременно для собственной частоты и демпфирования не удастся. Проведенные затем экспериментальные исследования подтвердили возможность определения влияния воздушной среды на демпфирование колебаний панелей солнечных батарей по результатам испытаний их масштабных моделей.

**В четвертой главе** разработаны средства модальных испытаний крупногабаритных конструкций и приведены результаты таких испытаний.

В работе представлена классификация объектов испытаний с указанием технологий, методик и составов лабораторного оборудования для проведения экспериментальных исследований. Проведены исследования влияния системы упругого вывешивания объекта испытаний на его динамические характеристики. Разработана электромеханическая активная система компенсации веса испытываемых конструкций. Система имеет модульное строение и не вмешивается в динамические характеристики объекта испытаний. Каждый из модулей не только компенсирует вес одного из сегментов конструкции, но может воспроизводить силовые воздействия разной физической природы (инерционные, упругие, демпфирующие) и регистрировать отклик объекта испытаний на эти воздействия. На основе системы компенсации веса создана комплексная система модальных испытаний космических конструкций.

Эффективность созданных в диссертации методик и экспериментального оборудования подтверждена результатами модальных испытаний самолета Су-30, рефлектора антенны и электронасосного агрегата космического аппарата. В расчетно-экспериментальном модальном анализе макета зонтичной антенны по испытаниям его составных частей – рефлектора и штанги – с высокой точностью получены собственные частоты даже высоких тонов колебаний.

**В заключении** сформулированы основные выводы по результатам исследований, свидетельствующие о достижении поставленной цели. Приведены рекомендации и перспективы дальнейшей разработки темы.

Содержание диссертации соответствует паспорту специальности 05.07.03 – «Прочность и тепловые режимы летательных аппаратов».

Автореферат отражает основное содержание диссертации.

Результаты диссертационной работы достаточно полно опубликованы в монографии; семи изданиях, рекомендованных ВАК РФ; десяти прочих изданиях и защищены двумя патентами.

**Научной новизной** обладают:

1. Расчетно-экспериментальная методика модального анализа КТК;

2. Способ коррекции расчетных динамических моделей конструкций;
3. Методика идентификации диссипативных свойств конструкций;
4. Способ оценки влияния воздушной среды на демпфирование колебаний космических конструкций.

### **Теоретическая и практическая значимость результатов**

Теоретическая значимость результатов диссертационных исследований состоит в идентификации математической модели рассеяния энергии конструкции по результатам испытаний и оценке влияния системы упругого вывешивания объекта испытаний на его динамические характеристики.

К практической значимости работы относится повышение качества предоставляемых услуг связи и навигации, снижение затрат на наземную экспериментальную отработку космических аппаратов. Разработанные в диссертации методики использованы в испытаниях трансформируемых антенн и изделий КТИ НП СО РАН и АО «ВПК «НПО машиностроения».

### **Достоверность и обоснованность научных результатов, положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации**

Достоверность полученных результатов определяется применением классических методов динамики механических систем, современного оборудования и методик испытаний. Положения, выносимые на защиту, обоснованы в тексте работы. Выводы соответствуют поставленным задачам. Рекомендации направлены на повышение достоверности результатов применения разработанных методик.

Постановки задач диссертации и их решения обсуждены на международных и всероссийских конференциях и опубликованы в рецензируемых изданиях.

### **Замечания**

1. В диссертации приведено описание методики определения динамических характеристик КТК по результатам испытаний составных частей, но не изложен принцип разделения конструкции на составные части.

2. В диссертации отмечено, что в испытаниях составных частей КТК граничные условия не моделируются и могут быть любыми. Означает ли это, что в месте стыковки составной части можно ограничивать перемещения?

3. В работе достаточно большое внимание уделено исследованиям погрешностей результатов модальных испытаний, но рекомендации по тому, какими они должны быть, не выработаны.

4. Обзор работ, приведенный в третьей главе, стоило бы провести в первой главе.

5. Не обоснован выбор в качестве технических объектов исследований планер Су-30 и электронасосный агрегат.

6. В разделе 2.3 и на рисунке 2.1 не указана модель самолета, ДПМ которого испытывалась.

### Заключение

Несмотря на сделанные замечания, диссертация «Разработка методик и средств модальных испытаний крупногабаритных трансформируемых космических конструкций», представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук, является завершенной научно-квалификационной работой, содержащей решение актуальной для развития методов модального анализа космических конструкций задачи, соответствует требованиям раздела II «Положения о присуждении ученых степеней», а ее автор, Маринин Дмитрий Александрович, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.07.03 – «Прочность и тепловые режимы летательных аппаратов».

Официальный оппонент,  
доктор технических наук,  
доцент,  
профессор ФГАОУВО  
«Самарский национальный  
исследовательский  
университет имени  
академика С.П. Королева»

Иголкин Александр Алексеевич

Контактная информация:

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева»

Адрес: Московское шоссе, д. 34, г. Самара, 443086

Телефон: +7-917-162-00-62

E-mail: igolkin97@gmail.com

удостоверяю.  
еятельности  
житета  
асильева И.П.  
20 20 г.

*С отзывами ознакомлен*

*04.06.2020.*

*М. Маринин Д.А.*

*Проставлен в совете 02.06.2020* *Д.С. Тюмин А.Р.*