



**УТВЕРЖДАЮ**

Проректор по научной работе  
и инновациям ТПУ,  
доктор технических наук  
Степанов И.Б.

« 14 » 05 2019 г.

## **ОТЗЫВ**

ведущей организации на диссертацию Павлова Арсения Михайловича «Собственные и вынужденные колебания пакета стержней», представленную к защите на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.04 – «Механика деформируемого твердого тела».

**Актуальность темы.** При исследовании динамики сложных упругих конструкций, обладающих сравнительно небольшой жесткостью по одному или нескольким направлениям, возникает необходимость учета большого числа частот и форм собственных колебаний, соответствующих низшим тонам. Подобная особенность характерна для таких объектов как: оболочки, заполненные большим объемом жидкости (например, жидкостные ракеты-носители, орбитальные буксиры); рефлекторы разворачиваемых в космосе антенн и телескопов, раскрываемые солнечные батареи; орбитальные космические станции. Наличие большого числа тонов собственных колебаний в области низких частот оказывает существенное влияние на систему управления объектом при выполнении им тех или иных маневров. Важным является то, что изучение процессов колебаний пакетов стержней реальных (использующихся на практике) размеров в типичных условиях их работы практически невозможно. В течение многих лет сотни исследователей работают над решением большого числа задач механики разного рода конструкций специального назначения, основой которых являются пакеты стержней. Но пока нет оснований для вывода о том, что создана общая теория колебаний пакетов стержней. В связи с этим разработка методов расчета и анализа собственных и вынужденных колебаний подобных систем является актуальной

ОБЩИЙ ОТДЕЛ МАИ  
Вх. № 2  
24 05 2019 г.

задачей. В дополнение к вышеизложенному, следует отметить, что по целям, задачам, методам их решения, основным результатам и выводам, диссертация А.М. Павлова соответствует приоритетному направлению развития науки, технологий и техники в Российской Федерации «Транспортные и космические системы» (утверждено Указом Президента РФ № 899 от 07 июля 2011 года).

**Структура диссертационной работы.** Диссертация изложена на 125 страницах, состоит из введения, четырёх глав, заключения и списка цитируемой литературы, содержащего 113 наименований.

**Во введении** обоснована тема диссертации, сформулированы цель и задачи исследования, отмечена научная новизна и практическая значимость полученных результатов, приведены основные положения, выносимые на защиту, а также сведения об апробации результатов диссертационной работы.

**В первой главе** диссертации рассмотрены известные подходы к расчету собственных колебаний ракет-носителей пакетной компоновки, а также основные методы анализа форм колебаний механических систем, обладающих пространственной симметрией. Анализ публикаций по теме диссертации проведен с использованием большого числа отечественных и зарубежных статей, вышедших, в основном, в последние 10 лет, что подтверждает актуальность исследуемой проблемы и темы диссертации.

Для классификации и анализа собственных колебаний рассматриваемой в диссертационной работе механической системы, представляющей собой «пакет» стержней, предложено и обосновано использование теоретико-группового подхода.

**Во второй главе** исследована задача о пакете стержней, совершающих продольные колебания. Проведен анализ непрерывных симметрий исходной системы уравнений, сформулирована операторная постановка и доказан ряд теорем об особенностях собственных чисел и векторов соответствующего оператора. Для иллюстрации преимуществ теоретико-группового подхода перед традиционным, приведено решение задачи о собственных колебаниях для случая стержней с постоянными инерционно - жёсткостными характеристиками.

Решение задачи о вынужденных колебаниях рассмотрено в виде разложения по формам собственных колебаний. На основе доказанных ранее теорем выявлены пути упрощения решения задачи.

**В третьей главе** задача о колебаниях пакета стержней исследована в более общей постановке: стержни совершают пространственные колебания, а также учитывается взаимное расположение стержней. Для моделирования упругих связей между стержнями предложено использование абстрактного упругого элемента, определяемого матрицей коэффициентов упругости.

Для случаев 2-х, 4-х и 6-ти боковых стержней проведена классификация форм собственных колебаний с применением теоретико-группового подхода. Полученные матричные соотношения могут быть непосредственно использованы в расчетной практике для классификации и анализа форм собственных колебаний.

**В четвертой главе** проведен численный расчет частот и форм собственных колебаний пакета стержней, совершающих пространственные колебания для случая 4-х боковых стержней. Задача решена методом конечных элементов. Полученные в третьей главе соотношения для матричных проекционных операторов на подпространства неприводимых представлений группы симметрии пакета были использованы для приведения форм колебаний, соответствующих кратным частотам, к плоскостям стабилизации ракеты-носителя, которые в данном случае совпадают с плоскостями пространственной симметрии стержневой системы.

Также с целью анализа частотного отклика рассматриваемой системы проведено проецирование вектора внешних возмущений на подпространства неприводимых представлений. Полученные при выполнении этой операции результаты позволяют сделать ряд выводов о характере нагружения при проведении практических расчетов.

**В заключении** приведены основные выводы по диссертационной работе.

#### **Общая методология и методика исследования.**

В процессе решения задач диссертации автор использовал достаточно хорошо распространенный в последнее время подход к моделированию

процессов собственных (свободных) колебаний пакетов упруго-соединенных стержней с использованием системы дифференциальных уравнений в частных производных в рамках модели Эйлера-Бернулли. При решении основной краевой задачи использован метод разделения переменных. При решении задач диссертации также использовались спектральная теория самосопряженных операторов в гильбертовом пространстве и теория представлений качественных групп преобразований симметрии.

### **Научная новизна полученных результатов.**

В диссертационной работе Павлова А.М. исследуется динамика одной из сложных механических систем, а именно стержневой модели жидкостной ракеты-носителя пакетной компоновки. В работе предложены и обоснованы новые подходы к расчету, анализу и дальнейшему использованию форм колебаний такой механической системы с учетом ее пространственной симметрии.

А.М. Павлов получил ряд результатов, в полной мере соответствующих критерию новизны. Наиболее значимыми, являются следующие.

1. Получено аналитическое решение задачи о собственных колебаниях пакета стержней, совершающих продольные колебания, с использованием теоретико-группового подхода.

2. Сформулирована оригинальная постановка задачи о собственных колебаниях пакета стержней, совершающих пространственные колебания.

3. Выполнена классификация форм собственных колебаний пакета стержней, совершающих пространственные колебания, по неприводимым представлениям соответствующих групп симметрии.

4. Разработана методика приведения форм собственных колебаний пакета стержней, соответствующих кратным частотам, к плоскостям пространственной симметрии.

5. Численно решена задача собственных колебаний пакетов стержней, совершающих пространственные колебания, для четырех боковых стержней.

**Достоверность** полученных результатов обоснована строгостью математических формулировок задач, а также сравнением получаемых результатов с известными работами других авторов.

**Практическая значимость** полученных результатов состоит в том, что были решены актуальные задачи динамики реальных конструкций, встречающиеся при проведении практических расчетов.

**По диссертационной работе имеются следующие замечания:**

1. В работе не обоснован выбор в качестве основной модели деформации реального объекта – стержневой модели, не учитывающей диссипативных потерь в колебательных процессах.

2. В диссертационной работе отсутствует численный пример расчета вынужденных колебаний.

Замечания не снижают общей положительной оценки диссертационной работы Павлова А.М.

**Заключение по диссертационной работе.** На основании анализа содержания рукописи и автореферата диссертации Павлова А.М. «Собственные и вынужденные колебания пакета стержней» можно сделать вывод, что по своей актуальности, научной новизне, глубине проработки и полученным результатам рецензируемая диссертация является законченной научно-квалификационной работой, в которой решена новая задача анализа собственных и вынужденных колебаний сложной механической системы, имитирующей динамику ракет-носителей на активном участке. Результаты, полученные диссертантом, имеют существенное значение для развития космической отрасли.

Основные результаты диссертации опубликованы в 10-ти работах, 3 из которых – в журналах, рекомендуемых ВАК для публикации материалов кандидатских и докторских диссертаций.

Автореферат достаточно полно и правильно отражает содержание рукописи диссертации.

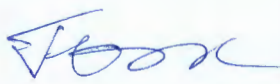
По своей цели, задачам, методам решения, полученным результатам и выводам диссертация А.М. Павлова полностью соответствует паспорту специальности 01. 02. 04- Механика деформируемого твёрдого тела.

На основании анализа содержания рукописи и автореферата диссертации А.М. Павлова «Собственные и вынужденные колебания пакета стержней» можно сделать обоснованное заключение о ее соответствии требованиям П.9 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства РФ №842 от 24.09.2013 (ред. от 01.10.2018), а ее автор Арсений Михайлович Павлов заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.04 – "Механика деформируемого твердого тела".

Настоящий отзыв обсужден и утвержден на расширенном семинаре Научно-образовательного центра И.Н. Бутакова (протокол № 3 от «14» мая 2019 г.)


#### Отзыв составили:

Главный научный сотрудник  
Научно-образовательного центра И.Н. Бутакова  
Инженерной школы энергетики  
Федерального государственного автономного  
образовательного учреждения высшего образования  
«Национальный исследовательский  
Томский политехнический университет»,  
доктор физико-математических наук,  
профессор

  
17.05.2019

Кузнецов Гений Владимирович

Профессор Исследовательской школы  
физики высокоэнергетических процессов  
Федерального государственного автономного  
образовательного учреждения высшего образования  
«Национальный исследовательский  
Томский политехнический университет»,  
профессор, доктор физико-математических наук

  
17.05.19

Стрижак Павел Александрович

