

## СВЕДЕНИЯ О РЕЗУЛЬТАТАХ ПУБЛИЧНОЙ ЗАЩИТЫ ДИССЕРТАЦИИ

**Диссертационный совет:** Д 212.125.05

**Соискатель:** Бондаренко Андрей Юрьевич

**Тема диссертации:** Совершенствование методов расчётного анализа динамических нагрузок на конструкции и способов их отработки с учётом результатов натурных испытаний

**Специальность:** 01.02.06 – Динамика, прочность машин, приборов и аппаратуры

**Решение диссертационного совета по результатам защиты диссертации:** на заседании 25 ноября 2020 года, протокол 9, диссертационный совет пришел к заключению о том, что диссертационное исследование Бондаренко А.Ю. является законченной научно-квалификационной работой, имеет важное прикладное значение и содержит элементы фундаментального исследования. Достоверность полученных результатов обоснована и сомнений не вызывает.

Диссертация Бондаренко А.Ю. отвечает требованиям п.9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденным постановлением правительства РФ от 24 сентября 2013 года № 842. На заседании 25 ноября 2020 года, протокол 9, диссертационный совет принял решение присудить Бондаренко А.Ю. ученую степень кандидата технических наук.

**Присутствовали:** председатель диссертационного совета Тарлаковский Д.В., заместитель председателя диссертационного совета Фирсанов В.В., ученый секретарь диссертационного совета Федотенков Г.В.

**Члены диссертационного совета:** Антуфьев Б.А., Бирюков В.И., Вестяк В.А., Гришанина Т.В., Дмитриев В.Г., Дудченко А.А., Зверьев Е.М., Кузнецов Е.Б., Лурье С.А., Медведский А.Л., Мовчан А.А., Нерубайло Б.В., Рабинский Л.Н., Рыбаков Л.С., Сидоренко А.С., Солдатенков И.А., Туркин И.К., Тютюнников Н.П.

Председатель

диссертационного совета Д 212.125.05

д.ф.-м.н., профессор

Ученый секретарь

диссертационного совета Д 212.125.05

к.ф.-м.н., доцент

Т.А. Аникина



Тарлаковский Д.В.

Федотенков Г.В.

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ**  
**ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 212.125.05,**  
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО  
БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО  
ОБРАЗОВАНИЯ «МОСКОВСКИЙ АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ  
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)»  
МИНИСТЕРСТВА НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ,  
ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА  
НАУК

аттестационное дело № \_\_\_\_\_

решение диссертационного совета от «25» ноября 2020 г. № 9

О присуждении Бондаренко Андрею Юрьевичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Совершенствование методов расчётного анализа динамических нагрузок на конструкции и способов их отработки с учётом результатов натурных испытаний» по специальности 01.02.06 «Динамика, прочность машин, приборов и аппаратуры» принята к защите «09» сентября 2020 г., протокол заседания № 8 диссертационным советом Д 212.125.05, созданным на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)», Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, 125993, г. Москва, Волоколамское шоссе, д. 4, приказ о создании диссертационного совета Д 212.125.05 – № 105/нк от «11» апреля 2012 г.

Соискатель Бондаренко Андрей Юрьевич, 1992 года рождения, в 2016 году окончил Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)» по направлению подготовки «03.04.01 Прикладные математика и физика» с отличием.

Соискатель Бондаренко Андрей Юрьевич освоил программу подготовки научно-педагогических в очной аспирантуре Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)» (МФТИ), год окончания 2020г.

Соискатель, Бондаренко А.Ю. работает младшим научным сотрудником отдела нагрузок и нормирования прочности Акционерного общества «Центральный научно-исследовательский институт машиностроения» госкорпорации «Роскосмос».

Диссертация выполнена на кафедре космических летательных аппаратов федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Научный руководитель – доктор технических наук, **Лиходед Анатолий Иванович**, профессор, начальник отдела нагрузок и нормирования прочности акционерного общества «Центральный научно-исследовательский институт машиностроения», профессор кафедры космических летательных аппаратов федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)», по совместительству.

Официальные оппоненты:

**Алгазин Сергей Дмитриевич**, доктор физико-математических наук, старший научный сотрудник, ведущий научный сотрудник лаборатории Механики и оптимизации конструкций федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского Российской академии наук, г. Москва,

**Геча Владимир Яковлевич**, доктор технических наук, профессор, заместитель генерального директора по научной работе акционерного

общества «Научно-производственная корпорация «Космические системы мониторинга, информационно-управляющие и электромеханические комплексы имени А.Г. Иосифьяна», г. Москва, дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация **Акционерное общество «Военно-промышленная корпорация «Научно-производственное объединение машиностроения»**, г. Реутов, в своем положительном заключении, подписанном начальником отделения тепловибропрочности А.В. Бобровым, главным научным сотрудником Ю.М. Ватрухиным, ученым секретарем НТС АО «ВПК «НПО машиностроения» Л.С. Точиловым отметила, что совершенствование методов исследований динамических нагрузок, возникающих при эксплуатации ракетно-космической техники, а также методов и способов воспроизведения этих нагрузок при наземной экспериментальной отработке является весьма актуальной задачей. Автором разработаны расчетные методики восстановления циклограмм набора и спада тяги двигателей на основе математического моделирования и данных телеметрической информации, построения эквивалентных упруго-массовых моделей с механическими аналогами, моделирующими гидроупругую динамику баков с топливом и присоединенными двигателями. Автором предложен альтернативный виброиспытаниям подход к отработке динамической прочности конструкций на быстроменяющиеся внешние воздействия, которой можно рекомендовать для применения в организациях космической отрасли. Проведена апробация предложенных подходов на примере ряда образцов ракетно-космической техники.

Соискатель имеет 16 опубликованных печатных работ по теме диссертации, из которых 9 опубликованы в рецензируемых научных изданиях. Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

1. Бондаренко А.Ю., Сидоров В.В. Методический подход к наземной отработке конструкций ракетно-космической техники при нагрузках,

возникающих в результате переходных процессов // Космонавтика и ракетостроение. 2016. № 3(88). С. 77–82.

2. Бондаренко А.Ю. Математическое моделирование переходных процессов при наземных испытаниях изделий ракетно-космической техники // Космонавтика и ракетостроение. 2016. № 7(92). С. 48–52.

3. Бондаренко А.Ю., Лиходед А.И., Малинин А.А., Сидоров В.В. Исследование вибродинамики конструкций при кинематическом и силовом внешнем воздействиях // Космонавтика и ракетостроение. 2017. № 3(96). С. 5–13.

4. Бондаренко А.Ю. Оценка циклограммы спада тяги по динамической реакции конструкции при выключении двигательной установки ракеты-носителя // Космонавтика и ракетостроение. 2018. № 6(105). С. 90–100.

5. Бондаренко А.Ю., Бордадымов В.Е., Даниловский Н.Н., Сидоров В.В. Особенности анализа телеметрической информации о перегрузках, получаемой при лётной эксплуатации изделий ракетно-космической техники // Космонавтика и ракетостроение. 2019. № 4(109). С. 48–53.

6. Бондаренко А.Ю., Митин А.Ю., Толчёнов В.А., Эйхорн А.Н., Юранев О.А. О способе проведения наземной отработки изделий ракетно-космической техники на переходные процессы с использованием копровопружинного стенда // Сибирский журнал науки и технологий. 2019. Т. 20. № 1. С. 54–61.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:

от ведущей организации и официальных оппонентов, отзывы положительные;

от **Татаренко Николая Ивановича**, доктора физико-математических наук, старшего научного сотрудника, начальника лаборатории акционерного общества «Научно-исследовательский институт точных приборов», утвержденный **Кострюковым Василием Федоровичем**, научным руководителем АО «НИИ ТП», доктором технических наук, доктором военных наук, профессором, отзыв положительный;

от **Орлова Сергея Александровича**, ведущего инженера отдела нагрузок и прочности АО «Информационные спутниковые системы», кандидата технических наук, заверенный **Синьковским Фёдором Константиновичем**, заместителем директора – главным конструктором отраслевого центра крупногабаритных трансформируемых механических систем АО «Информационные спутниковые системы», отзыв положительный;

от **Петрованова Дениса Васильевича**, начальника конструкторского отделения АО «НПО автоматики им. академика Н.А. Семихатова», утвержденный **Бельским Львом Николаевичем**, кандидатом технических наук, заместителем генерального директора по РКТ – первым заместителем генерального конструктора предприятия, отзыв положительный;

от **Георгиевского Дмитрия Владимировича**, заведующего кафедрой механико-математического факультета Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», доктора физико-математических наук по специальности 01.02.04 – Механика деформируемого твердого тела, профессора РАН, заверенный начальником отдела кадров **Соколовой Татьяной Александровной**, отзыв положительный;

от **Бахтина Александра Георгиевича**, заместителя генерального конструктора КБ «Салют», кандидата технических наук, утвержденный **Владимировым Александром Владимировичем**, доктором технических наук, профессором, первым заместителем генерального конструктора КБ «Салют», отзыв положительный;

от **Синцова М.С.**, инженера 1 категории, **Ильина А.М.**, ведущего инженера, **Мурашева В.И.**, начальника сектора, **Лямкина Василия Ивановича**, начальника отдела 31, **Калашникова Сергея Тимофеевича**, главного учёного секретаря, кандидата технических наук, **Сааля Ильи Евгеньевича**, первого заместителя генерального конструктора по

конструкторскому обеспечению – начальника КБ-1 акционерного общества «Государственный ракетный центр имени академика В.П. Макеева», отзыв положительный.

От **Аистова Алексея Ивановича**, начальника отдела норм прочности, нагрузок и механических воздействий на РН и КА, **Борисова Максима Владимировича**, заместителя генерального конструктора по научной работе, кандидата технических наук, утвержденный **Ахметовым Равилем Нургалиевичем**, доктором технических наук, первым заместителем генерального директора – генеральным конструктором акционерного общества «Ракетно-космический центр «Прогресс», отзыв положительный.

В поступивших отзывах отмечена актуальность темы диссертационного исследования, дан краткий обзор работы по главам, отмечены актуальность, новизна, достоверность полученных автором результатов и их практическая и фундаментальная ценность. В поступивших отзывах имеются замечания.

В отзывах на диссертацию и автореферат имеются следующие критические замечания:

1. В работе приводятся параметры демпфирования, использованные при расчетах нагружения силовой конструкции и оборудования, однако недостаточно обоснован их выбор;

2. Автором при расчете гидроупругих тонов выбраны граничные условия, соответствующие заделке нижнего шпангоута бака, что не в полной мере учитывает реальное поведение конструкции при колебаниях;

3. Из диссертации не до конца ясно, как совместить виброиспытания силовой конструкции и навесного оборудования, особенно с учетом различий в диссипативных свойствах оборудования;

4. В работе не представлено практическое применение данной методики на вновь разработанной конструкции. К анализу принят единственный вариант конструкции типовой ступени ракеты носителя, находящейся в эксплуатации с 2004 года;

5. Недостаточно широкое теоретическое рассмотрение возможных нештатных воздействий, сводящее обратную задачу определения внешних воздействий только к определению спада тяги ДУ, который, как правило, достаточно хорошо исследуется при отработке двигателя, что фактически и отражено в работе.

**Выбор официальных оппонентов обосновывается** тем, что официальные оппоненты являются высокопрофессиональными специалистами в данной области и имеют научные публикации, тематика которых связана с научным направлением диссертации.

**Выбор ведущей организации обосновывается** тем, что в ведущей организации работают специалисты, достижения которых широко известны, в том числе и в области науки, соответствующей тематике диссертации.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

**разработана** двухэтапная методика решения обратной задачи определения циклограмм набора и спада тяги двигателя по данным о динамической реакции конструкции с выделением скачкообразно меняющейся составляющей на основе математического моделирования и данных телеметрической информации;

**предложен** новый подход к отработке крупногабаритных изделий ракетно-космической техники на воздействия, возникающие при переходных динамических процессах, с использованием экспериментальной базы отрасли;

**доказана** применимость разработанных методик и подходов для расчетного определения временных зависимостей внешних силовых воздействий на конструкцию с использованием построенных передаточных функций системы, а также перспективность использования предложенного подхода к наземной отработке конструкций, основанного на непосредственном воспроизведении переходных динамических процессов;

**новые понятия** не вводились.



Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

**доказана** необходимость определения и учета влияния коэффициентов на внешние силовые воздействия, приложенные к механическим аналогам, моделирующим гидроупругие колебания баков с топливом и присоединенным к их днищам двигательным установкам с целью минимизации ошибок при реконструкции циклограмм внешних воздействий по таким моделям;

применительно к проблематике диссертации результативно (эффективно, то есть с получением обладающих новизной результатов) **использован** комплекс существующих фундаментальных положений механики деформируемого твердого тела и теории дифференциальных уравнений, а также современные пакеты математического моделирования, использующие метод конечных элементов;

**изложены** алгоритмы аналитического и численного определения силовых функций, действующих на осцилляторы, с использованием собственных форм колебаний конструкции, а также особенности определения собственных форм гидроупругих колебаний баков с топливом;

**раскрыты** особенности расчетного определения динамических нагрузок на конструкции, возникающих при использовании полярных (цилиндрических, сферических) систем координат, которые могут приводить к некорректному вычислению перемещений и форм колебаний в узлах, радиальная координата которых стремится к нулю. Отмечены эффекты, возникающие при проведении расчетов методом конечных элементов для статически неопределимых систем;

**изучены** степени влияния случайных погрешностей в исходных данных и жесткостных характеристиках используемых математических моделей на точность решения обратной задачи при различном количестве исходных параметров (записей), используемых для решения;

**проведена модернизация** существующей методики решения обратной задачи определения силовых воздействий в обеспечение высокой точности

решения для случая быстрозатухающих нецентрированных временных процессов.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

**разработаны и внедрены** новые подходы к построению спектров ударного нагружения, эквивалентных воздействиям на конструкцию при произвольном переходном процессе, на основе которых выпущен акт внедрения;

**определены** практически важные особенности регистрации телеметрической информации при пусках ракет-носителей с различными полезными грузами в обеспечение корректного определения условий их нагружения, в частности – выбора соотношения между частотой опроса системы измерения и полосой пропускания датчиков;

**создан** подход к разрешению противоречия между необходимостью отработки блока ракетно-космической техники на зафиксированные интенсивные динамические воздействия и риском необоснованного разрушения конструкции при таких испытаниях, вызванного завышенными режимами многократного динамического нагружения;

**представлены** рекомендации по применению этого подхода на примере приборного отсека типовой высотной ступени ракеты-носителя, позволившие расчетным путем с применением экспериментальных методов показать возможность исключения дополнительных испытаний на зафиксированные интенсивные динамические воздействия.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

**теория** построена на известных положениях механики деформируемого твердого тела и методах решения дифференциальных уравнений, общепринятых подходах к математическому моделированию динамического нагружения конструкций с использованием метода конечных элементов и методах сокращения размерности задач, использующих разложение по собственным формам колебаний системы;

**идея базируется** на анализе практики проведения прочностных испытаний в ракетно-космической промышленности, обобщении информации по режимам механических воздействий на силовую конструкцию изделия и приборно-агрегатное навесное оборудование при наземной и летной эксплуатации изделий, валидации расчетных моделей на основе полученных сведений и дополнительных испытаний;

**использованы** расчетные и экспериментальные данные по вибронагрузению типового отсека в процессе наземных испытаний, а также данные, полученные по большому числу пусков при летных испытаниях отсека и изделий-аналогов;

**установлено** качественное и количественное соответствие данных о циклограммах работы двигателя, полученных от разработчика, с результатами решения обратной задачи, а также расчетных и экспериментальных данных по нагружению типового отсека при спаде тяге двигательной установки в тех точках, где такое сравнение возможно провести;

**использованы** современные широко распространенные программные комплексы математического моделирования.

**Личный вклад** соискателя состоит в постановке задач исследования, разработке расчетно-аналитических методик, обосновании их достоверности и анализе результатов моделирования, апробации предложенных подходов на примере типового объекта ракетно-космической техники, обобщении и анализе экспериментальных данных по телеметрической информации.

Приведенные положения позволяют заключить, что представленная диссертация является законченным научно-квалификационным исследованием, содержащим элементы научной новизны, имеющим важное прикладное и фундаментальное значение для развития методов расчетного анализа динамики и прочности машин, приборов и аппаратуры, а также их экспериментальной отработки. В ней представлены новые, обоснованные результаты, что соответствует требованиям п. 9 Положения о порядке

присуждения ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842.

На заседании 25 ноября 2020 года диссертационный совет принял решение присудить Бондаренко А.Ю. ученую степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 21 человек, из них 4 доктора технических наук по специальности 01.02.06 «Динамика, прочность машин, приборов и аппаратуры», участвовавших в заседании, из 25 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за **21**, против **0**, недействительных бюллетеней **0**.

Председатель

Диссертационного совета Д 212.125.05

д.ф.-м.н., профессор

Тарлаковский Д.В.

Ученый секретарь

Диссертационного совета Д 212.125.05

к.ф.-м.н., доцент

Федотенков Г.В.

Начальник отдела высшего образования  
Т.А. Анищенко



25.11.2020