



**АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО  
«ВОЕННО-ПРОМЫШЛЕННАЯ КОРПОРАЦИЯ  
«НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ  
ОБЪЕДИНЕНИЕ МАШИНОСТРОЕНИЯ»**

(АО «ВПК «НПО машиностроения»)  
ул. Гагарина, д. 33, г. Реутов, Московская область, 143966  
телеграфный: Реутов Московской ВЕСНА (АТ346416)  
Тел.: (495) 528-30-18 (канцелярия) Факс: (495) 302-20-01  
E-mail: vpk@vpk.npomash.ru http://www.npomash.ru  
ОКПО 07501739, ОГРН 1075012001492  
ИНН/КПП 5012039795/504101001

Проректору ФГБОУ ВО «Московский  
авиационный институт (национальный  
исследовательский университет)» по  
научной работе, д.т.н., профессору  
Равиковичу Ю.А.

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


14.10.2020 № 3/244  
на № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_

отзыв ведущей организации  
на диссертационную работу

Уважаемый Юрий Александрович!

Направляю Вам отзыв ведущей организации на диссертационную работу Бондаренко А.Ю. «Совершенствование методов расчетного анализа динамических нагрузок на конструкции и способов их отработки с учетом результатов натурных испытаний», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.02.06 – «Динамика, прочность машин, приборов и аппаратуры».

Приложение: Отзыв ведущей организации,  
2 экземпляра, на 4-х листах каждый.

Первый заместитель Генерального директора  
-заместитель Генерального конструктора,  
генеральный конструктор ОТРВ ВМФ  
АО «ВПК »НПО машиностроения», д.т.н.  А.А. Дергачев

исп. Ватрухин Ю.М.  
8(495) 528-14-13

Отдел документационного  
обеспечения МАИ

06.11.2020



**АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО  
«ВОЕННО-ПРОМЫШЛЕННАЯ КОРПОРАЦИЯ  
«НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ  
ОБЪЕДИНЕНИЕ МАШИНОСТРОЕНИЯ»**

(АО «ВПК «НПО машиностроения»)  
ул. Гагарина, д. 33, г. Реутов, Московская область, 143966  
телеграфный: Реутов Московской ВЕСНА (АТ346416)  
Тел.: (495) 528-30-18 (канцелярия) Факс: (495) 302-20-01  
E-mail: vpk@vpk.promash.ru http://www.npomash.ru  
ОКПО 07501739, ОГРН 1075012001492  
ИНН/КПП 5012039795/504101001

УТВЕРЖДАЮ

Первый заместитель Генерального  
директора-заместитель Генерального  
конструктора, генеральный  
конструктор ОТРВ ВМФ  
АО «ВПК «НПО машиностроения»,  
д.т. А.А. Дергачев



№ \_\_\_\_\_  
на № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_

Отзыв ведущей организации на диссертацию А.Ю. Бондаренко  
“Совершенствование методов расчетного анализа динамических нагрузок на  
конструкции и способов их отработки с учетом результатов натурных  
испытаний”, представленную на соискание ученой степени кандидата  
технических наук по специальности 01.02.06. – Динамика, прочность машин,  
приборов и аппаратуры.

Совершенствование методов исследований динамических нагрузок,  
возникающих при эксплуатации ракетно-космической техники (РКТ), а  
также методов и способов воспроизведения этих нагрузок при наземной  
экспериментальной отработке является весьма актуальной задачей.

Целью диссертационной работы является развитие и  
совершенствование методов анализа динамики конструкций при ударном и  
вибрационном нагружении, а также развитие методов наземной  
экспериментальной отработки изделий РКТ на такие виды нагружения. Для  
достижения поставленной цели автором решены следующие основные  
задачи:

- разработана методика восстановления циклограмм тяги двигательных установок (ДУ) на основе математического моделирования и данных телеметрической информации (ТМИ),
- разработана методика построения эквивалентных упруго-массовых моделей с механическими аналогами, моделирующими гидроупругую динамику баков с топливом и присоединенными ДУ,
- разработан способ определения спектров ударного нагружения, позволяющий обеспечить соответствие летных и испытательных нагрузок по уровням воздействия и количеству циклов нагружения.

В качестве методов исследований в работе использованы:  
-разложение по формам собственных колебаний и прямое численное интегрирование уравнений движения упругих конструкций с жидкостью,



- представление динамики упругих конструкций с жидкостью механическими аналогами и редуцирование конечно-элементных моделей по методу Крэйга-Бэмптона.

Научная новизна работы заключается в том, что:

- автором разработан порядок восстановления циклограмм работы ДУ при наборе и отсечке тяги по реакции конструкции в реальных условиях,
- разработана методика представления упруго-массовых моделей и внешних воздействий на изделия РКТ при резком изменении тяги ДУ,
- предложен и разработан подход к стендовой отработке динамической прочности изделий РКТ на основе замены расчетного вибронагружения конструкций на применение низкочастотной фильтрации для выделения квазистатических составляющих и расчета ударных спектров по центрированным процессам.

В первой главе показано, что в ряде основных случаев нагружения РКТ необходимо учитывать высокочастотную составляющую спектра реакций упругой конструкции, что позволяет получать более достоверную информацию о фактической циклограмме нагружения изделий РКТ.

Во второй главе автором рассмотрены уравнения движения осесимметричных конструкций ступеней РН, нагружаемых силой от ДУ в продольном направлении. Показано как разложение по тонам собственных колебаний позволяет определить параметры механических аналогов упругих колебаний конструкций и действующие на них обобщенные силы. Расчеты по предложенной методике сравниваются с расчетами по полной конечно-элементной модели бака РН, на днище которого действует переменная сила тяги от ДУ. Показано, что оба подхода дают хорошо совпадающие результаты.

В третьей главе приведены примеры использования предложенного автором подхода по замене нестационарного динамического нагружения на эквивалентное гармоническое вибрационное нагружение конструкций РКТ, реализуемое с помощью вибростендов. Показано, что получаемые автором результаты обеспечивают как эквивалентные уровни перегрузок на силовой конструкции и приборах, так и количество циклов нагружения и позволяют сделать выводы о динамической прочности исследуемых объектов. Приведен пример воспроизведения ударных динамических нагрузок на специальном стенде для испытаний на переходные процессы. Показана возможность получения результатов, близких к натурным испытаниям.

В четвертой главе приведены примеры предложенного автором расчетно-экспериментального подхода в исследованиях нагружения ступеней РКТ при действии быстроменяющихся по времени продольных нагрузок. Показано решение задачи подтверждения вибропрочности приборного отсека РН. Приведены результаты валидации конечно-элементной модели приборного отсека. Проведен анализ телеметрической информации (ТМИ) по пускам РН с различной полезной нагрузкой. Приведены результаты восстановления циклограмм выключения ДУ. Во всех исследованиях



получено хорошее совпадение расчетных результатов с данными ТМИ. Проведены анализ результатов вибропрочностных испытаний приборного отсека и сравнение полученных результатов с данными летных испытаний. Показано, что нагрузки при виброиспытаниях превышают фактически действующие нагрузки при спаде тяги ДУ.

Достоверность разработанных методик и полученных результатов подтверждена сравнением с результатами наземной экспериментальной отработки и с данными летных испытаний.

Основные результаты работы:

- разработана методика восстановления циклограмм изменения тяги ДУ по динамическим реакциям конструкций,
- разработана методика задания внешней силы на систему механических аналогов для восстановления циклограмм изменения тяги ДУ,
- разработан способ получения спектров ударного нагружения с низкочастотной фильтрацией для выделения квазистатической составляющей,
- разработан способ определения уровней вибрационного нагружения, эквивалентного переходным процессам при резком изменении тяги ДУ,
- проведена апробация предложенных подходов на примере ряда образцов РКТ.

Практическое значение работы заключается в том, что автором предложен альтернативный традиционным виброиспытаниям подход к отработке динамической прочности конструкции изделий РКТ на быстроменяющиеся внешние воздействия, который позволяет более точно воспроизвести нагружение объекта испытаний как по уровням нагрузок, так и по количеству циклов нагружения.

Разработанный автором подход можно рекомендовать для отработки динамической прочности конструкций РКТ на быстроменяющиеся внешние воздействия.

Работа прошла апробацию на всероссийских и международных конференциях.

Основные результаты работы достаточно полно отражены в публикациях, в том числе в рекомендованных ВАК.

В качестве замечаний можно отметить следующее:

1. В работе сделан акцент на экспериментальной отработке конструкций ракетной техники на внешние воздействия при переходных динамических процессах. При этом малое внимание уделено разработке рекомендаций и предложений по учету характера этих воздействий при проектировании новых изделий.

2. Исследуемые в работе проблемы динамической прочности, в ряде случаев, возможно, могут быть устранены, если заменить дискретную, ступенчатую работу клапанов в питающих магистралях ДУ, на более плавную. Приведенные в работе подходы и результаты могут быть использованы для обоснования такого решения.

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

Высказанные замечания по диссертации не снижают общего положительного впечатления от работы. Считаем, что диссертационная работа А.Ю. Бондаренко “Совершенствование методов расчетного анализа динамических нагрузок на конструкции и способов их отработки с учетом результатов натуральных испытаний” является законченным научным исследованием, отвечает требованиям пп. 9-14 «Положения о присуждении учёных степеней», утверждённого постановлением Правительства РФ №842 от 24.09.2013 (ред. от 01.10.2018), а ее автор заслуживает присвоения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.02.06. – Динамика, прочность машин, приборов и аппаратуры.

Отзыв обсужден и одобрен на заседании секции №3 (отделения тепловибропрочности) НТС предприятия, протокол № 70 от 12.10.2020 года.

Начальник отделения тепловибропрочности  
АО ”ВПК ”НПО машиностроения”



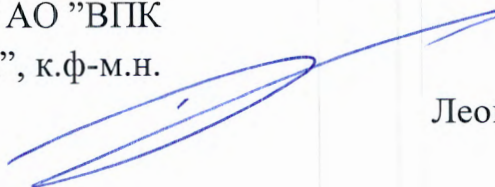
Александр Викторович Бобров  
Тел. 495 302-35-41

Главный научный сотрудник, к.т.н.  
АО ”ВПК ”НПО машиностроения”



Юрий Михайлович Ватрухин  
495 528-14-13,  
e-mail: sigma@vpk.npomash.ru

Ученый секретарь НТС АО ”ВПК  
”НПО машиностроения”, к.ф-м.н.



Леонид Сергеевич Точилев  
495 300-93-13

Адрес организации:

Акционерное общество «Военно-промышленная корпорация «Научно-производственное объединение машиностроения»,  
143966, Московская область, г. Реутов, ул. Гагарина, д. 33.  
Контактный телефон: +7 (495) 528-74-50.  
Электронная почта: vpk@vpk.npomash.ru.