

Экз. № _____

Федеральное космическое агентство

Федеральное государственное унитарное предприятие
**"ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОСМИЧЕСКИЙ
НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЦЕНТР имени М.В. ХРУНИЧЕВА"**

КОНСТРУКТОРСКОЕ БЮРО "САЛЮТ"

Новозаводская ул., д.18, г. Москва, 121087, тел.: 8-499-749-5030, факс: (495) 797-3394,
e-mail: salut@khrunichev.com, http://www.khrunichev.ru
ОКПО 17664075, ОГРН 1027739198090, ИНН/КПП 7730052050/773001001

11.04.2016 № К114/3315

На № 902-09-21 от 21.03.16



Утверждаю

Генеральный конструктор КБ «Салют»

М.Б. Соколов

ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертацию Комарова Ильи Сергеевича "Численное моделирование виброударного нагружения конструкций на стендах взрывного действия при имитации нагрузок от срабатывания пиротехнических средств разделения", представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.02.06 – "Динамика, прочность машин, приборов и аппаратуры"

Отработка виброударной прочности представляет собой важную составляющую комплекса мероприятий по обеспечению надежности изделий ракетно-космической техники. Подтверждение выполнения требований по виброударной прочности предписывается нормативной документацией для всех без исключения конструкций ракетно-космической техники. В настоящее время основным способом подтверждения виброударной прочности являются испытания, которым подвергаются специально изготавливаемые сборки начиная от бортового оборудования ракет-носителей (РН) и космических аппаратов (КА) и заканчивая крупногабаритными конструкциями.

В процессе испытаний объекты подвергаются виброударным нагрузкам, соответствующим этапам наземных операций, выведения и функционирования в космическом пространстве. В двух последних случаях виброударные нагрузки могут возникать от срабатывания средств разделения. При этом воздействие ударных нагрузок не приводит к изменению скорости центра масс изделий, но может привести к выходу из строя бортовой аппаратуры, и как следствие нарушению функционирования изделия в целом.

Источником ударных нагрузок являются срабатывание пиротехнических (взрывных) средств разделения различного типа и назначения, вызывающих распространение по конструкции волн деформации, трансформирующихся в быстрозатухающий колебательный процесс.

В качестве характеристики виброударной нагрузки используется ударный спектр. Воспроизведение в наземных условиях ударного спектра требуемой амплитуды и частотного наполнения, максимально приближенного к реализуемому на изделии в летных испытаниях и в условиях штатной эксплуатации в космическом пространстве, является сложной научно-технической задачей, учитывая отсутствие серийно выпускаемых ударных стендов, воспроизводящих требуемую виброударную нагрузку.

Используемые на практике испытательные средства являются уникальными, основаны на взрывных технологиях и требуют при проведении испытаний большого объема предварительных экспериментов по отработке заданных испытательных режимов. Совершенствование средств отработки изделий на виброударные нагрузки будет более эффективным, если сочетать экспериментальные методы с математическим моделированием на основе современных программных продуктов. Это направление до настоящего времени не применялось в практике отработки режимов виброударного нагружения. Применение численных методов позволяет прогнозировать (оценивать) виброударные нагрузки при разработке новых изделий на стадии научно-

исследовательских и опытно-конструкторских работ, а также сократить объемы отладочных испытаний с использованием ударных стендов.

Поэтому тема диссертации Комарова И.С., посвященная разработке математических моделей и методов решения таких задач, является актуальной.

Основными результатами работы являются следующие.

Разработана методика численного моделирования эксплуатационных режимов устройства локального нагружения, применяемого при отработке на виброударные нагрузки крупногабаритных изделий: приборных отсеков РН, КА и т.д. Достоверность результатов численного моделирования обоснована экспериментально. Методика дает возможность управлять параметрами ударного процесса в источниках ударных нагрузок, а , следовательно, и амплитудой и продолжительностью ударных импульсов.

Разработана численная методика виброударного нагружения. В программном комплексе ABAQUS Explicit проведены расчеты по разработанной методике на примере исследования отклика фрагмента бака РН на нагрузку от срабатывания средств разделения. с использованием устройства локального виброударного нагружения

Предложен подход к определению уровней виброударных ускорений, который может быть использован на стадии проектирования изделий или уточнения технических требований в части оценки реализуемых уровней виброударного нагружения в узлах крепления бортового оборудования.

Разработана методика численного моделирования взрывных нагружающих устройств, используемых в стационарных стендах в качестве основного источника виброударной нагрузки. Проведено моделирование режимов работы типового нагружающего устройства при различных массах взрывчатого вещества. Показано что предложенная методика позволяет формировать требуемый профиль силы от времени на нагружаемой поверхности, что в свою очередь обеспечивает требуемое частотное наполнение моделируемого виброударного

процесса. Автором проведен комплекс экспериментальных работ в обоснование достоверности результатов, полученных путем численного моделирования.

Разработана методика численного прогнозирования виброударных режимов, реализуемых на стационарном стенде взрывного действия.

На основе существующего виброударного стенда взрывного действия, автором проведен комплекс расчетно-экспериментальных работ:

- проведен модальный анализ конструкции стенда (экспериментальный, численный, аналитический).

- предложен способ учета существующего болтового соединения (учет напряженно-деформированного состояния конструкции)

- исследовано влияние использования различных типовых конечных элементов в математической модели стенда (элементы теории оболочек, сплошной среды).

Разработанные методики численного моделирования виброударных нагрузок были использованы при испытаниях изделий ракетно-космической техники ведущих предприятий ракетно-космической отрасли.

В ГКНПЦ им М.В. Хруничева результаты работы использованы при разработке программы и методики ударных испытаний разгонного блока кислородно-водородного транспортного комплекса (КВТК). Кроме того разработки автора применялись при экспериментальной отработке конструкций РН «Ангара» для оценки уровней виброударных нагрузок при срабатывании средств разделения головного обтекателя, ступеней ракеты-носителя. На основе разработанных численных методик определены оптимальные настройки системы измерения виброударных процессов для полного и качественного сбора измерительной информации.

Рекомендуется использовать разработанные в диссертации методики при испытаниях изделий разработки ГНЦ ФГУП «Центр Келдыша», ОАО «РКК «Энергия», АО «ГРЦ Макеева», ОАО «Конструкторское бюро химавтоматики», АО «Корпорация «МИТ», КБ «Салют» ФГУП «ГКНПЦ имени М.В. Хруничева»

По диссертации имеются следующие замечания:

1. При рассмотрении подходов по определению уровней виброударных ускорений в узлах крепления бортового оборудования изделий не рассмотрены вопросы моделирования рассеяния энергии ударных волн при прохождении через разъемные стыки.
2. Не рассмотрены подходы к моделированию отражения ударных волн от стыков и их сложения с ударными волнами, пришедшими от источника.
3. Не приведены сведения о возможных величинах погрешности при численных расчетах ударных нагрузок от мобильных устройств взрывного типа.
4. В обзоре литературы нет ссылок на труды члена-корреспондента РАН М.В. Сильникова.

В целом же в диссертации решена важная научно-техническая задача разработки и обоснования методов численного моделирования режимов нагружения, реализуемых виброударными стендами и мобильными устройствами взрывного типа. Это позволяет усовершенствовать технологию управляемой имитации виброударных нагрузок от срабатывания пиротехнических средств разделения при наземной отработке изделий ракетно-космической техники. Работа имеет большое практическое значение для отрасли, так как дает испытательным подразделениям инструмент, существенно повышающий точность воспроизведения требуемых ударных нагрузок по сравнению с существующими методами испытаний. Это позволяет сократить затраты времени и средств на проведение испытаний за счет исключения пробных запусков установок, а также избежать повреждений объекта при превышении заданных уровней нагрузки.

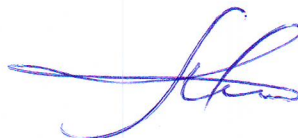
Диссертация Комарова И.С. выполнена на высоком научном уровне и удовлетворяет всем требованиям ВАК Минобрнауки РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям по техническим наукам.

Основные результаты диссертации опубликованы в 8 работах, 3 из которых – в рецензируемых журналах, рекомендуемых ВАК.

Комаров И.С. заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.02.06 – " Динамика, прочность машин, приборов и аппаратуры".


Настоящий отзыв рассмотрен и одобрен на заседании службы технического и организационного управления проектами расчетного направления КБ «Салют» ГКНПЦ им. М.В. Хруничева; протокол №1 от 6 апреля 2016 г.

Начальник службы
Кандидат технических наук



А.Г. Бахтин

Ведущий конструктор
отдела нагрузок и прочности
Кандидат технических наук



О.И. Охотников

Ученый секретарь НТС
КБ «Салют» ГКНПЦ им. М.В. Хруничева
Доктор технических наук , профессор



Р.В. Бизяев