

УДК 629.78.01

ИССЛЕДОВАНИЯ ПРИ ИСПЫТАНИЯХ НА ОДИНОЧНЫЕ УДАРНЫЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ СИСТЕМЫ ОТДЕЛЕНИЯ РАЗГОННОГО БЛОКА «ФРЕГАТ»

©2013 Н. А. Михаленков, В. Ю. Ермаков, Ю. И. Уткина

Научно-производственное объединение им. С.А. Лавочкина,
г. Химки, Московская область

В статье рассмотрено проведение ударных испытаний системы отделения разгонного блока «Фрегат» (РБФ) при различных способах нагружения объекта испытания. Предложена методика испытания системы отделения головного блока (ГБ) от блока «И», которая позволяет сократить число нагружений изделия.

Удар, ударный импульс, испытания, методика, вибродинамический стенд, разгонный блок «Фрегат».

Повышение надёжности космических аппаратов (КА), их аппаратуры и отдельных элементов связано с вопросами устойчивости и прочности при воздействии различных возмущающих факторов.

Изучение ударных процессов относится к числу актуальных проблем прикладной механики, связанных с оценкой поведения различных конструкций в условиях воздействия интенсивных нагрузок импульсного характера.

Основная задача ударных испытаний — проверка способности КА и их отдельных элементов сохранять основные параметры при ударном воздействии и после него в пределах, указанных в нормативных документах на изделие [1].

Характеристики нагружения изделия получают в основном путём обработки результатов измерений при натурных испытаниях изделий. При проведении ударных испытаний в лабораторных условиях необходимо стремиться к тому, чтобы поместить изделие в те же условия, в которых оно будет находиться при эксплуатации [2]. В этом фактически и заключается главная задача воспроизведения ударной нагрузки в лабораторных условиях.

Для воспроизведения ударных импульсов при испытаниях необходимо иметь характеристики ударного процесса, воздействующего на объект при его эксплуатации; проанализировать и преобра-

зовать реальный ударный импульс в импульс, удобный для воспроизведения в лабораторных условиях; разработать методику воспроизведения ударного импульса с заданными характеристиками; выбрать или спроектировать ударную установку, технические характеристики которой обеспечивают воспроизведение заданного ударного нагружения; выбрать или спроектировать комплекс аппаратуры, обеспечивающий съём, первичное преобразование, обработку и регистрацию процесса и его основных характеристик; разработать методику исследования поведения испытуемого объекта в натуральных условиях по результатам лабораторных испытаний.

Под ударом понимается импульсное воздействие, при котором время действия силы весьма мало по сравнению с характерным для данной задачи интервалом времени.

Ударная нагрузка (удар) на практике в большинстве случаев создаётся с помощью специальных стендов и установок. В зависимости от принципа создания ударного воздействия ударные стенды можно разделить на два основных вида:

1) стенды, действие которых основано на принципе торможения предварительно разгоняемого до требуемой скорости тела (рис. 1, а);

2) стенды, действие которых основано на принципе разгона тела до требуемой скорости (рис. 1, б, в, г).

Ударные импульсы различной формы (рис. 2) вызывают реакции конструкции в широком спектре частот и возбуж-

дают одновременно резонансные отклики на нескольких собственных частотах. На рис. 3 показаны формы ударных импульсов в окне программы управления испытаниями.



Рис. 1. Ударные стенды:
а – тормозящий ударный стенд; б – копр вертикальный;
в – копр маятниковый; г – электродинамический стенд

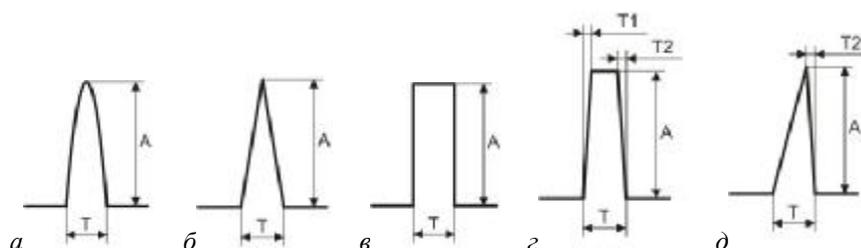


Рис. 2. Формы ударного сигнала:
а – синусоидальный сигнал; б – треугольный сигнал; в – прямоугольный сигнал;
г – трапециoidalный сигнал; д – пилообразный сигнал

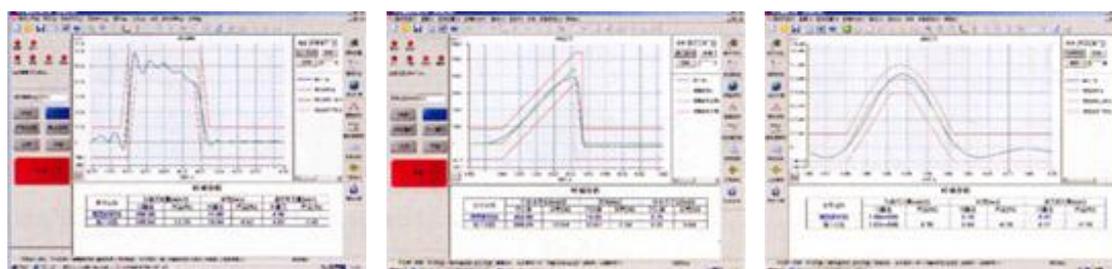


Рис. 3. Окна программы управления испытаниями

Все работы в области исследования процесса удара можно разделить на следующие основные направления:

- а) изучение внутренних закономерностей процесса удара;
- б) исследование физико-механических свойств материалов в условиях динамического нагружения;

в) оценка влияния импульсного нагружения на различные конструкции;

г) набор статистики для оценки надёжности изделий.

Различают следующие виды ударных испытаний изделия:

- а) на ударную прочность при многократном ударном воздействии, транс-

портировке и падении, воздействии одиночных ударов большой интенсивности;

б) на ударную устойчивость при воздействии многократных ударов;

в) ударное нагружение для определения частотных характеристик изделия.

Наиболее важный момент при составлении методики проведения испытания – оценка условия воспроизведения заданного ударного воздействия. Такая оценка должна быть основана на изучении внутренних закономерностей удара, поскольку только в этом случае можно обоснованно реализовать заданные характеристики ударного нагружения.

В ракетной и авиационной промышленности многие изделия нуждаются в испытаниях на ударные нагрузки. Часть

из них довольно сложно испытать на стендовом оборудовании по причине значительных габаритов и массы. Некоторые из-за смещённого расположения центра масс могут повлечь поломку стенда при попытке их нагрузить. Для преодоления этих сложностей создаются большие стенды и дорогие переходные приспособления, требующие дополнительного обслуживания и времени на монтаж, что усложняет и затягивает испытания.

Одним из решений вышеобозначенной проблемы является разработка методики отработки ударных воздействий при испытаниях системы отделения РБФСТ-4319-0 (система отделения ГБ от блока «И»), которая изображена на рис. 4.

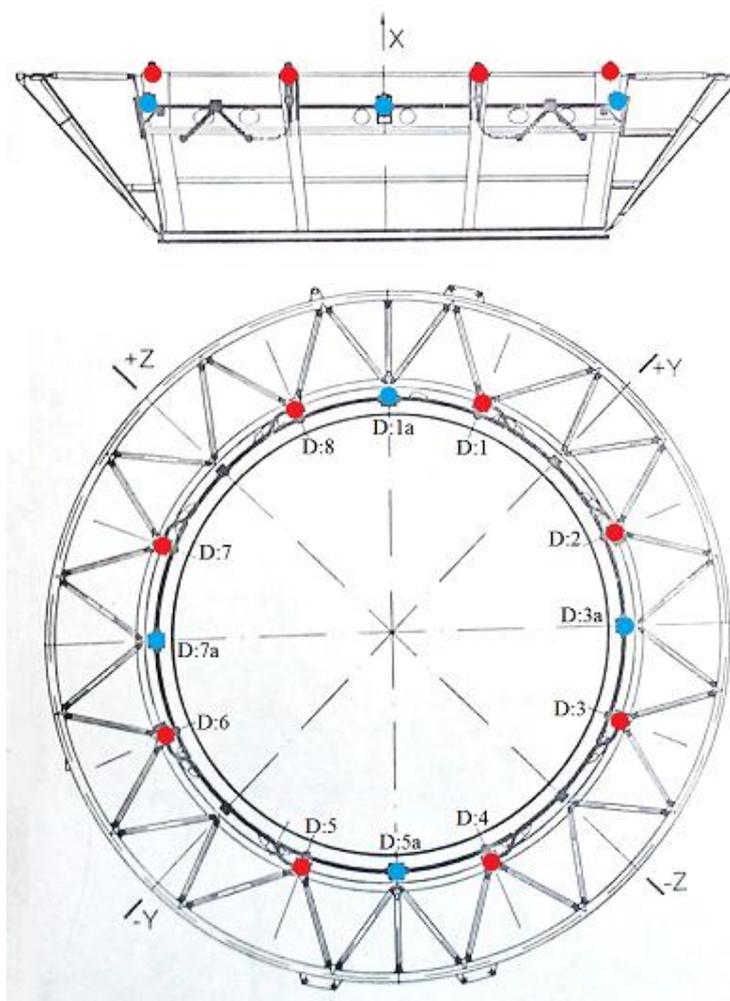


Рис. 4. Система отделения:

D:1 – D:8 – толкатели; D:1a, D:3a, D:5a, D:7a – пороховые аккумуляторы давления (ПАД)

Таблица 1

| Направление воздействия | По каждой из осей | | | |
|---|-------------------|-------------------------------------|--------------------------|------------------|
| | Частота, Гц | Максимальная амплитуда ускорения, g | Длительность действия, с | Число нагружений |
| X, Y, Z | От 500 до 2000 | 100 | 0,01 | 3 |
| Примечание. Указанный режим можно заменить ударным нагружением с пиковым ускорением 100 g длительностью действия от 0,5 до 2,0 мс с указанными в табл.1 направлениями и количеством ударов. | | | | |

По программе испытаний систему отделения необходимо было испытать на стойкость к воздействию виброудара в соответствии с табл. 1. Ввиду большого диаметра изделия было принято решение нагружать его локально с помощью молотка, предварительно вывесив на тросах.

Для проведения испытаний было использовано следующее оборудование:

- ПЭВМ с установленным программным пакетом Test.Lab (компания LMS);

- многоканальная система для предварительного формирования сигналов и сбора данных Scadas III (компания LMS);

- три четырёхканальных усилителя сигнала NEXUS (компания Brüel & Kjær);

- четыре пьезоэлектрических трёхкомпонентных акселерометра AP22 (компания ГлобалТест);

- молоток массой 1,5 кг;

- лист резины толщиной 3 мм;

- клей «Секунда» в виде геля.

Система отделения имеет 8 толкателей и 4 ПАДа (рис. 4). В результате проведённого расчёта для нагружения было выбрано четыре точки — D:1, D:3, D:5 и D:7 (толкатели, вблизи которых расположены ПАДы). Перед нагружением системы отделения в 1-й точке было установлено два акселерометра: один в максимальной близости к толкателю D:1, а другой — к ПАДу D:1a. Для контроля откликов ударов, производимых в 1-й точке, было установлено ещё два акселерометра около толкателя и ПАДа 3-й точки (D:3 и D:3a соответственно).

Акселерометры устанавливались следующим образом. Были определены места, в которых устанавливались датчики. Места должны были удовлетворять следующим требованиям: акселерометры должны находиться в максимальной бли-

зости к точке, в которой необходимо контролировать измеряемые параметры; ввиду выбранного способа крепления (установка на клей) место установки акселерометра должно находиться на приспособлении, на которое установлено изделие (допускается установка дополнительных датчиков непосредственно на изделие, но при этом должны использоваться методы крепления, не нарушающие целостность поверхности изделия: мастика, воск, магнит и т.д.); поверхность места установки должна быть такой, чтобы оси установленного акселерометра были параллельны осям изделия; акселерометр, установленный на выбранное место, и его соединительный кабель не должны мешать проведению нагружения изделия. Далее выбранные места установки акселерометров и специально изготовленные основания, накручивающиеся на встроенную шпильку датчиков, были обработаны наждачной бумагой и спиртом. После приклеивания акселерометров на выбранные места соединительные кабели были зафиксированы на приспособлении в соответствии с ГОСТ ИСО 5348-2002.

При нагружении изделия были определены точки, в которых отклики по всем осям максимальны и соответствовали программе испытаний. Далее были проведены пробные удары, во время которых была произведена серия ударов молотком с варьированием использования листа резины как механического фильтра. По итогам пробных ударов было определено, что удары в радиальном направлении, нанесённые по ребру конструкции, обеспечивают наиболее приближённые отклики по двум другим осям изделия, что является оптимальным для нагружения (рис. 5).

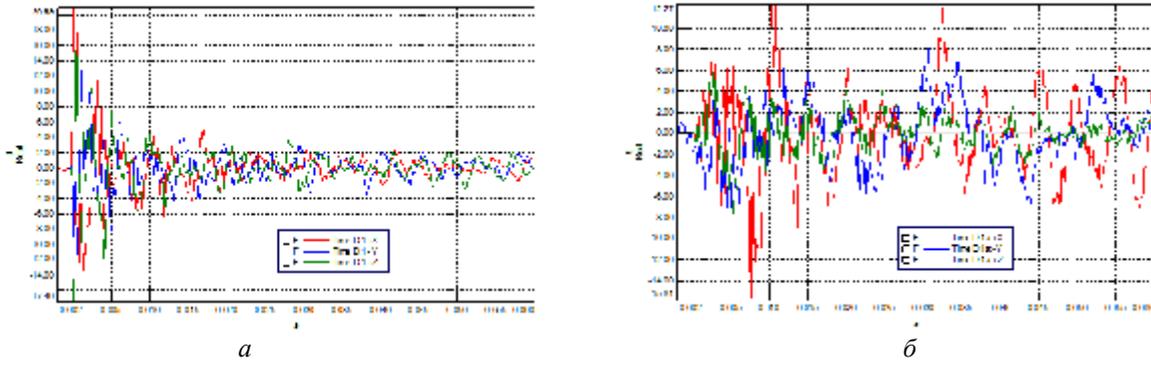


Рис. 5. График пробного нагружения в 1-й точке:
 а – показания акселерометра, установленного около толкателя;
 б – показания акселерометра, установленного около ПАДа

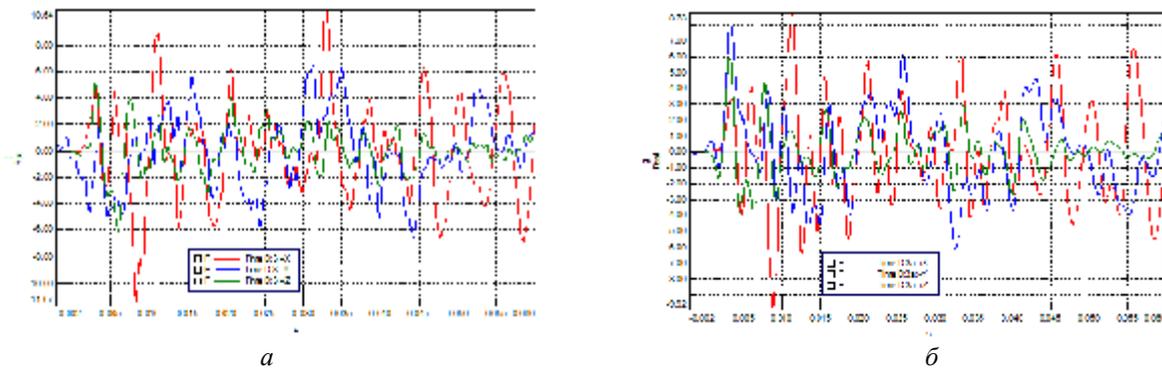


Рис. 6. Отклики ударов, зафиксированных в 3-й точке, при пробном нагружении в 1-й точке:
 а – показания акселерометра, установленного около толкателя;
 б – показания акселерометра, установленного около ПАДа

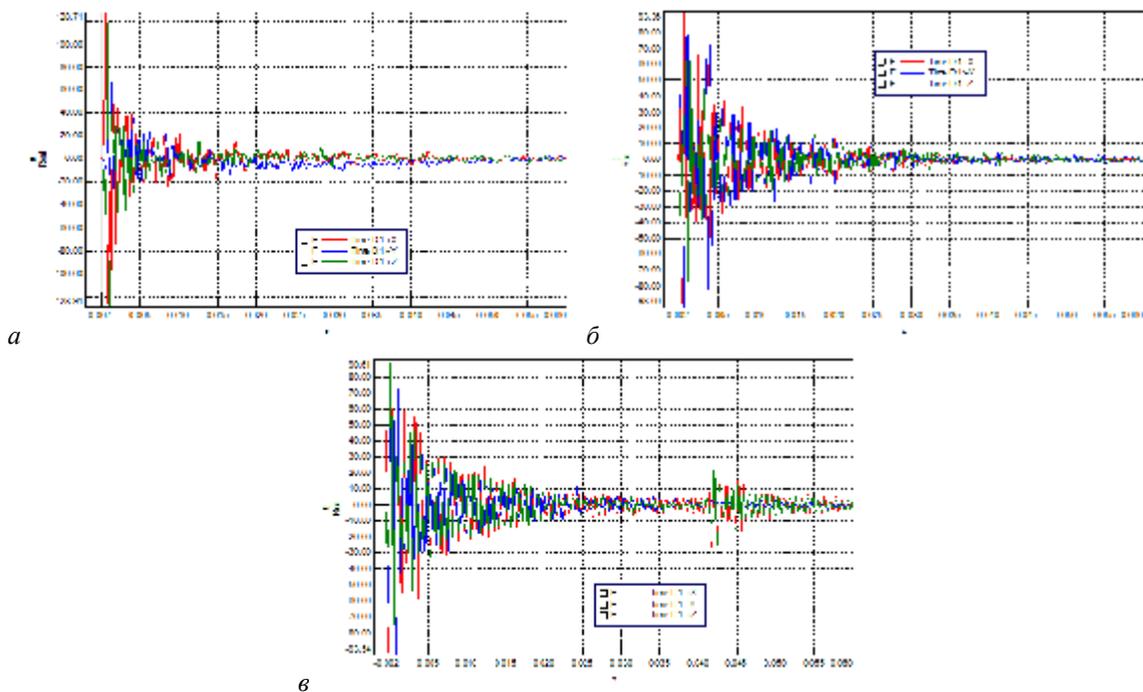


Рис. 7. Контрольные удары в 1-й точке (показания датчика, установленного около толкателя):
 а – 1-й удар; б – 2-й удар; в – 3-й удар

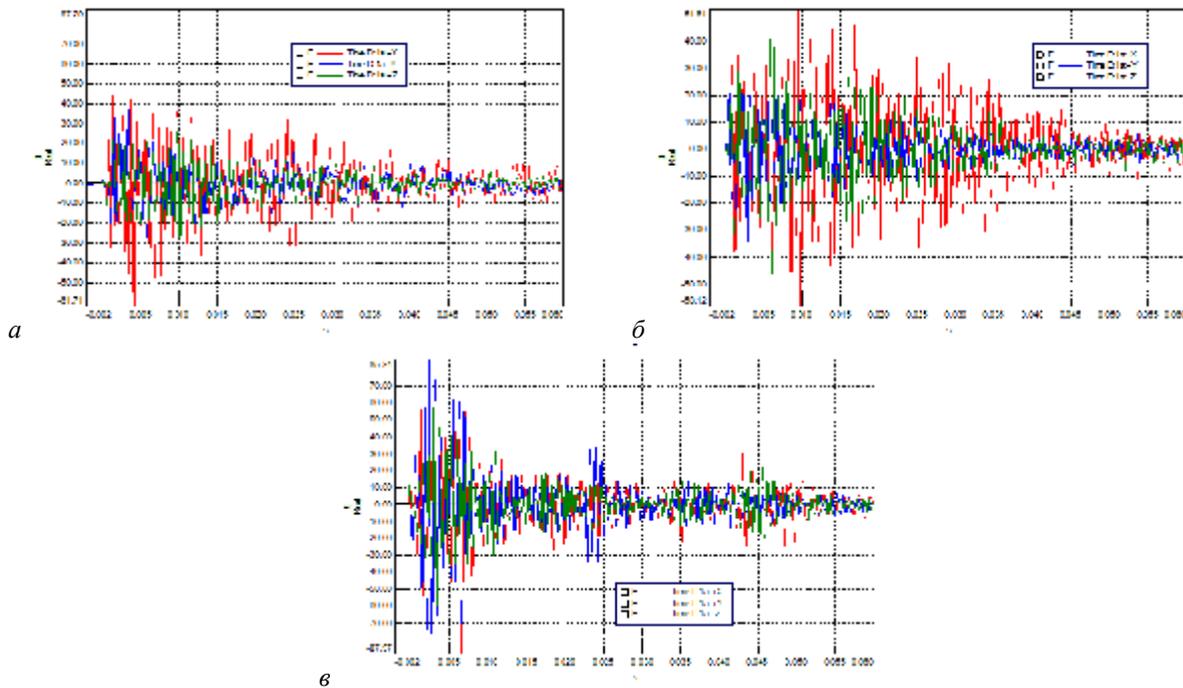


Рис. 8. Контрольные удары в 1-й точке (показания датчика, установленного около ПАДа):
а – 1-й удар; б – 2-й удар; в – 3-й удар

После проведения пробных ударов и определения способа нагружения в 1-й точке по определённому ранее направлению было произведено три контрольных удара, которые были зачтены (рис. 7, 8) по уровню максимального нагружения (табл.1).

Отклик в 3-й точке при достижении зачтённых ударов был зафиксирован и признан малым (рис. 6). В связи с этим при проведении нагружений в 3-й, 5-й и 7-й точках было решено не устанавливать датчики в точке, соседней с текущей точкой нагружения.

При нагружении системы отделения в 3-й, 5-й и 7-й точках пробные удары не наносились. В каждой из них было проведено по три удара в радиальном направлении (по подобию ударов, произведённых в 1-й точке). Эти удары были успешными и пошли в зачёт.

В результате по изделию было произведено 12 контрольных ударов, а не 36 (3 удара по каждой оси в четырёх точках).

В работе участвовали всего два человека (один производил нагружения, другой находился у пульта ПЭВМ и обрабатывал полученные данные). Ввиду того, что испытания проводились над изделием,

вывешенным на тросах, использование рабочего персонала было минимальным (не понадобился монтаж и демонтаж системы отделения на стенд с использованием дополнительных переходных приспособлений), что сэкономило временные и трудовые ресурсы. Положительным фактором является и то, что не был использован стенд (рис. 1, з), что позволило уберечь его от ударных испытаний, которые несут потенциальную угрозу поломки, и сэкономить на энергозатратах, затрачиваемых на воспроизведение стендом ударных нагрузок.

Таким образом, предложенная методика позволила сократить объём испытаний изделия, не перегрузив его, сократить время проведения испытаний и обработки полученных результатов на 20-30%, ресурсы и энергозатраты.

Дальнейшая работа над методикой испытаний включает в себя поиск устройства, позволяющего наносить одинаковые ударные воздействия. Предположительно, таким устройством может быть доработанный пневматический молоток или вновь разработанное устройство.

Библиографический список

1. Приборы и системы для измерения вибрации, шума и удара [Текст]: справочник. В 2 кн. Кн. 2 / под ред.

В.В. Ключева. – М.: Машиностроение, 1978. – 439 с.

2. Испытательная техника [Текст]: справочник. В 2 кн. Кн. 1 / [Г. С. Батуев и др.]. – М.: Машиностроение, 1982. – 528 с.

UNIT IMPULSE INPUT TESTS OF A SYSTEM OF THE «FRIGATE» UPPER-STAGE ROCKET

© 2013 N. A. Mikhalenkov, V. Y. Yermakov, Y. I. Utkina

Federal State Unitary Enterprise «Lavochkin Research and Production Association»

The paper is devoted to impact tests of a system of the «Frigate» upper-stage rocket, various methods of influence on the test object being used. A procedure is proposed for testing the system of separating the upper stage from the «I» block that makes it possible to reduce the number of loadings of the object.

Shock, shock pulse, tests, procedure, vibrodynamic shaker, «Frigate» upper-stage rocket.

Информация об авторах

Михаленков Николай Александрович, инженер по испытаниям, ФГУП «НПО им. С.А. Лавочкина». E-mail: n.mikhalenkov@gmail.com. Область научных интересов: испытания техники авиационного и ракетно-космического назначения.

Ермаков Владимир Юрьевич, кандидат технических наук, заместитель начальника отдела динамики и виброзащиты КА, ФГУП «НПО им. С. А. Лавочкина». E-mail: v_ermakov2003@mail.ru. Область научных интересов: испытания техники авиационного и ракетно-космического назначения.

Уткина Юлия Игоревна, инженер по испытаниям, ФГУП «НПО им. С. А. Лавочкина». E-mail: uliyatkina@gmail.com. Область научных интересов: испытания техники авиационного и ракетно-космического назначения.

Mikhalenkov Nikolay Aleksandrovich, test engineer, Federal State Unitary Enterprise «Lavochkin Research and Production Association». E-mail: n.mikhalenkov@gmail.com. Area of research: tests of aviation and space-rocket equipment.

Yermakov Vladimir Yuryevich, candidate of technical science, deputy head of the department of dynamics and spacecraft vibration isolation. E-mail: v_ermakov2003@mail.ru. Area of research: tests of aviation and space-rocket equipment.

Utkina Yuliya Igorevna, test engineer, Federal State Unitary Enterprise «Lavochkin Research and Production Association». E-mail: uliyatkina@gmail.com. Area of research: tests of aviation and space-rocket equipment.