

УДК 534.134

## О ПРАКТИКЕ ПРОВЕДЕНИЯ ВИБРАЦИОННЫХ И УДАРНЫХ ИСПЫТАНИЙ КОНСТРУКЦИЙ КОСМИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ

Пономарева С.Н., Гребенников А.С., Томилина Т.М.

Институт машиноведения им. А.А. Благонравова, г. Москва, Россия, [ponomareva@imash.ac.ru](mailto:ponomareva@imash.ac.ru)

*Ключевые слова: вибрации, удар, виброустойчивость, космические конструкции.*

Важной частью разработки оптимальной конструкции космической научной аппаратуры (КНА), подвергающейся высоким механическим нагрузкам на этапе выведения космического аппарата (КА) на траекторию полета, являются отработочные вибрационные и ударные испытания. КНА не является серийным изделием и разрабатывается под конкретную научную задачу, конкретную миссию с конкретными сроками разработки конструкции, которая должна обеспечить физический функционал и выдерживать заданные нагрузки. Чем точнее смоделированы заданные нагрузки при испытаниях, тем проще конструировать приборы, без избыточных запасов прочности и меньшей массой.

В работе рассматриваются два аспекта этой задачи: моделирование эксплуатационных механических условий на борту и воспроизведение этих условий при отработочных испытаниях. В настоящее время для ударных испытаний используются две основные модели – когда задано импульсное воздействие (форма импульса, амплитуда и длительность) и когда задан спектр ударного отклика, SRS [1]. В первом случае требуется обеспечить определенное импульсное воздействие на объект и используются промышленные стенды свободного падения; во втором – подобрать такое воздействие, которое давало бы заданный спектр SRS в местах крепления прибора, но в этом случае разрабатываются специальные стенды на основе плиты на упругом основании под конкретные проекты (КА), а для подбора воздействия на плиту используется массовый макет прибора. Эта модель введена в международную практику испытаний, так как она лучше учитывает реакцию КНА на высоких частотах. В ИМАШ разработаны такие стенды под требования проектов MSL (НАСА) и VeriColombo (ЕКА), рис. 1а, по которым были успешно испытаны российские приборы ДАН и МГНС [2].

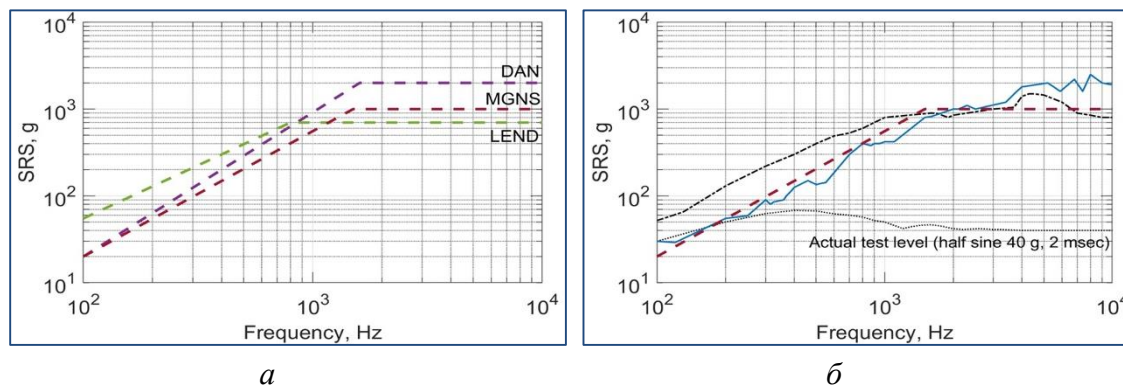


Рис. 1. Уровни спектров SRS для приборов ДАН, МГНС, ЛЕНД:

а – сравнение заданного спектра для прибора МГНС и полученного при испытаниях на ССП (верхняя кривая) и на ударном стенде ИМАШ (средняя синяя кривая); б – при стандартном импульсном воздействии с параметрами 40g, 2 мс

Так как в российских нормах допускается замена испытаний по SRS на импульсные с параметрами 40g, 2 мс, которые, как видно на рис.1б (нижняя кривая), не являются эквивалентными, была разработана методика ударных испытаний по заданному спектру SRS для стендов свободного падения (ССП), в рамках которой производится настройка СПП с использованием габаритно-массового макета прибора и дополнительных параметров стенда (натяжение пружины, формы колебаний стола), измеряется амплитуда ускорения (временной сигнал) в местах крепления прибора, по которой рассчитывается SRS (рис. 2б). При этом для приближения к требованиям в области высоких частот, в области низких частот возможно превышение заданных значений в зависимости от формы требуемого спектра, см. рис. 1б и 2б, что характерно для СПП.

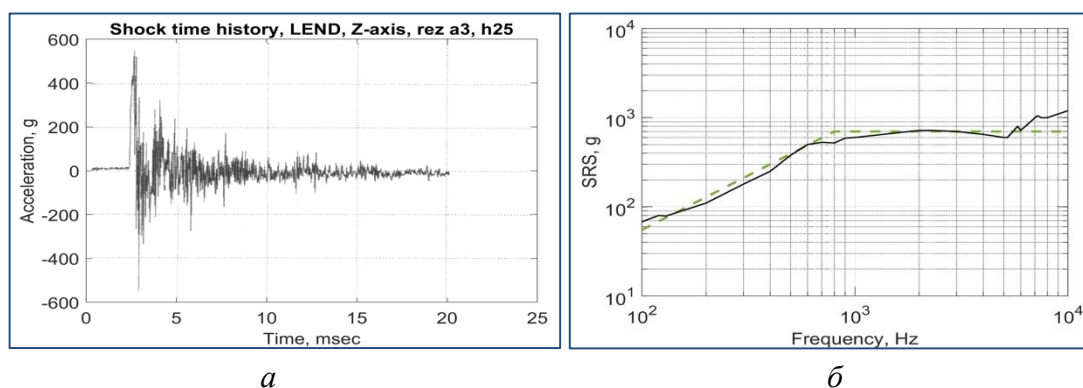


Рис. 2. Временной сигнал и спектр, полученные при испытаниях прибора ЛЕНД проекта ЛРО с подобранным воздействием – импульс 550g, 0,2 мс (сплошная линия) и заданный (пунктир): а – временной сигнал; б – спектр SRS

Для испытаний на случайную вибрацию используются вибростенды с автоматической системой управления с обратной связью. Практика показала, что для высокоточных приборов подбор параметров стенда в реальном времени может приводить к перегрузке прибора, поэтому была разработана 2-х этапная методика испытаний, где на первом этапе измеряется АЧХ системы, подбирается фильтр и строится отфильтрованный сигнал возбуждения для получения заданного спектра воздействия (в терминах спектральной плотности мощности), а затем подается возбуждение отфильтрованным сигналом.

В этом случае прибор испытывается максимально точно на заданный спектр. Разработанная компьютерная программа с графическим интерфейсом, реализующая этот алгоритм, успешно применяется при разработке оптимальных конструкций космических приборов проекта Роскосмоса «Луна 25».

*Исследования выполнялись по теме РАН на оборудовании ЦКП «НТСМБ» ИМАШ.*

### Список литературы

1. Smallwood, D.O. An improved recursive formula for calculating shock response spectra / D.O. Smallwood // Shock and vibration bulletin, No. 51, May 1981.
2. Mitrofanov, I.G. The Mercury gamma and neutron spectrometer (MGNS) on board the planetary orbiter of the BEpiColombo / I.G. Mitrofanov [et al.] // Planetary and Space Science 58(1-2), 2010.

Сведения об авторах

Пономарева Светлана Николаевна, научный сотрудник. Область научных интересов: механические испытания, цифровые технологии.

Гребенников Александр Степанович, старший научный сотрудник. Область научных интересов: виброакустика.

Томилина Татьяна Михайловна, к.т.н., руководитель лаборатории. Область научных интересов: виброакустика.

## **ON THE PRACTICE OF CONDUCTING VIBRATION AND SHOCK TESTS OF SPACE INSTRUMENTS**

Ponomareva S.N., Grebennikov A.S., Tomilina T.M.

Blagonravov Institute of Mechanical Engineering, Moscow, Russia, ponomareva@imash.ac.ru

*Keywords: vibration, shock, testing modeling, space instruments.*

An important part of the optimal design of space instruments subjected to high operational load at the stage of launching the spacecraft is the development mechanical vibration and shock tests. In this paper are considered two aspects of this task: modeling the operational mechanical conditions on board, and reproducing these conditions during development tests. Some aspects from practice concerning with the shock and vibration tests on random vibro- and shock excitation with respect to requirements are discussed and corresponding experimental results are presented.