

РАСЧЕТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК АНТЕННЫХ УСТРОЙСТВ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

Е.А. Канунникова, И.Ю. Пугач
(ФГУП «НПП ВНИИЭМ»)

Рассматривается актуальная задача обоснования статической и динамической прочности элементов приборной платформы, на которой расположены основные электромеханические устройства и приборы, составляющие комплекс бортовой аппаратуры КА «Метеор-М» №1. Решение задачи включает численное моделирование, экспериментальное определение, прогнозирование и коррекцию динамических и прочностных свойств элементов конструкции.
Ключевые слова: приборная платформа, антенное устройство, динамика, прочность.

Введение

Космический аппарат «Метеор-М» №1 предназначен для оперативного получения информации в целях прогноза погоды, контроля озонового слоя и радиационной обстановки в околоземном космическом пространстве, а также для мониторинга морской поверхности, включая ледовую обстановку с целью обеспечения судоходства в полярных районах.

На борту КА «Метеор-М» №1 имеется ряд антенных устройств (АУ), к которым предъявляются жесткие требования по обеспечению углов обзора. Для выполнения этих требований АУ устанавливаются на выносных стойках, которые обладают значительной длиной и малым диаметром, что приводит к наличию в конструкции КА «осцилляторов» с низкой частотой и высокими коэффициентами динамичности. С целью предотвращения поломок несущих конструкций АУ и выхода из строя самих антенн требуется детальное изучение их прочностных и динамических свойств. На рис. 1 показана 3D модель приборной платформы КА «Метеор-М» №1.

Прочность элементов КА при вибрационных нагрузках подтверждается испытаниями динамического макета (ДМ).

Чтобы избежать потери времени при обработке конструкции из-за поломок ДМ, проводится расчетно-экспериментальное прогнозирование поведения конструкции при испытаниях.

Расчетно-экспериментальное исследование динамических характеристик антенных устройств КА состоит из:

1) численного моделирования – определения расчетных динамических и прочностных свойств;

- 2) предварительных испытаний – экспериментального определения резонансных частот и коэффициентов динамичности;
- 3) прогнозирования, коррекции, доработки по результатам (пункт 2);
- 4) зачетных испытаний.

Численное моделирование. На первом этапе определяется несущая способность стоек крепления в различных направлениях [1, 2]. Для моделирования антенных устройств используется метод конечных элементов (КЭ), реализованный в программном комплексе MSC. Nastran/Patran [3, 4]. Стойки антенн и кронштейны, на которых они уставлены, как правило, моделируются при помощи оболочечных элементов.

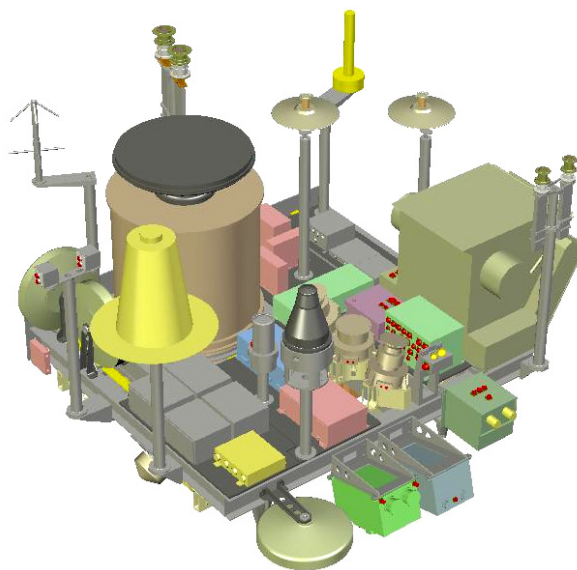


Рис. 1. Приборная платформа КА «Метеор-М» №1 (3D модель)

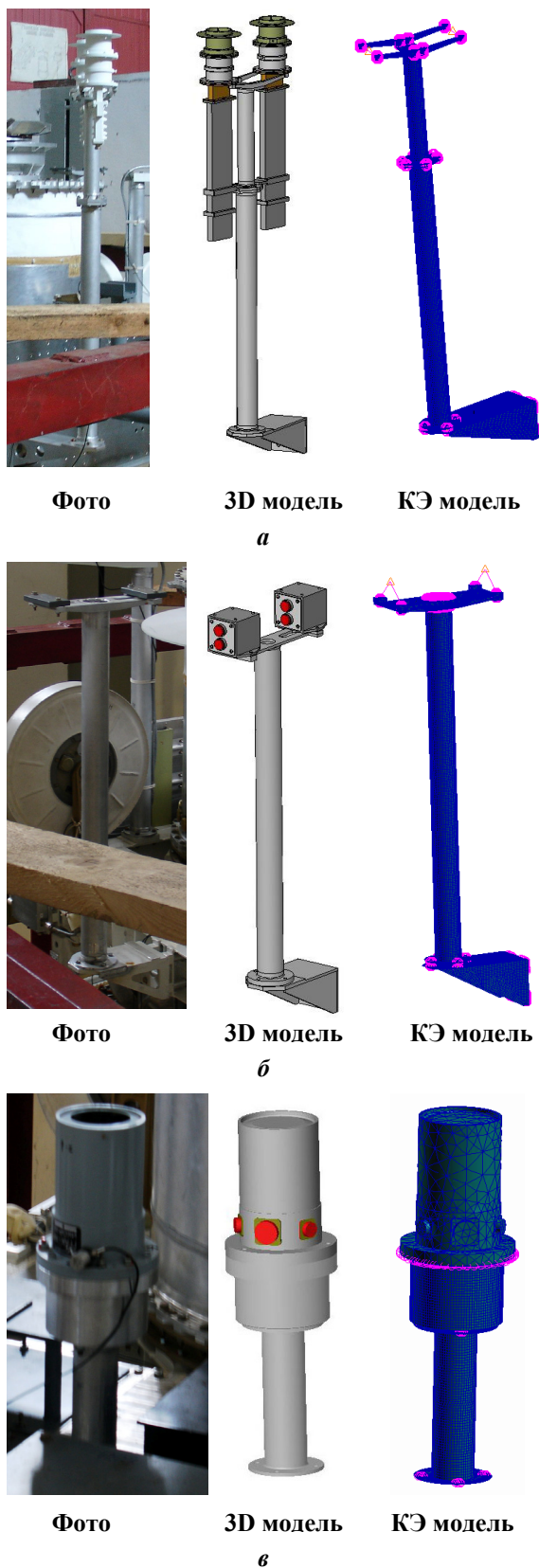


Рис. 2. Устройства: *а* – АФУ КИС; *б* – ПГП-3М; *в* – ИКОР

Сами антенны в зависимости от конфигурации моделируются либо в виде точечных масс, либо в виде трехмерной детали, имитирующей форму антенны. В процессе моделирования широко используется импорт геометрии из программы Solid Works, что позволяет значительно сократить затраты времени при построении КЭ моделей. С использованием полученных моделей определяются следующие характеристики:

- собственные частоты;
- напряженно-деформированное состояние конструкций антенн, по которому определяется их несущая способность;
- нагрузки в узлах крепления.

На рис. 2 показаны некоторые устройства, которые были смоделированы при отработке КА «Метеор-М» №1.

Испытания. Далее проводятся предварительные испытания ДМ, включающие снятие АЧХ, определение динамических характеристик (резонансных частот и коэффициентов динамичности).

Предварительные испытания подразделяются на 2 этапа.

Автономные испытания. Цель автономных испытаний – определение динамических свойств для уточнения и дополнения расчетных моделей (собственные частоты, параметры демпфирования). Испытаниям подвергаются штатно закрепленные отдельные элементы конструкции и различные сборки (например приборная платформа в сборе).

При испытаниях используются различные способы динамического возбуждения конструкции, например:

- ударные методы;
- акустическое возбуждение.

Такие испытания (рис. 3) не требуют использования мощного оборудования, сложных методик и, соответственно, трудо/энерго затрат, и в тоже время позволяют возбуждать различные собственные формы колебаний, и, таким образом, достаточно легко и быстро определять основные резонансные частоты.

Испытания в составе изделия. Перед проведением зачетных испытаний проводятся предварительные испытания всего изделия в сборе с низкими уровнями виброускорений. Они необходимы для оценки характера колебаний системы в целом (колебаний связанных не с парциальными, а с взаимными колебаниями частей, обусловленных их со-

единением и взаимным расположением). Величина виброускорений на низких частотах (до 20 Гц) составляет примерно 20% от ускорений, задаваемых при зачетных испытаниях.

Этот этап обычно проводится непосредственно перед проведением зачетных испытаний, поэтому обработку результатов [5, 6]. Приходится выполнять очень оперативно.

На рис. 4 показана установка для проведения испытаний в составе изделия динамического макета КА «Метеор-М» №1.

После проведения предварительных испытаний полученные результаты анализируются, и на их основании:

- проводится верификация математических моделей: сравниваются расчетные и экспериментальные значения собственных частот, после чего модели при необходимости корректируются;
- составляется прогноз уровня виброускорений при испытаниях на вибропрочность, который сравнивается с расчетной несущей способностью;
- выявляются недостатки динамического макета (незатянутые соединения, ошибки сборки);
- по результатам анализа выявляются дефекты конструкции и принимаются решения по их устранению до проведения зачетных испытаний.

На рис. 5 показаны АЧХ для прибора ПМВ без доработки, и для двух различных вариантов доработки. Из рисунка видно, что путем доработки стойки коэффициент демпфирования был снижен практически вдвое.

После осуществления доработок производится повторное снятие АЧХ, и на основе полученных результатов принимается решение о проведении испытаний на вибропрочность.

Выводы

1. При реализации вышеизложенной методики вероятность успешного проведения зачетных испытаний на вибропрочность очень высока за счет того, что все недоработки устранены на более ранних этапах.
2. Несмотря на необходимость проведения дополнительных испытаний (автономных) время и затраты сокращаются, так как проведение автономных испытаний несоизмеримо дешевле, чем зачетных, при необходимости они допускают неоднократное повторение после доработки конструкции, позволяя выявить значительно больше недостатков, и в итоге такой подход позволяет значительно сократить время и средства, затраченные на проведение испытаний.



Рис. 3. Установка для проведения автономных испытаний динамического макета приборной платформы КА «Метеор-М» №1 методом акустического возбуждения

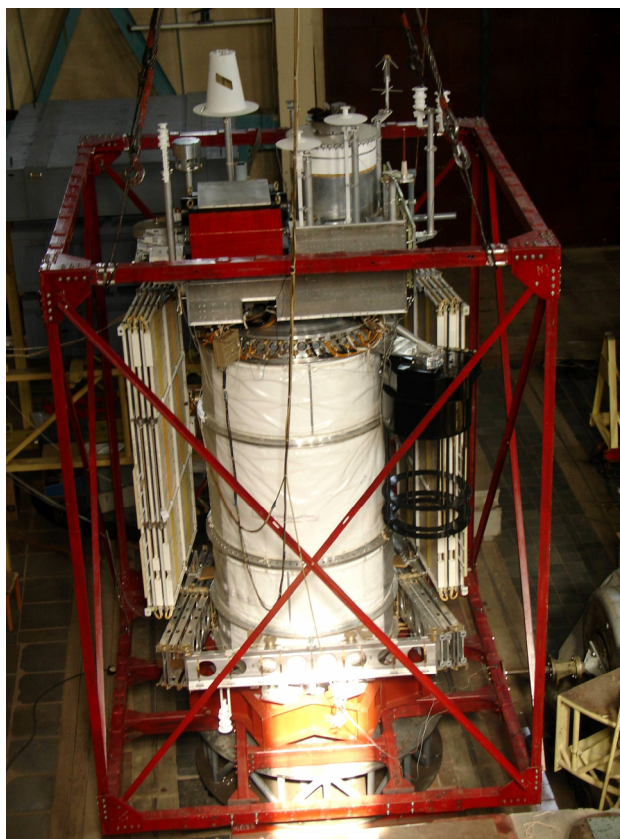


Рис. 4. Установка для проведения испытаний в составе изделия динамического макета КА «Метеор-М» №1

3. Расчетно-экспериментальное прогнозирование поведения конструкции при испытаниях на базе конечно-элементных моделей позволяет избежать

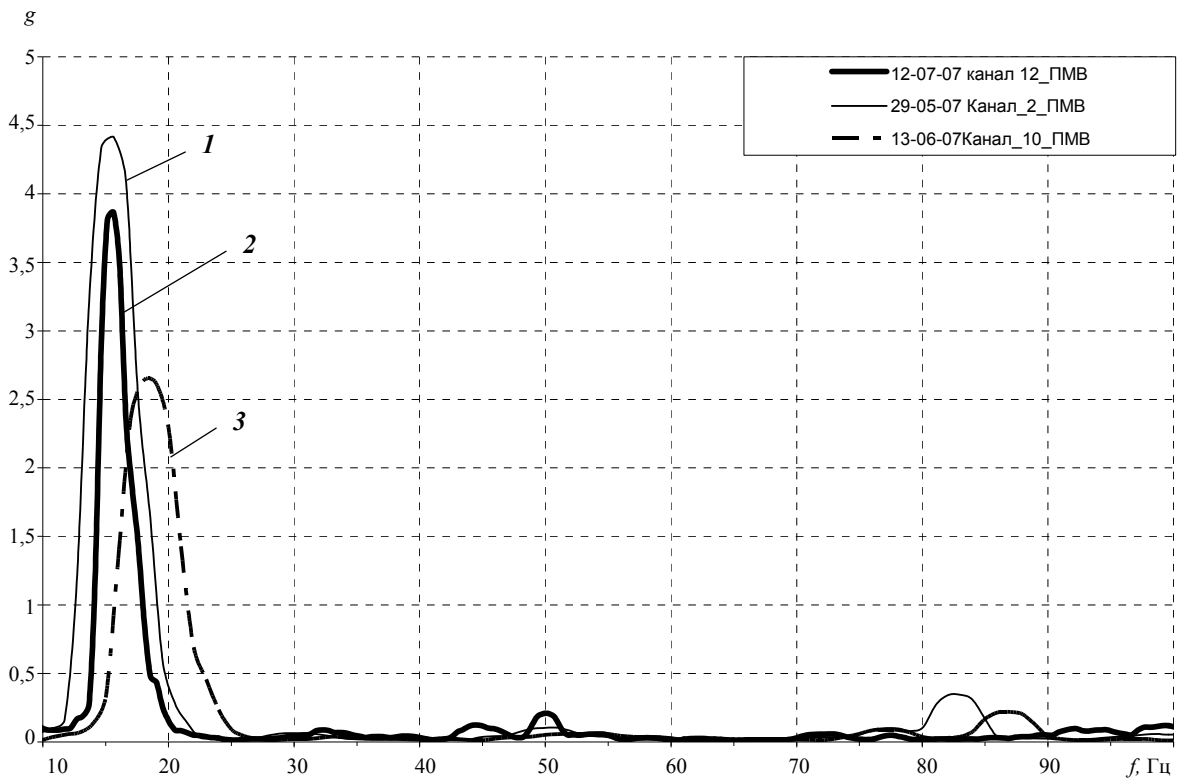


Рис. 5. АЧХ для прибора ПМВ: без доработки (1), и для двух различных вариантов доработки (2, 3)

потери времени при отработке конструкции из-за поломок.

4. Данная методика была успешно апробирована при динамических испытаниях динамического макета КА «Метеор-М» №1.

Литература

1. Биргер И.А. Расчёт на прочность деталей машин: справочник / И.А. Биргер, Б.А. Шорр, Г.Б. Иосилевич. – М.: Машиностроение, 1993. – 640 с.
2. Шелофаст В.В. Основы проектирования машин / В.В. Шелофаст. – М.: АПМ, 2000. – 472 с.

3. MSC. Nastran 2005 Quick Reference Guide // MSC. Software Corporation. – 2004. – 2159 с.

4. MSC. Patran 2005 Quick Reference Guide // MSC. Software Corporation. – 2004. – 1560 с.

5. Автоматизация физических исследований и эксперимента: компьютерные измерения и виртуальные приборы на основе LabVIEW 7 (30 лекций) / П.А. Бутырин, Т.А. Васьковская, В.В. Каратаев [и др.]. – М.: ДМК Пресс, 2005. – 264 с.

6. Сергиенко А.Б. Цифровая обработка сигналов / А.Б. Сергиенко. – СПб.: Питер, 2002. – 608 с.

Поступила в редакцию 24.02.2009

Елена Александровна Канунникова, канд. техн. наук, начальник лаборатории, т. 366-33-61.

Игорь Юрьевич Пугач, мл. науч. сотрудник, т. 366-33-66.

E-mail: vniiet@vniiet.ru.