

Рис. 3. Зависимость запаса прочности по деформациям в первой зоне от рабочего давления на активном этапе эксплуатации

— физико-механических характеристик системы «корпус-наполнитель»;

В качестве примера проведен анализ влияния на активном этапе эксплуатации времени хранения (рис. 2) и рабочего давления (рис. 3) на запас прочности системы «корпус — наполнитель».

Имеющийся в ГKB «Южное» опыт практической реализации программы на этапе проектирования ракетных двигателей на твердом топливе конверси-

онного назначения подтверждает эффективность ее использования для всестороннего анализа НДС системы с учетом реальных конструктивных и эксплуатационных факторов.

1. Архангельский А. В. Программирование на Delphi 4. — М.: Наука, 1999.
2. Ильюшин А. А., Победра Б. Е. Основы математической теории термовязко-вязкоупругости. — М.: Машиностроение, 1985.
3. Фахрутдинов И. Х. Ракетные двигатели твердого топлива. — М.: Наука, 1970.

MINING COMPUTER PROGRAM DEVELOPMENT OF SYSTEM "HOUSING -- FILLING COMPOUND" STRENGTH DESIGN ANALYSIS OF SPACE LAUNCHERS SOLID PROPELLANT ENGINES

V. V. Satokin, V. N. Kharchenko, A. M. Tonkonogenko, E. A. Gamaza

The article presents the results of development of the computer program for the calculation of mechanical condition of firmly cemented system "housing--filling compound" of solid propellant engines for space launchers. The program is based on the engineering techniques created on the basis of theoretical and experimental investigation tried-out in the process of test of full-scale design of solid-propellant engines and is made in the programming system Delphi.

УДК 620.178.5

ИСПЫТАНИЯ ИЗДЕЛИЙ НА ВИБРАЦИОННЫЕ НАГРУЗКИ

© Е. М. Сербина

Державне конструкторське бюро «Південне» ім. М. К. Янгеля

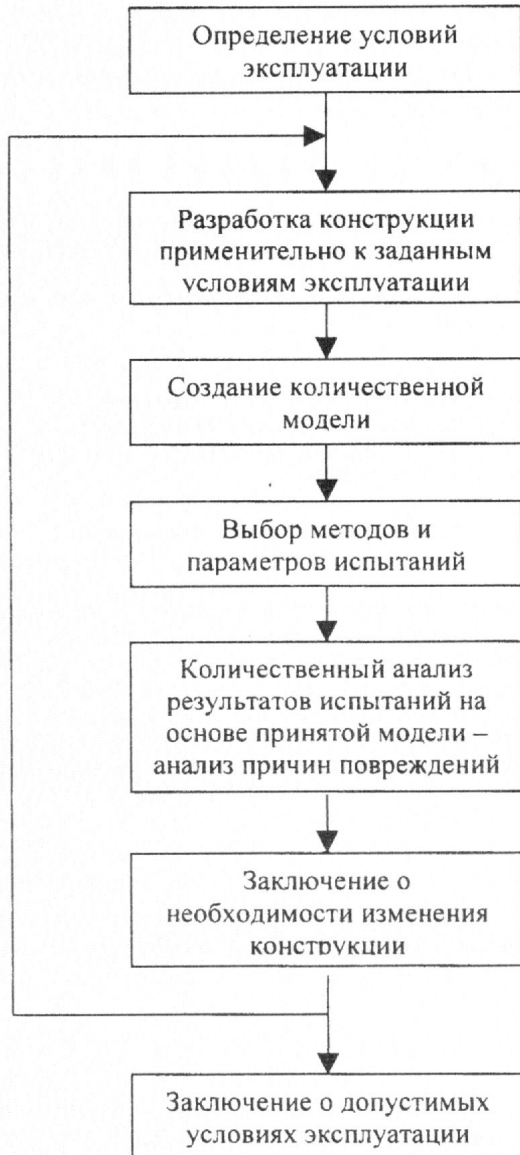
Розглядається питання стендових випробувань виробів на вплив вібрацій. Описується конструкція стенду для моделювання вібронавантажень, розглядається питання керування випробувальною установкою.

Вопросы прочности и надежности приобрели решающее значение при разработке и конструировании новых видов ракетно-космической техники. Аппаратура и приборы, отдельные механизмы, элементы, а также конструкции в целом подвергаются в условиях эксплуатации различным видам механического воздействия, в том числе вибрационным и ударным (случайным и периодическим). Около 70—80 % отказов изделий в машиностроении являются результатом воздействия вибрации [1], поэтому при создании новых видов изделий важное место, наряду с расчетами нагрузок, занимают испытания на воздействия вибраций.

Есть несколько видов механических испытаний

изделий: стендовые или лабораторные, полунатурные и натурные в условиях эксплуатации. Испытание изделия на месте эксплуатации (полунатурные, натурные) имеет ряд недостатков: сложность передачи информации с объектов, на которых установлено изделие, невозможность ужесточить условия эксплуатации и тем самым ввести коэффициент запаса, а также большая продолжительность и высокая стоимость таких испытаний. Поэтому в большинстве случаев целесообразнее проводить стендовые испытания.

Вибрационные испытания (виброиспытания) включают в себя испытания на вибропрочность (способность изделия противостоять разрушающе-



Задачи испытаний на вибровоздействие

му действию вибрации и сохранять свои параметры в пределах установленных норм после механического воздействия) и виброустойчивость (способность изделия выполнять свои функции и сохранять свои параметры в пределах установленных норм во время воздействия). Таким образом, цель виброиспытаний — определение устойчивости изделия к воздействию вибраций (вибровоздействий).

При испытаниях на вибровоздействие необходимо решить ряд задач (рисунок), главные из которых — создание количественных моделей, опреде-

ление условий и методов испытаний, анализ условий эксплуатации, т. е. максимально приблизить условия испытаний к экстремальным условиям эксплуатации и количественно определить изменение в этих условиях основных свойств, функций и характеристик изделия.

Процесс подготовки к испытаниям состоит из нескольких этапов. Рассмотрим основные из них.

Если испытуемый объект из-за своих габаритных размеров или массы не может быть испытан на имеющейся испытательной установке или содержит большое число конструктивных элементов, параметры которых в отношении механических испытаний не одинаковы, необходимо определить — подвергать ли испытаниям само изделие или его отдельные элементы.

На следующем этапе необходимо выбрать оптимальное число измерительных (контрольных) точек и места их расположения для оценки распределения нагрузок испытуемого изделия. Контрольная точка — точка на испытуемом объекте, в которой производится измерение контролируемого параметра.

Затем производится выбор и изготовление приспособлений для крепления изделия к источнику вибрации (оснастки). Приспособления, передающие вибрацию от источника вибрации к испытуемому изделию, должны удовлетворять следующим основным требованиям:

- резонансные частоты приспособлений не должны находиться в рабочем диапазоне частот испытуемого изделия или в частотном поддиапазоне, в котором возможны резонансы конструктивных элементов;

- амплитуды ускорений в направлениях, перпендикулярных к основному, должны быть минимальны;

- жесткость монтажных плит и крепежных приспособлений должна быть такой, чтобы испытательные воздействия передавались изделию с наименьшими искажениями;

- статические и динамические центры тяжести приспособления и испытуемого изделия должны находиться на оси симметрии в направлении воздействия.

Следующим этапом является выбор метода испытания. Есть три основных метода механических испытаний [2]:

- 1) испытания воздействием синусоидальной вибрацией (испытания с фиксированной частотой, испытания с предварительным определением резонансных частот, испытания с заданным рядом фиксированных частот, испытания с плавно изменяющейся частотой);

2) испытания воздействием ударов (испытания простыми формами ударных импульсов, испытания воздействием ударов сложной формы);

3) испытания стохастическими воздействиями (испытания воздействием широкополосного шума, испытания воздействием узкополосного шума).

Выбор оптимального метода испытаний зависит от типа испытуемого изделия, объема сведений об изделии, условий испытаний и эксплуатации, а также возможности реализации заданных нагрузок на имеющемся виброиспытательном оборудовании.

Оборудование для испытаний изделий на вибропрочность и виброустойчивость представляет собой многофункциональный виброиспытательный комплекс, позволяющий воспроизводить гармоническую, полигармоническую широкополосную и узкополосную случайную вибрацию, а также импульсы различной формы. Кроме воспроизведения вибрации, современные виброиспытательные комплексы решают задачи контроля и измерения характерных параметров вибрации, анализа и коррекции режимов испытаний с учетом влияния испытуемого изделия и оборудования, входящего в состав комплекса. Примером такого испытательного комплекса может служить электрогидравлический вибростенд DYNATEST лаборатории транспортировочных испытаний ГKB «Южное».

Вибростенд DYNATEST предназначен для проведения испытаний различных средств подвижного железнодорожного состава, автотранспортных средств, перевозимых в них грузов, космических аппаратов, агрегатов ракет-носителей и других конструкций и сборок на воздействие эксплуатационных и транспортировочных нагрузок.

Установку в общих чертах можно подразделить на следующие подсистемы:

- механика, состоящая из фундамента установки и оснастки;
- гидравлика, включая систему трубопроводов и присоединительные компоненты;
- электроника (система управления), предназначенная для регулирования, управления и контроля, а также сбора и обработки данных.

Виброизолированный фундамент состоит из двух фундаментных плит (габариты каждой — длина 15 м, ширина 8 м, высота 5 м, вес 1100 т). Каждая плита обезвешивается пневмоамортизаторами с резинокордными оболочками. Подача воздуха производится из баллонной батареи с номинальным давлением 23 МПа. Установлено по 10 вертикальных и 30 горизонтальных амортизаторов на каждой фундаментной плите стенда. Один вертикальный пневмоамортизатор рассчитан на нагрузку до 150 т. Благодаря этому, практически исключается передача

ча вибраций при испытаниях на конструкции зданий и сооружений и окружающую среду.

В качестве средств силового возбуждения используются гидравлические силовозбудители — гидроцилиндры. Номинальное усилие одного гидроцилиндра 250 кН. Максимальная амплитуда перемещения штока ± 150 мм. Максимальная амплитуда виброускорения на штоке ± 133 м/с². Суммарное максимальное знакопеременное усилие (8 гидроцилиндров) 2000 кН.

Каждый гидроцилиндр оборудован датчиками:

- силы, измеряющие и постоянную и переменную составляющую;
- виброускорения;
- перемещения;
- перепада давления.

Каждый гидроцилиндр оснащен сервоклапаном. Рабочей жидкостью гидроцилиндров является гидравлическое масло, которое подается с помощью маслоснабжающей станции, состоящей из насосов низкого давления (3 шт.) и высокого давления (10 шт.), объединенных в 3 линии. Каждая линия включает бак емкостью 2000 л.

Гидравлическое масло охлаждается агрегатом комбинированного типа, в котором используется водно-воздушная система охлаждения, теплопроизводительностью 1 МВт.

Система автоматического регулирования и управления включает 8-канальный генератор, 8-канальный анализатор, 8 сервоусилителей, 16 усилителей силы, по 8 усилителей виброускорения, перемещения и давления.

Для поддержания постоянного уровня сигнала при сложных режимах нагружения вводится обратная связь по заданному программой испытаний параметру (сила, перемещение, виброускорение).

Генератор тестового сигнала вырабатывает динамические управляющие сигналы для одного или нескольких каналов и представляет собой 2-канальный 12-разрядный цифро-аналоговый преобразователь (ЦАП) с ОЗУ емкостью 32 Кб и схемами управления, обеспечивающими выполнение следующих функций:

- запись мгновенных значений выходного сигнала в цифровой форме из ЭВМ во внутреннюю память генератора;
- сканирование оперативной памяти генератора с выдачей через ЦАП выходного сигнала произвольной формы в аналоговом виде (основной режим);
- индикация в цифровом виде амплитуды и частоты выходного сигнала;
- задание различных режимов работы генератора и т. д.

Анализатор уровня вибростенда DYNATEST является двухканальным цифровым вычислительным анализатором спектра реального времени. Упрощенно анализатор можно представить в виде программно-управляемого аналого-цифрового регистратора мгновенных значений сигнала, объединенного по интерфейсу с ЭВМ.

По команде ЭВМ в ОЗУ регистратора за время измерения $T = 4$ с записывается $N = 16384$ мгновенных значений анализируемого сигнала. Затем эта информация переписывается в основную память ЭВМ и обрабатывается в соответствии с реализуемым алгоритмом.

Программное обеспечение позволяет формировать нижеследующие сигналы с возможностью измерения и обработки параметров:

Стандартные функции:

- синус, 1-3 гармоники синуса;
- треугольник, положительный импульс треугольника, выпрямленный треугольник;
- пила (прямая, обратная, двухсторонняя);
- прямоугольник, положительный импульс прямоугольника;
- белый псевдосум.

Реализация сигнала возможна в двух режимах:

- на фиксированных частотах;
- плавноменяющаяся частота с заданной скоростью сканирования.

Предусмотрен режим измерения передаточной функции относительно опорного сигнала.

Измерение параметров (перемещение, ускорение, сила, деформация) осуществляется на частоте генерируемого сигнала.

Также возможна реализация полигармонического сигнала с постоянными амплитудами и распределенными по случайному закону фазами.

Требуемые уровни среднеквадратического значения в полосах частот и спектральная плотность мощности сигнала устанавливаются соответствующим выбором частот и уровнем их амплитуд.

Время реализации сигнала 4 с. Минимальный шаг установки частоты 0.25 Гц.

Есть возможность отработки импульсного нагружения, где массив данных, записываемый в ОЗУ генератора, формируется непосредственно оператором.

1. Испытательная техника / Под ред. В. В. Ключева. — М.: Машиностроение, 1982.—238 с.
2. Ленк А., Ренитц Ю. Механические испытания приборов и аппаратов. — М.: Мир, 1976.—С. 199—225.

VIBRATION LOADS TESTS OF PRODUCTS

O. M. Serbyna

The question of vibration loads effects to the products during bench tests is considered in this article. The bench structure to simulate the vibration loads is described, as well as the test station control is considered.

УДК 539.67;620.178

АНАЛИТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ВИБРАЦИОННОЙ ДИАГНОСТИКИ ОБОЛОЧЕК АЭРОКОСМИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ

© О. А. Титова

Запорізький державний університет

Розглядаються коливання замкнутої кругової циліндричної оболонки, яка має на зовнішній поверхні тріщину. Форма коливань оболонки вибирається в залежності від орієнтації та місця знаходження тріщини на оболонці. Тріщина «дихає»: вважається, що у процесі коливань вплив тріщини проявляється лише на одному із півциклів коливань. На цьому проміжку часу змінюються параметри коливань оболонки, що дозволяє проводити діагностику.

Элементы аэрокосмических конструкций работают в напряженных режимах. Ввиду этого при эксплуатации возникают повреждения, которым предшествует появление значительных по размеру усталостных трещин. Известен ряд методов, позволяющих проводить диагностику таких повреждений оболочечных конструкций.

Наиболее удобными являются методы неразрушающего контроля, в частности методы вибрационной диагностики.

Рассматриваются колебания замкнутой круговой цилиндрической оболочки. Уравнения этих колебаний могут быть выбраны в виде [2]