

Д.А. ГОЛУШКО,
А.В. ЗАТЫЛКИН, Н.К. ЮРКОВ

**Исследование динамических
характеристик технических систем**

УДК 623-4

ФГБОУ ВПО
«Пензенский
государственный
университет»,
г. Пенза

Проведен анализ модели распространения стоячих волн в упругой пластине с конечными размерами. Полученные результаты позволили установить, что для возбуждения всех форм колебаний пластины необходимо учитывать фазовый сдвиг в точках её крепления, а возбуждение ассиметричных форм собственных колебаний при синфазном вибрационном воздействии в точки крепления невозможно. Эти данные позволили разработать методику возбуждения резонансов на всех собственных формах путем введения в вибрационное воздействие разности фаз в продольном, поперечном и диагональном направлении объекта исследования.

Введение

Одним из главных, основополагающих принципов испытаний технических систем (ТС) является принцип эквивалентности испытательных режимов режимам эксплуатации. Несмотря на значительные достижения в области стендовых испытаний, надежность функционирования ТС в реальных условиях эксплуатации во многом не удовлетворяет современным требованиям [1, 2]. По оценкам специалистов до 50% отказов ТС вызвано несоответствием стендовых испытаний и реальных условий эксплуатации [3].

Поэтому в общей проблеме повышения надежности ТС задача разработки новых методов и средств повышения эффективности стендовых испытаний является актуальной. В связи с этим

необходимо провести анализ распространения стоячих волн в одномерных (стержни) и двумерных (пластины) элементах, к набору которых можно свести любую конструкцию ТС [4-6].

Модель распространения стоячих волн в упругой пластине с конечными размерами

В любой упругой пластине конечных размеров на резонансных частотах возникают стоячие волны, т. е. такие колебания, при которых все точки колеблются с одной частотой и в одной фазе [7].

Типы возможных стоячих волн пластины зависят от ее геометрической формы, скорости распространения волн в материале пластины и граничных условий: края пластинки могут быть закреплены, могут быть свободны. В первом случае на границе будут располагаться узлы стоячей волны, во втором – пучности.

Для проведения анализа возникновения стоячих волн в пластине выберем в качестве граничных условий крепления четыре точки находящиеся в углах пластины (что соответствует практической задаче крепления печатного узла в корпусе ТС). Если задать декартовую систему координат, так чтобы ее оси совпадали с краями пластинки (Рис. 1), то функции, описывающие колебания пластинки имеют вид:

$$U(x, y, t) = A[\sin(k_x x)\sin(k_y y)], \quad (1)$$

где k_x, k_y – волновые числа, значения которых определяются граничными условиями.

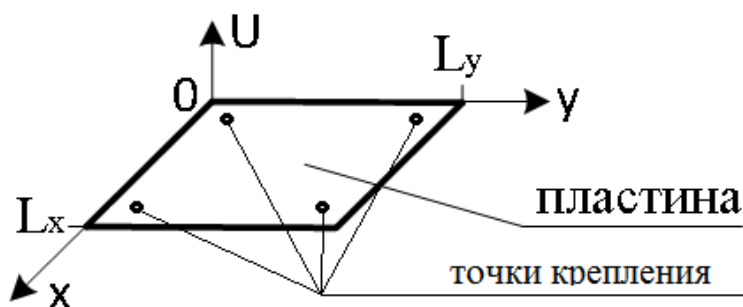


Рис. 1. Геометрическая модель пластины

Так как углы пластинки закреплены, то ее возмущения должны обращаться в нуль: при $x = 0, y = 0$; $y = L_y, x = L_x$, что выполняется автоматически; и при $x = L_x, y = L_y$, (L_x, L_y - длины сторон

пластины, направленных вдоль оси Ox и Oy соответственно). Последнее условие накладывает ограничения на возможные значения параметра k_x , так как для его удовлетворения следует положить

$$k_x L_x = jx\pi, \quad (2)$$

где $j = \pm 1, \pm 2, \pm 3 \dots$

Следовательно, волновое число k_x при вхождении пластины в резонанс может принимать значения:

$$k_x = jx\pi L_x.$$

Аналогичные рассуждения (2) приводят к следующим значениям волнового числа k_y

$$k_y = jy\pi L_y.$$

Таким образом, форма собственных колебаний пластины на резонансных частотах определяется двумя целыми числами j_x, j_y – каждое из которых равно числу пучностей волны вдоль соответствующих сторон пластинки.

Анализ собственных форм пластины при синфазном воздействии

На основе проведенных рассуждений в прямоугольной пластине с четырьмя точками крепления построены два возможных типа стоячей волны с различными значениями параметров k_x и k_y (рис. 2). Воздействие в точках крепления синфазное.

Поскольку при возникновении резонанса фаза колебаний точки на поверхности волны (в центре пучности) отстаёт от возбуждающего воздействия на 90° , то направление движения точек крепления показано (стрелками) противоположно форме ближайшей пучности [8-12].

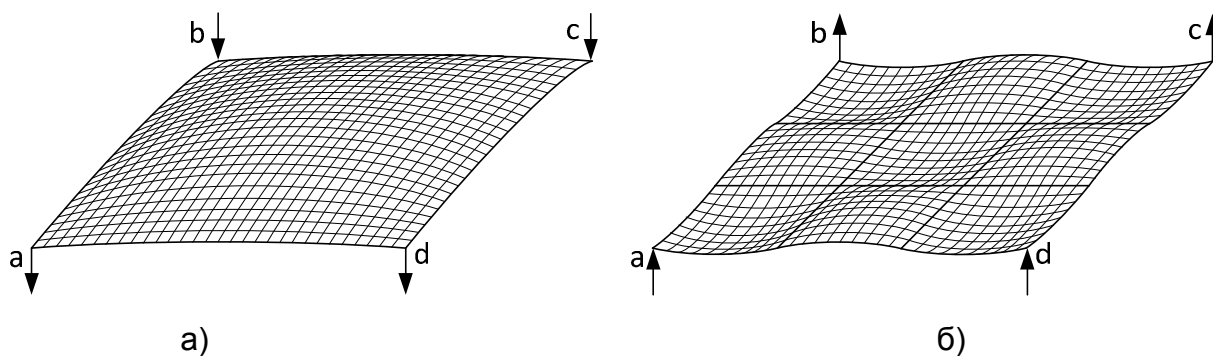


Рис. 2. Формы собственных колебаний пластины на первой резонансной частоте (а – $j_x = 1, j_y = 1$; б – $j_x = 3, j_y = 3$)

Понятно, что формы собственных колебаний пластины на других резонансных частотах так же зависят от этих двух целочисленных параметров – j_x и j_y (рис. 3). Жирными линиями показаны узловые линии.

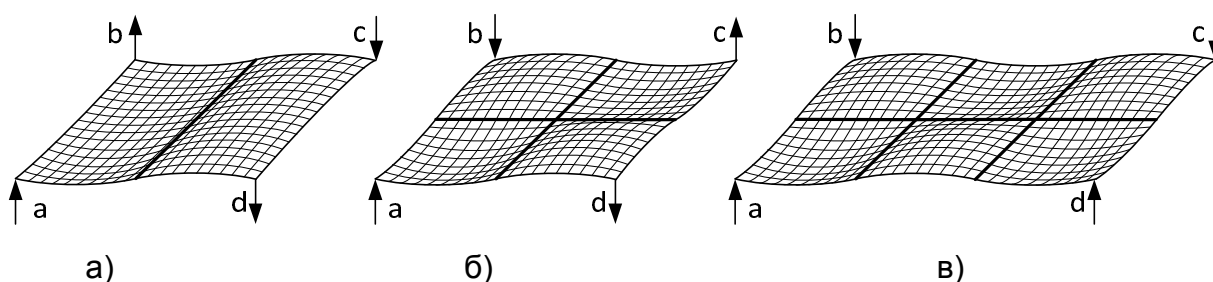


Рис. 3. Формы собственных колебаний пластины (а – при $j_x = 1, j_y = 2$; б – $j_x = 2, j_y = 2$; в – $j_x = 2, j_y = 3$)

Возбуждение таких ассиметричных форм собственных колебаний при синфазном вибрационном воздействии в точки крепления невозможно. При этом следует учитывать, что когда амплитуда стоячей волны максимальна (фаза равна 90°), а направление движения меняет знак на противоположный – фаза возбуждающих колебаний уже равна 180° и направление движения противоположно форме ближайшей пучности, а ускорение движения максимально [13-16].

Следовательно, полностью симметричная форма колебаний получается только при нечетных значениях обоих параметров j_x и j_y . Поэтому для возбуждения всех собственных форм при

передаче вибросилового воздействия пластине необходимо учитывать фазовый сдвиг в точках её крепления.

Колебания такой пластины в реальных условиях могут иметь более сложную форму, но любая из них представима в виде суперпозиции собственных колебаний, описываемых уравнением (1). Любая возможная форма колебаний при возбуждении гармоническим сигналом одной частоты может быть получена при одном из трёх возможных вариантов фазового сдвига: точки a , b противофазны c , d ; точки a , d противофазны b , c ; точки a , c противофазны d , b .

Методика проведения испытаний для определения динамических характеристик объектов

Поведение конструкции в резонансе отличается увеличением амплитуды вибрации, фазовый сдвиг между приложенной силой и реакцией и изменение полного сопротивления вибровозбудителя.

Проведение анализа амплитудно-частотной характеристики объекта дает адекватную информацию о четко разделенных резонансах измеренных в центре пучности, но графики, на которых вершины кривых резонансов слабо выражены вследствие измерения вблизи узловых линий колебаний сложно интерпретировать [5].

На собственных частотах, конструкция будет вибрировать по определенной форме, называемой формой моды. Эти частоты также являются резонансами конструкции и характеризуются минимальным значением на кривых механического импеданса и максимальным - на кривых подвижности.

Спектр подвижности можно определить при помощи синусоидального колебания с приложением постоянной силы, вырабатываемой возбудителем и направленной на конструкцию [6]. Сила затем передается толкателем и поддерживается на постоянном уровне при помощи электромагнитной обратной связи. Реакция измеряется акселерометром, после чего передается на регистратор, который синхронизирован с частотой генератора.

Аналогичным способом, а именно поддержанием постоянной скорости и измерением силы, можно определить и спектр импеданса. Отличительной особенностью импедансной частотной

характеристики (ИЧХ) является полное отсутствие влияния средств измерения на объект исследования, что очень важно для исследования таких малогабаритных конструкций как печатные платы.

Индикация резонансов по вершинам кривых ИЧХ точна и показательна, но имеет серьёзный недостаток при определении опасных деформаций: ни величину виброперемещения ни виброскорости по ИЧХ в достаточных точных пределах определить невозможно. Однако точные значения резонансных частот сами по себе важные и нужные характеристики объекта исследования, опираясь на которые можно более точно и за более короткое время определить требуемые величины динамических характеристик.

С учетом вышесказанного разработана методика проведения испытаний для определения динамических характеристик объектов, диаграмма которой представлена на рисунке 3.

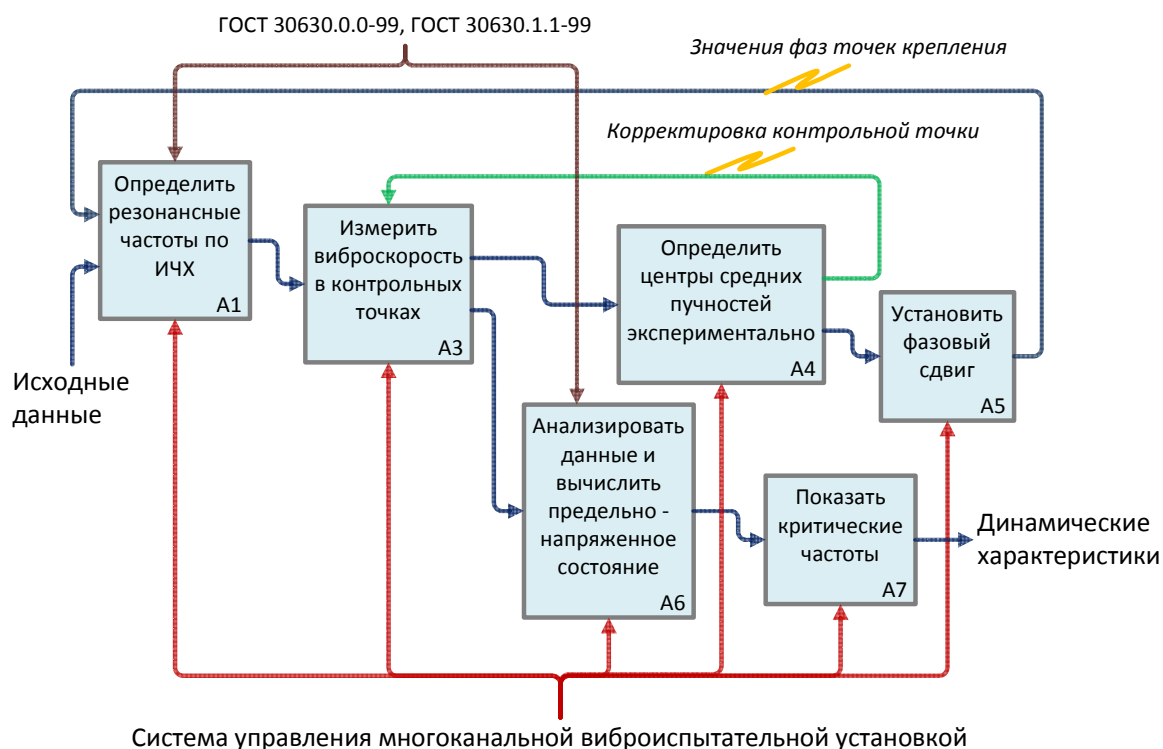


Рис. 3. Диаграмма IDEF0 методики определения динамических характеристик технических объектов

Суть методики состоит в возбуждении резонансов на всех собственных формах, в установленном диапазоне частот, путем введения в вибрационное воздействие разности фаз в продольном, поперечном и диагональном направлении объекта исследования,

бесконтактном определении собственных частот и выборе оптимальной точки измерения частотных характеристик для устранения искажений связанных с попаданием в узловые точки колебаний.

Корректировка точки измерения осуществляется анализом полученных амплитуд в процессе проведения испытаний.

Значения характеристик внешних факторов, действующих на аппаратуру, устанавливаются в соответствии с классификационными группами и данными, приведенными в таблицах разделов 5-11 ГОСТ РВ 20.39.304-98, исходя из анализа условий её функционирования в составе объекта ВВТ и измеренных значений параметров ВВФ на объекте ВВТ в условиях его эксплуатации и боевого применения.

Выводы

Таким образом, при проведении анализа модели распространения стоячих волн в упругой пластине с конечными размерами, выявлено, что полностью симметричная форма колебаний пластины получается только при нечетных значениях параметров j_x и j_y . На основе этого сделан вывод, что при передаче вибросилового воздействия пластине необходимо учитывать фазовый сдвиг в точках её крепления. Разработана методика возбуждения резонансов на всех собственных формах, в установленном диапазоне частот, путем введения в вибрационное воздействие разности фаз в продольном, поперечном и диагональном направлении объекта исследования и определении оптимальной точки измерения частотных характеристик для устранения искажений связанных с попаданием в узловые точки колебаний.

Литература

1. Юрков, Н.К. К проблеме обеспечения безопасности сложных систем / Н.К.Юрков // Надежность и качество – 2011: труды Международного симпозиума: в 2 т. /под ред. Н.К. Юркова. – Пенза: Изд-во ПГУ, 2011. – 1 т. – с. 104-106.
2. Система управления проектными исследованиями радиотехнических устройств / Затылкин А.В. // Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Вычислительный центр им. А.А. Дородницына Российской

академии наук. Москва, 2012. Остроменский, П.И. Вибрационные испытания радиоаппаратуры и приборов / П.И. Остроменский // Новосибирск: изд. Новосиб. ун-та, 1992. – 173с.

3. ГОСТ 30630.1.8-2002 (МЭК 60068-2-57:1989) Методы испытаний на стойкость к механическим внешним воздействующим факторам машин, приборов и других технических изделий. Испытания на воздействие вибрации с воспроизведением заданной акселерограммы процесса.

4. Александров, А.В. Основы теории упругости и пластичности / А.В. Александров, В.Д. Потапов // – М.: Высш. шк., 1990. – 400с.

5. Затылкин, А.В. Исследование влияния деформационной составляющей внешнего вибрационного воздействия на надёжность радиоэлектронных средств / Затылкин А.В., Голушко Д.А., Рындин Д.А. / Труды международного симпозиума Надёжность и качество. 2013. Т. 2. С. 42-43.

6. Голушко, Д. А. Методика проведения испытания электронных средств на стойкость к внешним вибрационным воздействиям с учетом их конструктивных особенностей / Голушко, Д. А. // Труды международного симпозиума Надёжность и качество. 2014. Т. 1. С. 373-376.

7. Таньков, Г.В. Моделирование тепловых процессов в стержневых конструкциях РЭС / Таньков Г.В., Затылкин А.В. // Труды международного симпозиума Надёжность и качество. 2007. Т. 1. С. 257-258.

8. Лысенко, А.В. Конструкция активного виброамортизатора с электромагнитной компенсацией / Лысенко А.В., Ольхов Д.В., Затылкин А.В. // Инновации на основе информационных и коммуникационных технологий. 2013. Т. 1. С. 454-456.

9. Затылкин, А.В. Модели и методики управления интеллектуальными компьютерными обучающими системами / Затылкин А.В. // автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Пензенский государственный университет. Пенза, 2009.

10. Затылкин, А.В. Опыт применения технологии egm в разработке интеллектуальных средств обучения / Затылкин А.В., Буц В.П., Юрков Н.К. // Известия Южного федерального университета. Технические науки. 2011. № 5 (118). С. 218-223.

11. Затылкин, А.В. Управление исследованиями моделей радиотехнических устройств на этапе проектирования / Затылкин А.В., Леонов А.Г., Юрков Н.К. // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. 2012. № 1. С. 138-142.

12. Затылкин, А.В. Система управления проектными исследованиями радиотехнических устройств / Затылкин А.В. // автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Вычислительный центр им. А.А. Дородницына Российской академии наук. Москва, 2012.

13. Затылкин, А.В. Исследование моделей радиотехнических устройств на ранних стадиях проектирования / Затылкин А.В. // Современные информационные технологии. 2011. № 14. С. 113-118.

14. Затылкин, А.В. Система управления проектными исследованиями радиотехнических устройств / Затылкин А.В. // диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Вычислительный центр им. А.А. Дородницына Российской академии наук. Москва, 2012.

15. Таньков, Г.В. Волновой метод исследования динамических характеристик упругих конструкций радиоэлектронных средств при нестационарном

нагрузении / Таньков Г.В., Затылкин А.В., Рындин Д.А. // Вестник Пензенского государственного университета. 2013. № 2. С. 101-107.

16. Садыков, С.С. Технология выделения области кисты на маммограмме/Садыков С.С., Захарова Е.А., Буланова Ю.А.//Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. 2013. №1(43). С. 7-12.

17. Затылкин, А.В. Исследование влияния деформационной составляющей внешнего вибрационного воздействия на надёжность радиоэлектронных средств / Затылкин А.В., Голушко Д.А., Рындин Д.А. // Труды международного симпозиума Надёжность и качество. 2013. Т. 2. С. 42-43.

ГОЛУШКО ДМИТРИЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ,

ТЕЛ. (8-8412) 368-212;

ЗАТЫЛКИН АЛЕКСАНДР ВАЛЕНТИНОВИЧ,

ТЕЛ. (8-8412) 368-212;

ЮРКОВ НИКОЛАЙ КОНДРАТЬЕВИЧ,

ТЕЛ. (8-8412) 368-212.