Таблица 4

	Тпир, С	Тконт, С
Объект: медная пластина Контакт: точка	120	93,7
	100	80,7
	80	63,6
	60	47,2
	40	35,7
	20	20
Объект: медная пластина; Контакт: пятно d=3; (С использованием термопасты КТ-6)	120	119,3
	100	99,4
	80	79,6
	60	59,8
	40	39,9
	20	20
Объект: окрашенный металл; Контакт: точка	100	73,2
	80	65,5
	60	52,7
	40	38,1
	20	20
Объект: окрашенный металл; Контакт: пятно d=3; (С использованием термопасты КТ-6)	100	99,3
	80	79,5
	60	59,8
	40	39,9
	20	20
Объект: Пластиковая пластинка	100 (контакт точка)	68,9
	100 (контакт пятно d=3)	98,9

Примечание - В ходе испытаний пластиковых изделий не удалось в должной мере использовать пирометр, поэтому измерения проводились только для температуры в 100 С.

Дубоделова Д.А., Абрамешин А.Е., Лыпов С.М., Увайсов С.У.
МИЭМ, г.Москва, Россия

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ КОСМИЧЕСКОЙ АППАРАТУРЫ НЕРАЗРУШАЮЩИМИ МЕТОДАМИ ВИБРОУДАРНОЙ ДИАГНОСТИКИ

К надежности бортовых устройств систем управления космических аппаратов (КА) предъявляются все более высокие требования. Это обусловлено рядом причин. Во-первых, возросло время активного функционирования бортовых устройств систем управления. Во-вторых, все большую долю занимают космические аппараты многоразового использования. В-третьих, жесткая конкуренция на мировом рынке электронных средств для КА заставляет искать пути обеспечения лучшего качества своей продукции.

В нашей стране, традиционно, для обеспечения заданных показателей надежности проводится пооперационный контроль и выходные испытания на воздействие внешних факторов. Для обеспечения надежности многоразовых устройств перед очередным запуском проводится разрушающий физический анализ. Такой подход является трудоемким, трудно автоматизируемым и требует больших временных и материальных затрат.

Современные космические аппараты (в т.ч. и искусственные спутники) насыщены разнообразными и сложными бортовыми радиотехническими устройствами (БРТУ). На всех этапах запуска и полета космических аппаратов надежная работа БРТУ имеет огромное значение. Средствами БРТУ производятся многочисленные эксперименты, а также мониторинг состояния и условий работы элементов конструкций и различных узлов космического аппарата на стадиях эксплуатации в космических условиях, результаты которых передаются на Землю. БРТУ обеспечивают нормальное функционирование космических аппаратов на орбите, должную их ориентацию, стабилизацию положения космических аппаратов в пространстве, решают задачи навигации.

БРТУ КА подвергается воздействиям, которые предъявляют высокие требования к механической стабильности и долговечности электронной аппаратуры. Одним из факторов космического полета является работа в условиях невесомости. На земле любые конструкции деформируются под действием собственного веса.

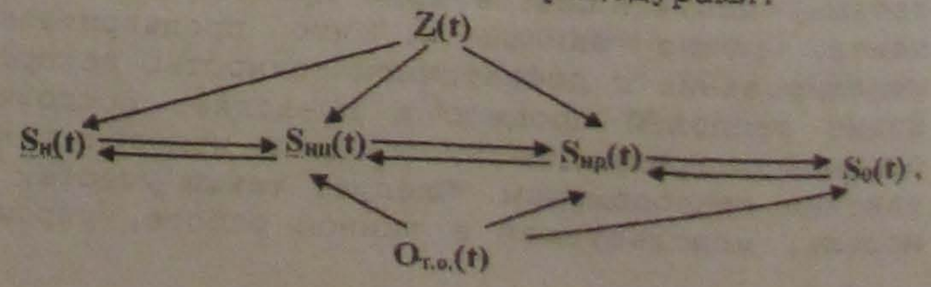
После выведения на орбиту, в невесомости, механические элементы распрямляются, вызывая перекосы всей конструкции. Дополнительные трудности вызывает тот факт, что длительная невесомость невозможна в наземных условиях, и во время испытаний невозможно точно проверить, как поведет себя конструкция в космосе.

БРТУ работают в сложных постоянно меняющихся условиях, в процессе изготовления (реже) и эксплуатации (чаще) подвергаются воздействию различных внешних факторов, результатом которых являются деградационные процессы, ухудшающие параметры и приводящие, в конце концов, к отказу аппаратуры, т.е. к выходу одного или нескольких параметров за пределы допусков или к полному прекращению функционирования. По совокупности отрицательные воздействия можно разделить на две группы: климатические и механические. Климатические воздействия подразделяются на воздействие температуры, влажности, солнечной радиации. Механические воздействия - это удары, вибрации, ускорения и звуковые давления.

Очевидно, что комплексное влияние различных факторов (радиация, старение, температура и т.д.) ещё более пагубно для БРТУ КА.

В тоже время, современные методы проектирования систем управления КА, основанные на принципах CALS-технологий, дают широкие возможности для решения задач контроля и диагностики за счет математического моделирования и информационного обеспечения на этапах жизненного цикла устройства. Математическое моделирование на ЭВМ позволяет в короткие сроки провести виртуальный эксперимент для исследования и получения необходимых характеристик БРТУ.

Вследствие воздействия деградационных процессов радиотехническое устройство (РТУ) объективно стремиться перейти в другое, «худшее» состояние. Это стремление должно «парироваться» ремонтно-восстановительными процедурами:



где Sн(t), Sни(t), Sнр(t) и S0(t) – соответственно исправное, неисправное, неработоспособное и отказовое состояния РТУ, Z(t) – внешнее возмущение; От.о.(t) – оператор технического обслуживания, противодействующий деградации и расходу ресурса путем выполнения восстановительных и ремонтных процедур.

Степень воздействия оператора От.о.(t) должна быть пропорциональна изменению технического состояния БРТУ:

$$O_{т.о.}(t) = R\Delta S(t).$$

Следовательно, прежде чем воздействовать на БРТУ, надо определить его техническое состояние.

На рисунке 1 представлена диаграмма причин отказов элементов в РТУ.

Рисунок 1 – Распределение причин отказов элементов в РТУ

Для диагностирования дефектов возникших в результате воздействий внешних факторов (тепловых, механических, радиационных и др.) разработано множество методов и средств.

Можно выделить следующие методы диагностирования РТУ:

- электрические;
- тепловые;
- оптические;
- магнитные;
- вихретоковые;
- радиоволновые;
- вибрационные;
- акустические.

На рисунок 2 изображен график покрытия различными методами диагностирования пространства отказов. Однако показанные на рисунок 2 методы не позволяют выявлять приведенные ранее скрытые дефекты, возникающие в конструкциях БРТУ.

На основании приведенного анализа можно делать вывод о необходимости расширения спектра возможных методов диагностирования, которые позволят значительно улучшить качество аппаратуры.

В работе предлагается виброударный метод диагностики, как средство, позволяющее дополнить уже существующие методы, так и как самостоятельный метод.

На кафедре Московского государственного института электроники и математики по заказу РКК «Энергия» был разработан и внедрен метод диагностирования дефектов БРТУ на основе анализа поведения конструкции при вибрационном воздействии в заданном диапазоне частот. В данном методе анализируются три вида диагностических признаков:

1) электрические характеристики;
2) механические амплитудно-частотные характеристики;
3) акустические сигналы.

Это позволяет выявлять скрытые дефекты, возникающие в конструкциях БРТУ и влияющие на надежность и функционирование устройства.

На рисунке 3 представлена блок-схема данного метода.

Математическая модель БРТУ (рисунок 3 бл. 6) наследуется с расчетов электрических и механических режимов работы на этапе проектирования.

Для расчета U(t), A(ω) (АЧХ) и B(ω) (АС) формируется список дефектов q_j (рисунок 3 бл. 9) и допуски на параметры Q (рисунок 3 бл. 10). Допуски на параметры необходимы для расчета порогового значения выходной характеристики. Для этого при расчете (рисунок 3 бл. 7) используется численный метод Монте-Карло. Рассчитанные в блоке 7 характеристики, соответствующие различным неисправностям, записываются в базу неисправностей (БН) в виде функций U(t), A(ω) и B(ω).

При диагностировании на БРТУ (бл. 2) подаются тестовые электрические сигналы (бл.3) и механические воздействия (бл.1). Далее в контрольных точках измеряются напряжения U(t).

В местах крепления электрических, механических и акустических датчиков измеряются электрические U(t), механические амплитудно-частотные A(ω) и акустические B(t) характеристики. В блоке предварительной обработки (рисунок 3 бл. 8) полученные характеристики интерполируются и приводятся к единой частотной сетке. Временные диаграммы (АС и ускорения при ударе) проходят Фурье преобразование, интерполяцию и приводятся к единой частотной сетке.

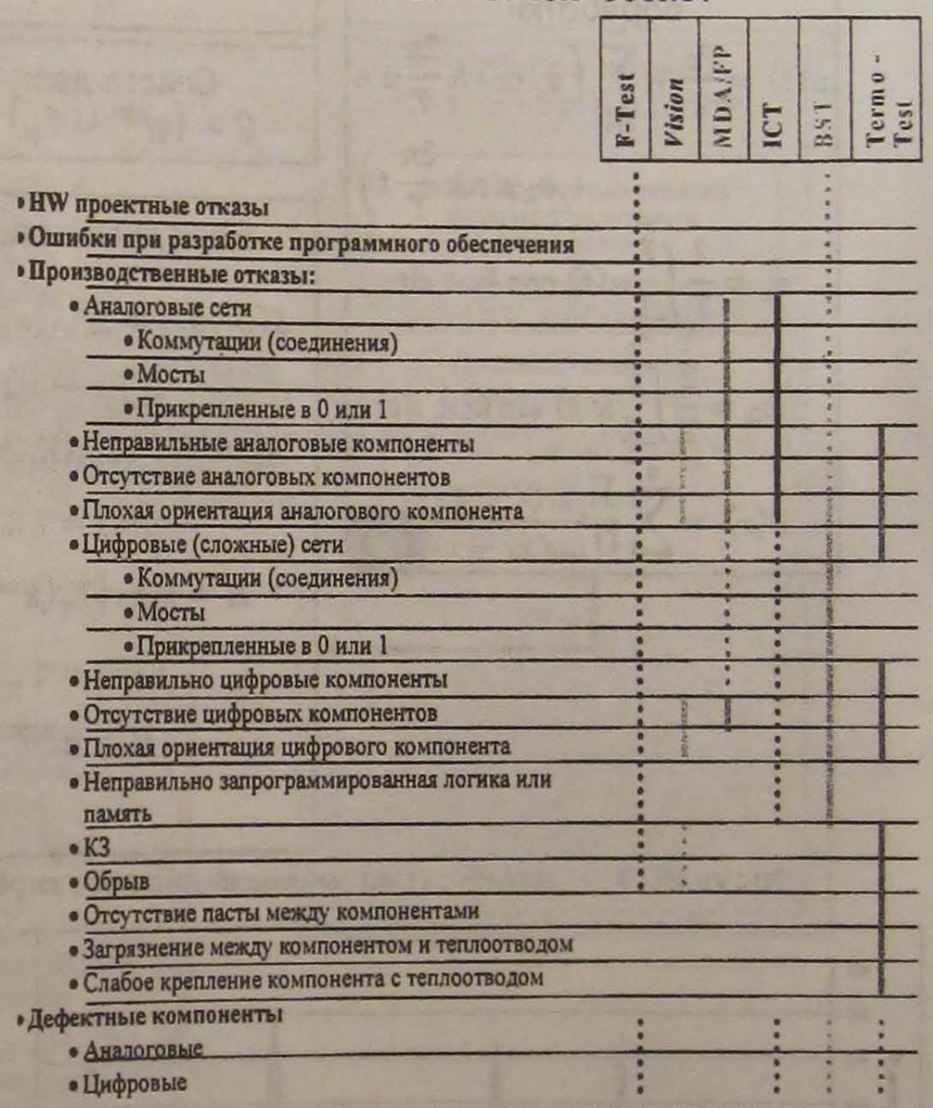


Рисунок 2 – График покрытия различными методами диагностирования пространства отказов.
BST- (Boundary-ScanTechnology) технология граничного сканирования,
F-Test – функциональное, Vision – оптическое тестирование, Termo-Test – тепловое тестирование, MDA/FP – анализ производственных дефектов, ICT – (In-CircuitTesting) внутрисхемного цифрового функционального тестирования

Для определения типа дефекта в конструкции БРТУ рассчитывается коэффициент корреляции между характеристикой, полученной путем эксперимента, и каждом из параметров, полученных при моделировании для данной контрольной точки. Максимальное значение коэффициента корреляции определяет тип дефекта. По результатам расчетов в блоке 11 интерпретируется диагноз в блоке 13.

После определения технического состояния конструкции БРТУ проводится диагностирование по электрическим характеристикам.

Практическое использование данного метода показало, что он не позволяет выявить полный спектр имеющихся дефектов. Поэтому в качестве дополнения было добавлено исследование влияния ударных воздействий на конструкции БРТУ.

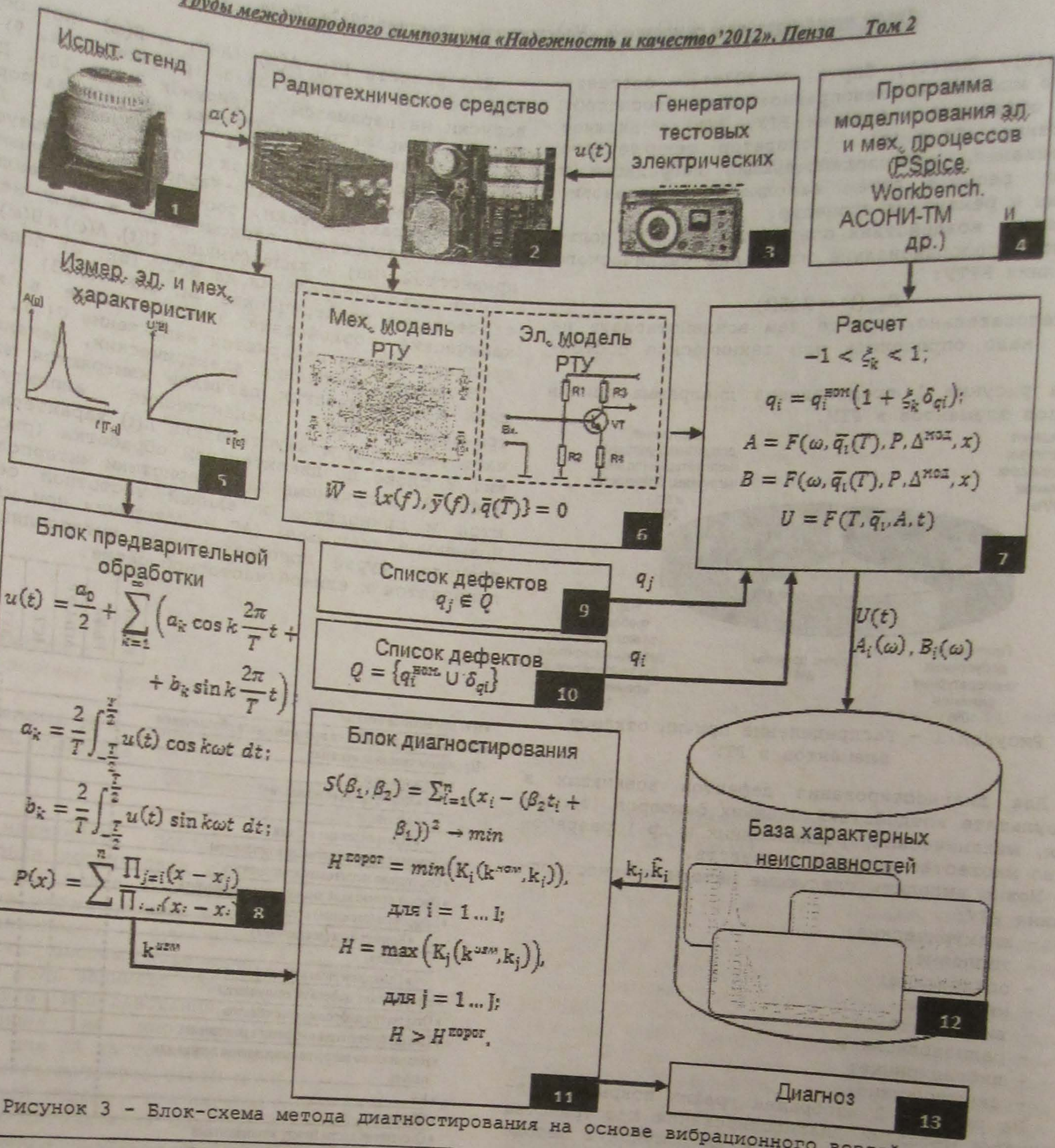


Рисунок 3 - Блок-схема метода диагностирования на основе вибрационного воздействия

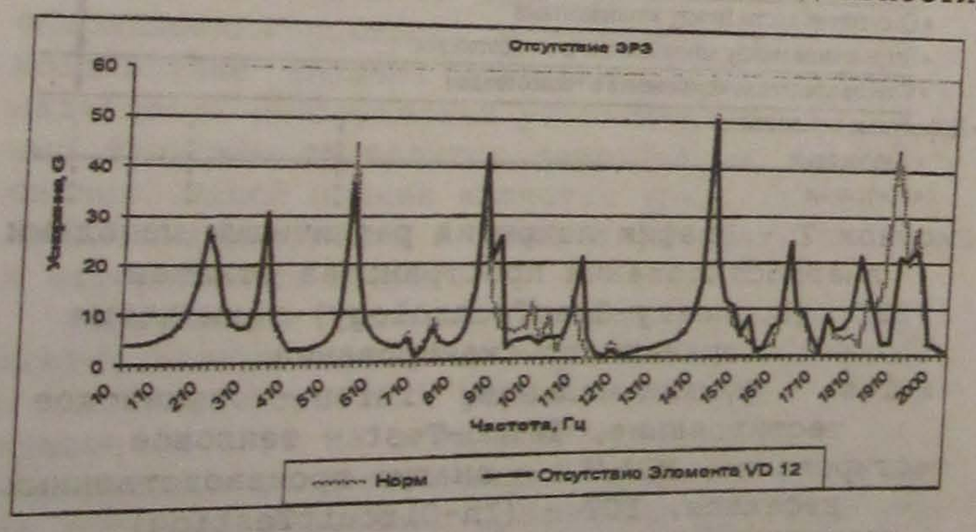


Рисунок 4 - Изменение АЧХ конструкции при внесении дефекта в конструкцию

Процесс диагностирования по ударным характеристикам по своей сути повторяет вибрационный. Различие состоит в характере подаваемых воздействий и виде получаемых характеристик. Воздействием в данном случае является одиночный удар, а выходная характеристика реакции конструкции представляет собой зависимость ударного ускорения конструкции от длительности ударного импульса.

На рисунок 4 представлен вид получаемых характеристик и показано влияние дефекта на поведение выходной характеристики.

Как видно из рисунка, наличие дефекта изменяет выходную характеристику, что позволяет говорить о возможности выявления того ил иного дефекта данным способом.

Взаимное дополнение вибрационного и ударного методов позволяет охватить более широкий спектр дефектов, за счет разницы в параметрах исследуемых характеристик. Это позволит повысить эксплуатационную надежность космической аппаратуры.

ЛИТЕРАТУРА

1. Воловиков В.В. Разработка метода комплексного моделирования физических процессов при автоматизированном проектировании бортовых электронных устройств /Дисс. канд. техн. наук. – М.: МИЭМ, 2004. - 193 с.

2. Давыдов П. С. Техническая диагностика радиоэлектронных устройств и систем — М.: Радио и связь, 1988.

3. Вибродиагностика блоков радиоэлектронных средств. Иванов И.А., Увайсов С.У., Увайсов Р.И. Труды международного симпозиума "Надежность и качество". 2009. Т. 2. С. 75-77.

4. Расчет механических характеристик конструкции блока управления антенными переключателями. Дубоделова Д.А., Иванов И.А., Увайсов Р.И., Увайсов М.М. Труды международного симпозиума "Надежность и качество". 2011. Т. 2. С. 392-396.