

МОДЕЛИРОВАНИЕ СОБСТВЕННЫХ РЕЗОНАНСНЫХ ЧАСТОТ И МЕХАНИЧЕСКИХ НАПРЯЖЕНИЙ В МОДУЛЯХ ЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Бержанин Д. А.

Ланин В. Л. – д-р. техн. наук, профессор

Одним из важнейших показателей надежности устройства, определяемого на этапе проектирования, является вибропрочность. Поэтому на этапе проектирования необходим анализ свободных механических колебаний, который проводится с целью определения собственных частот и форм колебаний элементов конструкции.

В правильно сконструированной аппаратуре собственная частота конструкции не должна находиться в спектре частот внешних воздействий. Хотя любая конструкция обладает несколькими значениями собственных частот, однако расчет выполняется только для низших значений, поскольку деформации конструкций в этом случае будут максимальными. Если низшее значение собственной частоты входит в диапазон внешних воздействий, то конструкцию дорабатывают с целью увеличения и выхода из спектра частот внешних воздействий. Поэтому на этапе проектирования необходим анализ свободных механических колебаний, который проводится с целью определения собственных частот и форм колебаний элементов конструкции. Расчет свободных механических колебаний проводится без учета динамических нагрузок, но является первым и обязательным шагом при решении более сложных динамических задач.

В качестве программы, позволяющей применить метод конечных элементов для поиска и анализа значений собственных частот и форм волн, выбран пакет ANSYS. Методика анализа колебаний включает: создание геометрической модели, задание свойств материалов и граничных условий, настройка опций расчета, выбор варианта закрепления конструкции (при необходимости), просмотр и анализ результатов.

Дифференциальное уравнение свободных колебаний является частным случаем общего уравнения движения [1]:

$$[M]\{\ddot{x}\} + [K]\{x\} = 0,$$

где M – масса, K – коэффициент упругости.

При расчете свободных колебаний закрепление конструкции не является обязательным условием расчета, как в задачах статики; форма свободных колебаний вычисляется в относительных единицах и не позволяет определить абсолютные смещения.

В данном анализе объекты, напрямую не влияющие на прочность устройства и имеющие незначительные массы, представлены условно. Платы печатные с элементной базой также изображены условно, так как их массовые характеристики не оказывают значительного влияния на расчет; их физические свойства, необходимые для расчета, усреднены.

В анализе свободных вибраций не задаются конструкционные и тепловые нагрузки, которые могут быть учтены только как предварительные, в данном анализе расчет ведется при температуре 22 °С.

В заданном диапазоне частот (от 0 до 150 Гц) при анализе было выявлено 6 резонансных частот. Три первых выявленных резонансных частоты очень близки к 0 Гц. Это частоты, соответствующие жесткому движению конструкции – нулевые значения колебаний со смещением положения сборки. В итоге резонансы устройства: 30,1 Гц, 81,8 Гц, 97,6 Гц. В отличие от статического линейного анализа при расчете свободных вибраций предотвращение жесткого движения тел не является обязательным условием [2].

Рассмотрим возникающие напряжения в наиболее ответственных местах конструкции. Это места соединения несущих пластин, места крепления материнской платы к корпусу и крепления лючков к задней крышке устройства. Расчетные параметры – напряжения, деформации – вычисляются относительными, поскольку не задается возбуждение конструкции внешними силами. Первый ответственный тип соединений (рис. 1) в рассматриваемом устройстве – места соединения пластин (потайные винты М3х12 в местах контакта с пластиной корпуса).

По результатам моделирования видно, что между резонансной частотой и напряжением нет функциональной зависимости. Так на резонансной частоте 30,1 Гц максимальная нагрузка приходится на винт и составляет $120 \cdot 10^9$ Па, на частоте 81,8 Гц – $69 \cdot 10^9$ Па, на частоте 97,6 Гц – $160 \cdot 10^9$ Па.

Второй ответственный тип соединений (рис. 2) – места крепления материнской платы (потайные винты М3х10 в местах контакта с пластиной корпуса). Результат моделирования позволяет сделать вывод, что напряжения, возникающие в конструкции, возрастают с увеличением резонансной частоты. Так на резонансной частоте 30,1 Гц максимальная нагрузка приходится на винт и составляет $15 \cdot 10^9$ Па, на частоте 81,8 Гц – на винт и составляет $16 \cdot 10^9$ Па, на частоте 97,6 Гц максимум нагрузки приходится на кромку крепежного отверстия и составляет $67 \cdot 10^9$ Па.

Третий ответственный тип соединений (рис. 3) – места крепления лючков к корпусу (потайные винты М2,5х4 в местах контакта с запрессованными втулками KF2-M2,5).



Рис. 1 – Контакт «винт М3х12 – пластина корпуса» на резонансной частоте 30,1 Гц

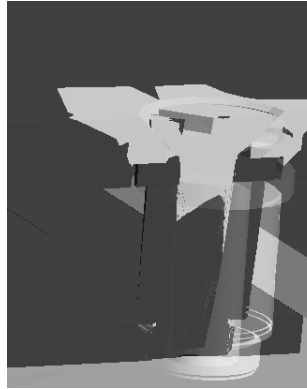


Рис. 2 – Контакт «винт М3х10 – пластина корпуса» на резонансной частоте 30,1 Гц

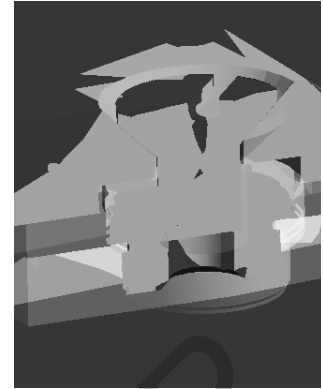


Рис. 3 – Контакт «винт М2,5х4 – втулка» на резонансной частоте 30,1 Гц

Так на резонансной частоте 30,1 Гц максимальная нагрузка приходится на втулку и составляет $49 \cdot 10^9$ Па, при этом нагрузка на кромку отверстия составляет $15 \cdot 10^9$ Па; на частоте 81,8 Гц максимальная нагрузка приходится на втулку и составляет $170 \cdot 10^9$ Па, при этом нагрузка на кромку отверстия фактически равна максимальной нагрузке на узел и составляет $140 \cdot 10^9$ Па; на частоте 97,6 Гц максимальная нагрузка приходится на втулку и составляет $150 \cdot 10^9$ Па.

Гистограммы распределения напряжений по типам соединений и резонансным частотам (в условных единицах) выглядит следующим образом (рис. 4, 5):

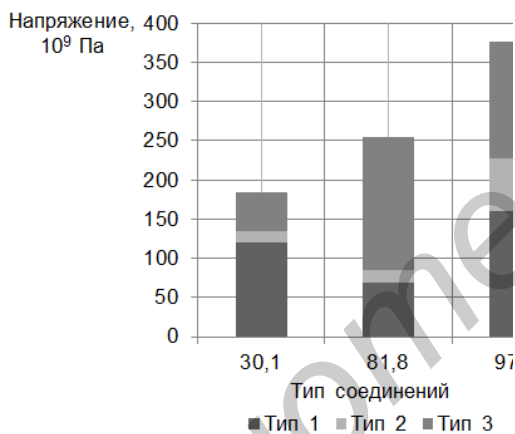


Рис. 4 – Гистограмма распределения напряжений по типам соединений

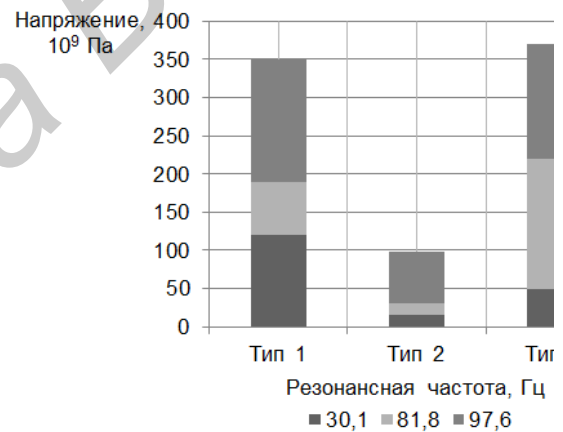


Рис. 5 – Гистограмма распределения напряжений по резонансным частотам

Для предотвращения отвинчивания крепежных элементов в конструкции мобильной системы необходимо для первого типа соединений использовать анаэробный фиксатор, для второго типа соединений – увеличить количество соединений для крепления материнской платы. Для повышения надежности резьбовых соединений третьего типа необходимо использовать анаэробный фиксатор, а также снизить массу самих люков с целью уменьшения нагрузок на крепежные элементы.

Выводы:

1. Гистограмма распределения напряжений по типам соединений позволяют наглядно определить наиболее уязвимый для вибраций тип соединений – тип 3 (места крепления люков к корпусу (потайные винты в местах контакта с запрессованными втулками)).
2. Для трех наиболее значимых типов соединений мобильной электронной системы, соответственно и для всего устройства, максимальные напряжения наблюдается на частоте 97,6 Гц.
3. Моделирование подтвердило закладываемые риски и показало места, в которых нужно повысить надежность узлов не конструктивными способами. Единственным необходимым решением по корректировке конструктива является увеличение крепежных отверстий под материнскую плату.

Список использованных источников:

1. Kent, L. L. Ansys Workbench Tutorial / L.L. Kent. Arlington: University of Texas, 2005. – 76 p.
2. Бержанин, Д. А. Моделирование собственной резонансной частоты мобильной электронной системы / Д. А. Бержанин Д. А. // 7-ая Международная научно-техническая конференция «Приборостроение - 2014» / БНТУ. – Минск, 2014. – С. 254–256.