**ОБЩАЯ МЕТОДИКА ВЫПОЛНЕНИЯ ПРОЧНОСТНЫХ РАСЧЕТОВ**

При обработки конструкций радиоэлектронной аппаратуры (РЭА), ее составных частей и деталей радиоконструктору необходимо оценить качество принятых конструкторско–технологических решений для выбора оптимального варианта или определения степени соответствия требованиям технического задания (ТЗ).

В процессе эксплуатации на несущие элементы конструкции РЭА, электроэлементы и узлы действуют различные механические силы. На стационарную РЭА действует, в основном, сила тяжести самой конструкции и ее составных частей. Аппаратура, устанавливаемая на подвижных объектах, а также стационарная РЭА во время транспортировки подвергается внешним механическим воздействиям : вибрациям (периодическим колебаниям) или ударам (кратковременно действующим силам).

В ТЗ на конструирование РЭА, как правило, регламентируется следующие параметры механических воздействий :

линейное ускорение а, м/c2, или перегрузка rп, g;

частота вибраций f, Гц, или полоса частот Δf, Гц ;

амплитуда вибраций А, мм ;

продолжительность вибраций Т, ч ;

длительность ударного импульса τи, мс ;

частота ударов в минуту ,υ ;

число ударов N.

Цель расчетов статистической, вибро– и ударопрочности конструкций – определить параметры механических напряжений в конструкциях РЭА в наихудших условиях и сопоставить их с предельно допустимыми.

Если из расчета выяснится, что прочность конструкции РЭА недостаточна, то конструктор принимает решение о вводе добавочных элементов крепления, ребер жесткости, отбортовок и других упрочняющих элементов или о применении для конструкций материалов с лучшими прочностными или демпфирующими свойствами.

Теория сопротивления материалов является основой для оценки статистической прочности конструкций РЭА.

Точная методика для расчета вибрационной и ударной прочности конструкций пока недостаточно разработана, поэтому обще принятым инженерным подходом является приведение динамических задач к статическим. При выполнении оценочных прочностных расчетов студенту следует придерживаться методики, содержащей несколько этапов :

1. выбор расчетных моделей конструкций РЭА и ее элементов ;
2. определение нагрузок, испытываемых элементами конструкций : напряжений, растяжений σр, смятия σсм, среза τср ;
3. расчет допускаемых значений прочности элементов конструкций – напряжений растяжения [σ ]р, смятия [σ ]см, среза [ τ ]ср ;
4. сравнение расчетных показателей прочности с допускаемыми.

При оценочном расчете деталей конструкций на прочность принято считать, ели расчетные напряжения σ и τ в опастных сечениях не превышают допустимых, то прочность конструкции соответствует требованиям ТЗ. Следовательно, условие обеспечение прочности выражается зависимостями :

σ ≤ [ σ ] или τ ≤ [ τ ]

В проектных расчетах параметры конструкций **а** или внешних воздействий φ, обеспечивающие требования прочности, определяются из соотношений :

а = f ([ σ ], [ τ ]); Р = φ ([ σ ], [ τ ]).

При расчете прочности конструкцию РЭА условно заменяют эквивалентной расчетной схемой, для которой известно аналитическое выражение основных колебаний f0. Основное условие замены состоит в том, чтобы расчетная схема наилучшим способом соответствовала реальной конструкции и имела минимальное число степеней свободы.

Наиболее часто применяются два вида моделей – балочное и пластинчатые.

К балочным моделям следует приводить элементы конструкций призматической формы, высота (толщена) которых мала по сравнению с длиной. Концы жестко защемлены, оперты или свободны.

К жесткому замещению приравнивают сварку, пайку и приклеивание, к опоре – винтовое закрепление.

В нижеприведенных формулах приведены виды и схемы балок при различных нагрузках и соответствующие им расчетные соотношения для определения максимального прогиба zmax, м ; максимального изгибающего момента Мизг, Н·м и частоты собственных колебаний f0 Гц.Здесь ε – модуль упругости материала, Па ; I – момент инерции, м4 ; *l* – длина, м ; М и m – масса блоков и балки, кг ; Р – сила, Н.

Пластинчатые модели студенту следует использовать для тел призматической формы, высота (толщина) h которых мала по сравнению с размерами основания *а, в*. Крепление пластин жесткое, опертое или свободное. Жесткое закрепление (нет угловых и линейных перемещений): сварка, пайка, приклеивание, закрепление несколькими винтами. Шарнирная опора (нет линейного перемещения, но возможен поворот по опертой стороне): направляющие, закрепление 1–2 винтами или разъемом. Свободная сторона пластины допускает линейные и угловые перемещения.

Собственная частота пластины с распределенной нагрузкой, Гц :

(1.1)



где K*a* – коэффициент определяемый способом крепления пластины и соотношением ее сторон *а, в*;

D = 0,09Eh3 – жесткость платы, Н·м ;



*a, в, h* – собственно длина, ширина, высота пластины, м ;



m'' = m/*ав* – распределенная по площади масса пластины, кг/м2.



Если в центре пластины сосредоточена масса М, а по площади распределена масса пластины m, целесообразно применять формулу :



(1.2)



Для пластины с числом точек крепления n = 4, 5, 6

(1.3)



где А = 1/а2 при n = 4 ; А = 4/(*а*2+*в*2) при n = 5 ; А = 1/4а2 при n = 6.

# Для круглых пластин, жестко закрепленных по контуру

(1.4)



где R – радиус пластины, м; D = 0,09Eh3 – жесткость пластины,

Н·м; m'' = 0,318m/R2 – распределенная по площади массы пластины m.

Величина прогиба Zmax, м, и частота собственных колебаний элемента конструкции f0, Гц, связаны формулой Гейгера:

Повышение прочности можно достичь, используя ребра жесткости, которые должны крепиться не только к пластине, жесткость которой они повышают, но и к опорам конструкции.

Для прямоугольной пластины, свободно опертой по контуру и имеющей ребра жесткости, параллельные осям координат.

(1.6)



где *а в* – длина и ширина пластины, м; *а*х, hx – параметры сечения ребра, параллельного оси Х, м; Вх, By – жесткости ребер, параллельных осям соответственно X и Y, Н·м,

Bx = 0,09E*a*xhx3; By = 0,09E*в*yhy3;

Mx, My – масса ребер; r, K – число ребер, параллельных осям соответственно X и Y; mn – масса пластины, кг; n, m – число полу волн в направлении осей X и Y; D – цилиндрическая жесткость пластины, Н·м.



Если ребра, параллельные оси Y отсутствуют, то

(1.7)



Расчет элементов на прочность следует проводить исходя из основных соотношений теории сопротивления материалов:

при растяжении – сжатии

σр–сж = р/s ≤ [ σ ]р–сж ;

при срезе

τср = р/s ≤ [ τ ]ср ;

при изгибе

σи = Мu / W < [ σ]u ;

при кручении

τкр = Мкр / Wp ≤ [ τ ]кр,

где Р – усилие действующее на деталь, Н ; S – площадь сечения детали, м2 ; Mu, Mкр – изгибающии и крутящии моменты, Н·м ; W, Wp – моменты сопротивления при изгибе и кручении, м3 .

Таким образом, определение нагрузок сводится к определению сил и моментов, действующих на деталь.

Нагрузки статистического режима :

а) сила тяжести P, H:P = mg, где m – масса элемента, кг; g – ускорение свободного падения g = 9,8 м/с2

б) сумма систем сил (равнодействующая),



в) момент силы, Н·м ; Mp = Ph ;

г) сумма моментов сил, Н·м :



д) момент сопротивления сечения W ;

е) момент инерции сечения I.

Нагрузки при вибрациях

P = mgηnn(1.8)

где m – масса детали с учетом массы элементов, закрепленных на ней, кг; g – ускорение свободного падения, м/с2 ; nn – вибрационная перегрузка, действующая на деталь при резонансе ; η – коэффициент динамичности, позволяющий привести задачу к статической,

(1.9)



здесь δ0 – параметр, пропорциональный коэффициенту демпфирования β,

(1.10)



К – жесткость элемента, Н/м, К = 4π2f02m ; f – частота вибраций, Гц ; f0 –частота собственных колебаний элемента, Гц.

В околорезонансной области частот

(1.11)



где ψ – логарифмический декремент затухания.

Нагрузки при ударах если принять форму ударного импульса прямоугольной, длительностью τ, то ударную нагрузку можно определить по формуле

(1.12)



где Uн – начальная скорость элемента конструкции при ударе ; Uк – конечная скорость элемента конструкции при ударе.

Начальную скорость обычно находят из равенства потенциальной и кинетической энергий, например при падении РЭА с высоты



Скорость в конце удара определяется коэффициентом восстановления К*в*.



Тогда выражение (1.12) принимает вид

(1.13)



Для более сложных форм ударных импульсов необходимо определить спектр воздействующих частот и рассчитать ударную нагрузку как взвешенную сумму спектральных составляющих.

Для моделей типа балок и пластин при падении конструкции ударная перегрузка

(1.14)



где Н – высота падения, м; Zmax – максимальный прогиб детали, м.

В качестве допускаемых параметров прочности обычно принимают допускаемые механические напряжения в конструкциях.

Допускаемые механическим напряжением называется такое безопастное напряжение, которое деталь может выдержать в течение заданного срока эксплуатации.

Допускаемое напряжение при расчете деталей на прочность определяется по формулам :

[ σ ] = σпред/n и [ τ ] = τпред/n,

где σпред, τпред – продельные значения механических напряжений ; n – запас прочности.

Определение запаса прочности при статических нагрузках. При постоянных напряжениях, возникающих при статических нагрузках, прочность хрупкого материала и материала с низкой пластичностью определяется приделом прочности σпред = σв, а пластичного – приделом текучести σпред = σт.

Запас прочности устанавливают в виде произведения частных коэффициентов :

n = n1n2n3, (1.15

где n1 – коэффициент достоверности определения расчетных нагрузок и напряжений ; при повышенной точности n1 = 1,2 – 1,5 ; для оценочных расчетов n1 = 2 – 3 ; n2 –коэффициент, учитывающий степень ответственности детали, обусловливающий требования к надежности ; для мало ответственных и не дорогих деталей n2 = 1 – 1,2, если поломка детали вызывает отказ – n2 =1,3, аварию – n2 =1,5 ; n3 – коэффициент, учитывающий однородность механических свойств материалов, который при статических нагрузках следует выбирать в зависимости от степени пластичности материала (σт/σ*в*) : при σт/σ*в* = 0,49 – 0,55 коэффициент n3 =1,2 – 1,5 ; при σт/σ*в* = 0,55 – 0,70 n3 =1,5 – 1,8 ; при σт/σ*в* = 0,7 – 0,9 n3 =1,8 – 2,2. Для деталей, отлитых из пластмасс, n3 =1,6 – 2,5 ; для хрупких однородных материалов n3 = 3 – 4 ; для хрупких неоднородных материалов n3 = 4 – 6 . При переменных нагрузках для однородных материалов и высокоточных технологий n3 = 1,3 – 1,5, для среднего уровня технологии n3 = 1,5 – 1,7 ; для материалов пониженной однородности n3 = 1,7 – 3.

Прочность при цилиндрических нагрузках. В процессе эксплуатации на детали ботовой, морской, возимой и носимой РЭА в большинстве случаев действуют нагрузки, циклически изменяющиеся по частоте и амплитуде. Следовательно, в них возникают различные циклические напряжения. Необходимо различать следующие основные циклы напряжений:

1. симметричный знакопеременный, когда наибольшие и наименьшие напряжения противоположны по знаку и одинаковы по значению ;
2. асимметичный знакопеременный, когда наибольшие и наименьшие напряжения противоположны по знаку и неодинаковы по значению ;
3. пульсирующий, когда напряжения изменяются от нуля до максимума.

Придел выносливости для симметричных циклов обозначают индексом (–1), для пульсирующих – индексом (0).

Приделы выносливости на изгиб с симметричным циклом :

для стального проката σпред = σ-1=(0,2 –0,3)σв(1+ σ0,2/σ*в*), где σ0,2 – условный придел текучести при статическом растяжении ;

для стального литья и медных сплавов σпред = σ-1=(0,3 –0,4)σв ;

для алюминиевых и магнитных сплавов σпред = σ-1=(0,3 –0,6)σв ;

Приделы выносливости при симметричном цикле связаны ориентировочной зависимостью :

τ-1 = (0,5 – 0,7)σ-1 .

Приделы выносливости при пульсирующем и знакопеременном симметрических циклах связаны зависимостями :

при изгибе σпред = σ ≈ (1,4 – 1,6)σ-1 ;

при растяжении σпред = σ0 ≈ (1,5 – 1,8)σ-1(1.16)

Эти зависимости справедливы для деталей, длительное время работающих при циклических нагрузках (свыше 107 циклов).

Если вибрация или удары носят кратковременный характер, допускаемое напряжение при N циклах

σN = σ-1 + 0,167 (σT – σ-1) (*в* – lgN) (1.17)

**Список использованных источников**

1. Основы теории цепей: Методические указания к курсовой работе для студентов – заочников специальности 23.01 “Радиотехника”/ Сост. Коваль Ю.А., Праги О.В. – Харьков: ХИРЭ, 2001. – 63 с.
2. Зернов Н.В., Карпов В.Г. “Теория электрических цепей”. Издание 2-е, перераб. и доп., Л.,”Энергия”,2002.