

стве охлаждающей жидкости используется вода. Ее подача и удаление будет производиться при помощи системы из полиуретановых трубок. Герметичность системы охлаждения будет обеспечиваться при помощи прокладок и резьбовых соединений. Напряжение на обмотку центрального соленоида поступает через токовводы, изолированные от основания. В местах крепления магнетрона к основанию установлены изоляторы.

В конструкцию внесены изменения, позволившие ступени очистки работать в более низкоэнергетическом режиме, и реализовать процесс ассистированного нанесения тонкопленочных слоев (рабочее напряжение 500 -800 вольт). Конструкция магнитной системы обеспечивает требуемую конфигурацию магнитной ловушки при величине индукции магнитного поля на поверхности мишени не менее 0,07 Тл. Наиболее стабильная работа ионного источника в диапазоне напряжений разряда 600-1000 В при токе разряда до 180 мА. при токе соленоида 10 А.

С использованием разработанной магнетронной системой были нанесены пленки слоев оксида цинка и исследованы как их свойства, так и характеристики процесса нанесения. Установлено, что скорость нанесения в режиме ассистирования несколько меньше чем без него (ориентировочно на 15 %), что объясняется процессами перераспыления наносимого материала высокоэнергетичными ионами в ассистирующем пучке. Равномерность ионного пучка в зоне конденсации составляет порядка 30% при обработке подложки с диаметром до 250 мм.

Измерялись такие свойства нанесенных пленок как показатель преломления, удельное сопротивление и атомное соотношение компонент в нанесенном слое оксида цинка. Коэффициент преломления ( $n = 2.01$ ) для слоев, нанесенных с ионным ассистированием, слабо зависит от режимов нанесения и близок к показателю объемного материала. Для слоев, нанесенных без ионного ассистирования, показатель преломления имеет ярко выраженный максимум и значительно отличается от объемного материала. Удельное сопротивление нанесенных слоев увеличивается и при содержании кислорода более 30% достигает величины 10<sup>4</sup>-5 степеней, что косвенно свидетельствует о его стехиометрическом составе. Исследование состава нанесенных слоев показало, что в режиме ассистирования соотношение металл-кислород примерно равно 1 (0,95-1,02) в широком диапазоне концентраций кислорода при его формировании в отличие от слоев, нанесенных без ассистирования. Можно сделать вывод о перспективности использования данного метода для нанесения подобных слоев.

Список использованных источников:

1. Технологические процессы и системы в микроэлектронике : плазменные, электронно-лучевые, ультразвуковые / А.П. Достанко [и др.]; под ред. А. П. Достанко: Белорус. гос. ун-т информатики и радиоэлектроники. – Минск : Бестпринт, 2009. – 199 с.

## ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ МОДЕЛИРУЮЩИХ АЛГОРИТМОВ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ КОНСТРУКЦИЙ РЭС

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

Каминский Е. С.

Алексеев В. Ф. – канд. техн. наук, доцент

В большинстве случаев конструкций РЭА и ЭВА очень сложны для расчетов вибраций. Этим во многом объясняется ограниченное применение расчетов при проектировании вибро- и ударопрочной аппаратуры, недоверие к таким расчетам, предпочтение экспериментальным методам оценки вибропрочности и виброустойчивости конструкций. В настоящее время вопросы создания подсистем и пакетов прикладных программ для автоматизации анализа вибро- и ударопрочности конструкций РЭА приобретают все большую актуальность.

Рассмотрим принципы построения прикладных программ на уровне описания алгоритмов.

Программные комплексы совместно с ЭВМ образуют некоторую систему, предназначенную для моделирования механических процессов в проектируемой конструкции, возникающих при ударах и вибрациях. Такие системы стали называть имитационными [1].

Имитационная система включает в себя следующие основные блоки:

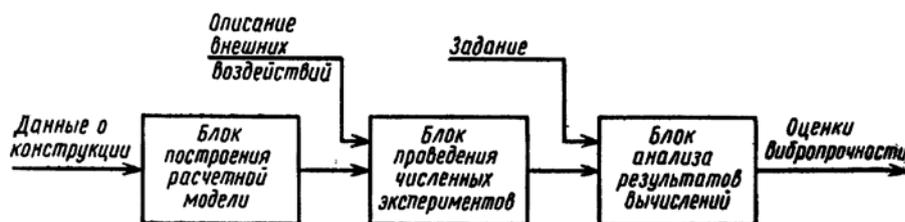


Рис. 1 – Блок-схема имитационной модели

**Блок построения расчетной модели конструкции.** Входной информацией здесь служит описание конфигурации конструкции и материалов ее деталей, описание способа их соединения. На выходе блока получается расчетная модель конструкции в виде системы разрешающих уравнений, описывающих динамическое равновесие дискретных элементов модели.

В блоке построения модели формируется матрица коэффициентов системы разрешающих уравнений. Это преобразование осуществляется в несколько этапов.

Первый этап – разбиение (рисунок 2). Конструкция разбивается на дискретные элементы плоскостями, параллельными ординатным плоскостям. При разбиении следует стремиться к тому, чтобы эти плоскости не совпадали с гранями параллелепипедов. Внутри каждого дискретного элемента (рисунок 3) может быть несколько частей компонентов конструкции.

Второй этап – усреднение. На этом этапе упругие свойства каждого дискретного элемента усредняются («размазываются») по всему дискретному элементу. Иными словами, неоднородные элементы заменяются однородными, которые в среднем деформируются так же, как и исходные неоднородные элементы.

Третий этап – выражение деформаций через обобщенные перемещения. Состояние дискретного элемента в каждый момент определяется шестью переменными: тремя линейными перемещениями  $u$ ,  $v$  и  $w$  в направлении соответствующих координатных осей и тремя углами поворота  $\varphi_x$ ,  $\varphi_y$  и  $\varphi_z$  относительно этих осей.

Четвертый этап – выражение сил и моментов через деформации.

Пятый этап – уравнения равновесия. К каждой грани дискретного элемента приложено по три силы и по три момента (рисунок 4) [1]. Суммируя проекции сил и моментов на координатные оси, получают шесть уравнений динамического равновесия.

**Блок построения расчетной модели конструкции.** Входной информацией здесь служит описание конфигурации конструкции и материалов ее деталей, описание способа их соединения. На выходе блока получается расчетная модель конструкции в виде системы разрешающих уравнений, описывающих динамическое равновесие дискретных элементов модели. В блоке построения модели формируется матрица коэффициентов системы разрешающих уравнений. Рассматриваются следующие случаи:

– *статическое нагружение силами и моментами.* На конструкцию могут действовать внешние силы и моменты, передаваемые через точки крепления (например от двигателей); внутренние силы и моменты, возникающие при движении объекта с ускорением — линейным или угловым (например, при испытании аппарата в центрифуге). Важно, что эти силы и моменты известны и постоянны во времени и необходимо решать статическую задачу, в которой все величины не зависят от времени.

– *стационарное (установившееся) движение, по известному закону во времени.* В некоторых редких, но важных для практики случаях закон изменения во времени обобщенных перемещений всех незакрепленных элементов модели заранее известен. Например, в случае резонанса все точки конструкций колеблются по гармоническому закону во времени с одинаковой частотой и фазой.

– *нестационарные переходные процессы деформирования.* В практике конструирования нестационарной аппаратуры наиболее часто возникают именно нестационарные задачи, в которых закон движения по времени частей конструкции заранее неизвестен. Зависимость от времени исключить из уравнений не удается. Искомые функции, например обобщенные перемещения, становятся функциями трех координат и времени.

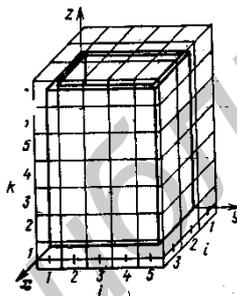


Рис. 2 – Расположение конструкции внутри сеточной области

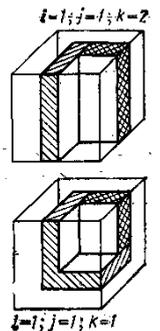


Рис. 3 – Дискретные элементы модели

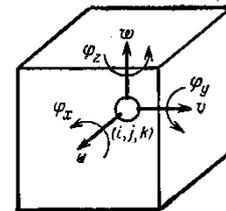


Рис. 4 – Обобщенные перемещения элементов

**Блок анализа результатов вычислений.** Здесь происходит преобразование результатов расчета к форме, удобной для конструктора, в соответствии с его заданием.

Список использованных источников:

1. Муромцев, Ю.Л. Основы конструирования и технологии РЭС: учебное пособие/ Ю.Л. Муромцев, А.П. Пудовкин, Н.А.Кольцовы и др. – Тамбов: Изд-во Тамбовского ВВАИУРЭ, 2007. – 267 с