прочности соединения трубки с головкой иглы проводят приложением нагрузки к трубке и головке в направлении их разъединения. Значение испытательной нагрузки в зависимости от диаметра иглы должно соответствовать нормированным значением, приведенным в указанном выше стандарте.

Для проведения таких испытаний авторами создано лабораторное устройство, фотография общего вида которого приведена на рис. 2.

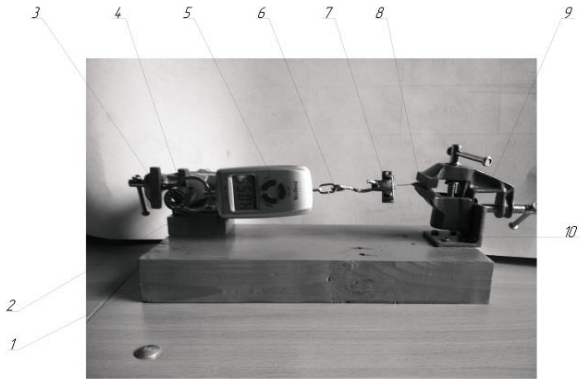

Рисунок 2 – Фотография общего вида лабороторного устройства определения прочности соединения трубки инъекционной иглы с головкой

На деревянном основании 1 с помощью саморезов закреплены два стальных уголка 2 и 10. К ним с помощью струбцин прикреплены малогабаритные тиски 3 и 9. Тиски 9 предназначены для закрепления головки 8 испытуемой иглы, а тиски 3 – для создания нагружающего трубку иглы растягивающего усилия. Конец трубки испытуемой иглы закреплён между стальными планками резьбового зажима 7. В одной из планок предусмотрено отверстие, в которое вставляется подвижный зацеп (крючок) 6 электронного портативного измерителя усилия 5. Его неподвижный зацеп в виде кольца надевается на штифт 4, закреплённый на подвижной губке тисков 3. Процедура установки измерителя усилия осуществляется при положении подвижной губки тисков на расстоянии 30-35 мм от неподвижной. После этого, вращением вручную рукоятки ходового винта тисков 3, подвижная губка перемещается по направлению к неподвижной и таким образом создаётся растягивающее усилие, вызывающее нарушение целостности соединения трубки инъекционной иглы с её головкой. Усилие, соответствующее разъединению трубки с головкой фиксируется на дисплее измерителя усилия. Измерянная величина усилия сравнивается с нормируемым для данной иглы значением и делается соответствующее заключение о соответсвтии иглы требованиям ГОСТ 25046 – 81.

Литература

1. ГОСТ 25046–81. Иглы инъекционные однократного применения. Основные размеры, технические требования и методы испытаний.

2. Сабитов, В.Х. Медицинские инструменты / В.Х. Сабитов // М.: Медицина. – 1985. – 175 с.

УДК 534-16:534-8:621.9.048.6

МЕТОД ГАРМОНИЧЕСКОГО БАЛАНСА В ЗАДАЧАХ РАСЧЁТА И ПРОЕКТИРОВАНИЯ КОНЦЕНТРАТОРОВ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ КОЛЕБАНИЙ

Степаненко Д.А., Роговцова А.С., Жуков В.И.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Традиционно задачи расчёта и проектирования концентраторов ультразвуковых колебаний решаются на основе аналитического или численного интегрирования дифференциального уравнения колебаний, либо с помощью метода конечных элементов. Перспективными являются полуаналитические методы решения таких задач, в которых решение представляется в виде комбинации аналитически заданных функций с параметрами, определяемыми численным путем. По сравнению с численными методами полуаналитические методы обладают повышенной производительностью и являются более гибкими с точки зрения возможности анализа и оптимизации получаемых решений. В данной работе рассматривается полуаналитический метод решения задач расчёта и проектирования ультразвуковых концентраторов, основанный на применении метода гармонического баланса. В основе метода лежит представление решения уравнения колебаний в виде взвешенной суммы гармонических функций (усеченного ряда Фурье) с весовыми коэффициентами (амплитудами гармоник), определяемыми численным путем. Так как каждая из гармоник удовлетворяет граничным условиям задачи, то сконструированное таким образом решение автоматически удовлетворяет граничным условиям. С точки зрения механики построение решения в форме усеченного ряда Фурье соответствует представлению собственных форм продольных колебаний (продольных мод) стержня переменного сечения в виде суперпозиции продольных мод, соответствующих стержням постоянного сечения. Амплитуды гармоник определяются путем подстановки общего решения в уравнение колебаний и составления уравнений гармонического баланса (условий равенства амплитуд одноименных гармоник, стоящих в правой и левой частях уравнения колебаний).

Для описания продольных колебаний концентратора используется неоднородное интегро-дифференциальное уравнение

$$u'S^{-1} = -k_0^2\left(\xi_0 + \int_0^x uS^{-1}dx\right), \qquad (1)$$

где $u = S\xi'$, $S(x)$ – площадь поперечного сечения концентратора, $\xi(x)$ – амплитуда продольных колебательных смещений, $\xi_0 = \xi(0)$ – амплитуда колебательных смещений во входном сечении концентратора, $k_0 = 2\pi f/c$ – волновое число, f – частота колебаний, c – скорость продольной ультразвуковой волны в материале концентратора.

Классическое дифференциальное уравнение Вебстера, используемое для описания продольных колебаний концентраторов, является однородным и при его решении методом гармонического баланса возникает однородная система линейных алгебраических уравнений с сингулярной матрицей, имеющая бесконечное множество решений, соответствующих различным значениям начальной амплитуды ξ_0. В случае использования неоднородного интегро-дифференциального уравнения применение метода гармонического баланса приводит к неоднородной системе линейных алгебраических уравнений с единственным решением, соответствующим начальной амплитуде ξ_0, введенной в уравнение.

При периодическом продолжении функции $\xi(x)$ с периодом L, где L – длина концентратора, результирующая функция будет иметь разрывы в точках $x = nL$, где n – целое число, и ряд Фурье не будет сходиться в этих точках к истинному значению функции. В результате разрывности также будет возникать эффект Гиббса. Чтобы избежать этого, функция $\xi(x)$ вначале продолжается четным образом, а затем периодически продолжается с периодом $2L$. Аналогичным образом продолжается функция $S^{-1}(x)$.

Входящие в уравнение (1) функции $u(x)$ и $S^{-1}(x)$ представляются в виде

$$u(x) = \sum_{i=1}^{N} b_i \sin\left(\frac{\pi i x}{L}\right),$$

$$S^{-1}(x) = \sum_{i=0}^{2N} a_i \cos\left(\frac{\pi i x}{L}\right),$$

где коэффициенты a_i зависят от профиля концентратора, а коэффициенты b_i определяются методом гармонического баланса, N – количество гармоник, учитываемых при расчете функции $u(x)$.

Использование $2N$ гармоник для представления функции $S^{-1}(x)$ упрощает вычисление коэффициентов ряда Фурье для произведений $u'S^{-1}$ и uS^{-1}. Расчёт коэффициентов ряда Фурье для входящих в уравнение (1) произведений выполняется с помощью правила Лорана, являющегося аналогом теоремы Бореля для преобразования Фурье и выражающего комплексную частотную характеристику (КЧХ) произведения в виде дискретной свёртки КЧХ перемножаемых функций [1]:

$$c_k = c_i^{(1)} * c_i^{(2)} = \sum_{i=-N}^{N} c_{k-i}^{(1)} c_i^{(2)}, \; k = -N..N,$$

где $c_i^{(1)}$ и $c_i^{(2)}$ – коэффициенты комплексного ряда Фурье для функций $y_1(x)$ и $y_2(x)$, c_k – коэффициенты комплексного ряда Фурье для функции $y_1(x)y_2(x)$, * – дискретная свёртка.

Так как свёртка КЧХ выполняется на ограниченном частотном диапазоне (с учётом ограниченного числа гармоник N), то при выходе смещённой КЧХ $c_{k-i}^{(1)}$ за границы этого диапазона ($|k - i| > N$) она обычно дополняется нулями (техника заполнения нулями). Если в рассматриваемой задаче в качестве функции $y_1(x)$ принять функцию $S^{-1}(x)$, КЧХ которой рассчитана в расширенном частотном диапазоне, включающем $2N$ гармоник, исчезает необходимость заполнения нулями.

Уравнения гармонического баланса образуют переопределенную систему из $N + 1$ уравнения относительно N неизвестных, решение которой в смысле наименьших квадратов определяется с помощью обобщенной обратной матрицы Мура-Пенроуза. При решении задачи расчета концентратора (задача определения собственных частот продольных колебаний $f_{рез}$ при заданных геометрических параметрах) собственные частоты определяются из условия максимума амплитуды $\xi(L, f)$ рабочего (высокоамплитудного) конца концентратора, что равносильно решению задачи оптимизации коэффициента усиления колебаний по амплитуде $K(f) = |\xi(L,f)|/\xi_0$):

$$f_{рез} = \arg\max_f \left| 1 + \frac{L}{\pi\xi_0} \sum_{k=1}^{\left[\frac{N+1}{2}\right]} \sum_{i=1}^{N} \frac{(a_{|2k-1-i|} - a_{2k-1+i})b_i}{2k-1} \right|,$$

где $[\cdot]$ – целая часть числа.

Задача проектирования (задача определения длины $L_{рез}$, обеспечивающей заданное значение собственной частоты продольных колебаний) сводится к задаче отыскания максимума коэффициента усиления на множестве возможных значений геометрического параметра L.

В качестве примера была рассмотрена задача расчета конического концентратора со следующими исходными данными: диаметр входного сечения d_0 = 10 мм, отношение диаметров N_d = 2,5, длина L = 140 мм, скорость продольной волны в материале концентратора c = 5200 м/с, число гармоник N = 4. Собственные частоты продольных колебаний определялись из расчетной зависимости коэффициента K усиления колебаний по амплитуде от частоты f (рис. 1) и составили 19,9 кГц для продольной моды 1-го порядка и 37,5 кГц для продольной моды 2-го порядка.

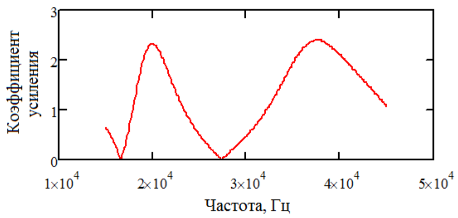

Рисунок 1 – Расчетная зависимость коэффициента усиления от частоты

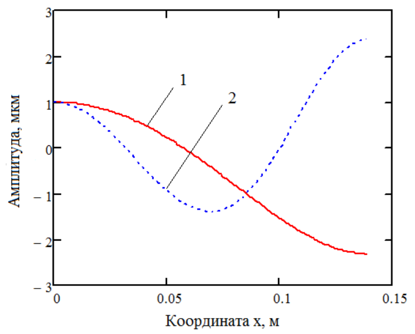

Рисунок 2 – Расчетные собственные формы колебаний

На рис. 2 приведены расчетные собственные формы колебаний концентратора для частот 19,9 кГц (кривая 1) и 37,5 кГц (кривая 2).

Корректность полученных результатов подтверждается путем проверки выполнения обобщенного условия ортогональности

$$\int_0^L \tilde{\xi}_1(x)\tilde{\xi}_2(x)S(x)dx = 0,$$

где $\tilde{\xi}_k(x)$ – нормированные (отнесённые к величине $\sqrt{\int_0^L \xi_k^2(x)S(x)dx}$) собственные формы колебаний k-го порядка.

Значение интеграла составило –0,013, что соответствует достаточно высокой точности выполнения условия ортогональности.

Предложенная полуаналитическая методика позволяет представить распределение амплитуды колебательных смещений по длине концентратора в виде взвешенной суммы малого числа (в рассмотренном примере N = 4) аналитически заданных функций, что упрощает анализ и оптимизацию полученного решения.

Литература

1. Li, L. Use of Fourier series in the analysis of discontinuous periodic structures / L. Li // Journal of the Optical Society of America. – 1996. – Vol. 13, no. 9. – P. 1870–1876.

УДК 681.3

УСТРОЙСТВО ДЛЯ СИНТЕЗА ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЛОЕВ МДП-СТРУКТУР

Сычик В.А., Глухманчук В.В., Сикорский И.В.

Белорусский национальный технический университет,
Минск, Республика Беларусь

Устройства преобразования солнечной энергии в электрическую конструктивно базируются на триодных униполярных структурах типа металл-диэлектрик-полупроводник (МДП). Основным элементом таких МДП-структур является подзатворный диэлектрический слой, обычно представляющий оксид полупроводника [1]. Стандартной является структура типа Si-SiO_2-Al. Формирование подзатворных оксидных слоев осуществляется методом термического окисления в сухом и влажном кислороде. Однако полученные таким методом слои являются пористыми, обладают заниженным значением ρ_v, электрической прочности и нестабильностью этих параметров. Этих недостатков практически лишен метод формирования слоев SiO_2 в кислородной плазме тлеющего разряда, для реализации которого необходимо специальное устройство подвода формовочного потенциала [2].

Нами для получения подзатворного слоя SiO_2 указанным методом разработано устройство для выращивания диэлектрических пленок в кислородной плазме.

На рисунке 1 приведена конструкция устройства.

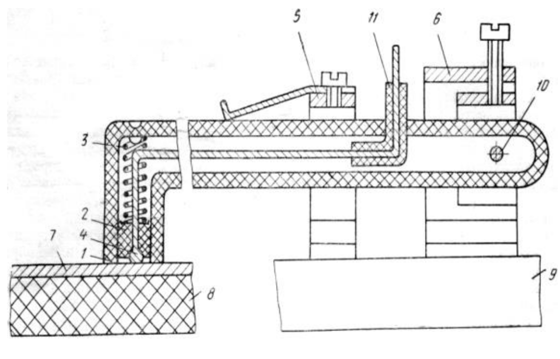

Рисунок 1