

## ЭЛЕКТРОЕМКОСТНЫЕ СЕНСОРЫ ДЛЯ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ ПОЛИМЕРОВ

Джежора А. А., Завацкий Ю.А., Рубаник В.В.\*, Царенко Ю.В.\*

УО «Витебский государственный технологический университет», Беларусь

\*ГНУ «Институт технической акустики НАН Беларуси», г. Витебск, [ita@vitebsk.by](mailto:ita@vitebsk.by)

Сравнивая эффективность и технические возможности различных методов и средств неразрушающего контроля полимерных материалов, можно констатировать, что среди большого многообразия методов и средств контроля: электромагнитного, микрорадиоволнового, ультразвукового, теплового, оптического наиболее эффективным и экономичным является электроемкостный метод контроля [1]. Он характеризуется высокой чувствительностью, точностью, малым уровнем мощности, быстроедействием, низкой себестоимостью и позволяет осуществлять диагностику прочностных и деформационных свойств материалов, изучать структуру контролируемых объектов. Разнообразие конструктивных и схемотехнических решений, применяемых в электроемкостном методе контроля, вызвано многообразием объектов контроля, функционально техническим назначением средств измерения и требованиями, предъявляемыми к метрологическим, эксплуатационно-техническим характеристикам. Непрерывное повышение этих требований: точности, разрешающей способности, воспроизводимости, стабильности обуславливает необходимость дальнейшего совершенствования конструкций емкостных сенсоров, схем их подключения и технологий изготовления с учетом успехов в области микроэлектроники.

В настоящее время проектирование электроемкостных сенсоров полностью полагается на численные методы. Выбор методов и средств контроля зависит от объекта контроля, его особенностей (слоистые структуры, анизотропия, различные схемы, армирования, влагосодержание, дисперсия диэлектрических свойств, шероховатость поверхности, плотности), условий измерения (односторонний доступ, в ряде случаев необходимость бесконтактного контроля, агрессивность и влияние окружающей среды). Особенно высоки требования к определению диэлектрических свойств полимерных материалов, обладающих небольшой анизотропией физических свойств [2, 3].

Практика использования электроемкостных сенсоров показывает, что наибольшей эффективностью обладают сенсоры конструкций МЭНИК [2] и ЗСНИК [1]. Ограниченные размеры области контроля (площади) приводят к невозможности достижения всех целей одновременно. По этой причине отыскивались компромиссные решения и определялись оптимальное соотношение параметров расчета для каждого конкретного случая [1]. Параметры расчета включали в себя геометрические размеры электродов (ширину, длину, толщину электродов, металлизацию поверхности сенсора), геометрические размеры подложки, геометрические размеры контролируемого образца, параметры контролируемого образца и подложки (диэлектрическая проницаемость, проводимость), наличие анизотропии структуры, число электродов, размещение и геометрические размеры электродов охраны, параметры окружающей среды. Оптимизировались модели, построенные с помощью численных методов расчета полей [1].

Учет толщины электродов, рельефа их поверхности позволил объяснить эффекты двойственности результата измерений в ЭНИК, образование виртуальных электродов в межэлектродном пространстве сенсоров на тонких подложках. А также позволил вычислять составляющие межэлектродной емкости, обусловленные потоками силовых линий между электродами со стороны, обращенной к контролируемому образцу и потоками силовых линий между электродами со стороны, обращенной к подложке сенсора, вычислить паразитные емкости, распределения зарядов на электродах, экранах, определить границы зон контроля, границы раздела потоков полей.

Важнейшими характеристиками сенсоров являются глубина и ширина зон контроля. Расчетные картины электрических полей ЗСНИК и МЭНИК представлены на рис.1.

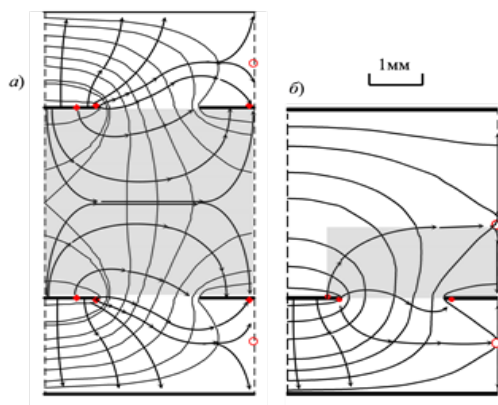


Рисунок 1- Расчетные картины электрических полей: а – ЗСНИК; б – МЭНИК

Точками на поверхностях электродов выделены границы раздела потоков, замыкающихся на электроды “ощущения” 2 и экраны 3, 4, кольцами – на границах раздела секций. Координаты точек вычислялись посредством теоремы Остроградского-Гаусса. Координаты колец вычислялись через нахождение экстремума функции потенциала  $V(r, z)$ .

Так как геометрические параметры электродов, межэлектродных расстояний и электрические параметры подложек одинаковы рис. 1, то возможно сравнение основных характеристик датчика ЗСНИК и МЭНИК (глубина зоны контроля, рабочая межэлектродная емкость  $C_{12}$  и чувствительности к анизотропии диэлектрических свойств контролируемого образца). Из расчетных картин электрических полей видно, что глубина зоны контроля для МЭНИК составляет менее половины межэлектродного зазора и равна  $0,41 h'$ , в то время как преобразователь ЗСНИК контролирует весь объем межэлектродного пространства  $h'$ . Различия касаются и ширины зоны контроля. Для ЗСНИК ширины зоны контроля составляет ширину секции  $r$ , для МЭНИК  $0,81 r$ . На рис.1 рабочие области контроля для ЗСНИК и МЭНИК затонированы. В силу того, что рабочие области контроля преобразователей ЗСНИК и МЭНИК различны, значение рабочей емкости ЗСНИК выше значения рабочей емкости преобразователя МЭНИК. Для рассматриваемых конструкций на единицу длины электродов расчетные емкости соответственно составили:  $C_1 = 1.248$  пФ/м,  $C_2 = 0.495$  пФ/м. Это дает ему преимущества над преобразователем МЭНИК ( $C_2 = 0.495$  пФ/м), имеющим те же значения геометрических размеров.

Новые концептуальные подходы и идеи в теории расчета электроемкостных датчиков позволили улучшить соответствия теоретических и экспериментальных значений измеряемых параметров в датчиках накладного типа. Методики оценки вклада краевых эффектов, определения глубины зоны контроля, рабочих емкостей позволили разработать новые алгоритмы оценки параметра датчиков. Созданные математические модели и программы численных расчетов электроемкостных датчиков позволяют проводить обоснованный выбор конструкции и параметров датчиков, определять метрологические характеристики измерительных устройств, решать вопросы технической осуществимости поставленных задач.

1. В. В. Рубаник, Контроль качества нетканых материалов /Рубаник В. В., Джежора А.А. [др] //Неразрушающий контроль и диагностика. – 2017 – Вып.1. – С.33-39.

2. Конденсатор для определения анизотропии материала по диэлектрической проницаемости: пат. №21487, Респ. Беларусь, МПК G 01 R 27/26 / А. А. Джежора, А. М. Науменко; выдан. 08.06.2017.

3. Dzhzhzhora A.A. The Edge Effect on the Electrode Faces upon Testing of Orthotropic Media/ A.A. Dzhzhzhora A.M. Naumenko//Russian Journal of Nondestructive Testing,. - 2014,. - Vol.50. - №3,. -P. 50-56.