

# МЕТОДИКА РАСЧЕТА БИНАРНЫХ СТРУКТУР ЛАКОФОЛЬГОВЫХ ДИЭЛЕКТРИКОВ В ДАТЧИКАХ ДЛЯ ГАЗОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ И ТРУБОПРОВОДНЫХ СИСТЕМ

В.Г. Котух, к.т.н., Ю.В. Пахомов, К.Ю. Харенко\*, к.т.н.,  
М.А. Мирошник\*\* д.т.н.

*Харьковский национальный университет городского хозяйства имени  
А.Н. Бекетова ул. Революции, 12, 61002, г. Харьков, Украина*

*\*Харьковский национальный университет радиоэлектроники (ХНУРЭ)  
проспект Ленина, 14, 61200, г. Харьков, Украина*

*\*\*Украинская государственная академия железнодорожного транспорта  
(УкрГАЗТ) ул. Фейербаха, 7, 61002, г. Харьков, Украина*

В процессе проектирования датчиков для газового оборудования и трубопроводных систем (ГОиТС), содержащих элементы конструкций на основе лакофольговых диэлектриков, принимая во внимание высокие требования к метрологическим характеристикам и надежности в жестких условиях эксплуатации таких изделий, у разработчиков неизбежно возникает потребность в методиках расчета напряженно-деформированного состояния основных фрагментов топологии. Технология изготовления лакофольговых диэлектриков приводит к возникновению внутренних напряжений, приводящих к последующему искривлению и короблению конструкции. Расчет напряжений следует вести с учетом плоского растяжения, искривления двухслойной системы вследствие усадки в одном из слоев и кручения. Поскольку топологический рисунок изделия формируется последовательным селективным травлением каждого из слоев, следует производить прочностной расчет минимально допустимых геометрических размеров, исключающих возникновение напряжений, превышающих предел прочности каждого из материалов. В первую очередь это относится к таким зонам риска, как токопроводящие дорожки в местах сварки или перемычки перфорации.

Усадка диэлектрика (Д) приводит к механическим напряжениям, которые в зоне сварки реализуются в виде изгиба двухслойной структуры, при этом сварные соединения и токопроводящие (ТП) дорожки находятся в напряженном состоянии. Радиус кривизны в зоне сварки можно определить по формуле:

$$R = \frac{E_{ТП} \cdot h_{ТП}^2}{6\varepsilon(1-\nu)E_D \cdot h_D},$$

где  $E$  – модуль упругости,  $\nu$  – коэффициент Пуассона,  $\varepsilon$  – усадка,  $h$  – толщина слоя.

Радиус кривизны бинарных структур в зонах перфорации может быть определен решением уравнения третьей степени:

$$(s-a)R^3 - \frac{E_{ТП} \cdot h_D \cdot s}{4E_D \cdot \varepsilon} R^2 - \left(\frac{s \cdot L^2}{2} + \frac{a \cdot L^3}{3\varepsilon \cdot l}\right)R + \frac{E_{ТП} \cdot s \cdot h_D \cdot L^2}{8E_D \cdot \varepsilon} = 0,$$

где  $L$  и  $R$  – длина и радиус кривизны искривленной части,  $s$  и  $a$  – шаг и ширина перемычек перфорации,  $l$  – ширина окна перфорации.

Величина относительного изменения геометрических размеров  $\varepsilon$  зависит от множества параметров, в том числе от ориентации элементов относительно проката исходного материала, плотности заполнения слоя, конфигурации элементов, погрешностей изготовления, состояния поверхности и т.п. Значения  $\varepsilon$  выбираются по справочным данным, исходя из прочностных характеристик материала диэлектрика, либо определяются по результатам экспериментальных исследований тестовых образцов бинарных структур.