

# РАСЧЕТ НАГРУЗКИ С НАКЛОННЫМ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ОКНОМ

*А. Ч. Ким, Е. И. Нефедов, Е. И. Попов*

Москва

Проблема создания широкополосных нагрузок на большие и сверхбольшие уровни мощности СВЧ в настоящее время весьма актуальна.

Одной из таких нагрузок является нагрузка с наклонным диэлектрическим окном. Она представляет собой отрезок волновода с наклонным диэлектрическим окном, которое служит для герметизации волноводного тракта от поглощающей жидкости. Достоинством нагрузки является широкополосность.

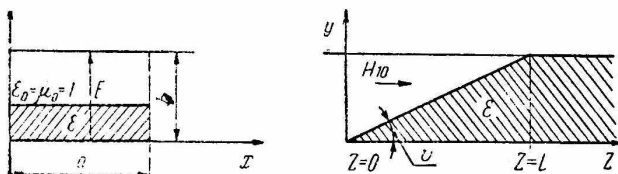


Рис. 1. Схематическое изображение нагрузки с наклонным диэлектрическим окном.

Ниже предлагается метод расчета нагрузки. При этом для упрощения задачи влияние окна не учитывается (рис. 1).

Положим, что слева на переход падает волна  $H_{10}$  и в обеих частях волновода может распространяться только основной вид колебаний. Тангенс угла наклона образующей грани перехода к оси волновода есть малая величина ( $\nu$ ).

Общее выражение для коэффициента отражения от такого диэлектрического клина получено методом поперечных сечений в работе [1]:

$$R = \int_0^L S_{i-i} \exp \left\{ -2i \int_0^z h^{(i)}(z) dz \right\} dz, \quad (1)$$

где  $S_{i-i}$  — коэффициент связи между прямой и обратной волнами;  
 $h^{(i)}(z)$  — постоянная распространения волны номера  $i$ .

В нашем случае, когда диэлектрик расположен у широкой стенки волновода, т. е. вектор  $E$  нормален границе раздела диэлектрик — воздух, может быть произведено интегрирование в (1) по частям, так как коэффициент связи на концах перехода

(при  $z=0$  и  $z=L$ ) скачком принимает нулевые значения. В результате несложных преобразований имеем

$$R = \pm i \left( \frac{S_{i_1-i}}{2h^i} \right)_{z=0} \pm i \left( \frac{S_{i_1-i}}{2h^i} \right)_{z=L} e^{-2i \int_0^L h^i dz}; \quad (2)$$

$$S_{i_1-i} = \frac{1}{4(h^i)^2} \frac{\varepsilon-1}{\varepsilon} \oint v E_y^2 dS, \quad (3)$$

где  $h^i$  при  $z=0$ ,  $h_0^2 = k^2 - g^2$ ;  $h^i$  при  $z=L$ ,  $h_{\varepsilon_{\text{ЭКВ}}}^2 = \varepsilon_{\text{ЭКВ}} k^2 - g^2$ ;  $k$  — волновое число в свободном пространстве;  $g$  — поперечное волновое число  $E_y = A \sin \frac{\pi}{a} x$ , где  $A$  определяется из условия нормировки

$$\int E_y^2 H_x^i dS = kh^i.$$

В работе [2] получена формула для модуля коэффициента отражения без учета второго слагаемого в соотношении (2):

$$|R| = \frac{v}{8b} \frac{\varepsilon-1}{\varepsilon} \frac{k^2}{h_0^3}. \quad (4)$$

Более полно чем (4) выражение (2) решает поставленную задачу такой системы при известном законе изменения  $h(z)$  для волны  $H_{10}$ . Постоянная распространения  $h(z)$  в каждом поперечном сечении волновода будет такой же, как и в регулярном волноводе, частично заполненном диэлектриком при данном  $z$ .

Известно несколько методов определения постоянной распространения: метод сшивания полей, вариационные методы и метод эквивалентных схем. Наиболее простым является метод эквивалентных схем [3], который позволяет получить простое выражение для расчета  $h(z)$ .

Для рассматриваемого случая

$$\varepsilon_{\text{ЭКВ}} = \frac{\varepsilon}{\varepsilon + \frac{b_1}{b} (1 - \varepsilon)}, \quad (5)$$

где  $b_1$  — высота заполнения диэлектриком, при этом  $h_{\varepsilon_{\text{ЭКВ}}}$  запишется в виде

$$h_{\varepsilon_{\text{ЭКВ}}}^2 = \varepsilon_{\text{ЭКВ}} k^2 - g^2,$$

или

$$h_{\varepsilon_{\text{ЭКВ}}} = \sqrt{\frac{h_0^2 - g^2 cz}{1 + cz}}, \quad (6)$$

где

$$c = \frac{1 - \varepsilon}{b\varepsilon} \operatorname{tg} v.$$

После несложных выкладок получим выражение для коэффициента отражения с учетом второго слагаемого в виде

$$R = \pm i \left[ \frac{v(\epsilon - 1)k^2}{8h_0^3 \epsilon b} \right] \mp i \left[ \frac{v(\epsilon - 1)k^2}{8h_{\epsilon_{\text{ЭКВ}}}^3 \epsilon b} \right] e^{\frac{2i\epsilon}{1-\epsilon} L} \left[ \frac{h_0 + h_{\epsilon_{\text{ЭКВ}}}}{k^2} + \frac{1}{g} \arctg \left( \frac{h_{\epsilon_{\text{ЭКВ}}} - h_0}{g^2 + h_0 h_{\epsilon_{\text{ЭКВ}}}} \right) g \right]. \quad (7)$$

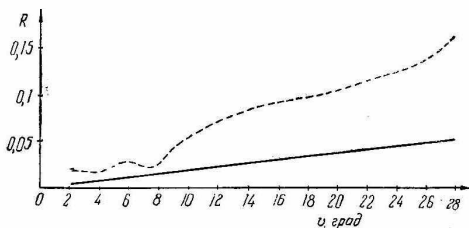


Рис. 2. Зависимость коэффициента отражения от угла наклона для бутилового спирта: ——— экспериментальная кривая; ————— теоретическая кривая.

Для оценки учета второго слагаемого в (7) был проведен расчет коэффициента отражения по (4) и (7), и погрешность расчета для различных  $\epsilon^1$  записана в таблицу.

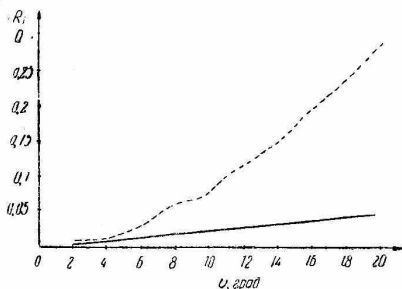


Рис. 3. Зависимость коэффициента отражения от угла наклона для этиленгликоля: ——— экспериментальная кривая; ————— теоретическая кривая.

$\epsilon^1$	55	7	3,15	2,3
$\delta\%$	0,5	2	7,5	12,5

Из таблицы следует, что при небольших значениях диэлектрической проницаемости ( $\epsilon^1 \leq 2,5$ ) необходимо учитывать второй член в выражениях (2), т. е. использовать формулу (7).

На рис. 2 и 3 представлены экспериментальные и расчетные зависимости  $|R|$  от

угла наклона ( $v$ ) диэлектрической вставки. В качестве диэлектрика был использован бутиловый спирт и этиленгликоль. Небольшое расхождение на начальных участках характеристик свя-

зано с погрешностью в измерительной линии. Как и предполагалось, результаты расчета и эксперимента достаточно хорошо согласуются при малых углах наклона ( $v < 10^\circ$ ).

Формулы (2) и (7) решают поставленную задачу. Экспериментальная проверка подтвердила правильность расчетных формул для  $v \ll 1$ . Используемые в опыте нагрузки оказались весьма широкополосными.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Б. З. Каценеленбаум. Теория нерегулярных волноводов с медленно меняющимися параметрами. Изд. АН СССР, 1961.
2. Е. И. Нефедов. «Радиотехника и электроника», 3, 7, 1962.
3. Н. Haddenhorst. Z angew. Phys., 1955, 7, 10.