

А.А. Скворцов  
(г. Саратов, Саратовский государственный технический  
университет им. Ю.А. Гагарина)

## **КВАЗИАНАЛИТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ СЛОИСТОГО ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ЗАПОЛНЕНИЯ НА КРИТИЧЕСКУЮ ДЛИНУ ПЕРВОЙ ВЫСШЕЙ ВОЛНЫ ЛУНАРНОГО ВОЛНОВОДА**

*Рассмотрены квазианалитические выражения, позволяющие оценить влияние электрофизических параметров слоистого диэлектрического заполнения и геометрических размеров лунарного волновода на критическую длину его первой высшей волны.*

*Quasi-analytical expression allowing evaluating the influence of electro-physical parameters of layered dielectric filling and geometrical sizes of lunar waveguide on its first high order mode cutoff wavelength are considered.*

*Ключевые слова: квазианалитический расчет, критическая длина, первая высшая волна, лунарный волновод, слоистое диэлектрическое заполнение, прямоугольный волновод, эффективная диэлектрическая проницаемость.*

*Keywords: quasi-analytical calculation, cutoff wavelength, first high order mode, lunar waveguide, layered dielectric filling, rectangular waveguide, efficient dielectric permittivity.*

В настоящее время при построении микроволновых систем различного назначения, включая СВЧ-установки для термообработки диэлектрических материалов [1], все большее применение в качестве базовых элементов находит лунарный волновод (ЛВ) со слоистым диэлектрическим заполнением (рис. 1), позволяющий улучшить технические характеристики и существенно расширить функциональные возможности СВЧ-устройств, выполненных на его основе. Важной задачей, возникающей при построении СВЧ-устройств на базе рассматриваемой линии передачи (ЛП), является расчет критической длины первой высшей волны ЛВ со слоистым диэлектрическим заполнением, знание которой оказывается необходимым для определения диапазона его одноволновой работы.

Определить критическую длину первой высшей волны рассматриваемой ЛП на основе точного аналитического решения внутренней краевой задачи электродинамики не удастся из-за сложной формы границ и слоистого диэлектрического заполнения ЛВ. В связи с этим приходится прибегать к приближенным методам расчета, среди которых, прежде всего, необходимо выделить численные подходы [1, 2], основным достоинством которых является их универсальность, а недостатками – частный характер результатов, значительные трудности математического и вычислительного

характера. Кроме того, первое приближение этих методов достаточно часто дает результат с большой погрешностью. В отличие от численных подходов, квазианалитические (приближенно-аналитические) методы расчета электродинамических параметров ЛП обладают наглядностью, возможностью выявить общие закономерности функционирования волноведущих структур и сравнительной простотой вычислений [1–5].

Критическую длину первой высшей волны ЛВ со слоистым диэлектрическим заполнением можно квазианалитически рассчитать, исходя из замены его на эквивалентный прямоугольный волновод (ПрВ) с размером широкой стенки  $\pi(R+r)-t$  [2, 3], заполненный однородным материалом, эффективная диэлектрическая проницаемость которого определяется в соответствии с методикой, подробно описанной в работах [4, 5], по формуле

$$\lambda_{c2} = (\pi(R+r)-t)\sqrt{\varepsilon_{\text{эфф}}\mu_{\text{эфф}}}, \quad (1)$$

где

$$\varepsilon_{\text{эфф}} = \varepsilon_1 + (\varepsilon_2 - \varepsilon_1) \frac{\varphi(R+r)}{2(\pi(R+r)-t)} \left( 1 - \frac{\sin[\pi\varphi(R+r)/(\pi(R+r)-t)]}{\pi\varphi(R+r)/(\pi(R+r)-t)} \right) \quad (2)$$

и  $\mu_{\text{эфф}} = \mu_1 = \mu_2$  – относительные эффективные диэлектрическая и магнитная проницаемости слоистого диэлектрического заполнения ЛВ.

Как следует из выражения (2),

$$\varepsilon_{\text{эфф}} = \begin{cases} \varepsilon_1 & \text{при } \varphi = 0; \\ \varepsilon_2 & \text{при } \varphi = 2(\pi-t)/(R+r). \end{cases} \quad (3)$$

По формулам (1)–(3) проведен квазианалитический расчет критической длины первой высшей волны ЛВ при различных значениях геометрических размеров и электрофизических параметров слоистого диэлектрического заполнения. Так, на рис. 2 в качестве примера приведены результаты расчета нормированной критической длины первой высшей волны ( $\lambda_{c2}/2R$ ) ЛВ ( $\varepsilon_1 = \mu_1 = \mu_2 = 1$ ;  $t/2R = 0,1$ ), полученные при различных значениях  $\varphi$ ,  $r/R$  и  $\varepsilon_2$ . Из рис. 2 видно, что  $\lambda_{c2}/2R$  ЛВ с рассматриваемым диэлектрическим

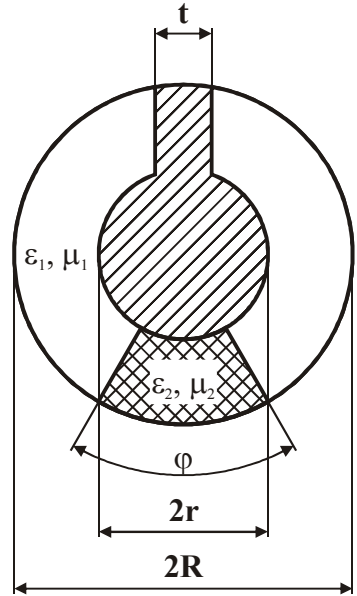
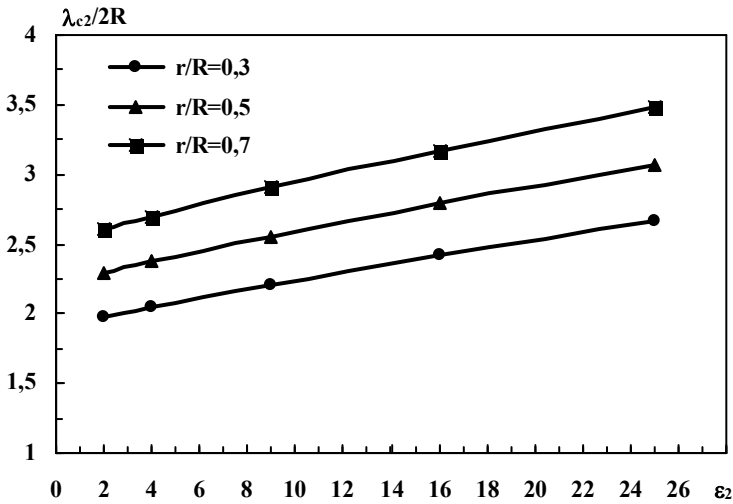
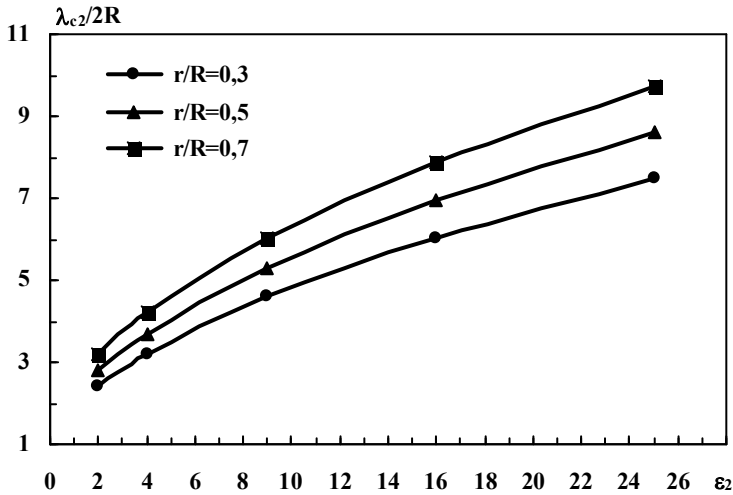


Рис. 1. Поперечное сечение ЛВ со слоистым диэлектрическим заполнением



a)



б)

Рис. 2. Зависимость нормированной критической длины первой высшей волны ЛВ от  $\epsilon_2$  и  $r/R$  при  $\varphi=\pi/3$  (а) и  $\varphi=\pi$  (б)

заполнением возрастает с увеличением  $\varphi$ ,  $r/R$  и  $\epsilon_2$  при фиксированном  $t/2R$ .

Таким образом, полученные в настоящей работе квазианалитические выражения позволяют оценить влияние электрофизических параметров слоистого диэлектрического заполнения и геометрических размеров ЛВ на критическую длину его первой высшей волны и могут быть с успехом

использованы при разработке СВЧ-систем различного назначения, выполненных на основе рассматриваемой ЛПП.

### Список литературы

1. *Коломейцев, В.А.* Микроволновые системы с равномерным объемным нагревом. / В. А. Коломейцев, В. В. Комаров. – Саратов: Сарат. гос. техн. ун-т, 1997. – Ч.1. – 160 с.
2. *Вольман, В.И.* Волноводы, обладающие широкой полосой одноволнового режима / В. И. Вольман, В. Б. Каток // Радиотехника и электроника. – 1978. – № 2. – С. 285–290.
3. *Скворцов, А.А.* Квазианалитические выражения для определения волнового сопротивления лунарного волновода с однородным диэлектрическим заполнением / А. А. Скворцов // Вопросы электротехнологии. – 2017. – № 3. – С. 86–89.
4. *Почерняев, В.Н.* Постоянная распространения частично заполненного волновода / В. Н. Почерняев, Л. В. Скрипник // Известия высших учебных заведений. Радиоэлектроника. – 1988. – Т. 31. – № 5. – С.63–64.
5. *Chukhov, V.V.* One method of propagation constants measurement / V. V. Chukhov // Proceedings of the 4-th International Kharkov Symposium on Physics and Engineering of Microwaves, Millimeter, and Submillimeter Waves (MSMW'01). – Kharkov, Ukraine. – 2001. – Vol. 2. – P. 820–822.

*Материал поступил в редколлегию 02.10.18.*

УДК 621.8; 621.9; 65.011.56

DOI: 10.30987/conferencearticle\_5c19e6b9cc6ef0.95201865

Л.А. Тягульская, В.А. Голубев, В.В. Туранский  
(г. Рыбница, Рыбницкий филиал Приднестровского государственного  
университета им. Т.Г. Шевченко)

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКИМИ СРЕДСТВАМИ ОПОВЕЩЕНИЯ И КОНТРОЛЯ В УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЯХ

*Приведена структура программно-аппаратного комплекса оповещений и контроля электротехнических средств для учебных заведений.*

*The structure of the hardware-software complex of alerts and control of electrical equipment for educational institutions is given.*

*Ключевые слова: контроль оповещений в учебных заведениях, управление освещением, отслеживание работы пожарной сигнализации.*

*Keywords: control of alerts in educational institutions, lighting control, tracking fire alarm.*

На сегодняшний день в городе Рыбница Приднестровской Молдавской