

А. А. Скворцов

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

**КВАЗИАНАЛИТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПРЕДЕЛЬНОЙ МОЩНОСТИ, ПЕРЕДАВАЕМОЙ ПО ЛУНАРНОМУ ВОЛНОВОДУ****QUASI-ANALYTICAL ESTIMATION OF THE ULTIMATE POWER TRANSMITTED BY A LUNAR WAVEGUIDE**

Получено квазианалитическое выражение для расчета предельной мощности, передаваемой основной волной по лунарному волноводу с однородным диэлектрическим заполнением. Приводятся результаты квазианалитического расчета нормированной предельной передаваемой по поперечному сечению лунарному волноводу мощности при различных значениях его геометрических размеров и рабочей длины волны, которые могут быть полезны при проектировании СВЧ-устройств различного назначения, выполненных на основе рассматриваемой линии передачи.

A quasi-analytical expression for calculating the ultimate power transmitted by the dominant mode of a lunar waveguide with homogeneous dielectric filling is obtained. The results of a quasi-analytical calculation of a normalized ultimate power transmitted in hollow lunar waveguide at different values of its geometrical sizes and operating wavelengths, which can be useful in the design of microwave devices for various purposes, based on the considered transmission line, are presented.

**Ключевые слова:** квазианалитическая оценка, предельная мощность, основная волна, лунарный волновод, прямоугольный волновод.

**Keywords:** quasi-analytical estimate, ultimate power, dominant wave, lunar waveguide, rectangular waveguide.

В настоящее время повышение надежности функционирования, снижение массы и габаритов, расширение функциональных возможностей СВЧ-устройств различного назначения реализуется, как правило, применением в них в качестве базовых элементов волноводов сложных сечений. Одной из перспективных линий передачи (ЛП)

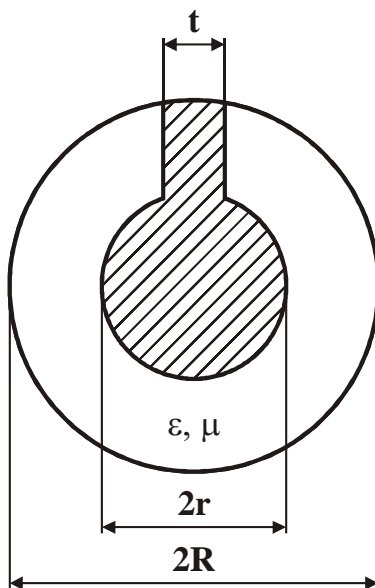


Рис. 1. Поперечное сечение ЛВ

сложных сечений является лунарный волновод (ЛВ), позволяющий существенно улучшить технические характеристики микроволновых систем, реализованных на его основе [1].

Важной электродинамической задачей, связанной с оценкой практической пригодности применения рассматриваемой ЛП для построения тех или иных СВЧ-устройств, является определение предельной мощности, передаваемой основной волной по ЛВ. Оценить предельную мощность, переносимую основной волной по анализируемой ЛП, на основе точного аналитического решения внутренней краевой задачи электродинамики затруднительно из-за сложной формы поперечного сечения ЛВ, поэтому для решения волнового уравнения необходимо применять численные или квазианалитические методы, обладающие в отличие от более универсальных численных подходов [1, 2], связанных с использованием громоздкого математического аппарата, затрудняющего применение полученных результатов для практических целей, наглядностью, возможностью выявить общие закономерности распространения электромагнитных волн в ЛВ и сравнительной простотой вычислений [1–4].

Как показано в работах [2–4], ЛВ можно рассматривать как прямоугольный волновод (ПрВ), свернутый в поперечной плоскости по дуге окружности, у которого размер широкой стенки равен  $\pi(R+r)-t$ , а узкой –  $R-r$ . С учетом сказанного квазианалитическую оценку предельной мощности, передаваемой основной волной по анализируемой ЛП, можно получить, используя известную методику определения пропускной способности ПрВ [5], по формуле

$$P_{\text{пред}} = \frac{E_{\text{проб}}^2 [\pi(R^2 - r^2) - t(R-r)]}{4Z_c} \sqrt{1 - \left(\frac{\lambda}{\lambda_{c1}}\right)^2}, \quad (1)$$

где

$$\lambda_{c1} = 2[\pi(R+r)-t]\sqrt{\epsilon\mu} \quad (2)$$

– критическая длина основной волны ЛВ с однородным диэлектрическим заполнением [2, 3];

$$Z_c = \sqrt{\frac{\mu\mu_0}{\epsilon\epsilon_0}} = Z_0 \sqrt{\frac{\mu}{\epsilon}}, \quad (3)$$

– характеристическое сопротивление диэлектрического материала, заполняющего ЛВ;

$$Z_0 = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} \quad (4)$$

– характеристическое сопротивление воздушного заполнения ЛВ;  $E_{\text{проб}}$  – амплитуда напряженности электрического поля основной волны в ЛВ, при

которой наступает пробой;  $\epsilon$  и  $\mu$  – относительные диэлектрическая и магнитная проницаемости материала, заполняющего ЛВ.

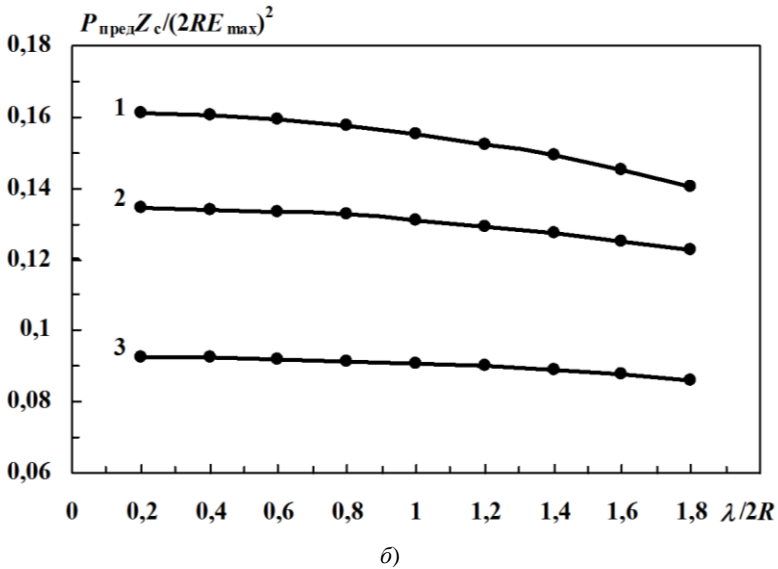
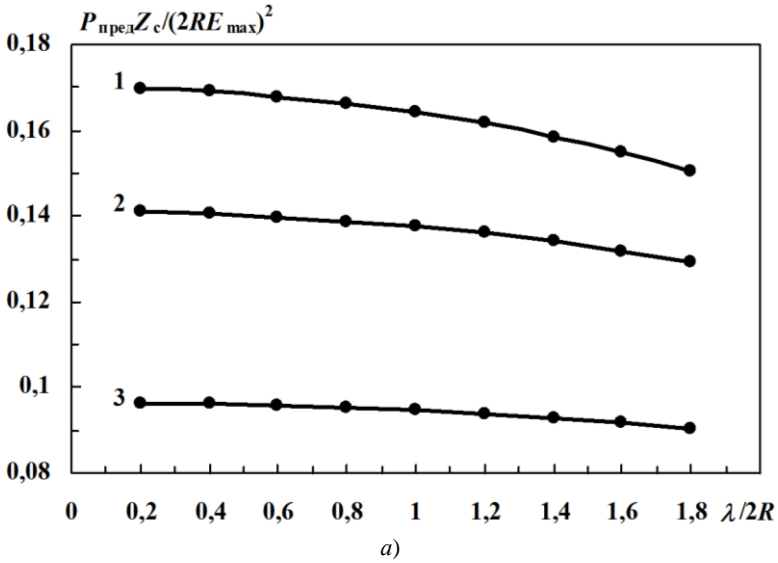


Рис. 2. Зависимость нормированной предельной мощности, передаваемой основной волной по ЛВ, от  $\lambda/2R$  при  $t/2R=0,1$  (а) и  $t/2R=0,2$  (б) и различных  $r/R$ : 1 –  $r/R=0,3$ ; 2 –  $r/R=0,5$ ;  $r/R=0,7$

Из приведенных выше соотношений следует, что предельная мощность, передаваемая основной волной по ЛВ, зависит как от размеров его поперечного сечения и электрофизических свойств диэлектрического заполнения, так и от рабочей длины волны.

По формулам (1)–(4) проведен квазианалитический расчет (КР) предельной мощности, переносимой основной волной по ЛВ, при различных значениях его геометрических размеров, электрофизических параметров однородного диэлектрического заполнения и рабочей длины волны. Так, на рис. 2 в качестве примера, дающего наглядное представление о характере изменения пропускной способности анализируемой ЛП ( $\varepsilon = \mu = 1$ ), приведены результаты КР нормированной предельной передаваемой основной волной по ЛВ мощности, полученные по формуле (1) при различных значениях  $t/2R$ ,  $r/R$  и  $\lambda/2R$ . Как следует из рис. 2, при  $t/2R = \text{const}$  с уменьшением отношений  $r/R$  и  $\lambda/2R$  повышается пропускная способность ЛВ.

Таким образом, рассмотренные в настоящей работе выражения позволили установить в явном виде квазианалитическую зависимость предельной мощности, передаваемой основной волной по ЛВ, от его геометрических размеров, электрофизических параметров однородного диэлектрического заполнения и рабочей длины волны и могут быть полезны при проектировании СВЧ-устройств, выполненных на основе рассматриваемой ЛП. Необходимо также отметить, что рассмотренные выше выражения могут быть в дальнейшем адаптированы для КР предельной мощности, передаваемой основной волной по ЛВ с частичным диэлектрическим заполнением.

### Список литературы

1. Коломейцев, В. А. Микроволновые системы с равномерным объемным нагревом. Ч.1. / В. А. Коломейцев, В. В. Комаров. – Саратов: Сарат. гос. техн. ун-т, 1997. – 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. К определению критических длин основной и первой высшей волн лунарного волновода / А. А. Скворцов // Энергосбережение и эффективность в технических системах: материалы VI Междунар. научн.-техн. конф. студентов, молодых ученых и специалистов. – Тамбов: Изд-во Першина Р. В., 2019. – С. 155–156.
4. 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.
5. Лебедев, И. В. Техника и приборы СВЧ / И. В. Лебедев. – М.: Высш. Школа, 1970. – Т. 1. – 440 с.

*Материал поступил в редколлегию 07.10.20.*