

10. Кравец В.В. Составление группы мономиальных  $(1, 0, -1)$  – матриц четвертого порядка. / В.В. Кравец, Т.В. Кравец, А.В. Харченко // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2009. – 3/3 (39) – с.15-27.
11. Моисеев Н.Н. Математика ставит эксперимент. / Н.Н. Моисеев. – М.: 1979. – 224с.
12. Молчанов И.Н. Машинные методы решения прикладных задач. Дифференциальные уравнения. / И.Н. Молчанов. – К.: Наукова думка, 1988. – 344с.
13. Онищенко С.М. Применение гиперкомплексных чисел в теории инерциальной навигации. Автономные системы. / С.М. Онищенко. – Киев: Наук. думка, 1983. – 208 с.
14. Плотников П.К., Челноков Ю.Н. Применение кватернионных матриц в теории конечного поворота твердого тела. – Сб. научно-методич. статей по теоретической механике, 1981, вып. 11, с. 122-129
15. Тараканов В.Е. Комбинаторные задачи и  $(0, 1)$  – матрицы. / В.Е. Тараканов. – М.: Наука. Гл. ред. физ. мат. лит., 1985. – 192с.

УДК 621.316:532.232

*Приводиться розрахунок геометричних параметрів антенної системи для забезпечення заданої діаграми направленості при сушінні вовни*

*Ключові слова: хвилевід, електромагнітне поле, діаграма направленості*

---

*Приводится расчет геометрических параметров антенной системы для обеспечения заданной диаграммы направленности при сушке шерсти*

*Ключевые слова: волновод, электромагнитное поле, диаграмма направленности*

---

*A calculation over of geometrical parameters of the aerial system is brought for providing of the set diagram of orientation at drying of wool*

*Key words: waveguide, electromagnetic field, diagram of orientation*

# ОПТИМИЗАЦИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ АНТЕННОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ СУШКИ ШЕРСТИ

**А. Н. Мороз**  
Кандидат технических наук, доцент  
Кафедра применения электрической энергии в сельском хозяйстве  
Национальный технический университет сельского хозяйства им. Петра Василенка  
ул. Артема, 44, г. Харьков, Украина, 61002  
Контактный тел.: 8-067-362-55-59  
E-mail: moroz-fekt@inbox.ru

Одним из наиболее перспективных направлений в развитии новых технологий при первичной обработке шерсти является использование электромагнитной энергии миллиметрового диапазона длин волн для сушки шерсти. В результате этого использования уничтожаются вредные микроорганизмы в шерсти, сокра-

щается время технологического процесса, экономятся энергоресурсы, а также сохраняются природные свойства шерсти. Однако создание равномерно распределенного ЭМП в зоне нахождения шерсти на конвейере связано со значительными трудностями как теоретического, так и конструктивного характера.

Теория радиолокационных антенн широко освещена в литературных источниках [1, 2], но вопросы их промышленного применения с уменьшенными габаритами и массой, расширением их рабочего диапазона, возможности управления диаграммой направленности рассмотрены недостаточно [3, 4].

Целью статьи является теоретический анализ диаграммы направленности открытого волновода в миллиметровом диапазоне длин волн. В качестве простой конструкции, которая обладает самыми основными свойствами рупорного излучателя, рассмотрим открытый волновод. Условно разрежем волновод сечением  $7,2 \times 3,4 \text{ мм}^2$  перпендикулярно оси (рис. 1). В плоскости сечения расположим начало прямоугольной декартовой системы координат, ось z которой совпадает с направлением распространения волн. Пусть в волноводе возбуждается электромагнитная волна с единственным типом колебаний  $H_{10}$ , в результате чего из-за наличия поля в плоскости раскрыва  $z=0$  во внешней области создается электромагнитное поле излучения.

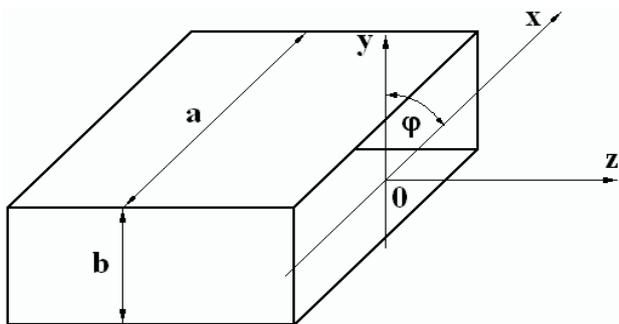


Рис. 1. Прямоугольный волновод с открытым концом

В сферической системе координат это электромагнитное поле имеет вид:

$$\vec{E} = \vec{e}_r E_r + \vec{e}_\varphi E_\varphi + \vec{e}_\theta E_\theta, \tag{1}$$

в декартовой системе координат это же поле можно записать в виде:

$$\vec{E} = \vec{e}_x E_x + \vec{e}_y E_y + \vec{e}_z E_z. \tag{2}$$

Выразим декартовы координаты через сферические [5]:

$$\begin{cases} E_x = E_r \sin \theta \cos \varphi - E_\varphi \sin \varphi + E_\theta \cos \varphi \cos \theta, \\ E_y = E_r \sin \theta \sin \varphi + E_\varphi \cos \varphi + E_\theta \sin \varphi \cos \theta, \\ E_z = E_r \cos \theta - E_\theta \sin \theta. \end{cases} \tag{3}$$

Учитывая, что для рассматриваемого случая  $E_r = 0$ , перепишем систему уравнений (3) в виде:

$$\begin{cases} E_x = -E_\varphi \sin \varphi + E_\theta \cos \varphi \cos \theta, \\ E_y = E_\varphi \cos \varphi + E_\theta \sin \varphi \cos \theta, \\ E_z = -E_\theta \sin \theta. \end{cases} \tag{4}$$

После подстановки (4) в (2) получим:

$$\begin{aligned} \vec{E} = & \vec{e}_x \left( -E_\varphi \sin \varphi + E_\theta \cos \varphi \cos \theta \right) + \\ & + \vec{e}_y \left( E_\varphi \cos \varphi + E_\theta \sin \varphi \cos \theta \right) + \\ & + \vec{e}_z \left( -E_\theta \sin \theta \right). \end{aligned} \tag{5}$$

В сферической системе координат составляющие поля  $E_\varphi$  и  $E_\theta$  при возбуждении волной  $H_{10}$ , распространяющейся в прямоугольном волноводе сечением  $0 \times b$ , определяются выражениями [2]:

$$E_\varphi = A Z_0 \frac{a^2 b}{\lambda^2} \cos \varphi \left( \cos \theta + \frac{\lambda}{\lambda_b} \right) \cdot \frac{\cos \alpha}{\alpha^2 - \pi^2/4} \cdot \frac{\sin \beta}{\beta}, \tag{6}$$

$$E_\theta = A Z_0 \frac{a^2 b}{\lambda^2} \sin \varphi \left( 1 + \frac{\lambda}{\lambda_b} \cos \theta \right) \cdot \frac{\cos \alpha}{\alpha^2 - \pi^2/4} \cdot \frac{\sin \beta}{\beta}. \tag{7}$$

Здесь  $\alpha = \frac{\pi a}{\lambda} \sin \theta \cos \varphi$ ;  $\beta = \frac{\pi b}{\lambda} \sin \theta \sin \varphi$ ;  $\lambda$  – длина волны в свободном пространстве;  $\lambda_b = \lambda / \sqrt{1 - (\lambda/2a)^2}$  – длина волны в волноводе;  $A$  – амплитудный коэффициент;  $Z_0$  – волновое сопротивление.

Рассмотрим  $E_x$  компоненту электромагнитного поля в выражении (5). После подстановки значений  $E_\varphi$  и  $E_\theta$  из выражений (6) и (7) и опуская промежуточные выкладки, получим:

$$E_x = -D \frac{\lambda}{\lambda_b} \sin \varphi \cos \varphi \sin^2 \theta, \tag{8}$$

где:  $D = A Z_0 \frac{a^2 b}{\lambda^2} \frac{\cos \alpha}{\alpha^2 - \pi^2/4} \frac{\sin \beta}{\beta}$ .

По аналогии с  $E_x$  запишем выражения для  $E_y$  и  $E_z$  компонент поля. После подстановки значений  $E_\varphi$  и  $E_\theta$  из (6) и (7) в выражение (5) получим:

$$E_y = D \left[ \cos \theta + \frac{\lambda}{\lambda_b} (1 - \sin^2 \varphi \sin^2 \theta) \right], \tag{9}$$

$$E_z = -D \sin \varphi \sin \theta \left( 1 + \frac{\lambda}{\lambda_b} \cos \theta \right). \tag{10}$$

Перепишем выражение (5), которое с учетом (8, 9, 10) примет вид:

$$\begin{aligned} \vec{E} = & \vec{e}_x D \left( -\frac{\lambda}{\lambda_b} \sin \varphi \cos \varphi \sin^2 \theta \right) + \\ & + \vec{e}_y D \left[ \cos \theta + \frac{\lambda}{\lambda_b} (1 - \sin^2 \varphi \sin^2 \theta) \right] + \\ & + \vec{e}_z D \left[ -\sin \varphi \sin \theta \left( 1 + \frac{\lambda}{\lambda_b} \cos \theta \right) \right]. \end{aligned} \tag{11}$$

При предположении, что  $\varphi = 0$  (см. рис. 1) построим диаграмму направленности открытого конца прямоугольного волновода в плоскости вектора  $\vec{H}$  основной волноводной волны  $H_{10}$ . В этом случае из (11) получим:

$$\vec{E} = \vec{e}_y D \left( \cos \theta + \frac{\lambda}{\lambda_b} \right). \tag{12}$$

Из выражения (12) получим уравнение, которое будет определять ДН открытого конца прямоугольного волновода в плоскости вектора  $\vec{H}$  волны  $H_{10}$ :

$$E_H(\theta) = B \left( \cos \theta + \frac{\lambda}{\lambda_B} \right) \frac{\cos \left( \frac{\pi a}{\lambda} \sin \theta \right)}{\left( \frac{\pi a}{\lambda} \sin \theta \right)^2 - \frac{\pi^2}{4}} \quad (13)$$

где:  $B = A Z_0 \frac{a^2 b}{\lambda^2}$ .

Если же принять  $\varphi = \frac{\pi}{2}$  (см. рис. 1), то можно построить ДН открытого конца прямоугольного волновода в плоскости вектора  $E$  основной волноводной волны  $H_{10}$ . При этом:

$$E_E(\theta) = B \left( -\frac{4}{\pi^2} \right) \cos \theta \left( 1 + \frac{\lambda}{\lambda_B} \cos \theta \right) \frac{\sin \left( \frac{\pi b}{\lambda} \sin \theta \right)}{\left( \frac{\pi b}{\lambda} \sin \theta \right)} \quad (14)$$

Результаты расчета ДН открытого конца прямоугольного волновода в двух взаимно перпендикулярных плоскостях, выполненные по формулам (13) и (14), представлены на рис. 2.

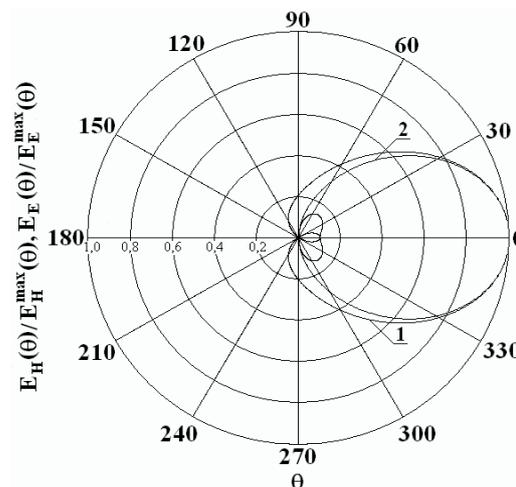


Рис. 2. ДН открытого конца прямоугольного волновода в H – и E – плоскостях

Как следует из рис. 2, ширина диаграммы направленности по уровню 0,707 в плоскости вектора  $\vec{H}$  составляет 28,2 мм, а в плоскости вектора  $\vec{E}$  она равна 26,6 мм, т.е. ширина ДН не соответствует требованиям сушки шерсти по конвейерной технологии и поэтому следующей задачей исследований является исследование антенн с геометрическими размерами в несколько длин волн.

Литература

1. Кочерневский Г.Н. Антенно-фидерные устройства / Кочерневский Г.Н. – М.: Радио и связь, 1981. – 280 с.
2. Р. Кюн. Микроволновые антенны / Р. Кюн.; Пер. с нем. Под ред. М.П. Долуханова. – Ленинград: Судостроение, 1967. – 518 с.
3. Сазонов Д.М. Антенны и устройства СВЧ./ Сазонов Д.М. – М.: Высшая школа, 1988. – 432 с.
4. Справочник по радиолокации в 4 – х т. / Пер. с англ. Под общ. ред. К.Н. Трофимова. – М.: Сов. радио. Т. 2. – 1977. – 408 с.
5. Бронштейн И.Н. Справочник по математике. / И.Н.Бронштейн, К.А.Семендяев. – М.: Наука, 1986. – 554 с.