

**КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ**

УДК 621.385.6:66.040:004.94

**РАСЧЕТ ПИРАМИДАЛЬНОЙ СВЧ-КАМЕРЫ  
С ЛИНЕЙНЫМ РАСКРЫВОМ РУПОРА**

И.Н. КИЖЛАЙ, А.А. КУРАЕВ, А.К. СИНИЦЫН, А.В. ЩЕРБАКОВ

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
П. Бровки, 6, Минск, 220013, Беларусь**Поступила в редакцию 21 сентября 2008*

На основе самосогласованной математической модели с учетом поглощающей диэлектрической вставки выполнен расчет в системе FEMLAB СВЧ пирамидальной камеры с линейным раскрытием рупора. Установлено, что в широком диапазоне изменения проводимости диэлектрика  $\sigma=0,1-100$  сохраняется приемлемый коэффициент поглощения, а распределение поля в  $y$ -направлении остается однородным. Это подтверждает уникальность свойств пирамидальной камеры и ее перспективность в технологических СВЧ-установках с конвейерным и возвратно-периодическим перемещением обрабатываемого материала.

*Ключевые слова:* СВЧ-камера, моделирование, рупор.

**Введение**

Одним из перспективных направлений в интенсификации процессов сушки всевозможных материалов является использование энергии электромагнитного поля сверхвысоких частот (СВЧ). В последнее время ввиду появления удачных конструкций СВЧ-установок с камерой в форме пирамидального облучателя [1] проявляется интерес к адекватному моделированию и оптимизации электродинамических и тепловых процессов в камерах пирамидальной формы. При правильном выборе размеров в ближнем поле рупорного облучателя прямоугольной формы формируется волна основного типа  $H_{10}$ , для которой характерно равномерное распределение поля в одном направлении и синусоидальное — в другом. Это обуславливает преимущество использования таких камер для СВЧ-обработки по сравнению с прямоугольными.

В настоящей статье приведены результаты моделирования и оптимизации СВЧ-камеры пирамидального типа. Исследовано влияние диэлектрической нагрузки на процессы возбуждения высших мод. Описан изготовленный экспериментальный макет такой камеры

**Конструкция и параметры камеры**

Сечение камеры в плоскости  $H$  и обозначения основных размеров приведены на рис. 1.

Здесь  $L_{\text{руп}}$  — длина рупора (0,351 м);  $L_x$  — регулярная вставка до диэлектрика (0,01 м);  $L_d$  — толщина диэлектрика (0,02 м);  $L_n$  — размер поддона (0,08 м). Раскрыв рупора на диэлектрике  $0,2 \times 0,4 \text{ м}^2$ . На вход рупора подается  $H_{01}$ -волна ( $E_m=22 \text{ кВ/м}$ ). Подаваемая мощность  $P_0=1 \text{ кВт}$ .

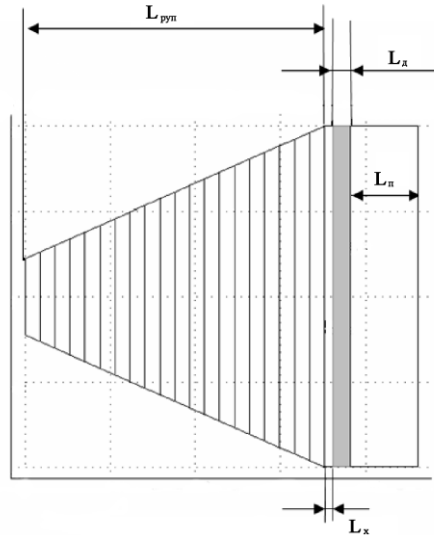


Рис. 1. СВЧ-камера пирамидального типа

### Расчет поглощения в диэлектрике в зависимости от его проводимости

В расчете использовалась самосогласованная математическая модель камеры с учетом поглощающей диэлектрической вставки, спроектированная в системе FEMLAB. Предварительный поиск параметров, близких к оптимальным, производился без учета диэлектрической вставки на основе метода отображения поверхности нерегулярного рупора на регулярный волновод [2]. Данный метод по времени считает примерно в 100 раз быстрее, чем метод конечных элементов в системе FEMLAB. Решение выполнялось для  $f=2,45$  ГГц.

Комплексная диэлектрическая проницаемость диэлектрика  $\hat{\epsilon} = \epsilon' - j\sigma/\omega = \epsilon' - j\epsilon''$  задавалась при следующих значениях:  $\epsilon'=20$ ,  $\sigma$  варьировалась в пределах 0,001–100. Результаты расчета сведены в таблицу.

#### Результаты расчета.

$\sigma$	$\epsilon''$	$P_{a0}$ Вт	$P_w$ (Дж)	$E_{y,max}$ (кВ/м)
0,001	0,046	109	$9,6 \cdot 10^{-5}$	63
0,01	0,46	300	$7,6 \cdot 10^{-5}$	51
0,1	4,6	604	$1,8 \cdot 10^{-5}$	30
1	46	578	$0,24 \cdot 10^{-5}$	31
10	460	413	$0,29 \cdot 10^{-5}$	33
100	4600	193	$0,87 \cdot 10^{-5}$	37

$P_a$  — мощность тепловых потерь в диэлектрике, Вт;  $P_w$  — величина запасенной энергии поля по всему объему, Дж;  $E_{y,max}$  — максимальное значение  $E_y$  из всего объема (точка, где это значение достигается, меняется в каждом варианте), кВ/м.

На рис. 2 представлена зависимость поглощения ( $\Gamma = P_a / P_0$ ) в диэлектрике с  $\epsilon'=20$  от величины  $\sigma$ .

Характеристику поглощения в зависимости от проводимости диэлектрика можно разбить на две области:  $\sigma < 0,1$  — отражения от диэлектрика незначительны, на поглощение влияет положение поддона;  $\sigma > 10$  — величину поглощения определяет отражение от диэлектрика, поле за диэлектриком практически отсутствует. Запасенная энергия значительно меньше, чем в первой области. Меняется характер распределения поля на диэлектрике.

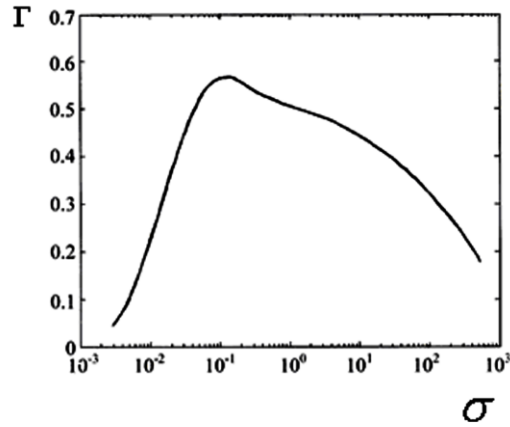


Рис. 2. Зависимость поглощения ( $\Gamma = P_a / P_0$ ) в диэлектрике

Полное поглощение для данной геометрии не достигалось ни для одного значения  $\sigma$ .

### Изменение структуры поля в диэлектрике в зависимости от проводимости

При изменении значения  $\sigma$  в больших пределах претерпевает изменение и распределение  $E_y^2$  внутри диэлектрика. Эволюция этого распределения представлена на рис. 3, а–г. Как видно, она существенно меняется в направлении  $x$ , но остается во всех случаях однородным в направлении  $y$ , что подтверждает уникальность свойств пирамидальной конструкции камеры.

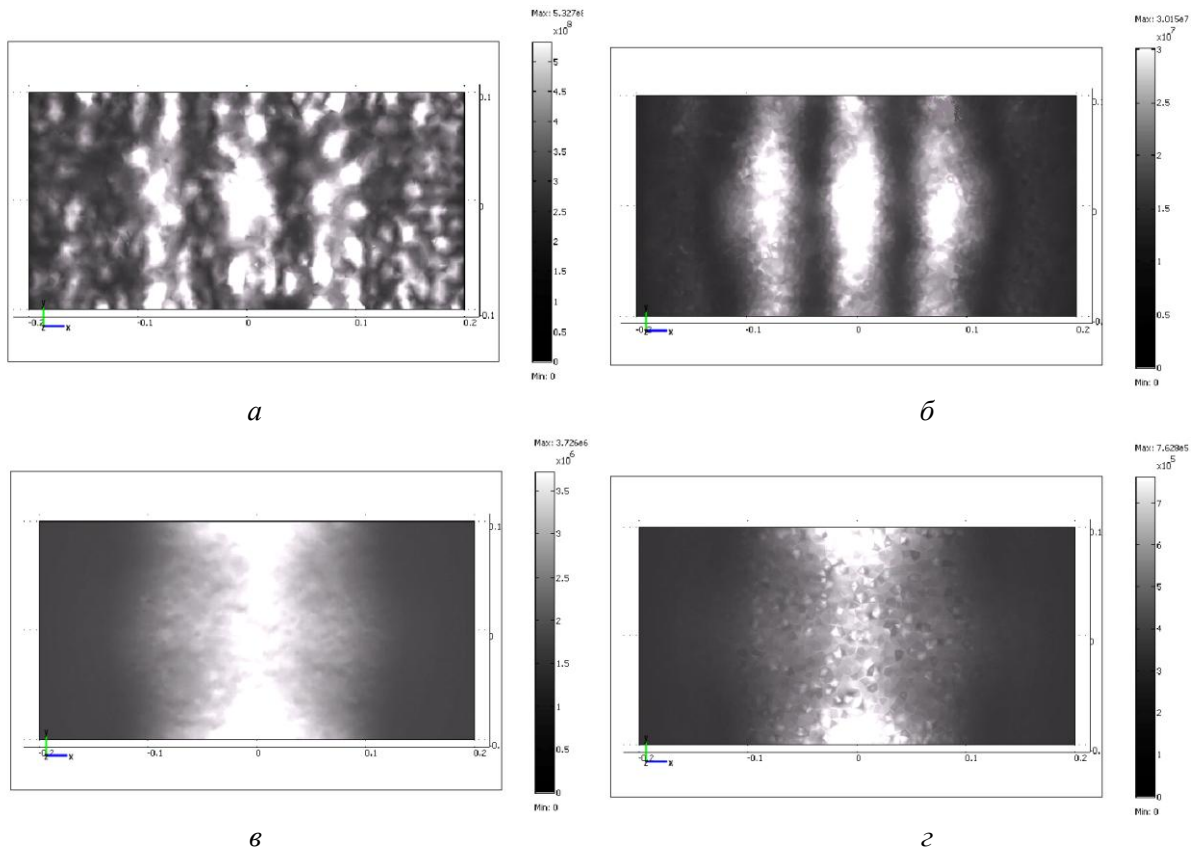


Рис. 3 Изменение структуры поля в диэлектрике в зависимости от проводимости:  
 а —  $\sigma=0,001$ ; б —  $\sigma=0,1$ ; в —  $\sigma=1$ ; г —  $\sigma=10$ ;

### **Заключение**

Проведенные исследования пирамидальной СВЧ-камеры с линейным раскрытием рупора при заданных размерах показали ее высокую эффективность в установках с продольным (по  $x$ ) перемещением обрабатываемого материала: в  $y$ -направлении распределение  $E_y^2$  — однородное. Перемещение материала может быть однонаправленным в конвейерных установках и возвратно-периодическим в циклических (с закрытой камерой) установках.

### **THE CALCULATION OF UHF PYRAMIDAL CHAMBER WITH LINEAR HORN APERTURE**

I.N. KIZHLAI, A.A. KURAYEV, A.K. SINITSYN, A.V. SHERBAKOV

#### **Abstract**

On base of the self-consistent mathematical model with account of dielectric insert absorption the calculation of UHF pyramidal chamber with linear horn aperture is executed with use FEMLAB. It is demonstrated that the acceptable absorption factor is retained for wide change of dielectric conduction. And distribution of field in  $Y$ -direct is retained as homogeneous. Those facts corroborate the promising of pyramidal chamber in use for UHF process plant with conveyer or returnable — periodical move of workable materials.

#### **Литература**

1. Кураев А.А., Синицын А.К. // Электромагнитные волны и электронные системы. 2002. Т. 7, № 3. С. 12–23.
2. Батура М.П., Кураев А.А., Синицын А.К. Моделирование и оптимизация мощных электронных приборов СВЧ. Минск, 2006.