

## Заключение

Конструкция протектора тракторных шин существенно влияет на тягово-сцепные и опорные свойства тракторов в полевых и дорожных условиях. Получает развитие конструкция протекторов с многоугольными грунтозацепами, наблюдается рост ширины протектора, перспективного создание протекторов, меняющих свойства в зависимости от характеристик опорного основания.

## Список использованной литературы

1. Гедроить, Г.И. Объемы работ и условия эксплуатации транспортных средств [Текст] / Г.И. Гедроить, С.В. Занемонский // Агропанорама. – 2021. – № 3. – С. 2–7. – Библиогр.: с. 6–7 (9 назв.).
2. Гедроить, Г.И. Совершенствование ходовых систем транспортно-технологических сельскохозяйственных машин / Г.И. Гедроить [и др.] // Агропанорама. – 2020. – № 2. – С. 2–6.
3. The Tire and Rim Association, Inc. [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.us-tra.org/publications> – Date of access: 09.09.2024.
4. Michelin Group [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://michelin.com> – Дата доступа: 15.04.2025.

## УДК 004.4

**В.В. Матвеев**, канд. физ.-мат. наук, доцент,

*УО «Белорусский государственный институт информатики  
и радиоэлектроники», г. Минск*

**И.П. Матвеев**, канд. техн. наук, доцент

*УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»,  
г. Минск*

*Vladimir66@bsuir.by*

## ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ СВЧ-КАМЕР ДЛЯ СУШКИ МАТЕРИАЛОВ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ

**Ключевые слова:** СВЧ-сушка, тепловой модуль, электродинамические процессы, электромагнитные волны, моделирование, оптимизация.

**Keywords:** microwave drying, thermal module, electrodynamic processes, electromagnetic waves, modeling, optimization.

**Аннотация:** Проанализированы различные конструкции СВЧ-камер, разработана СВЧ установка пирамидальной конструкции для нагрева и сушки материалов методом воздействия СВЧ-энергии, в которой реализован рупорный подвод энергии от источника. В работе приведены результаты моделирования и оптимизации СВЧ-камеры пирамидального типа. Исследовано влияние диэлектрической нагрузки на процессы возбуждения высших мод. Показано, что за счет оптимизации размеров и профиля возможно обеспечение равномерности электрической составляющей СВЧ поля.

**Summary:** Various designs of microwave chambers were analyzed, a microwave installation of a pyramidal design for heating and drying materials by the method of exposure to microwave energy was developed, in which a horn supply of energy from the source is implemented. The paper presents the results of modeling and optimization of a pyramidal-type microwave chamber. The effect of a dielectric load on the excitation processes of higher modes was studied. It was shown that by optimizing the dimensions and profile it is possible to ensure the uniformity of the electric component of the microwave field.

Наибольший интерес для использования в промышленности и сельском хозяйстве представляют СВЧ-камеры, у которых длина камеры превосходит длину волны возбуждения СВЧ-полей. При конструировании таких установок сложно найти точное распределение ВЧ-полей внутри нагреваемого материала, а это сказывается на качестве сушки.

В последнее время ввиду появления удачных конструкций СВЧ-установок с камерой в форме пирамидального облучателя [1, 2] проявляется интерес к компьютерному моделированию и оптимизации электродинамических и тепловых процессов в камерах пирамидальной формы.

При правильном выборе размеров в ближнем поле рупорного облучателя пирамидальной формы формируется волна основного типа, 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 рупорами прямоугольной формы.

Размеры основания рупора  $D_x \times D_y$ , его высота  $L$  и профиль находились из расчетов. Ниже основных технологических окон расположен прямоугольный поддон. Внутри поддона расположены продольные ребра, высотой  $3/4\lambda$ , которые предназначены для подавления высших мод и обеспечения равномерности нагрева по ширине материала.

Для решения этой задачи воспользуемся эллиптическим уравнением в частных производных для магнитного потенциала Герца  $\Pi_z^m$ .

При этом необходимо учитывать сложные граничные условия по всему контуру конструкции. Для этого сначала надо установить связь между электромагнитными волнами и потенциалом Герца [3]:

$$\vec{H} = -\epsilon_a \mu_a \frac{\partial^2 \vec{\Pi}^m}{\partial t^2} + \text{grad div } \vec{\Pi}^m$$

Граничные условия для магнитного потенциала Герца находим из граничных условий для нормальной составляющей  $TE$  – волны на идеально проводящей поверхности:  $H_{q_1|Q_1} = 0, H_{q_2|Q_2} = 0, H_{z|Q_3} = 0$

Для составляющей  $H_z$  имеем  $H_z|_{Q_3} = \left(k^2 + \frac{\partial^2}{\partial z^2}\right) \vec{\Pi}^m = 0$ .

Откуда ввиду того, что  $\left(k^2 + \frac{\partial^2}{\partial z^2}\right) \neq 0$  получаем граничные условия

Дирихле для заданной поверхности:

$$\vec{\Pi}^m_{z|Q_3} = 0 \quad (1)$$

Для составляющих  $H_{q_1|Q_1}, H_{q_2|Q_2}$  можно записать

$$H_{q_1|Q_1} = \frac{\partial}{\partial z} \left( \frac{1}{h_1} \frac{\Pi_z^m}{\partial q_1} \right) = 0, H_{q_2|Q_2} = \frac{\partial}{\partial z} \left( \frac{1}{h_2} \frac{\Pi_z^m}{\partial q_2} \right) = 0$$

Из этих условий при  $\frac{\partial}{\partial z} \neq 0$  следует

$$\frac{1}{h_{1,2}} \frac{\partial \Pi_z^m}{\partial q_{1,2}} \Big|_{Q_{1,2}} = 0 \quad \text{или} \quad \frac{\partial \Pi_z^m}{\partial \vec{n}} \Big|_{S_{бок}} = 0 \quad (2)$$

Получаем граничные условия для боковой поверхности, соответствующие граничным условиям Неймана.

Граничные условия (1), (2) вместе с уравнениями  $\nabla^2 \vec{\Pi}^m - \varepsilon_a \mu_a \frac{\partial^2 \vec{\Pi}^m}{\partial t^2} = -\vec{J}_{cm}$ , формулируют краевую задачу для определения электромагнитного поля в волноводах и резонаторах.

Используя указанное выше и перейдя к комплексному виду, получим решение эллиптического уравнения с частными производными  $\nabla^2 \vec{\Pi}^m - \varepsilon_a \mu_a \omega^2 \vec{\Pi}^m = -\vec{J}_{cm}$ , для волны  $TE_{10}$  с граничными условиями  $\vec{\Pi}^m_{z|Q_3} = 0$  на входе и выходе сигнала и граничными условиями для

боковых стенок  $\frac{1}{h_{1,2}} \frac{\partial \Pi_z^m}{\partial q_{1,2}} \Big|_{Q_{1,2}} = 0$ ,

где введена комплексная диэлектрическая проницаемость

$$\dot{\varepsilon}_a = \varepsilon'_a - i \left( \frac{\sigma}{\omega} + \varepsilon''_{1a} \right) = \varepsilon'_a - i \varepsilon''_a$$

определяет потери, при этом  $\varepsilon''_{1a}$  — характеризует диэлектрические потери,  $\frac{\sigma}{\omega}$  — омические потери,  $\sigma$  — проводимость материала.

На стенках камеры заданы условия идеального проводника. На входе обеспечивается согласованное возбуждение рупора  $TE_{10}$  — волной.

На расчет одного варианта рассматриваемой задачи стандартным методом конечных элементов требуется несколько часов времени современной ЭВМ. Поэтому для поиска оптимальных вариантов камеры без диэлектрического заполнения был использован разработанный эффективный метод, основанный на отображении нерегулярного волновода на регулярный [3].

Профиль рупора и размеры камеры находились из условия минимизации, целевой функцией определяемой как минимум дисперсии квадрата напряженности и максимум ее среднего значения в сечении диэлектрического материала.

В результате оптимизации расчеты показали, что за счет оптимизации размеров профиля возможно обеспечение равномерности электрической составляющей СВЧ поля в сечении материала.

### **Список использованной литературы**

1. Кураев А.А., Малевич И.Ю., Попкова Т.Л. Основы оптимального проектирования технологических установок СВЧ-нагрева // Радиотехника и электроника: Республиканский межведомственный сборник научных трудов. – Вып. 25. – 2000 – С. 129–135.
2. Матвеев В.В., Матвеев И.П. Синтез СВЧ-камер энергетических установок для сушки и обработки материалов промышленности и сельского хозяйства // Техническое и кадровое обеспечение инновационных технологий в сельском хозяйстве: материалы Международной научно-практической конференции, Минск, 16–17 октября 2024 г. – Минск : БГАТУ, 2024. – Ч. 1. – С. 284–286.
3. Кураев, А.А. Мощные электронные приборы СВЧ и КВЧ со специальными видами взаимодействия / А.А. Кураев, В.В. Матвеев. – Минск: Бестпринт, 2022. – 216 с.

**УДК 33.338.012**

**А.А. Гончарова**, магистр экономических наук

*«Академия управления при Президенте Республики Беларусь», г. Минск  
hancharova\_aa@mail.ru*

## **ИННОВАЦИОННЫЙ МАРКЕТИНГ КАК ИНСТРУМЕНТ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИННОВАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

**Ключевые слова:** маркетинг, инновационный маркетинг, инновации, инновационная деятельность, промышленность, предприятие

**Keywords:** marketing, innovative marketing, innovation, innovative activity, industry, enterprise

**Аннотация:** В статье рассматриваются тенденции инновационного маркетинга, который анализируется с точки зрения инструмента