

# РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ МАТЕРИАЛА В СВЧ УСТРОЙСТВЕ ЛУЧЕВОГО ТИПА

А.В. Мамонтов, Е.В. Никишин, М.В., М.В. Нефедов, В.Н. Нефедов  
*Научно-исследовательский институт перспективных материалов и технологий*  
*E-mail: niipmt@mail.ru*

Methods of even temperature distribution creation in the volume of the woollen material for the purpose of disinsection are considered. Volumetrical woollen material was placed inside the beam-type microwave device. Experimental data on the temperature field distribution in the volume of the woollen material is presented. It is shown that the total temperature dispersion is less than 3°C at the material heated up to 55°C.

Задача формирования заданного распределения температурного поля в нагреваемом диэлектрическом материале является одной из самых главных при создании технологического процесса с использованием СВЧ устройств. Конструктивное разнообразие и особенности применения различных электродинамических систем для целей нагрева диэлектрических материалов дают проектировщику широкие возможности для создания необходимой картины распределения температурного поля в объёме диэлектрика.

Однако, структура электромагнитного поля, формируемая электродинамической системой, может претерпеть значительные изменения при внесении в её объём диэлектрического материала. Степень искажения структуры электромагнитного поля, вносимых диэлектриком, зависит не только от физических свойств диэлектрика, но и от множества других факторов, влияние которых при проведении предварительных расчётов учесть достаточно трудно. В таких случаях окончательное формирование конструкции СВЧ нагревающего устройства, а, следовательно, и структуры поля, производится на основе многочисленных данных измерений, проводимых в ходе предварительных экспериментальных исследований поведения диэлектрика при его нагреве в выбранной электродинамической системе [1].

Наиболее распространённым видом электродинамической системы, используемой для целей нагрева, является прямоугольная резонаторная камера. Отличительной особенностью камерных СВЧ нагревающих устройств лучевого типа [1] является использование в качестве вводов энергии антенн в виде открытых прямоугольных волноводов, работающих на основном типе волны  $H_{10}$ . При этом количество и места расположения таких антенн определяется геометрическими размерами и физическими свойствами обрабатываемого материала (Рис.1.).

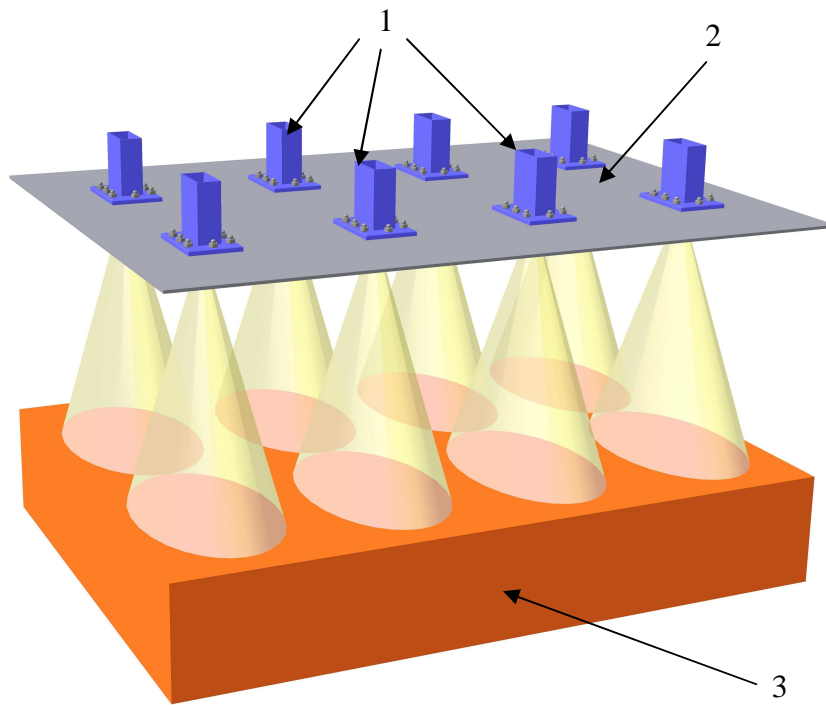


Рис.1. СВЧ устройство лучевого типа: 1 – волноводные вводы СВЧ энергии; 2 – стенка СВЧ камеры; 3 – нагреваемый диэлектрик.

Расчёт распределения электромагнитного поля в устройствах лучевого типа удобно проводить, основываясь на уравнениях Гюйгенса-Кирхгофа, описывающих в первом приближении излучение мощности из раскрыва прямоугольного волновода, как по узкой, так и по широкой стенке. Зависимость истечения мощности излучения от величины угла  $\theta$ , который составляет интересующее нас направление относительно направления распространения энергии в волноводе, описывается функциями  $|F_E|^2$  и  $|F_H|^2$  в плоскостях  $E$  и  $H$  параллельно узкой или широкой стенкам волновода и имеет вид (для соответствующих плоскостей):

$$|F_E|^2 = k_E(z, \theta) \cdot \left| \left[ 1 + \sqrt{1 - \left( \frac{\lambda}{2 \cdot a} \right)^2} \cdot \cos \theta \right] \cdot \frac{\sin \left( \frac{k \cdot b}{2} \cdot \sin \theta \right)}{\frac{k \cdot b}{2} \cdot \sin \theta} \right|^2 \quad (1)$$

$$|F_H|^2 = k_H(z, \theta) \cdot \left| \left[ \cos \theta + \sqrt{1 - \left( \frac{\lambda}{2 \cdot a} \right)^2} \right] \cdot \frac{\cos \left( \frac{k \cdot a}{2} \cdot \sin \theta \right)}{1 - \left( \frac{2 \cdot a}{\lambda} \cdot \sin \theta \right)^2} \right|^2, \quad (2)$$

где:  $a$  и  $b$  – размеры сторон прямоугольного волновода;

$k$  - волновое число свободного пространства;

$k_E(z, \theta)$  и  $k_H(z, \theta)$  - эмпирические коэффициенты.

Определение суммарной картины распределения температуры в материале с учетом соседних источников СВЧ энергии производится на

основе принципа суперпозиции полей, которые формируются каждым источником в отдельности. Кроме того, существенный вклад в общую картину формирования температурного поля в материале, особенно по его краям, вносят переотражения СВЧ мощности от стенок камеры, точный учёт которых при расчётах в значительной степени затруднён.

В качестве примера практической работы по созданию устройства для термообработки диэлектрического материала можно привести конструкцию СВЧ устройства лучевого типа для защиты товаров и материалов из шерсти от биологических вредителей методом глубинного микроволнового нагрева. Предпосылкой для применения именно СВЧ метода [2] в решении подобной задачи, явилась невозможность достижения требуемого эффекта традиционными применявшимися химическими методами. Использование химических методов не позволяет осуществить проникновение препаратов на значительную глубину в объём ткани и ухудшение потребительских свойств изделий из шерсти при применении химикатов – изменение цвета, усадка ткани, снижение прочности ткани и т.д.

СВЧ устройство представляло собой прямоугольную камеру с 8 источниками СВЧ, расположенными в определённом порядке на верхней стенке камеры. Выбранная рабочая частота источников 2450 МГц и мощность 650 Вт позволяют обеспечить необходимую глубину проникновения энергии микроволнового поля внутрь нагреваемых материалов и создавать в их объёме необходимое распределение температурного поля.

Размеры камеры позволяли помещать в её объём 10 шерстяных одеял одновременно. На рис. 2 представлена СВЧ камера с материалом из шерсти.



*Рис.2. Камера СВЧ нагрева с помещенным внутри неё обрабатываемым материалом (10 шерстяных одеял).*

В результате предварительных испытаний, определивших диапазон пределов времени и мощности термообработки, наиболее полно отвечающим решению поставленной задачи был признан режим выдержки одновременно 10

одеял в СВЧ камере в течение нескольких минут при 100% мощности всех 8 источников СВЧ энергии, включаемых одновременно. При таком режиме обеспечивался наивысший темп нагрева, необходимый для эффективного уничтожения насекомых, а выдержка в 5 минут не привела к ухудшению качества испытуемых образцов. После термообработки упаковки с одеялами извлекались из камеры и производились измерения распределения температуры. Точки измеряемой температуры выбирались, исходя из задачи получения картины распределения температурного поля в объеме исследуемого материала. При измерениях температуры использовался щуп с термопарным датчиком, помещаемый внутрь одеял в соответствующую измеряемую точку. На рис. 3 представлены результаты измерений температуры в соответствующих точках в объеме сложенных друг на друга одеял. Числитель дроби в обозначении соответствующей точки показывает температуру внутри верхнего одеяла, знаменатель – внутри нижнего одеяла.

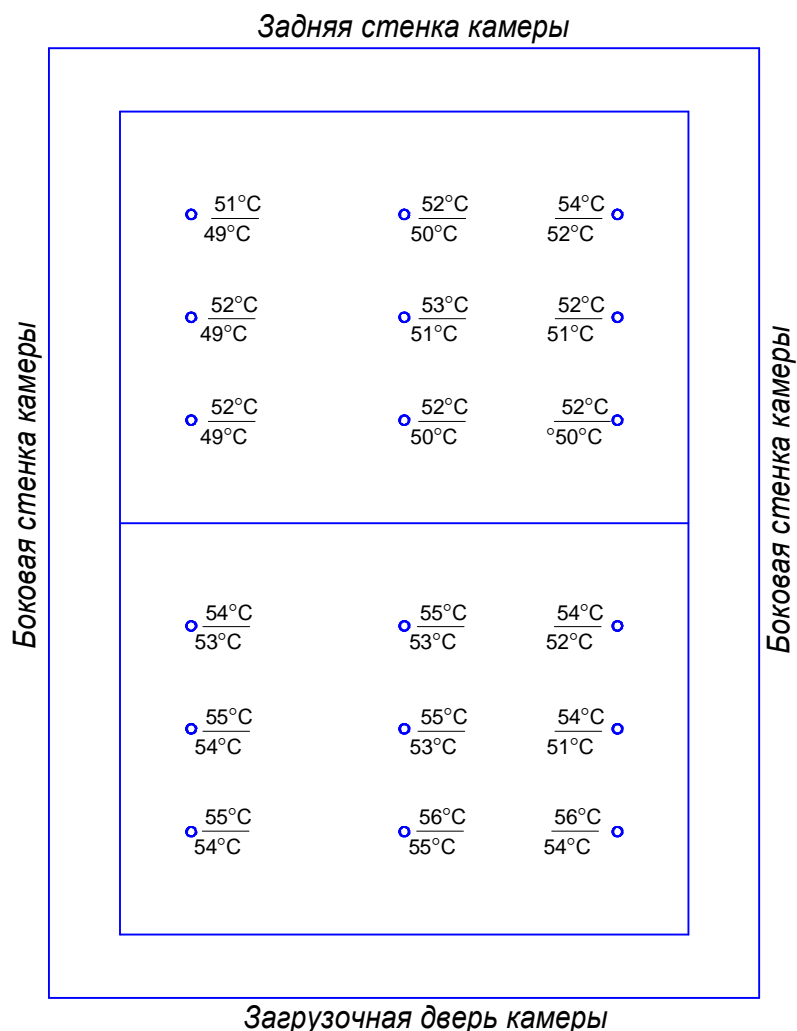


Рис. 3. Результаты измерений температуры в соответствующих точках объема сложенных друг на друга одеял.

Результаты проведенной серии экспериментальных исследований подтвердили высокую эффективность СВЧ метода термообработки шерстяных изделий для их защиты от биологических вредителей.

Учитывая малый разброс температуры в объеме шерстяных изделий, подвергшихся термообработке в СВЧ устройстве лучевого типа, а также отсутствие областей локального перегрева, можно предполагать положительный эффект при термообработке шерстяных изделий с находящимся внутри биологическим материалом.

Подтверждение этому было получено в ходе натуральных испытаний с анализом гибели биологических вредителей. В ходе испытаний подготовленные образцы ткани с предварительно выращенными лабораторными насекомыми платяной моли *Tineola bisselliella* и кожееда *Attagaeus femilu* и *At. Smirewi* помещались внутрь шерстяных одеял. После экспозиции в СВЧ камере в течение 5 минут при 100% мощности производились измерения температуры в характерных точках объема кипы одеял. Эти измерения показали высокую равномерность распределения температурного поля по объему материала, неравномерность температуры по 16 точкам объема составила не более 3°C.

1. А.В. Мамонтов, А.Г. Мананов, В.Н. Нефедов, А.С. Черкасов. Метод расчета СВЧ установок лучевого типа. Труды V Межвузовской научной школы молодых специалистов “Концентрированные потоки энергии в космической технике, электронике, экологии и медицине”. МГУ, 2004 г., стр. 33-37.
2. Окресс Э. СВЧ – энергетика. М.: Мир, 1971, т.2.