

МЕТОД ТЕРМООБРАБОТКИ ОБЪЕМНЫХ МАТЕРИАЛОВ В СВЧ УСТРОЙСТВАХ ЛУЧЕВОГО ТИПА

А.В. Мамонтов, Ю.Д. Мозговой, М.В. Нефедов, И.М. Савченко
Московский государственный институт электроники и математики
E-mail: lmis@miem.ru

Annotation

Questions of the even temperature distribution creation in the volumetric materials with different dielectric losses placed in the beam-type microwave device are examined. The volumetric material was irradiated by two types of antennas which provided perpendicular and parallel flux direction of the electric-field vector relatively to the material's surface. Experimental data on the temperature field distribution in the volume of material is presented. It is shown that the total temperature dispersion is less than 5°C inside the material heated up to 60°C.

Формирование равномерного распределения температуры в нагреваемом объемном диэлектрическом материале является одной из самых актуальных задач при создании технологического процесса с использованием концентрированных потоков СВЧ энергии. Анализ применения различных конструкций СВЧ устройств с целью реализации равномерного нагрева объемных диэлектрических материалов показал, что наиболее перспективными в этом направлении являются СВЧ устройства лучевого типа.

Наиболее распространённым видом электродинамической системы, используемой для целей нагрева объемных диэлектрических материалов, является прямоугольная камера, размеры которой составляют несколько длин волн источника СВЧ энергии (λ). На стенках прямоугольной камеры расположены в определенном порядке излучатели СВЧ энергии, которые должны обеспечивать заданное распределение температуры в обрабатываемом диэлектрическом материале. Излучатели СВЧ энергии, как правило, представляют собой раскрытые волноводы прямоугольного сечения, работающих на основном типе волны H_{10} . Места расположения излучающих антенн определяется геометрическими размерами рабочей камеры, а также зависят от размеров и физических свойств обрабатываемого материала.

Структура электромагнитного поля, формируемая электродинамической системой, может претерпеть значительные изменения при внесении в её объём материала с диэлектрическими потерями. Степень искажения структуры электромагнитного поля зависит не только от величины вносимых диэлектрических потерь и места расположения материала в камере, но и других факторов, влияние которых при проведении предварительных расчётов учесть достаточно трудно. В большинстве случаев выбор конструкции СВЧ устройства лучевого типа для термообработки конкретного материала с известными диэлектрическими параметрами производится на основе предварительных экспериментальных исследований [1].

В настоящей статье представлены результаты экспериментальных исследований нагрева объемного однородного диэлектрического материала с использованием одного источника СВЧ энергии с выводом энергии в виде рас-

крыва прямоугольного волновода, работающего на волне типа H_{10} и расположенного на верхней крышке прямоугольной камеры, как это показано на рис.1а. В этом случае вектор напряженности электрического поля параллелен поверхности обрабатываемого материала.

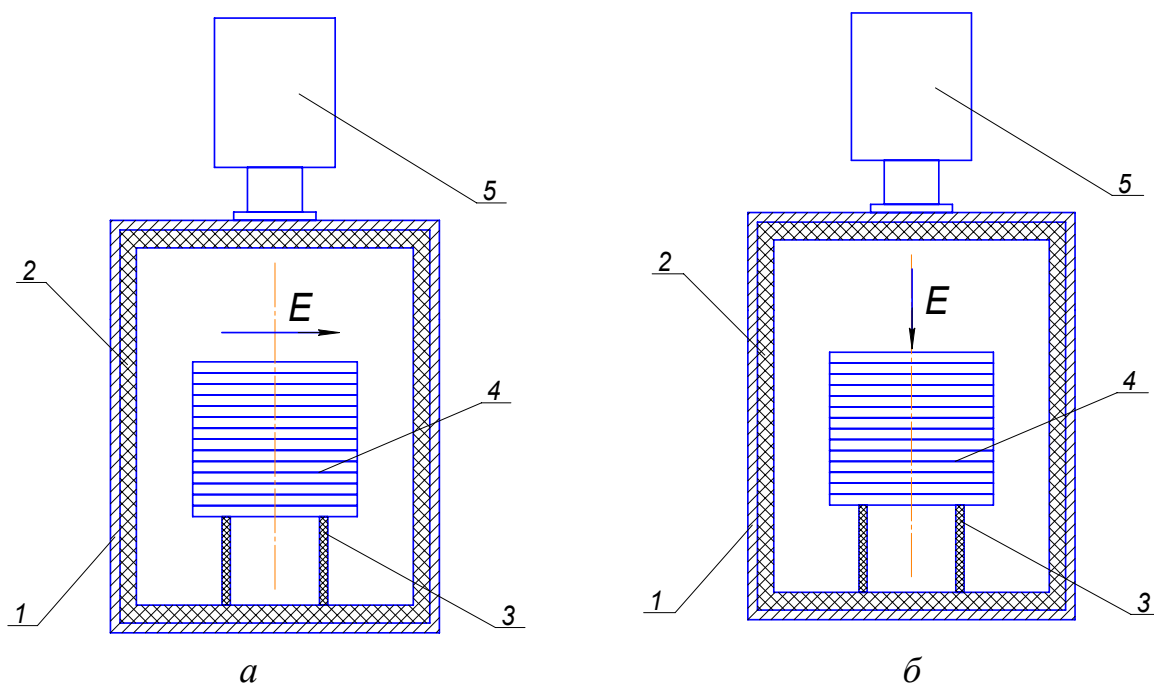


Рис. 1. СВЧ установка для нагрева объемного диэлектрического материала. 1 – камера СВЧ нагрева; 2 – поглощающий материал; 3 – подставка из радиопрозрачного материала; 4 – обрабатываемый материал; 5 – источник СВЧ энергии.

Нагреву подвергалась многослойный однородный диэлектрический материал толщиной 300 мм, состоящий из 30 идентичных слоев сухой древесины на частоте колебаний электромагнитного поля 2450 МГц. Ширина и длина слоя древесины были одинаковы и составляли - 200 мм. Эти 30 слоев располагались в камере СВЧ нагрева на расстоянии 240 мм от источника СВЧ энергии. Измерения температуры материала проводились по центральной линии излучающего волновода в центре каждого слоя материала. С целью исключения отраженной мощности от металлических поверхностей, стенки камеры были покрыты поглощающим материалом.

На рис. 2. представлена экспериментальная зависимость распределения температуры по толщине исследуемого материала для СВЧ установки, показанной на рис. 1а.

Объемный материал имеет максимум распределения температуры не на поверхности, а в глубине материала. Анализ зависимости распределения температуры по толщине материала показывает, что характеристика распределения температуры в материале имеет симметричный вид, относительно максимального значения, а подъем и спад температуры в материале имеет вид параболы.

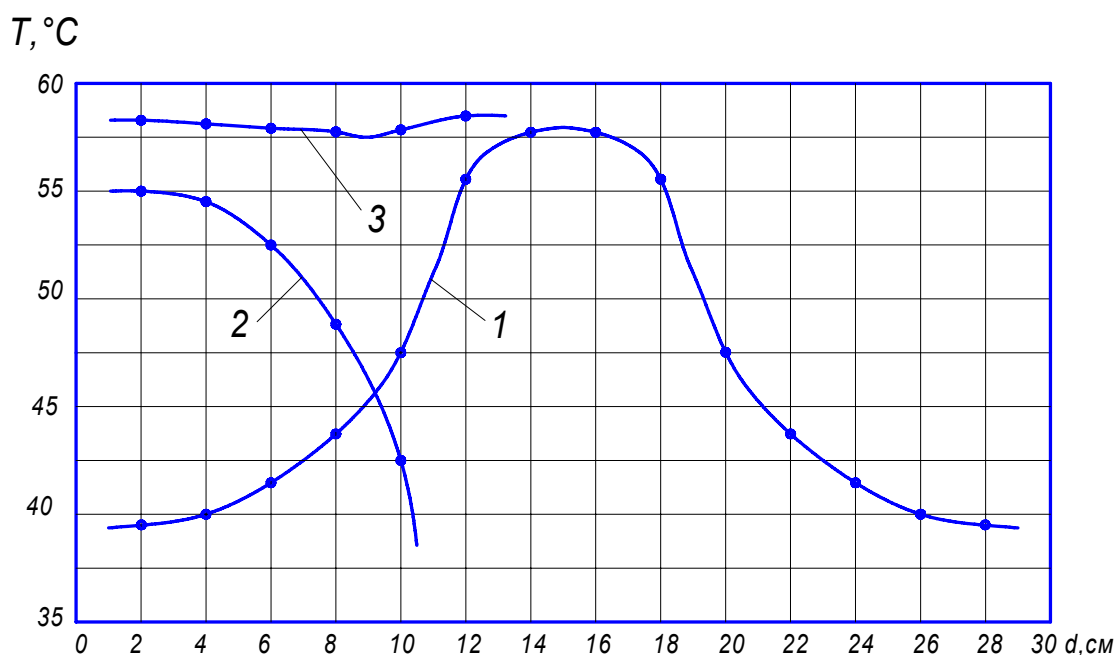


Рис. 2. Распределение температурного поля в материале по слоям. 1 – из раскрыва прямоугольного волновода; 2 – от антенны в виде капли из середины широкой стенки волновода; 3 – суммарное распределение за счет суперпозиции от двух типов антенн.

В отечественных и зарубежных научных публикациях это явление получило название “эффект яйца”, а в публикациях, посвященных нагреву объемных биологических тканей это явление получило название “эффект белых (горячих) пятен”. В медицине этот эффект широко используется в тех случаях, когда необходимо локально нагреть биологическую ткань в заданной области не повреждая окружающие ткани.

Однако, в многочисленных технологических процессах необходимо осуществлять равномерный нагрев диэлектрических материалов по всему объему. Такие технологические процессы связаны с реализацией реакций гидратации, полимеризации, процесса вспучивания и обеззараживания материалов.

В работе [2] рассмотрена модель, получившая название “составная диэлектрическая модель”, в которой силовые линии напряженности электрического поля перпендикулярны к поверхности диэлектрического материала, как это показано на рис. 1б. В этом случае [2] зависимость распределения температуры в материале имеет вид параболы. Эта парабола имеет максимальное значение на поверхности материала и спадает вглубь материала.

В этом случае значение напряженности электрического поля в диэлектрическом материале (E_{δ}) имеет вид:

$$E_{\delta} = \frac{E_0}{\sqrt{(\varepsilon'_{\delta})^2 + (\varepsilon''_{\delta})^2}}, \quad (1)$$

где E_0 - напряженность электрического поля в вакууме.

На основании этих исследований в работе [3] представлена конструкция СВЧ устройства для нагрева поверхности асфальтобетонного покрытия. Излучающая антенна выполнена в виде щели специальной формы (вид капли), про-

резанной в середине широкой стенки волновода прямоугольного сечения, работающего на основном типе колебаний H_{10} . В этом случае вектор напряженности электрического поля, как показано на рис. 1б, перпендикулярен поверхности диэлектрического материала. На рис. 2 показана зависимость распределения температуры от излучающей антенны в виде каплевидной формы (кривая 2).

На основании анализа полученных экспериментальных исследований возник метод реализации на практике равномерного распределения температуры по объему материала. Этот метод основан на суперпозиции взаимодополняющих распределений температуры в материале при условии, что объемный материал облучается с использованием обоих типов антенн, а именно:

- вектор напряженности электрического поля направлен параллельно поверхности материала и при этом создается максимум температуры в центре материала;

- вектор напряженности электрического поля направлен перпендикулярно поверхности обрабатываемого материала.

Учитывая справедливость принципа суперпозиции распределения температуры в материале, можно реализовать равномерного распределение температуры в объемных материалах с диэлектрическими потерями, как это показано на рис. 2 (кривая 3). Эти измерения показали высокую равномерность распределения температурного поля по объему материала, неравномерность температуры по объему составила не более 5°C .

Следует особо отметить то обстоятельство, что варьируя время работы источников СВЧ энергии с разными поляризациями вектора напряженности электрического поля по отношению к поверхности обрабатываемого материала, можно получить заданное распределение температуры в материалах с различными диэлектрическими потерями.

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. Э. Окресс. СВЧ – энергетика. М.: Мир, 1971, т.2.
3. Ю.В.Карпенко, В.Н.Нефедов. Машины для СВЧ – разогрева асфальтобетонных покрытий. Автомобильные дороги. Выпуск 1, 1997.