

MICROWAVE METHOD OF THE EVEN TEMPERATURE DISTRIBUTION IN THE VOLUMETRIC MATERIALS

Mamontov A.V., Nefedov V.N.

*National Research University Higher School of Economics (HSE)
Moscow Institute of Electronics and Mathematics, Higher School of Economics (MIEM HSE)
3, Bolshoy Tryokhsvyatitskiy Lane, Moscow, 109028, Russian Federation
e-mail: a.mamontov@hse.ru*

Abstract — Problems 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 80°C.

МИКРОВОЛНОВЫЙ МЕТОД СОЗДАНИЯ РАВНОМЕРНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ В ОБЪЕМНЫХ МАТЕРИАЛАХ

Мамонтов А. В., Нефедов В. Н.

*Национальный исследовательский университет «Высшая Школа Экономики» (НИУ ВШЭ)
Московский институт электроники и математики Национального исследовательского института
«Высшая школа экономики»,
Большой Трёхсвятительский пер. 3, Москва, 109028, Россия
e-mail: a.mamontov@hse.ru*

Аннотация — Рассмотрены вопросы создания равномерного распределения температуры в объемном материале, расположенном в СВЧ устройстве лучевого типа. Представлены результаты экспериментальных исследований распределения температуры в объеме материала от двух типов антенн, которые обеспечивали перпендикулярное и параллельное направление вектора напряженности электрического поля относительно поверхности материала. Показано, что отклонение температуры от номинального значения температуры составляет не более 5°C при нагреве материала до 80 °C.

I. Введение

Формирование равномерного распределения температуры в нагреваемом объемном диэлектрическом материале является одной из самых актуальных задач при создании технологического процесса с использованием СВЧ энергии. Наиболее распространённым видом электродинамической системы, используемой для целей нагрева объемных диэлектрических материалов, является прямоугольная камера, размеры которой составляют несколько длин волн источника СВЧ энергии. 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 определяются 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 кон-

струкции СВЧ устройства лучевого типа для термообработки конкретного материала с известными диэлектрическими параметрами производится на основе предварительных экспериментальных исследований [1].

II. Основная часть

В настоящей статье представлены результаты экспериментальных исследований нагрева объемного однородного диэлектрического материала с использованием одного источника СВЧ энергии с выводом энергии в виде раскрытого прямоугольного волновода, работающего на волне типа H_{10} и расположенного на верхней стенке прямоугольной камеры. В этом случае вектор напряженности электрического поля параллелен поверхности обрабатываемого материала.

Нагреву подвергался многослойный однородный диэлектрический материал толщиной 300 мм, состоящий из 30 идентичных слоев сухой древесины (сосна 9 % влажности) 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 до верхнего слоя материала. Измерения температуры материала проводились по оси излучающего волновода в центре каждого слоя материала. С целью исключения влияния отраженной мощности от металлических поверхностей, стенки камеры были покрыты поглощающим материалом. Измерение температуры проводилось с использованием термометра с ценой деления 1 °C.

На рис. 1 представлена экспериментальная зависимость распределения температуры по толщине исследуемого материала (кривая 1) для случая, когда вектор напряженности электрического поля параллелен поверхности обрабатываемого материала.

Эксперимент показал, что объемный материал имеет максимум распределения температуры не на поверхности, а в глубине материала. Анализ зависимости распределения температуры по толщине материала показал, что характеристика распределения температуры в материале до максимального значения имеет вид параболы, а спад температуры в направлении распределения СВЧ энергии имеет вид экспоненциальной зависимости. В отечественных и зарубежных научных публикациях это явление получило название “эффет яйца”.

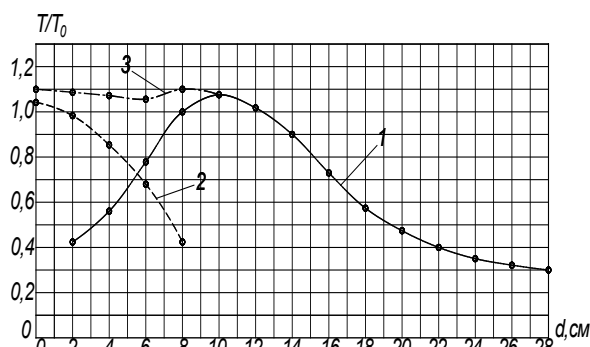


Рис. 1. Распределение температурного поля в материале по слоям:

- 1 — из раскрытия прямоугольного волновода;
- 2 — от антенны в виде капли из середины широкой стенки волновода; 3 — суммарное распределение за счет суперпозиции от двух типов антенн.

Fig. 1. Temperature field distribution in material's layers: 1 is from the rectangular waveguide's aperture; 2 is from the teardrop-shaped antenna in the center of waveguide's wide side; 3 is an overall distribution owing to superposition from two types of antennas

Однако в многообразных технологических процессах, как правило, 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. В этом случае зависимость распределения температуры в материале имеет вид параболы. Эта парабола имеет максимальное значение на поверхности материала и спадает вглубь материала.

На основании этих исследований в работе [3] представлена конструкция СВЧ устройства для нагрева поверхности асфальтобетонного покрытия. Излучающая антенна выполнена в виде щели специальной каплевидной формы, прорезанной в середине широкой стенки волновода прямоугольного сечения, работающего на основном типе колебаний H_{10} . В этом случае вектор напряженности электрического поля перпендикулярен поверхности диэлектрического материала. На рис. 1 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.

Учитывая справедливость принципа суперпозиции распределения температуры в материале, можно реализовать равномерное распределение температуры в объемных материалах с диэлектрическими потерями, как это показано на рис. 1 (кривая 3). Эти измерения показали высокую равномерность распределения температурного поля по объему материала, отклонение температуры по объему материала при нагреве до 80 °С составило не более 5°С.

III. Заключение

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.

Результаты работы могут быть использованы при термообработке объемных диэлектрических материалов в различных технологических процессах, где требуется получить заданное распределение температуры внутри обрабатываемого материала. Исследование осуществлено в рамках Программы “Научный фонд НИУ ВШЭ” в 2013-2014 гг., проект № 12-01-0136

IV. References

- [1] Mamontov A.V., Mananov A.G., Nefedov V.N., Cherkasov A.S. Metod rascheta SVCH ustanovok lucheвого tipa [Calculation method of microwaves ray-type intallation]. 5th Mezhdvuzovskaja nauchnaja shkola molodyh specialistov “Koncentrirovannye potoki jenerгии v kosmicheskoy tehnike, jelektronike, jekologii i medicine”. MGU, 2004, pp. 33-37.
- [2] Okress Je. SVCH-energetika [Microwaves energetics]. Moscow, Mir, 1971, vol. 2. 272 p.
- [3] Karpenko Ju.V., Nefedov V.N. Mashiny dlja SVCH-razogreva asfal'tobetonnih pokritij [Machines for microwaves heating asphalt paving]. Avtomobil'nie dorogi, issues 1, 1997, pp. 51.