

УДК 51-74

***МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СВЧ НАГРЕВА СРЕДЫ
ПРИ ИЗМЕНЕНИИ ЕЕ ХАРАКТЕРИСТИК***

Нуриахметов Б. И.

студент,

Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.

Н. Туполева-КАИ,

Казань, Россия

Гараев Т. К.

кандидат технических наук, доцент,

Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.

Н. Туполева-КАИ,

Казань, Россия

Аннотация

На основе математического моделирования сверхвысокочастотного воздействия электромагнитной волны на диэлектрическую среду по физической формуле разработаны программные средства, позволяющие провести нижеописанные исследования. Предметом исследования является диэлектрическая среда с известными параметрами. Имеется источник СВЧ волн с представленными характеристиками. Выявлена зависимость температуры от глубины диэлектрической среды при различном времени действия и разных мощностях источника: температура спадает по экспоненте. Также выявлено влияние характеристик среды - действительной и мнимой частей диэлектрической проницаемости - на изменение температуры. Полученные результаты оформлены в виде графиков, наглядно показывающих зависимости параметров. Представленные графики позволяют контролировать процессом нагрева диэлектрической среды, варьируя различными характеристиками для

достижения определенных целей. Практическое применение заключается в том, что данные исследования позволяют получить более равномерный нагрев обрабатываемой среды.

Ключевые слова: температура, СВЧ волны, диэлектрическая среда, нагрев, диэлектрическая проницаемость среды.

MATHEMATICAL MODELING OF MICROWAVE HEATING OF A MEDIUM WHEN ITS CHARACTERISTICS ARE CHANGED

Nuriakhmetov B.I.

student,

*Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev–KAI,
Kazan, Russia*

Garaev T.K.

Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor,

*Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev–KAI,
Kazan, Russia*

Annotation

On the basis of mathematical modeling of the microwave action of an electromagnetic wave on a dielectric medium, software tools based on a physical formula have been developed that allow carrying out the studies described below. The subject of research is a dielectric medium with known parameters. There is a source of microwave waves with the presented characteristics. The dependence of temperature on the depth of the dielectric medium is revealed for different action times and different source powers: the temperature decreases exponentially. The influence of the characteristics of the medium - the real and imaginary parts of the permittivity - on the change in temperature is also revealed. The results obtained are presented in the form of graphs that clearly

show the dependence of the parameters. The presented graphs allow you to control the process of heating the dielectric medium, varying various characteristics to achieve certain goals. Practical application lies in the fact that these studies make it possible to obtain a more uniform heating of the processed medium.

Key words: temperature, microwave waves, dielectric medium, heating, dielectric constant of the medium.

Актуальными задачами в разработке установок сверхвысокой частоты (СВЧ установок) является выявление оптимальных режимов термообработки диэлектрических материалов, с точки зрения равномерного нагрева. Так же необходимо исследовать влияние различных факторов, в том числе характеристик обрабатываемых диэлектрических сред при воздействии СВЧ электромагнитных волн. Данные исследования значительно снижают финансовые и временные затраты на экспериментальные исследования и разработку СВЧ устройств. В работе проведены исследования температурного поля в диэлектрической среде.

В настоящее время существуют множество научных работ, посвященных математическому моделированию управления процессом теплопередачи СВЧ нагрева диэлектрических сред [1, 58-61]; [3]; [4, 103-119]; [6; 292-295], в том числе запатентованы способы и устройства [2].

В работе представлено исследование на основе математической модели нагрева диэлектрической среды с параметрами: $\epsilon' = 3,4$, $\epsilon'' = 0,578$ - действительная и мнимая части диэлектрической проницаемости, $C = 1717$ Дж/(кг*К), $\lambda = 1,15$ Вт/(м*К) – коэффициенты теплоёмкости и теплопроводности соответственно, $\rho = 1560$ кг/(м*К) – плотность среды, с помощью СВЧ энергии электромагнитной волны. Характеристика источника: $A_0 = 25$ кВт – мощность, $f = 2450$ МГц - частота. На поло бесконечную диэлектрическую среду перпендикулярно падает плоская электромагнитная волна. По формуле, для модели

$$T(x,t) = T_0 + \frac{F_e S_0^+}{2\alpha\lambda} \exp(-2\alpha x) (\exp(4\alpha^2 a^2 t) - 1),$$

разработаны программные средства и проведены исследования изменения характеристик температурного поля диалектической среды.

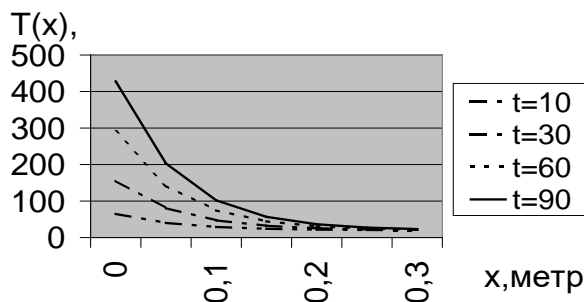


Рис. 1. Зависимость температуры от глубины, при разном времени нагрева, [сек]

Авторская разработка

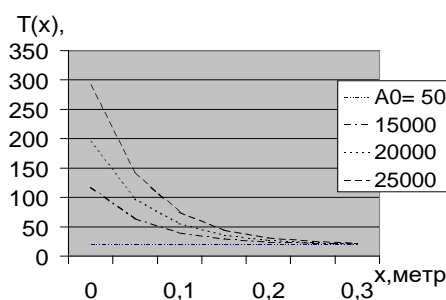


Рис. 2. График температуры от глубины, при разных мощностях источника СВЧ, [Вт]

Авторская разработка

В данной математической модели температура имеет спадающий характер в глубине среды, (по \exp) (рис 1, 2). Влияние времени нагрева имеет очевидную зависимость, так же, как и мощность источника A_0 [Вт], (рис 1).

Влияние параметров среды на рост градиента температуры имеет не малозначимых характер, так, например, изменение действительной части диэлектрической проницаемости значительно влияет на температуру, (рис 3, 4).

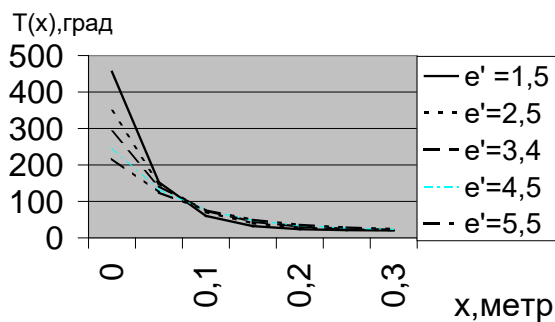


Рис.3. Зависимость температуры от глубины, при разных ϵ'

Авторская разработка

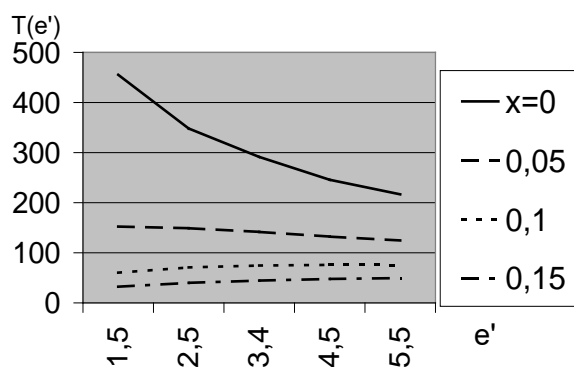


Рис.4. Зависимость температуры среды от ϵ' -действительной части диэлектрической проницаемости, на разных глубинах, [м]

Авторская разработка

Такой же интерес представляет и мнимая часть комплексной диэлектрической проницаемости среды (рис 5, 6).

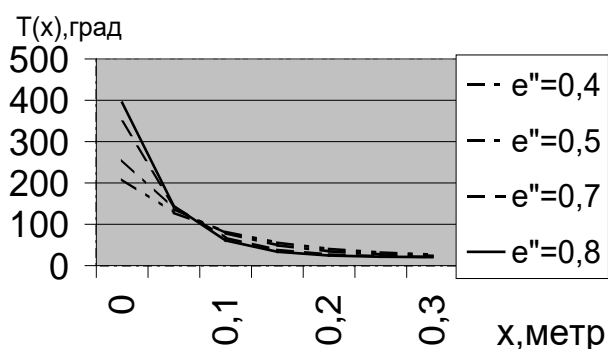


Рис.5. Зависимость температуры от глубины, при разных ϵ''

Авторская разработка

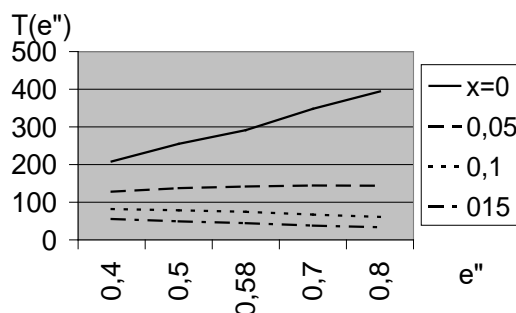


Рис.6. Зависимость температуры от ϵ'' - мнимой части диэлектрической проницаемости, на разных глубинах, [м]

Авторская разработка

В виду значительных изменения температурного поля в зависимости от характеристик среды, исследование характера изменения температурного распределения поля в среде представляет не малый интерес и имеет практическое применение [5, 49].

С помощью моделирования и исследования процессов нагрева в среде так же можно выявить влияние, тех или иных, параметров источника облучаемой энергии на изменение температуры. Варьируя некоторыми параметрами, можно достичь равномерного нагрева диэлектрической среды по всему объему в микроволновой установке.

Библиографический список

1. Анфиногентов В.И. Об одной задаче управления процессом теплопередачи в среде с фазовым переходом / Анфиногентов В.И., Гараев Т.К., Гарифуллин Э.И., Дараган М.А. // Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева. 2011. № 3. С. 58-61.

2. Гараев Т.К. Способ микроволновой обработки жидкой водонефтяной смеси и устройство для его осуществления / Гараев Т.К., Анфиногентов В.И., Морозов Г.А. // Патент на изобретение RU 2327865 С1, 27.06.2008. Заявка № 2006140772/03 от 17.11.2006.

3. Гараев Т.К. Методы и устройства повышения эффективности СВЧ комплексов обработки нефтепродуктов. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Гараев Т.К. // Казанский государственный технический университет им. А.Н. Туполева. Казань, 2004.

4. Кувшинов Н.Е. Математическая модель микроволнового нагрева обрабатываемой среды и термопреобразователей для контроля распределения температуры модернизированным калориметрическим методом / Кувшинов Н.Е. // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. 2021. № 3 (51). С. 103-112.

5. Смирнов С.В. Исследование СВЧ технологических комплексов переработки твердых и жидких сред / Смирнов С.В., Морозов Г.А., Морозов О.Г., Насыбуллин А.Р., Анфиногентов В.И., Фархутдинов Р.В. // Инженерный вестник Дона. 2018. № 4 (51). С. 49.

6. Хамитова А.А. Разработка СВЧ камер обработки диэлектрических сред / Хамитова А.А. // XXIV Туполевские чтения (школа молодых ученых). Материалы Международной молодёжной научной конференции. В 6-ти томах. 2019. С. 292-295.

Оригинальность 79%