РАЗДЕЛ XII. МОДЕЛИРОВАНИЕ

Егоров Г.И., Гараев Т.К.

Математическое моделирование влияния диэлектрической проницаемости среды на сверхвысокочастотный нагрев*Казанский национальный исследовательский технический университет им. А. Н. Туполева
(Россия, Казань)*

doi: 10.18411/trnio-12-2021-258

Аннотация

В работе исследуется влияние действительной и мнимой частей диэлектрической проницаемости, на нагрев диэлектрического материала при воздействии электромагнитной волной сверхвысокой частоты. Полученные результаты и проведенные исследования показали, что действительная и мнимые части значительно влияют температуру нагрева, а также на равномерность распределения температурного поля в материале.

Ключевые слова: диэлектрическая проницаемость, моделирование нагрева, электромагнитная волна, изменение температуры.

Abstract

This work investigates the effect of the real and imaginary parts of the dielectric permittivity, on the heating of the dielectric material when exposure to an electromagnetic wave of ultrahigh frequency. The results obtained results and studies have shown that the real and imaginary parts significantly affect the heating temperature as well as the the uniformity of the temperature field distribution in the material.

Keywords: dielectric constant, heating simulation, electromagnetic wave, temperature change.

Научный интерес к сверхвысокочастотному (СВЧ) нагреву мирового научного сообщества обусловлено стремительному внедрению СВЧ устройств в различную деятельность человечества. Начиная от бытовых СВЧ установок, заканчивая промышленными энергосберегающими производственными комплексами нагрева сред. Причем в последнее время актуальность еще больше выросла на фоне повышения мировых цен на другие энергоносители (ГАЗ, нефть), нежели электроэнергию.

В настоящее время научных работ по моделированию, исследованию, разработке [1] и внедрению в эксплуатации, в том числе патентов [2, 3], программных средств имеются множество, однако сам процесс СВЧ нагрева диэлектрической среда до конца не исследован. Например, как показали исследования настоящей работы, мнимая и действительная комплексная части диэлектрической проницаемости значительно влияют на процесс нагрева и влияют на изменение температуры.

На практике ϵ - диэлектрическая проницаемость на СВЧ зависит от многих параметров, и не только от состава и окружающих условий среды, но и от характеристики облучаемого источника СВЧ. Так, например ϵ - зависит от температуры исследуемой среды, состава - компонентов среды, от частоты облучателя электромагнитной волны.

Применяя функцию из [1]

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

исследовался нагрев диэлектрической среды при облучении сверхвысокочастотной энергией. Получены ряд характеристик, представленных на графиках (рис. 1-4).

Рисунок 1. Изменение температуры в зависимости от глубины среды - x , при разных e' .

Рисунок 2. График зависимости температуры среды от действительной части диэлектрической проницаемости - e' , на разной глубине среды x .

Рисунок 3. Изменение температуры в зависимости от глубины среды - x , при разных e''

Рисунок 4. Зависимость температуры от мнимой части диэлектрической проницаемости- ϵ'' , на разной глубине среды - χ .

Как видно из графиков изменение мнимой и действительной частей диэлектрической проницаемости существенно изменяет, (более чем в 2 раза) характер температуры нагрева в среде.

При увеличении ϵ' температура уменьшается вблизи поверхности изделия, начиная с $\approx \chi_0=0,1$ (рис. 1) температура увеличивается. В случае изменения ϵ'' происходит все наоборот. С ростом ϵ'' температура увеличивается вблизи поверхности, начиная с $\approx \chi_1=0,08$ (рис. 3) уменьшается. В обоих случаях при изменениях как ϵ' , так ϵ'' температура претерпевает изменение закономерно.

На поверхности среды при увеличении ϵ'' или уменьшение ϵ' температура будет возрастать. В глубине среды – напротив, увеличивая ϵ'' или уменьшая ϵ' значение температуры образца незначительно, но уменьшается, это видно из рис. 2 и 4.

Следует заметить, что на фиксированной глубине χ (рис. 1, 3) изменение мнимой и действительной частей диэлектрической проницаемости не влияет на температуру среды (рис. 2, 4). Причем эта граница для ϵ' может быть одной, например χ_0 (рис. 1), а для ϵ'' - другой, например χ_1 (рис. 3). Хотя, возможно, при некоторых условиях значения χ_0 и χ_1 совпадут. В рассмотренном случае χ_0 практически не отличается от χ_1 .

Подобные исследования, особенно для различных диэлектрических материалов; жидких, твердых и газообразных представляют значительный научный интерес и применимы в практике.

1. Гараев Т.К. Методы и устройства повышения эффективности СВЧ комплексов обработки нефтепродуктов. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Казань, 2004.
2. Гараев Т.К., Анфиногентов В.И., Морозов Г.А. Способ микроволновой обработки жидкой водонефтяной смеси и устройство для его осуществления. Патент на изобретение RU 2327865 C1, 27.06.2008. Заявка № 2006140772/03 от 17.11.2006.
3. Анфиногентов В.И., Гараев Т.К., Морозов Г.А. Способ термообработки диэлектрического материала в электромагнитном СВЧ-поле и устройство для его осуществления. Патент на изобретение RU 2241318 C1, 27.11.2004. Заявка № 2003120400/09 от 03.07.2003.