

гался привес влаги: 4,5% – 1,5% и 18% и 12%, соответственно при имитации ВТО и ОС. Удлинение систем материалов осуществлялось в интервале 20% – 10%. Фактор времени тепловой фиксации поддерживался постоянным и равнялся 4 мин при ВТО и 25 мин при ОС.

Исследования показали, что более формоустойчивы системы с жесткой кожей. При фиксации формы методом ВТО оптимальными технологическими параметрами для систем из мягкой кожи являются: $T = 125\text{--}135\text{ }^\circ\text{C}$, $\Delta W = 3\%$, для систем с жесткой кожей: $T=125\text{--}135\text{ }^\circ\text{C}$, $\Delta W=4,5\%$. При выполнении этих режимов достигается максимальная формоустойчивость: $K = 86\%$ и 88% соответственно для систем с мягкой и жесткой кожей. При фиксации формы методом основной сушки систем с мягкой кожей оптимальными являются режимы: $T=55\text{--}65\text{ }^\circ\text{C}$, $\Delta W= 6\%$ ($K = 86\%$), а систем с жесткой кожей: $T = 60\text{--}65\text{ }^\circ\text{C}$, $\Delta W = 15\%$ ($K = 93\%$).

Таким образом, исследования показали, что высокая формоустойчивость систем материалов, ($K > 80\%$) достигается как при фиксации формы влажно-тепловой обработкой, так и методом основной сушки. Но системы с жесткой кожей наиболее целесообразно увлажнять более интенсивно с последующей фиксацией методом основной сушки, так как в этом случае можно добиться максимальной формоустойчивости.

©ПГУ

МОДЕЛЬНОЕ ОПИСАНИЕ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОНИЦАЕМОСТИ ГЕТЕРОГЕННЫХ СИСТЕМ В СВЧ ДИАПАЗОНЕ

О. В. МОЖЕЙКО, Ю. Г. ГРОЗБЕРГ

Reviewed are formulae and methods for finding dielectric constant of heterogenous media. Using these formulae were made calculations, which were also confirmed by experimental measurements

Ключевые слова: диэлектрическая проницаемость, СВЧ, гетерогенная среда, древесина

1. ВВЕДЕНИЕ

Гетерогенные материалы, к которым относятся и композиционные материалы, широко распространены в природе и широко используются в технике. Изучению тепло- и электрофизических, диффузионных, диэлектрических и механических свойств гетерогенных материалов в широком диапазоне изменения температур, в условиях наложения различных физических полей посвящено множество работ.

Первые работы связаны с именами Максвелла и Рэлея. При изучении физико-механических свойств неоднородных сред было предложено значительное количество методов, приемов исследования, эмпирических и полуэмпирических формул и т.д. Удивительно, что многие результаты забывались и неоднократно переоткрывались в разное время и в разных странах. Внимательное знакомство с материалом приводит к выводу, что в данной области отсутствует единая концепция, общий метод анализа диэлектрических свойств.

Таким образом, возникает стремление к обобщению данного материала и нахождению формул определения диэлектрической проницаемости наиболее согласующихся с экспериментальными данными.

2. ОСНОВНОЙ ТЕКСТ

Теория гетерогенных материалов развивается в основном в двух направлениях: в первом уточняются существующие формулы, во втором предлагаются новые модели, методы и формулы определения эффективных параметров. Известные исследования объединяются в следующие основные группы: полуэмпирические методы, методы эффективной среды, интегральные, асимптотические методы и конструирование функций, геометрическое моделирование структуры [1–4]. Наиболее значительные результаты были получены в случае двухкомпонентных сред, в основном для систем с двоякопериодическим распределением включений. Рассмотрим эти методы для системы диэлектрик в диэлектрике.

В полуэмпирическом методе система уравнений состояния среды дополняется полученной на основе обработки экспериментальных данных зависимостью между параметрами, полями и концентрациями компонентов вещества. Для отдельных систем эти данные аппроксимируются, а входящие в эти выражения компоненты определяются из опыта [5]:

$$\varepsilon = \varepsilon_1 \left[\left(1 + \frac{v_2 \psi_2}{v_1 \psi_1} \right)^{-1} + k \left(1 + \frac{v_1 \psi_1}{v_2 \psi_2} \right)^{-1} \right]; \quad k = \frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1}; \quad (1)$$

где ε , ε_1 и ε_2 – комплексная диэлектрическая проницаемость неоднородной среды; дисперсионной среды и включения соответственно; v_2 – объемная концентрация включения; ψ – экспериментально определяемая функция.

В методе эффективной среды гетерогенные вещества моделируются произвольно выбранной частицей, окруженной средой с искомыми свойствами [2–4]. Используя различные подходы и математические методы из различных моделей была получена одна и та же формула Максвеллом-Гарнетом, Лоренц-Лорентцом, Винером, Вагнером [1–3].

$$\varepsilon = \varepsilon_1 + \varepsilon_1 v_2 \frac{3(k-1)}{k+2}; \quad (2)$$

Формула Максвелла-Лоренца-Вагнера справедлива при $v_l \ll 1$.

Другая формула для средней диэлектрической проницаемости была неоднократно выведена Оделевсим, Бетчером. Она известна как формула Кондорского-Оделевского:

$$\varepsilon = \varepsilon_1 \left\{ \left[\frac{(3v_1 - 1) + (3v_2 - 1) \frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1}}{4} + \sqrt{\left[\frac{(3v_1 - 1) + (3v_2 - 1) \frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1}}{4} \right]^2 + 16 + \frac{\varepsilon_2}{2\varepsilon_1}} \right] \right\}; \quad (3)$$

Основным недостатком метода эффективной среды является то, что при $k = \varepsilon_2/\varepsilon_1 = 0$ и $v_l < 0,3$ диэлектрическая проницаемость отрицательна, что противоречит физическому смыслу при $k < 10^{-2}$ наблюдается расхождение с экспериментальными данными [7], так как не учитываются поверхностные и контактные явления на границе раздела компонентов, которые иногда определяют процессы переноса в гетерогенных системах.

Интегральный метод был предложен Бруггеманом [3], затем заново использовался Т.Ханаи, В.В.Скорородом для несовершенного, неоднородного диэлектрика:

$$\frac{\varepsilon - \varepsilon_2}{\varepsilon_1 - \varepsilon_2} \left(\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon} \right)^{1/3} = 1 - v_2. \quad (4)$$

Несмотря на внутреннюю противоречивость, формула Бруггемана-Ханаи в ряде случаев совпадают с экспериментом. Анализ (4) показывает, что при равной нулю диэлектрической проницаемости дисперсионной среды ε_1 диэлектрическая проницаемость среды ε равна нулю при любых значениях концентрации дисперсионной фазы v_2 . Этот результат неверен и ограничивает использование данного метода.

В асимптотических методах (Л. Д. Ландау и Е. М. Лифшиц) используется последовательное приближение, когда принятая математическая модель исследуется и дополняется до тех пор, пока не будет получено возможно лучшее соответствие между теоретическими и экспериментальными данными. Существенным недостатком данного метода является то, что не учитывается структура смеси, и, например, для сферических, волокнистых, эллипсоидальных частиц выражение для ε имеет одинаковый вид, в то время как эксперимент показывает различную для таких систем зависимость ε от концентрации.

Метод конструирования функций развивался Лихтенекером и его сотрудниками в 1910–1930 годах. Анализ этих работ подробно проведен в [4], где показано, что полученные формулы для ε при предельных переходах дают неверные результаты. В методах конструирования функций вид ε определяется не из решения физической задачи, а путем формального конструирования функций, удовлетворяющих предельным условиям и ряду качественных требований, таких, как инвариантность по отношению к компонентам и обратимость выражений.

Распространенной является полуэмпирическая формула смесей [8] имеющая вид:

$$\varepsilon^\alpha = \sum_i v_i \varepsilon_i^\alpha; \quad (5)$$

где v_i – объемная доля i -го компонента смеси, ε_i^α – комплексные диэлектрические проницаемости компонент, α – константа. При $\alpha = 1/2$ имеем рефракционную модель:

$$\sqrt{\varepsilon} = v_1 \sqrt{\varepsilon_1} + v_2 \sqrt{\varepsilon_2}; \quad (6)$$

При $\alpha = 1/3$ имеем формулу Бирчака:

$$\sqrt[3]{\varepsilon} = v_1 \sqrt[3]{\varepsilon_1} + v_2 \sqrt[3]{\varepsilon_2}; \quad (7)$$

Среди новых моделей расчета диэлектрической проницаемости рассмотрим метод Арамяна М. А., основанный на теории усреднения [9] для смесей с включениями любой геометрической формы. В частности, для материалов со сферическими включениями регулярной структуры применяется следующая формула:

$$\varepsilon = \varepsilon_1 \cdot \frac{\varepsilon_2 + 2\varepsilon_1 + \nu_2(\varepsilon_2 - \varepsilon_1)(1 + \nu_2)}{\varepsilon_2 + 2\varepsilon_1 - \nu_2(\varepsilon_2 - \varepsilon_1)(2 - \nu_2)}; \quad (8)$$

а для смеси с цилиндрическими включениями:

$$\varepsilon = \varepsilon_1 \cdot \frac{\varepsilon_2 + \varepsilon_1 + \nu_2^2(\varepsilon_2 - \varepsilon_1)}{\varepsilon_2 + \varepsilon_1 - \nu_2(\varepsilon_2 - \varepsilon_1)(2 - \nu_2)}; \quad (9)$$

Данная формула применима для сред, в которых на разделе неоднородностей имеется простой электрический слой. В интервале изменения объемной концентрации включений (от 0 до 0,5) формула хорошо согласуется с экспериментом.

Диэлектрическая проницаемость гетерогенных систем при СВЧ-обработке изменяется с частотой и для материалов из полярных молекул, в частности воды и льда, согласно дипольно-релаксационной теории Дебая [10], определяется соотношениями:

$$\varepsilon = \varepsilon'_\infty + \frac{\varepsilon'_s - \varepsilon'_\infty}{1 + j\omega\tau}; \quad \varepsilon' = \varepsilon'_\infty + \frac{\varepsilon'_s - \varepsilon'_\infty}{1 + \omega^2\tau^2}; \quad \varepsilon'' = \frac{(\varepsilon'_s - \varepsilon'_\infty)\omega\tau}{1 + \omega^2\tau^2}; \quad (10)$$

где ε' и ε'' – действительная и мнимая часть диэлектрической проницаемости среды, $\varepsilon_s, \varepsilon_\infty$ – статическая диэлектрическая проницаемость и диэлектрическая проницаемость при $f \rightarrow \infty$; f – частота поля, 2,45 Гц; τ – время релаксации, с; ω – циклическая частота зондирующего электромагнитного поля, Гц.

Для опытной проверки адекватности выше описанных моделей были проведены экспериментальные измерения комплексной диэлектрической проницаемости гетерогенной полислоистой среды – древесины – на частоте 2,45 ГГц методом линии передач при перпендикулярной и параллельной ориентации вектора напряженности электрического поля.

Сравнивались экспериментальные данные с рассчитанными по формулам Максвелла-Лоренца; Бирчака, Кондорского-Оделевского, а также по рефракционной модели.

Были проведены расчеты комплексной диэлектрической проницаемости в зависимости от влажности древесины. Полученные результаты вычисления вещественной части диэлектрической проницаемости древесины (сосны) при перпендикулярной ориентации вектора напряженности электрического поля относительно волокна образца в зависимости от влажности при $T=23$ °С и экспериментальные данные приведены в таблице.

Из данных таблицы можно сделать вывод, что формула Максвелла-Лоренца дает неадекватный результат, так как область ее применения ограничивается условием – концентрация матричной среды (в данном случае древесины) $\nu_1 \ll 1$. Формула Кондорского-Оделевского применима для случая $\nu_1 < 0,3$ в то время как для древесины – $0,5 < \nu_1 < 0,96$.

Таким образом формулы Максвелла-Лоренца и Кондорского-Оделевского нельзя применять для расчета комплексной диэлектрической проницаемости древесины.

Таблица – Экспериментальные и расчетные данные

Влажность древесины , кг/кг	ε'_\perp , эксперимент	Формулы			
		ε'_\perp , рефракционная модель	ε'_\perp , Бирчака	ε'_\perp , Максвелла- Лоренца	ε'_\perp , Кондорского- Оделевского
0,1	2,0	0,823014	1,068465	1,382833	-5,62876
0,2	2,5	2,420174	2,033261	1,776534	-3,2865
0,3	3,6	4,428552	3,479144	2,109665	-1,09035
0,4	6,1	6,629314	4,990855	2,395206	1,046311
0,5	7,2	8,894515	6,610499	2,642675	3,183495
0,6	11,1	11,14916	8,414554	2,859211	5,347977
0,8	16,1	15,4723	11,42788	3,220103	9,704236
1,0	18,8	19,43967	14,96345	3,508817	13,8698

Дальнейшее сравнение экспериментальных значений действительной и мнимой части комплексной диэлектрической проницаемости древесины при перпендикулярной и параллельной ориентации волокон относительно поля с расчетными показало, что для определения действительной части комплексной диэлектрической проницаемости древесины при перпендикулярной ориентации волокон относительно поля (ε'_{\perp}) лучше использовать формулу Бирчака, а для определения мнимой части диэлектрической проницаемости при параллельной и перпендикулярной ориентации волокон относительно поля ($\varepsilon''_{\parallel}$, ε''_{\perp}) и действительной части комплексной диэлектрической проницаемости древесины при параллельной ориентации волокон относительно поля (ε'_{\parallel}) – рефракционную модель, так как она точнее согласуется с экспериментом.

В связи с тем, что формула Арамяна справедлива лишь для сред, имеющих на разделе неоднородностей простой электрический слой, формула Бруггемана-Ханаи, как указывается в [11] имеет ряд противоречий в методе построения и совпадение с экспериментом в большей степени - расчет для данных формул не производился.

3. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В процессе исследований был проведен анализ и обобщение моделей определения диэлектрической проницаемости гетерогенных сред; проведены экспериментальные измерения комплексной диэлектрической проницаемости гетерогенной полислоистой и градиентной среды – *древесины* на частоте 2,45 ГГц методом линии передач при перпендикулярной и параллельной ориентации вектора напряженности электрического поля; на основе сравнения экспериментальных значений комплексной диэлектрической проницаемости древесины с расчетными было установлено, что для определения действительной части комплексной диэлектрической проницаемости древесины лучше использовать формулу Бирчака, так как она точнее согласуется с экспериментом., для определения мнимой части диэлектрической проницаемости – рефракционную модель.

Литература

1. Van Been L.V. // Progress in Dielectric. London. 1967. P.69-115.
2. Духин С. С., Шилов В. Н. Диэлектрические явления и двойной слой в дисперсных системах и полиэлектролитах, Киев, 1972.
3. Нетушил А. В. // Электричество, 1975. №10. С.1-8.
4. Дульнев Г. Н., Заричняк Ю. П. Теплопроводность смесей и композиционных материалов. // Л.: Энергия, 1974.
5. Андреев А. В., Мальтер В. Л. Теплопроводность огнеупорных материалов // Электротехническая промышленность. Сер. электротермия. 1975. Вып. 2. С. 6.
6. Новиков В. В. Коэффициент теплового расширения ортотропных материалов //ИФЖ. 1983. Т. 45, №3. С. 5U-513.
7. Новиков В. В. Двусторонние оценки тепло- и электропроводности микрон неоднородных материалов // ИФЖ. 1986. Т. 50, № 5. С 862-866.
8. Birchak J. R., Gardner G. G., Hipp J. E., Victor J. M. High dielectric constant microwave probes for sensing soil moisture //Proc. IEEE. 1974. V.62. P.93-98.
9. Арамян М. А. // ИФЖ.1994 Т.67. №1-2. С.132-140.
10. Хиппель А. Р. Диэлектрики и их применение // Пер. с англ., М.–Л., 1959.– 336 с.
11. Духин С. С., Шилов В. Н. Диэлектрические явления и двойной слой в дисперсных системах и полиэлектролитах. // Киев: Наукова думка, 1972,-с.272

©БГТУ

ПОВЫШЕНИЕ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ТВЕРДОСПЛАВНЫХ ДЕРЕВООБРАБАТЫВАЮЩИХ ФРЕЗЕРНЫХ НОЖЕЙ

А. В. МЫСИН, Н. В. БУРНОСОВ

The finishing process of the woodworking tools has been studied

Ключевые слова: твердый сплав, заточка, доводка

Технические мероприятия, повышающие износостойкость и долговечность режущих элементов, могут быть разделены на три основные группы:

- выбор рациональных конструктивных геометрических параметров режущего элемента, таких как величина угла заточки, переднего угла резания, диаметра окружности резания, угла наклона лезвия или угол наклона шпинделя к направлению резания;
- набор оптимальных параметров режима резания, таких, как скорость резания, подача на резец, толщина срезаемого слоя материала;
- применение износостойких материалов для изготовления режущих инструментов.

Современные исследования направлены, в основном, на повышение стойкости режущих инструментов, решаются задачи, направленные на изыскание или подбор новых инструментальных мате-