

Электрические методы

УДК 620.179

ДИЭЛЬКОМЕТРИЯ ОРТОТРОПНЫХ МАТЕРИАЛОВ ТЕКСТИЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

A.A. Джежора, A.M. Науменко

Рассмотрена модель накладного электроемкостного преобразователя (ЭП) с экраном. Решены прямая и обратные задачи, определены зоны контроля преобразователя, а также оптимальные конструктивные параметры ЭП, обеспечивающие высокую чувствительность к анизотропии диэлектрических свойств ортотропных материалов. Проведены исследования эффективной диэлектрической проницаемости льноволокна при различной влажности в зависимости от частоты электромагнитного поля в направлении волокна и перпендикулярном ему. Разработан дизелькометрический метод оценки качества льноволокна.

Ключевые слова: модель накладного электроемкостного преобразователя с экраном, анизотропия, чувствительность.

ВВЕДЕНИЕ

Льноволокно в зависимости от прядильной способности делится на чесаное волокно, очесы, короткое волокно. Такое деление обусловлено особенностями механической технологии его первичной обработки и чесания. Присутствие коротких волокон в чесаном льноволокне значительно ухудшает процесс прядения, качество получаемой пряжи. При оценке качества льноволокна большое внимание уделяется однородности волокна, степени очистки его от непрядомых примесей, которые влияют на качество пряжи, ее обрывность, расход сырья на единицу массы пряжи. Вопросы неразрушающего контроля качества льноволокна неразрывно связаны с контролем его физико-механических свойств. Льноволокно характеризуется высокоориентированной целлюлозой и обладает одноосной анизотропией диэлектрических свойств.

Исследования анизотропии волокон связаны с измерением значений констант тензора диэлектрической проницаемости $\epsilon_x, \epsilon_y, \epsilon_z$. Различия в значениях констант незначительны, поэтому погрешности, обусловленные неплотным прижатием электродов к контролируемой поверхности, а также за счет краевого эффекта на торцах электродов, где поле не является плоскопараллельным, могут привести не только к количественным, но и к качественным изменениям в представлении об анизотропии контролируемого волокна. В этой связи возникает необходимость в оценке анизотропии без перестановки ЭП. Решение этой задачи связано с конструированием дифференциальных ЭП в виде многосекционных экранированных накладных измерительных конденсаторов (МЭНИК) [1], обеспечивающих создание полей вдоль и поперек волокон и измерение разности двух емкостей. Выбор дифференциального способа измерения связан с тем, что на торцах ЭП поле ориентировано во всех направлениях и емкость, вносимая торцами, является интегральной характеристикой анизотропного материала. Устранить этот вклад можно только за счет применения разностного сигнала, так как отношение сигналов устранить эту погрешность не позволяет. В случае определения самих значений констант тензора диэлектрической проницаемости необходимо исполь-

Александр Александрович Джежора, канд. техн. наук, доцент, зав. кафедрой ТиТМ Витебского государственного технологического университета. Тел. 8(033) 645-22-31. E-mail: jejora@rambler.ru

Андрей Михайлович Науменко, аспирант кафедры ПНХВ Витебского государственного технологического университета. Тел. 8(029) 518-93-33. E-mail: nenuaguinsti@tut.by

зователь два идентичных ЭП с различной длиной электродов L_1 и L_2 . Разность емкостей преобразователей, измеренных для различных длин электродов L_1 и L_2 , при ориентации их полей в одном направлении структуры отражает погонную емкость на длину электродов без учета краевых эффектов на торцах.

Помимо устранения погрешности за счет краевого эффекта дифференциальный способ измерения позволяет снизить влияние паразитной емкости, возникающей в подложке МЭНИК, а также воздушных зазоров между образцом и измерительными электродами.

МОДЕЛЬ МЭНИК

Сечение секции МЭНИК представлено на рис. 1. Ленточные электроды 1 и 2 создают плоскопараллельное поле за исключением поля на торцах электродов. Вклад этой части поля на торцах электродов становится ощутим, когда ширина МЭНИК Nr (N — число секций, r — ширина секции) сравнима с длиной электродов L . Контролью анизотропии диэлектрических свойств тонких полимерных материалов способствует экран 4 над контролируемым материалом. Он выполняет две функции: во-первых, устраняет кумулятивный эффект, во-вторых, оттягивает часть потока силовых линий на себя, увеличивая долю горизонтальной составляющей напряженности электрического поля, что усиливает чувствительность МЭНИК к анизотропии диэлектрических свойств в плоскости материала.

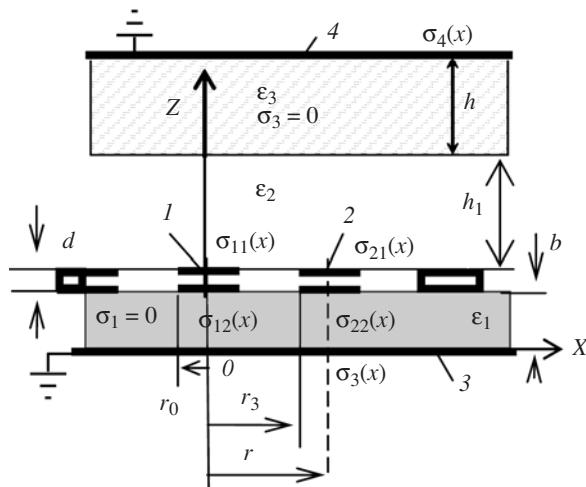


Рис. 1. Сечение секции МЭНИК.

Рабочая емкость МЭНИК определяется двумя потоками силовых линий, замыкающихся на низкопотенциальный электрод 2. Первый поток замыкается над поверхностью электродов в области контроля и частично проникает в область подложки, второй — замыкается в подложке, поэтому паразитная составляющая рабочей емкости зависит от диэлектрических свойств контролируемого образца и может быть уменьшена за счет надлежащего выбора материала и геометрии размеров подложки. Рабочая область контроля не охватывает контролируемый образец полностью. Она определяется границами раздела потоков, замыкающимися на экраны 3, 4, и требует расчета глубины и ширины зон контроля. Расчет эквипотенциалей электрического поля в воздухе ($ε_2 = ε_3 = 1$) проводили после нахождения дискретных значений распределения поверхностной плотности заряда

на каждой из двух сторон электродов: первом $\sigma_{1k}(x)$, втором $\sigma_{2k}(x)$ и на экра-нах $\sigma_3(x)$, $\sigma_4(x)$ согласно результатам работы [1].

Значения потенциалов точек поля рассчитывали следующим образом.

В подложке ($0 < z \leq b$)

$$\begin{aligned}
 V(x, z) = & \frac{1}{\varepsilon_1 \varepsilon_0 2\pi} \left[\sum_{i=1}^{n_1+\dots+n_2} \left[\beta_{21} \psi_i(x, b-z+d) + \right. \right. \\
 & \left. \left. \sum_{s=1}^T \left[\gamma^s \beta_{21} \psi_i(x, 2s(h_1+d)+b-z+d) + \gamma^{s-1} \beta_{21} \lambda_{23} \psi_i(x, b-z+2s(h_1+d)-d) \right] \right] + \right. \\
 & + \sum_{i=n_1+\dots+n_2+1}^{n_1+\dots+n_4} \left[\beta_{21} \psi_i(x, b-z) + \sum_{s=1}^T (\gamma^s + \lambda_{23} \gamma^{s-1}) \beta_{21} \psi_i(x, b-z+2s(h_1+d)) \right] + \\
 & + \sum_{i=n_1+\dots+n_4+1}^{n_1+\dots+n_5} \left[\psi_i(x, y) + \lambda_{12} \psi_i(x, 2b-z) + \lambda_{23} \beta_{12} \beta_{21} \psi_i(x, 2(b+d+h_1)-z) + \right. \\
 & \left. \left. + \sum_{s=1}^T \beta_{12} \beta_{21} \gamma^s \lambda_{23} \psi_i(x, 2b-z+2(s+1)(h_1+d)) \right] + \right. \\
 & + \sum_{i=n_1+\dots+n_5+1}^{n_1+\dots+n_6} \left[\beta_{32} \beta_{21} \psi_i(x, b-z+h+h_1+d) + \right. \\
 & \left. \left. + \sum_{s=1}^T \beta_{32} \beta_{21} \gamma^s \psi_i(x, b-z+h+2(s+1)(h_1+d)) \right] .
 \end{aligned}$$

В воздушном зазоре ($b+d < z \leq b+d+h_1$)

$$\begin{aligned}
 V(x, z) = & \frac{1}{\varepsilon_2 \varepsilon_0 2\pi} \left[\sum_{i=1}^{n_1+\dots+n_2} \left[\psi_i(x, z-b-d) + \lambda_{21} \psi_i(x, z-b+d) + \right. \right. \\
 & + \sum_{s=1}^T \left[\gamma^s \lambda_{21} \psi_i(x, (2s+1)d+(2s-1)h_1+z) + \gamma^s \psi_i(x, 2s(h_1+d)+(z-b-d)) \right] + \\
 & + \left. \left. \gamma^s \psi_i(x, 2s(h_1+d)-(z-b-d)) + \gamma^{s-1} \lambda_{23} \psi_i(x, 2sh_1-(z-b)+(2s+1)d) \right] \right] + \\
 & + \sum_{i=n_1+\dots+n_2+1}^{n_1+\dots+n_4} \left[(1+\lambda_{21}) \psi_i(x, z-b) + \sum_{s=1}^T \gamma^s (1+\lambda_{21}) \psi_i(x, 2s(h_1+d)+z-b) + \right. \\
 & \left. \left. + (\gamma^s + \lambda_{23} \gamma^{s-1})(1+\lambda_{21}) \psi_i(x, 2s(d+h_1)-(z-b)) \right] \right] +
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& + \sum_{i=n_1+\dots+n_4+1}^{n_1+\dots+n_5} \left[\sum_{s=1}^T \left[\gamma^{s-1} \lambda_{23} \beta_{12} \psi_i(x, 2b + 2s(d+h_1) - d - z) + \right. \right. \\
& \quad \left. \left. + \gamma^s \beta_{12} \psi_i(x, 2s(d+h_1) + z) \right] + \beta_{12} \psi_{3i}(x, z) \right] + \\
& \sum_{i=n_1+\dots+n_5+1}^{n_1+\dots+n_6} \left[\sum_{s=1}^T \left[\gamma^s \lambda_{21} \beta_{32} \psi_i(x, h+z-b + (2s+1)(d+h_1)) + \right. \right. \\
& \quad \left. \left. + \gamma^s \beta_{32} \psi_i(x, h+b+h_1 + 2s(d+h_1) - z) \right] + \beta_{32} \psi_i(x, h+d+h_1+b-z) \right].
\end{aligned}$$

В контролируемой среде $z > b + d + h_1$

$$\begin{aligned}
V(x, z) = & \frac{1}{\varepsilon_3 \varepsilon_0 2\pi} \left[\sum_{i=1}^{n_1+\dots+n_2} \left[\beta_{23} \psi_i(x, z-b-d) + \beta_{23} \lambda_{21} \psi_i(x, z-b+d) + \right. \right. \\
& + \sum_{s=1}^T \left[\gamma^s \lambda_{21} \times \beta_{23} \psi_i(x, 2(s+1)d + 2sh_1 + z - b - d) + \right. \\
& \quad \left. \left. + \gamma^s \beta_{23} \psi_i(x, 2s(h_1+d) + (z-b-d)) \right] \right] + \\
& + \sum_{i=n_1+\dots+n_2+1}^{n_1+\dots+n_4} \left[(1 + \lambda_{21}) \beta_{23} \psi_i(x, z-b) + \right. \\
& + \sum_{s=1}^T \left[\gamma^s \beta_{23} (1 + \lambda_{21}) \psi_i(x, 2s(h_1+d) + z - b) \right] + \\
& + \sum_{i=n_1+\dots+n_4+1}^{n_1+\dots+n_5} \sum_{s=0}^T \gamma^s \beta_{12} \beta_{23} \psi_i(x, 2s(d+h_1) + z) + \\
& + \sum_{i=n_1+\dots+n_5+1}^{n_1+\dots+n_6} \left[\sum_{s=0}^T \gamma^s \beta_{32} \beta_{23} \lambda_{21} \psi_i(x, 2(s+1)(d+h_1) + h + z - b) + \right. \\
& \quad \left. \left. + \psi_i(x, h+h_1+d-z+b) + \lambda_{32} \psi_i(x, h+z-h_1-d-b) \right] \right],
\end{aligned}$$

где $\psi_i(x, \varphi)$ — вспомогательная функция.

$$\psi_i(x, \varphi) = \sum_{m=1}^N \int_{\alpha_i}^{\beta_i} \frac{\sigma(t)}{2} \ln \left| (2rm + t + x)^2 + \varphi^2 \right| (2rm - t + x)^2 +$$

$$+ \varphi^2 \left| (2rm + t - x)^2 + \varphi^2 \right| \left| (2rm - t - x)^2 + \varphi^2 \right| dt +$$

$$+ \int_{\alpha_i}^{\beta_i} \frac{\sigma(t)}{2} \ln \left| (t - x)^2 + \varphi^2 \right| \left| (t + x)^2 + \varphi^2 \right| dt,$$

где N — число секций слева и справа от центральной секции; α_i, β_i — границы участков интегрирования заряда, создающего поле в точке x ; T — число отражений. Коэффициенты пропускания β_{ij} , коэффициенты отражений λ_{ij} и коэффициент двойных отражений γ вычисляли согласно [2]:

$$\beta_{ij} = \frac{2\epsilon_j}{(\epsilon_i + \epsilon_j)}; \quad \lambda_{ij} = \frac{\epsilon_i - \epsilon_j}{\epsilon_i + \epsilon_j}; \quad \gamma = \left(\frac{\epsilon_2 - \epsilon_1}{\epsilon_1 + \epsilon_2} \right)^2$$

с учетом, что $\epsilon_3 = \sqrt{\epsilon_{\parallel}\epsilon_{\perp}}$, причем $h = h'\sqrt{\epsilon_{\parallel}/\epsilon_{\perp}}$; $h'_1\sqrt{\epsilon_{\parallel}/\epsilon_{\perp}}$; $d = d'\sqrt{\epsilon_{\parallel}/\epsilon_{\perp}}$; h', h'_1, d' — толщина контролируемого образца, воздушного зазора и толщина электродов соответственно в воздухе.

Расчетные картины полей для одной секции МЭНИК с размером секции $r = 6$ мм, шириной потенциальных электродов $r_0 = r - r_1 = 1$ мм, когда экран находится на расстоянии $h = 6,5$ мм ($h_1 = 0$), представлены на рис. 2. Толщина подложек $b = 2$ мм (рис. 2a) и $b = 1$ мм (рис. 2б). Особые

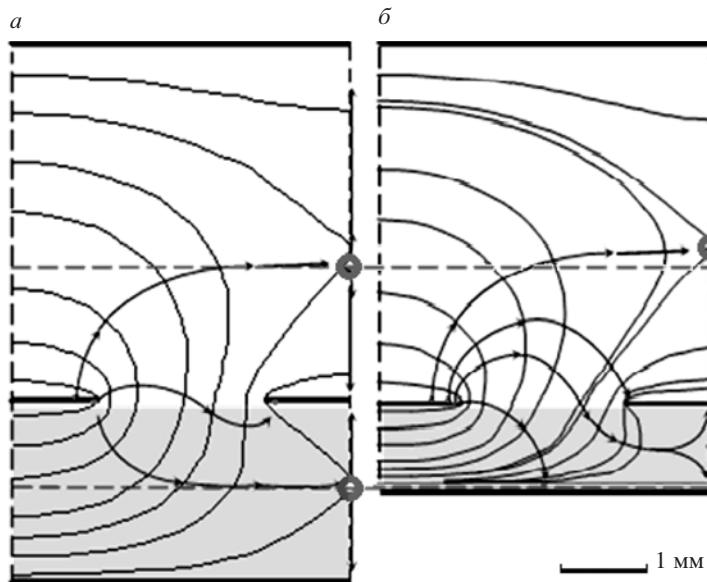


Рис. 2. Расчетная картина эквипотенциалей электрического поля датчика МЭНИК.

точки на границах раздела выделены кольцами, глубины зон непосредственного контроля — штрихом. В частном случае, если заземленный экран удален, МЭНИК представляет собой многосекционный накладной измерительный конденсатор, глубина зоны контроля которого, согласно [3], составляет $z^* \approx 0,66$ мм. При внесении экрана глубина зоны контроля

z^* уменьшается и достигает $z^* \approx 0,42$ мм (см. рис. 2). Уменьшение толщины подложки в два раза (рис. 2б) приводит к увеличению значения глубины зоны контроля $z^* \approx 0,44$ мм. Экран подложки оттягивает часть потока силовых линий на себя, выпучивая поле вверх, и создает тем самым в межэлектродном зазоре эффект виртуального охранного электрода [4]. Таким образом, область контроля МЭНИК составляет приблизительно половину объема межэлектродного пространства.

Диаметр волокон мал — порядка 10 мкм. Волокна заполняют воздушные карманы МЭНИК подобно “жидкому диэлектрику”. Значения констант тензора диэлектрической проницаемости сухого волокна (хлопок, лен) лежат в пределах 1,2—2 [5]. Для рассматриваемого МЭНИК выбор толщины подложки b , расстояния h до экрана осуществляли исходя из максимальной чувствительности МЭНИК к анизотропии диэлектрической проницаемости волокна, для которого эффективная диэлектрическая проницаемость вдоль волокна $\epsilon_{||} = 1,9$, а в направлении, перпендикулярном ему, $\epsilon_{\perp} = 1,2$.

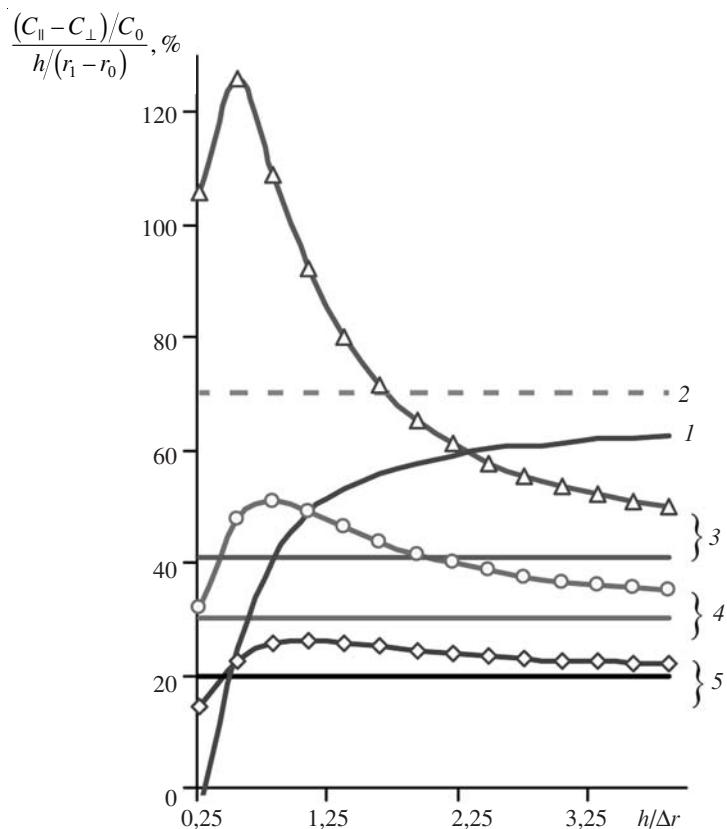


Рис. 3. Зависимость относительной разности емкостей (дифференциального датчика) от относительного межэлектродного расстояния $h/\Delta r$.

Расчетные картины относительной разности емкостей дифференциального преобразователя $C_{||}/C_0$ и C_{\perp}/C_0 от относительного расстояния $h/\Delta r$ ($\Delta r = r_1 - r_0$) до экрана представлены на рис. 3, где $C_{||}$ — емкость датчика, поле которого ориентировано вдоль волокна; C_{\perp} — емкость датчика, поле которого ориентировано перпендикулярно волокну; C_0 — емкость МЭНИК в воздухе.

Рассматривали следующие случаи: первый — в плечи дифференциального датчика МЭНИК помещены изотропные материалы, значения диэлектрических проницаемостей которых $\epsilon_1 = 1,9$ и $\epsilon_2 = 1,2$; второй — два плоских конденсатора Maxwell заполнены анизотропными материалами $\epsilon_1 = 1,9$ и $\epsilon_2 = 1,2$; третий случай соответствует датчикам МЭНИК с толщиной подложки $b = 1$ мм; четвертый — датчикам МЭНИК с толщиной подложки $b = 2$ мм; пятый — датчикам МЭНИК с толщиной подложки 4 мм. Для всех трех последних случаев контролируемый материал (волокно) имел следующие диэлектрические характеристики: $\epsilon_{\parallel} = 1,9$; $\epsilon_{\perp} = 1,2$; $\sigma_x = \sigma_y = \sigma_z = 0$.

Из графиков на рис. 3 следует:

относительная разность емкостей для дифференциального датчика, плечами которого являются два плоских конденсатора Maxwell, равна 70 % (прямая 2);

если в плечи дифференциального датчика, выполненного в виде двух МЭНИК, помещены изотропные материалы с $\epsilon_1 = 1,9$ и $\epsilon_2 = 1,2$ (кривая 1), то по мере уменьшения h относительная разность емкостей падает монотонно;

для случаев заполнения дифференциальных датчиков, выполненных в виде двух МЭНИК, заполненных анизотропным материалом, наблюдается максимум чувствительности относительного изменения емкости с направлением поля (кривые 3—5);

чем толще подложка, тем меньше чувствительность датчика МЭНИК к анизотропии диэлектрической проницаемости;

максимумы чувствительности датчиков к анизотропии диэлектрической проницаемости смешены друг относительно друга: чем толще подложка, тем большее относительное межэлектродное расстояние $h/\Delta r$, соответствующее максимуму чувствительности датчиков к анизотропии диэлектрической проницаемости.

Наличие максимума у кривых зависимости относительной разности емкостей $((C_{\parallel} - C_{\perp})/C_0)/(h/(r_1 - r_0))$ говорит о том, что с уменьшением расстояния h от экрана 4 до плоскости электродов МЭНИК чувствительность к анизотропии возрастает до определенного предела. Это вызвано увеличением доли горизонтальной составляющей напряженности поля. Затем начинает проявлять себя экран 4 (см. рис. 1), он оттягивает часть потока напряженности поля на себя, уменьшая долю горизонтальной составляющей, и чувствительность падает. При увеличении относительного расстояния $h/(r_1 - r_0) \rightarrow \infty$ относительная разность емкостей МЭНИК стремится к значению относительной разности емкостей многосекционных накладных измерительных конденсаторов. Она не зависит от зазора h и на рис. 3 выделена прямыми. Отдельно штрихом выделена зависимость относительной разности емкостей для дифференциального датчика, плечами которого являются два плоских конденсатора Maxwell (линия 2). Наиболее оптимальным расстоянием h от экрана 4 до плоскости электродов следует считать расстояние в интервале от $r_1 - r_0$ до $2(r_1 - r_0)$.

Диэлектрическая проницаемость обусловлена процессами поляризации вещества, происходящими при помещении последнего в электрическое поле. В связи с тем, что дипольный момент полярных молекул воды (дипольный момент молекулы воды $p = 6,2 \cdot 10^{-30}$ Кл·м), находящейся в свободном состоянии, на несколько порядков выше дипольного момента неполярных молекул, составляющих в основном скелет контролируемых материалов (материалы текстильной промышленности, строительные материалы), эффективная диэлектрическая проницаемость влажного материала является функцией влажности. Это свойство молекул воды еще более усиливается при контроле анизотропных материалов. Диполи

воды выстраиваются в электрическом поле материала в направлении структуры. Если внешнее электрическое поле совпадает с направлением структуры, диполи молекул воды усиливают поляризацию вещества. Со сменой направления внешнего поля диполи молекул воды стремятся следовать за ним. Обладая большой инертностью за счет массы, диполи не всегда успевают перестроиться. Это ведет к усилению анизотропии диэлектрической проницаемости на низких частотах (1—10 кГц) и ослаблению этого эффекта на высоких частотах (100—500 кГц).

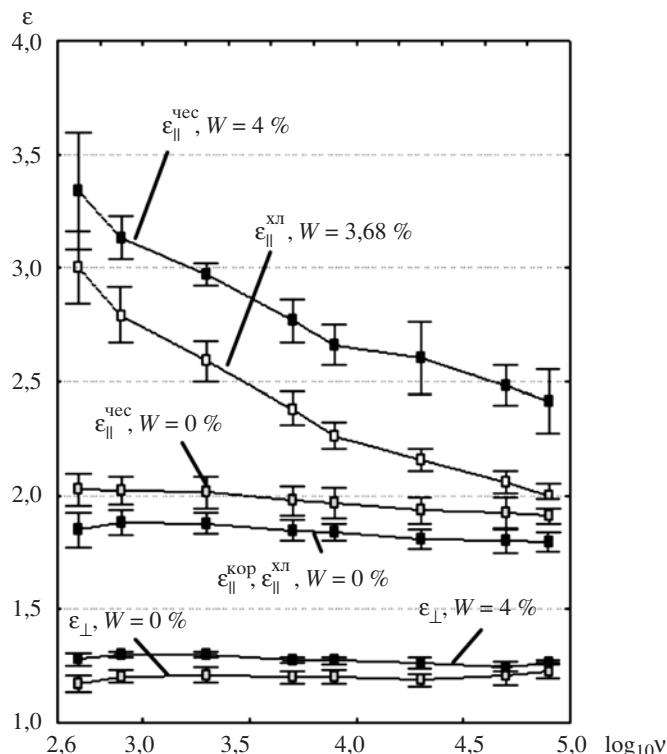


Рис. 4. Изменения эффективной диэлектрической проницаемости при различной влажности W льняного и хлопкового волокон в зависимости от частоты электромагнитного поля ν .

На рис. 4 представлены зависимости эффективной диэлектрической проницаемости при различной влажности W льноволокна в зависимости от частоты электромагнитного поля в направлении волокна ϵ_{\parallel} и перпендикулярном ему ϵ_{\perp} . Под эффективной диэлектрической проницаемостью волокна понимают результирующую проницаемость самого волокна, воздуха, занимающего часть пространства, и воды.

Для датчика МЭНИК, выполненного на подложке из тефлона ($\epsilon_1 = 2,1$) толщиной 2 мм, имеющего геометрические размеры $r = 6,82$ мм, $r_0 = 1,60$ мм, $r_1 = 5,22$ мм, $h = 6,50$ мм, $\mu = 0,035$ мм, решали обратную задачу. Зная геометрические размеры датчика и измеренную емкость, определяли диэлектрические проницаемости ϵ_{\parallel} и ϵ_{\perp} . Значение эффективной диэлектрической проницаемости ϵ_{\parallel} определяли после вычисления ϵ_{\perp} с учетом измеренной емкости C_{\parallel} :

$$\epsilon_{\perp} = f(C_{\perp}, r, r_0, r_1, h, d, b, \epsilon_1) =$$

$$\begin{aligned}
&= -0,1668C_{\perp}^4 + 0,6838C_{\perp}^3 - 1,1652C_{\perp}^2 + 4,6775C_{\perp} - 0,3481; \\
&\varepsilon_{\parallel} = f(C_{\parallel}, C_{\perp}, r, r_0, r_1, h, d, b, \varepsilon_1) = \\
&= (0,048372C_{\perp}^4 - 0,198302C_{\perp}^3 + 0,337908C_{\perp}^2 - 1,356475C_{\perp} + 0,535049)C_{\parallel}^4 - \\
&\quad - (0,2533692C_{\perp}^4 - 1,0386922C_{\perp}^3 + 1,7699388C_{\perp}^2 - 7,105122C_{\perp} + \\
&\quad + 2,9781639)C_{\parallel}^3 + (0,7654452C_{\perp}^4 - 3,1379582C_{\perp}^3 + 5,3471028C_{\perp}^2 - \\
&\quad - 21,4650475C_{\perp} + 11,0427309)C_{\parallel}^2 + (-0,1089204C_{\perp}^4 + 0,4465214C_{\perp}^3 - \\
&\quad - 0,7608756C_{\perp}^2 + 3,0544075C_{\perp} + 1,3047907)C_{\parallel} - 0,0128436C_{\perp}^4 + \\
&\quad + 0,0526526C_{\perp}^3 - 0,0897204C_{\perp}^2 + 0,3601675C_{\perp} - 0,2183037.
\end{aligned}$$

Достоверность аппроксимации $R^2 = 0,9999$.

Из графиков рис. 4 видно, что эффективные диэлектрические проницаемости в направлении, перпендикулярном волокну ε_{\perp} , практически не зависят от частоты электромагнитного поля в частотном интервале 0,5—100 кГц и сохраняют постоянные значения: для сухого чесаного (волокна длиной более 200 мм) и котонизированного льноволокон (волокна длиной 30—70 мм) $\varepsilon_{\perp}^{\text{чес}} = \varepsilon_{\perp}^{\text{кор}} = 1,20 \pm 0,03$. Незначительная дисперсия наблюдается для эффективной диэлектрической проницаемости в направлении волокна (рис. 4). Уменьшение длины волокна приводит к уменьшению значений эффективной диэлектрической проницаемости ε_{\parallel} : для сухого чесаного льноволокна $\varepsilon_{\parallel}^{\text{чес}} = 1,97 \pm 0,06$ и котонизированного льноволокна $\varepsilon_{\parallel}^{\text{кор}} = 1,84 \pm 0,05$. Данная зависимость позволяет проводить оценку однородности льняного волокна по значениям диэлектрических характеристик ε_{\parallel} и ε_{\perp} . С увеличением значений ε_{\parallel} качество волокна возрастает.

Для сухого волокна практически не наблюдается дисперсия диэлектрической проницаемости. По мере роста влажности контролируемого волокна происходит увеличение анизотропии диэлектрической проницаемости. Причем рост анизотропии диэлектрической проницаемости контролируемого волокна на частоте 0,5 кГц намного больше роста анизотропии диэлектрической проницаемости на частоте 100 кГц. Для чесаного льноволокна при влажности $W = 4,0\%$ относительная анизотропия диэлектрической проницаемости равна $(\varepsilon_{\parallel}^{\text{чес}} - \varepsilon_{\perp})_{0,5}/(\varepsilon_{\parallel}^{\text{чес}} - \varepsilon_{\perp})_{100} = 4,8$; для сухого льноволокна ($W = 0\%$) $(\varepsilon_{\parallel}^{\text{чес}} - \varepsilon_{\perp})_{0,5}/(\varepsilon_{\parallel}^{\text{чес}} - \varepsilon_{\perp})_{100} = 1,1$. Относительная анизотропия диэлектрической проницаемости хлопкового волокна при влажности $W = 3,7\%$ составляет $(\varepsilon_{\parallel}^{\text{хл}} - \varepsilon_{\perp})_{0,5}/(\varepsilon_{\parallel}^{\text{хл}} - \varepsilon_{\perp})_{100} = 2,3$, для сухого хлопкового волокна ($W = 0\%$) $(\varepsilon_{\parallel}^{\text{хл}} - \varepsilon_{\perp})_{0,5}/(\varepsilon_{\parallel}^{\text{хл}} - \varepsilon_{\perp})_{100} = 1,1$. Относительная анизотропия диэлектрической проницаемости $(\varepsilon_{\parallel} - \varepsilon_{\perp})_{0,5}/(\varepsilon_{\parallel} - \varepsilon_{\perp})_{100}$ является параметром для оценки влагосодержания волокон льна.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Сухое волокно не обладает дисперсией диэлектрической проницаемости в направлении, перпендикулярном волокну. Незначительная дисперсия наблюдается для констант тензора диэлектрической проницаемости в направлении волокна. С ростом влагосодержания волокон в области низких частот наблюдается существенный рост анизотропии диэлектрической проницаемости волокон. Зависимость относительной анизотропии диэлектрической проницаемости от влажности служит основой для влагометрии волокон льна, хлопка, смесей. Оценка качества волокна может осуществляться по значениям диэлектрических характеристик констант тензора диэлектрической проницаемости ε_{\parallel} и ε_{\perp} . Чем выше качест-

во волокна, тем выше значение константы тензора диэлектрической проницаемости в направлении волокон.

Витебский государственный
технологический университет

Поступила в редакцию
25 мая 2011 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. Джежора А.А. Моделирование накладных измерительных конденсаторов в присутствии заземленной плоскости.— Метрология и приборостроение, 2010, № 2 (49), с. 38—42.
 2. Джежора А.А. Электроемкостные преобразователи и методы их расчета.— Минск: Изд. дом “Белорусская наука”, 2007.— 305 с.
 3. Mamishev A.V., Lesieutre B.C., Zahn M. Optimization of Multi-Wavelength Interdigital Dielectrometry Instrumentation and Algorithms.— IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul., 1998, v. 5, N 3, p. 408—420.
 4. Джежора А.А. Влияние экрана подложки на емкость датчика (А.А. Джежора, В.В. Рубаник).— Современные методы и приборы контроля качества и диагностики состояния объектов: материалы III международной науч.-техн. конференции.— Могилев, 2009, с. 110—112.
 5. Радовицкий В.П. Электродинамика текстильных волокон (В.П. Радовицкий, Б.Н. Стрельцов).— М.: Легкая индустрия, 1967, с. 73—77.
-