

УДК.677.1/4.620

ТРОФІМОВА О.В. , СЛІЗКОВ А.М. , ПОТАПОВ А.О.

Київський національний університет технологій і дизайну

## УТОЧНЕННЯ ПАРАМЕТРІВ РЕЗОНАНСНОГО МЕТОДУ ОЦІНКИ СТРУКТУРИ ВОЛОКНИСТИХ ПРОДУКТІВ

**Мета.** Визначити параметри резонансного пристрою для визначення структурних показників волокнистих продуктів.

**Методика.** Використана загальновідома теорія поширення електромагнітних хвиль через полімери волокон.

**Результати.** Проаналізовані діелектричні властивості полімерів в різних волокнах. Обґрунтована можливість використання резонансного методу для визначення структурних показників волокнистих продуктів. Обґрунтований вибір робоча частота резонансного пристрою для визначення властивостей текстильних матеріалі.

**Наукова новизна.** Визначено, що для виявлення просторової анізотропії стрічкоподібних волокнистих продуктів доцільно використати електрохвильовий метод, який базується на використанні двох резонаторів з неоднорідним розподілом електромагнітного поля в перерізі, що перпендикулярно розміщені один відносно одного. Для оцінки розпрямленості і орієнтації волокон доцільно використовувати діапазон частот в межах від 500 до 1500 мГц.

**Практична значимість.** На основі отриманих результатів запропоновано резонансний метод визначення структурних показників.

**Ключові слова:** діелектрична проникність волокон, резонансний пристрій, текстильні матеріали.

**Вступ.** Вплив електричних і магнітних полів на текстильні матеріали широко використовується для оцінки орієнтації і розпрямленості волокон в кардочесанні, виробництві каркасної пряжі, отриманні фасонної пряжі і нетканих матеріалів, розподілі волокон по довжині та ін. [1].

Один з перспективних напрямів застосування електродинаміки в текстильній промисловості це визначення параметрів і властивостей сировини і готових продуктів, а конкретно це оцінка структурних показників волокнистих продуктів.

**Об'єкти і методи дослідження.** Волокнисті продукти прядильного виробництва з поперечним перетином 0,5-5,0 см (стрічка, рівниця) і параметри роботи електрохвильового резонансного приладу.

**Постановка завдання.** Визначення структури волокнистого продукту може здійснюватися на основі оцінки зміни резонансної частоти і добротності електричного резонатора при зміні його орієнтації в електромагнітному полі. Нами запропонований новий електрохвильовий метод і прилад для визначення комплексного коефіцієнта розпрямленості і орієнтації волокон у волокнистих продуктах. Фізичною основою цього методу є зв'язок між діелектричною проникністю і поляризаційними властивостями волокнистих продуктів. Оскільки діелектричні властивості волокон істотно відрізняються на різних частотах електричного поля, є необхідність обґрунтованого вибору частоти електричного поля в запропонованому проділі для визначення орієнтації і розпрямленості волокон у волокнистих продуктах.

**Результати і їх обговорення.** Текстильні волокна це звичайно діелектрики, які мають власне електричне поле з результируючим вектором напруженості  $\vec{E}' = 0$ . Це означає, що власні заряди полімеру текстильного волокна розміщені таким чином, що сума всіх внутрішніх зарядів  $q_i = 0$ . При внесенні такого волокна до однорідного електричного поля з напруженістю  $\vec{E}_0$  відбувається зсув

зарядів один щодо одного. При цьому зрушення зарядів відбувається так, щоб зменшити дію зовнішнього електричного поля. Зміщені заряди, протилежні по знаку, створюють особливий електричний момент, здатний розташувати волокна в зовнішньому полі так, щоб дія цього поля була мінімальною. Тому діелектричні властивості волокна визначаються його поляризованістю.

Діелектричні характеристики текстильних волокон різної молекулярної і надмолекулярної структури змінюються залежно від вологості, температури навколишнього середовища, частоти і амплітуди напруженості зовнішнього електричного поля [2].

Оскільки майже всі текстильні волокна в більшій або меншій мірі мають структурну анізотропію, їх діелектрична проникність також виявляється не однаковою у різних напрямках по відношенню до вектора напруженості електричного поля.

У роботі [3] визначають структуру волокнистого продукту (комплексний коефіцієнт розпрямленості і орієнтації волокон) по величині зміни діелектричної проникності текстильних волокон, розміщуючи їх паралельно і перпендикулярно силовим лініям електричного поля. Волокна, які були заздалегідь висушені до постійної маси, мали наступну діелектричну проникність  $\varepsilon \approx 6$  при розміщенні уздовж силових ліній поля, і  $\varepsilon \approx 3$  у разі їх поперечного розміщення щодо силових ліній електричного поля. Звідси слідує, що в результаті анізотропії структури полімеру волокна його поляризація уздовж волокна вище ніж у перпендикулярному напрямі.

Безконтактне визначення структури стрічкоподібних волокнистих продуктів прядильного виробництва, які, як правило, є просторово неоднорідними діелектриками, базується на анізотропії їх електричних властивостей, а саме на анізотропії діелектричної проникності полімеру  $\hat{\varepsilon} = \varepsilon'(1 + tg\delta)$  де  $\varepsilon'$ ,  $tg\delta$  – дійсна частина діелектричної проникності і тангенс кута діелектричних втрат. Тобто діелектрична проникність волокна є комплексною величиною і тензором другого рангу [4-7]. Це дозволяє розглядати незалежно «подовжнє» і перпендикулярне» розповсюдження електромагнітних хвиль у волокнах.

Фізичною основою дієлькометричного методу в загальному вигляді є зв'язок між діелектричною проникністю і поляризаційними властивостями речовини [4].

$$\varepsilon = 1 + A \cdot \frac{\rho \cdot (\alpha + p^2 / kT)}{(\omega_0^2 - \omega^2) \cdot \mu}; \quad A = \frac{N}{\mu/V} \quad (1)$$

де:  $\rho$  – питома щільність,  $\alpha$  – поляризуємість (для неполярних діелектриків),  $\omega_0$  – характеристична частота (лінія поглинання),  $p$  – дипольний момент (для полярних діелектриків),  $T$  – температура,  $N$  – кількість частинок (концентрація),  $A$  – константа для даної речовини,  $\mu$  – молярна маса,  $V$  – молярний об'єм,  $k$  – постійна Больцмана.

Якщо робоча частота  $\omega$  істотно відрізнятиметься від характеристичної  $\omega > \omega_0$  (робота поза смугою поглинання), то орієнтація волокон впливатиме на розподіл речовини в просторі, і матиме місце градієнт щільності, а, відповідно, діелектрична проникність буде тензорною величиною [5]. Таким чином, вимірюючи величину діелектричної проникності волокнистого матеріалу при різних орієнтаціях волокон щодо напрямку електричного поля, можна визначити показники розпрямленості і орієнтацію розташованих в них волокон.

У нашому випадку, **щоб визначити показники розпрямленості і орієнтацію розташованих волокон необхідно оцінити анізотропію електричних властивостей волокнистого продукту у взаємно перпендикулярних напрямках:** вздовж і поперек осі продукту.

На низьких частотах (звуковий і ультразвуковий діапазон) на результат вимірювання діелектричної проникності може істотно впливати наявність домішок, а в радіочастотному діапазоні найчастіше знаходяться характеристичні частоти полімерів волокна. Тому доцільно працювати в діапазоні надвисоких частот  $\omega > 300$  МГц для оцінки структури волокнистих продуктів [6, 7].

З міркувань забезпечення високої чутливості вимірювань раціонально використовувати резонансний метод [8]. При цьому як коливальний контур застосовують резонатор, який являє собою відрізок передавальної лінії, – порожнинного або коаксіального хвилеводу, в якому (при резонансі) магнітне поле сконцентроване у замкнутого кінця, а електричне – у відкритого. Досліджуваний волокнистий продукт розташовується безпосередньо у відкритого кінця резонатора, тобто в його

електромагнітному об'ємі з найвищою напруженістю електричного поля. Такий розподіл електричного поля існує в лініях з електричною довжиною, яка кратна чверті довжини хвилі:

$$L = (n + 1) \cdot \lambda / 4,$$

де  $n = 0, 1, 2, 3, \dots$ ,  $\lambda$  – довжина хвилі.

Різниця між добротністю  $Q_0$  «порожнього» і «навантаженого» резонатора досліджуваною речовиною або виробом пропорційна тангенсу діелектричних втрат  $\operatorname{tg} \delta$  цієї речовини:

$$\left(1/Q - 1/Q_0\right) \cdot K_1 = \operatorname{tg} \delta \quad (2)$$

де:  $K_1$  – коефіцієнт, який залежить від форми резонатора і моди електромагнітних коливань у ньому.

Щоб оцінити анізотропію електричних властивостей волокнистих продуктів у взаємно перпендикулярних напрямках (вздовж і поперек волокнистого продукту) доцільно використовувати коаксіальний резонатор з апертурою у вигляді прямокутника (див. рис.1).

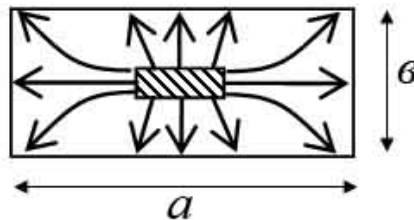


Рис.1. Коаксіальний резонатор з апертурою у вигляді прямокутника  
 $a, b$  – геометричні параметри резонатора

У «електромагнітному об'ємі» цього резонатора електромагнітне поле має таку конфігурацію, що можна розділяти складові діелектричної проникності, волокна, що взаємодіє з електромагнітним полем резонатора, у взаємно перпендикулярних напрямках. У коаксіальному резонаторі конфігурація електричної складової поля хвилі матиме напруженість  $E$  між центральним провідником і широкою стінкою апертури ( $E_{в1}/b$ ), більш ніж в перпендикулярному напрямі ( $E_{а1}/a$ ). Тобто електричне поле в апертурі резонатора буде анізотропним, що створює можливість оцінювати анізотропію електричних властивостей у взаємно перпендикулярних напрямках, використовуючи два ортогонально розташованих резонатора, або повертаючи один резонатор на кут  $0,5\pi$ . Відповідно, один з резонаторів може використовуватися як опорний, а другий як вимірювальний.

Для електричних хвиль типу  $T$ , які зазвичай збуджуються в коаксіальних резонаторах, робоча довжина хвилі повинна бути більше величини периметра апертури не менше ніж в  $\pi > 1$  разів. Тому, якщо контрольована стрічка або рівнища має поперечний розмір - 0,5-5см, то робоча довжина хвилі повинна бути не менше величини 2 см [9]. Крім того площа апертури повинна бути сорозмірна з розмірами контрольованого об'єкту, щоб розмір контрольованого об'єкту задовольняв вимогам представницька проба

Також при виборі робочого діапазону довжин електричних хвиль варто звернути увагу на наступні обставини. Оскільки основний інформативний параметр - діелектрична проникність, як тензорна величина, яка пов'язана з поляризаційними властивостями волокнистих продуктів, пропорційна щільності речовини волокон, то, безумовно, вона буде пов'язана з величиною вологовмісту волокнистого матеріалу (рис. 2). «Вологе» волокно є матричною системою або статистичною сумішшю (речовина волокна + волога + повітря), де волога є адитивним компонентом. Тому для оцінки показника розпрямленості і орієнтації розташування волокон доцільно вимірювати відносну або диференціально-відносну зміну резонансної частоти і добротності резонатора, як це і пропонується в розробленому методі вимірювання. Величина зміни резонансної частоти  $f_B$  або добротності  $Q_B$  НВЧ резонатора, електродинамічний об'єм якого контактує з контрольованим матеріалом, визначається шляхом порівняння з резонансною частотою  $f_0$  і добротністю  $Q_0$  зразкового (опорного) НВЧ резонатора.

$$\eta_f = 1 - \Delta f_B / f_0 ; \quad \text{або} \quad \eta_Q = 1 - \Delta Q_B / Q_0 \quad . \quad (3)$$

де індекс  $\nu$  відноситься до стану вимірювального резонатора, а індекс  $0$  – опорного резонатора або резонатора без контрольованого матеріалу.

Крім того для мінімізації впливу атмосферної вологи на результат вимірювання діапазон зміни частоти вибирається поза областю помітної частотної дисперсії діелектричних параметрів вологи (рис 2). Це діапазон радіочастот від одиниць МГц (1-50) до 2,5-3 ГГц, і оптичний діапазон за винятком смуг поглинання на інфрачервоній ділянці спектру [4, 5].

На рис.2. показана дисперсійна характеристика вологи в широкому діапазоні частот.

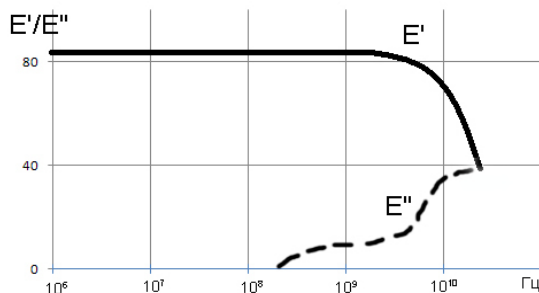


Рис. 2. Дисперсійна характеристика вологи в широкому діапазоні частот

де:  $E'$  – дійсна частина діелектричної проникності;  $E''$  – уявна частина діелектричної проникності.

Виходячи з вищевикладеного, для оцінки розпрямленості і орієнтації волокон вибираємо діапазон частот в межах від 500 до 1500 мГц. У запропонованому пристрої робоча частота резонатора вибрана близько 800 мГц. Вибраний діапазон широко використовується в техніці електрозв'язку (мобільна телефонія, GPRS і ін. ), але їх взаємний вплив практично відсутній, оскільки робочий електромагнітний об'єм локалізований безпосередньо у відкритого кінця резонатора.

#### Висновки.

1. Доведено, що безконтактне визначення структури стрічкоподібних волокнистих продуктів, які є просторово неоднорідними діелектриками, базується на анізотропії їх діелектричної проникності.
2. Запропоновано резонансний метод визначення структури волокнистих продуктів. Фізичною основою резонансного метода є високий кореляційний зв'язок між діелектричною проникністю волокнистого матеріалу і його показниками розпрямленості і орієнтації.
3. Визначено, що для виявлення просторової анізотропії стрічкоподібних волокнистих продуктів доцільно використати електрохвильовий метод, який базується на використанні двох резонаторів з неоднорідним розподілом електромагнітного поля в перерізі, що перпендикулярно розміщені один відносно одного. Для оцінки розпрямленості і орієнтації волокон доцільно використовувати діапазон частот в межах від 500 до 1500 мГц. В запропонованому пристрої обрана робоча частота 800 мГц.
4. Запропоновано пристрій визначення діелектричних параметрів матеріалів з підвищеною точністю за рахунок безпосереднього виміру резонансної частоти опорного та вимірювальних резонаторів і виключення багаторазового перетворення інформаційного сигналу, що значно зменшує кількість неконтрольованих параметрів, що впливають на похибки визначення властивостей текстильних матеріалів, а саме коефіцієнту розпрямленості і орієнтації.

#### Список використаної літератури

1. Радовицкий В.П. Электродинамика текстильных волокон / В. П. Радовицкий, Б. Н. Стрельцов. – М. : Легкая индустрия, 1967. – 254 с.
2. Pourova M. Measurement of Dielectric Properties of Moisture Textile / M. Pourova // Microwave Techniques. – 2008. – №3. – P. 422.
3. Balls W. L. Dielectric properties of raw cotton / W. L. Balls // Nature. – 1946. – № 9. – P. 158.

4. Тамм И. Е. Основы теории электричества / И. Е. Тамм. – М. : Наука, 1976. – с.
5. Методы неразрушающих испытаний / Под ред. Р.Шарпа. Пер. с немецкого. – М.: Мир, 1972. – 494 с.
6. Потапов А. И. Технологический неразрушающий контроль пластмасс / А. И. Потапов, В. М. Игнатов, Ю. Б. Александров. – М.: Химия, 1979. – 288 с.
7. Брандт А. А. Исследование диэлектриков на сверхвысоких частотах / А. А. Брандт. – М.: Физматгиз, 1963. – 404 с.
8. Берлинер М. А. Измерение влажности / М. А. Берлинер. – М. : Энергия, 1973. – 400с.
9. Лебедев И. В. Техника и приборы Свич.Т1 / И. В. Лебедев. – М. : Высшая школа, 1970. – 439 с.

## УТОЧНЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ РЕЗОНАНСНОГО МЕТОДА ОЦЕНКИ СТРУКТУРЫ ВОЛОКНИСТЫХ ПРОДУКТОВ

ТРОФИМОВА О.В. , СЛИЗКОВ А.Н. , ПОТАПОВ А.О.

*Киевский национальный университет технологий и дизайна*

**Цель.** Определить параметры резонансного устройства для определения структурных показателей волокнистых продуктов.

**Методика.** Использована общеизвестная теория распространения электромагнитных волн сквозь полимеры волокон.

**Результаты.** Проанализированы диэлектрические свойства полимеров в разных волокнах. Обоснована возможность использования резонансного метода для определения структурных показателей волокнистых продуктов. Обоснованно выбор рабочей частоты резонансного устройства для определения свойств текстильных материалов.

**Научная новизна.** Определенно, что для выявления пространственной анизотропии волокнистых продуктов целесообразно использовать электроволновой метод, который базируется на использовании двух резонаторов с неоднородным распределением электромагнитного поля в перерезе, что перпендикулярно размещены друг относительно друга. Для оценки распрямленности и ориентации волокон целесообразно использовать диапазон частот в пределах от 500 до 1500 мГц.

**Практическая значимость.** На основе полученных результатов предложен резонансный метод определения структурных показателей.

**Ключевые слова:** *диэлектрическая проницаемость волокон, резонансное устройство, текстильные материалы.*

## CLARIFICATION OF PARAMETERS RESONANCE METHOD OF FIBRED PRODUCTS STRUCTURE

TROFIMOVA O. , SLIZKOV A., POTAPOV A.

*Kiev National University of Technologies and Design*

**Purpose.** To define the parameters of resonance device for determination of fibred products structural indexes.

**Methodology.** The well-known theory of distribution of hertzian waves is utilized through the polymers of fibres.

**Findings.** Dielectric properties of polymers are analysed in different fibres. Possibility of the use of resonance method is grounded for determination of fibred products structural indexes. Grounded choice of working frequency of resonance device for determination properties of textile materials.

**Originality.** Certainly, that for the exposure of fibred products anisotropy of it is expedient to utilize an electro-wave method which is based on the use of two resonators with distributing of the electromagnetic field in a cut, that athwart placed in relation to each other. For the estimation of fibres orientations of it is expedient to utilize the range of frequencies scope from 500 to 1500 Hz.

**Practical value.** On the basis of the got results the resonance method of determination structural indexes is offered

**Keywords:** *inductivity of fibres, resonance device, textile materials.*