

УДК 621.317

**Ю.О. Скрипник, В.П. Куценко, К.Л. Шевченко, О.П. Яненко**

Київський національний університет технологій і дизайну, м. Київ, Україна  
Державний університет інформатики і штучного інтелекту, м. Донецьк, Україна  
Казенне науково-виробниче підприємство „Кварсит”, м. Костянтинівка, Україна  
Національний технічний університет України «КПІ», м. Київ, Україна

## **РАДІОХВИЛЬОВИЙ АНАЛІЗ СТРУКТУРНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ТЕКСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ**

### **Анотація**

*Скрипник Ю.О., Куценко В.П., Шевченко К.Л., Яненко О.П. Радіохвильовий аналіз структурних властивостей текстильних матеріалів. У роботі пропонується радіохвильовий спосіб аналізу структурних властивостей текстильних матеріалів за рахунок їхнього опромінення у вільному просторі неполяризованим електромагнітним випромінюванням від долоні людини й дослідження прийнятого сигналу за допомогою радіометричного приймача.*

*Ключові слова:* радіометр, радіохвильовий аналіз, текстильні матеріали, властивості, електромагнітне випромінювання.

### **Розгляд проблем аналізу властивостей текстильних матеріалів.**

Одній з важливих завдань людства є створення комфортних матеріалів для пошиття одягу. В текстильному матеріалознавстві структурні властивості текстильних матеріалів характеризуються ступенем розпрямленості та орієнтації волокон. Більшість хімічних волокон, які входять до складу текстильних матеріалів, складаються з полімерних речовин, макромолекули яких мають лінійну структуру. Проте між атомами, які входять в макромолекули, має місце визначена просторова спрямованість. Це приводить до того, що ланцюги макромолекул розташовані під визначеним кутом один до одного. В результаті цього волокна згинаються, що порушує паралельність їх розташування в текстильному матеріалі. Чим більша ступінь розпрямленості макромолекул і чим більше їх орієнтація в одному напрямку, тим більша густина їх упаковки і більше сила міжмолекулярної взаємодії, а, відповідно, вища міцність, пружність волокон і тим менша його розтягваність [1]. Таким чином, визначення ступеню паралельності і розпрямленості волокон в текстильному матеріалі дозволяє оцінювати міцнісні і деформаційні властивості текстильних матеріалів.

Способи визначення нерівномірності розміщення волокон у матеріалі в об'ємному надвисокочастотному (НВЧ) резонаторі по різниці власних частот резонатора [2], у пристрої із двома резонаторами по відносним змінам резонансних частот [3], у вільному просторі за рахунок вимірювання інтенсивності минулого через тканину випромінювання від поляризованого і неполяризованого джерела сигналів при паралельному і перпендикулярному розташуванні випромінюючої й приймальної антен [4] мають ряд недоліків. Так спосіб [2] має невисоку чутливість до структурних змін волокнистого матеріалу через малу різницю власних частот об'ємного резонатора і складність розділення вихідних сигналів з одного резонатора, спосіб [3] має невисоку точність, обумовлену тим, що відносні зміни власних частот резонаторів визначаються не тільки структурними змінами властивостей волокнистого матеріалу, але і сильно залежать від вологості, температури, щільності і інших впливових факторів, а у способі [4] через неминучий зсув нуля приймального НВЧ блоку від шумів та завад важко забезпечити високу точність визначення структурного показника якості текстильного матеріалу.

**Постановка завдання дослідження.** Для аналізу властивостей текстильних матеріалів перспективним напрямком є дослідження тканин у вільному просторі при їхньому опроміненні неполяризованим електромагнітним випромінюванням від долоні людини і аналізу прийнятого сигналу за допомогою високочутливого радіометричного приймача модуляційного типу. Це дозволить проводити випробування текстильних матеріалів в умовах реального їх використання, як матеріалів одягу [5, 6, 7].

В основу дослідження покладена задача створення способу визначення структурних властивостей текстильних матеріалів з підвищеною точністю кількісної оцінки паралельності і розпрямленості волокон текстильних матеріалів.

**Основна частина.** На кресленні (Рисунок 1) представлена схема реалізації способу радіохвильового аналізу структурних властивостей текстильних матеріалів при використанні долоні людини, як джерела електромагнітного випромінювання. На кресленні позначені: БО – долонь людини, О – рамка для випробувань волокнистого матеріалу з волокнистим зразком, X1 – приймальна антена високочутливої радіометричної системи, S1 – автоматичний НВЧ перемикач, R1 – еквівалент антени, A1 – НВЧ підсилювач, U1 – НВЧ змішувач, G1 – гетеродин, A2 – вибіркового підсилювач проміжної частоти, U2 – квадратичний детектор, A3 – вибіркового підсилювач низької частоти, U3 – синхронний детектор, Z1 – фільтр нижніх частот, G2 – комутаційний низькочастотний генератор, P1 – цифровий вольтметр.

Спосіб здійснюється наступним чином.

Долонь БО людини випромінює електромагнітні хвилі, які опромінюють рамку О з досліджуваним волокнистим матеріалом.

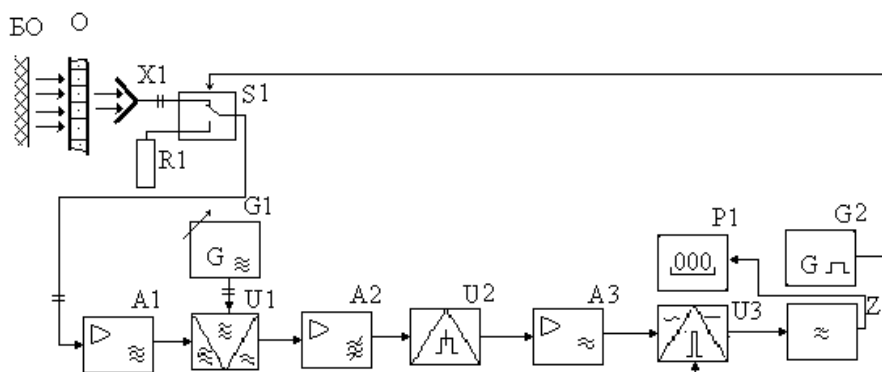


Рисунок 1 – Функціональна схема радіохвильового аналізу структурних властивостей текстильних матеріалів

Для цього з волокнистого матеріалу формують зразок з одного або декількох шарів в залежності від виду первинної сировини. Волокна зразку закріплюють на рамці О з визначеною величиною натягу, який витягує волокна вздовж продольної вісі зразку. Рамку О розміщують в електромагнітному полі біологічного походження, наприклад, в полі долоні людини. Джерелом електромагнітного випромінювання (ЕМВ) живих організмів є клітини, мембрани яких заряджені і безперервно вібрують. За своїм характером біологічні ЕМВ є багаточастотними з широким частотним спектром, параметри якого змінюються випадковим чином. ЕМВ, яке випромінюється окремо взятою клітиною, в кожному акті випромінювання завжди поляризоване. Але макроскопічне джерело ЕМВ (жива істота) складається з чисельної кількості елементарних випромінювачів – клітин організму. Тому просторова орієнтація векторів напруженості електричної складової  $E$  електромагнітного поля і моменти актів формування ЕМВ окремими клітинами у більшості випадків розподілені хаотично. В результаті в загальному випромінненні спрямованість вектору  $E$  в кожний момент часу невизначена, що робить біологічне ЕМВ неполяризованим.

Більшість поліамідних матеріалів, з яких виготовляють хімічні волокна, мають п'єзоелектричні властивості, тобто при деформуванні стають електрично анізотропні. В цьому випадку їх діелектрична проникність стає залежною від напрямку розповсюдження ЕМВ, і, як наслідок, від розташування волокон в матеріалі.

Як відомо, середовища, яким властива електрична анізотропія, поляризують ЕМВ, яке пройшло, або відбилося від них. При цьому площина поляризації визначається впорядкованими структурними елементами середовища розповсюдження ЕМВ. Для текстильних матеріалів такими елементами є волокна, які можуть бути розташованими як хаотично, так і впорядковано у визначеному напрямку (паралельно і розпрямлено). Тому розташування і стан волокон в матеріалі можна визначити, аналізуючи поляризацію ЕМВ, яке пройшло через зразок матеріалу з натягнутими волокнами.

Відповідно запропонованого способу як джерело неполяризованого ЕМВ живих істот використовують долонь БО людини. Рамку  $O$  з натягнутими волокнами досліджуваного матеріалу з початку розташовують перпендикулярно напрямку потоку ЕМВ (паралельно шкіряному покриву людини). Пройшовше через матеріал ЕМВ приймають рупорною антеною  $X1$ , площина поляризації якої розташована паралельно продольній вісі волокнистого зразка. Прийняте антеною  $X1$  ЕМВ вимірюється високочутливою радіометричною системою, яка може вимірювати слабкі ЕМВ, в тому числі і ті, які генеруються людським організмом. Для цього прийнятий ширококутовий сигнал з власними шумами антени поперемінно з шумами еквівалента антени подається через автоматичний НВЧ перемикач  $S1$  на НВЧ підсилювач  $A1$ , де підсилюється. Підсилений сигнал змішується у НВЧ змішувачі  $U1$  з монохроматичним сигналом гетеродину  $G1$ , в результаті чого утворюється вузькосмуговий сигнал проміжної частоти. Низькочастотний сигнал проміжної частоти підсилюється вибірково підсилювачем  $A2$  проміжної частоти з великим коефіцієнтом підсилення (до 80 дБ). Вибірково підсилена напруга квадратично детектується детектором  $U2$ , підсилюється вибірково підсилювачем  $A3$  низької частоти, детектується синхронним детектором  $U3$  та згладжується фільтром  $Z1$  нижніх частот. У результаті такого алгоритму обробки в радіометрі, корисний сигнал відділяється від шумів і його постійна складова продетектованої напруги вимірюється цифровим вольтметром  $P1$ . Покази вольтметра  $P1$  пропорційні інтенсивності тієї частини ЕМВ, яка приймається поляризованою антеною  $X1$ .

При зазначеному на кресленні положенні зразка  $O$  відносно потоку ЕМВ від долоні БО людини і площини поляризації антени  $X1$  відносно положення зразка  $O$  напруга, яка вимірюється вольтметром  $P1$

$$V_1 = SIKf_1(\varphi), \quad (1)$$

де  $S$  – чутливість радіометричної системи;  $I$  – інтенсивність ЕМВ долоні людини;  $K$  – коефіцієнт послаблення ЕМВ матеріалом;  $f_1(\varphi)$  – функція кута  $\varphi$  спрямованості волокон в матеріалі.

Після вимірювання напруги  $V_1$  повертають рамку  $O$  з волокнистим зразком на  $90^\circ$  відносно напрямку потоку ЕМВ. При цьому площина поляризації антени  $X1$  стає паралельною поперечній вісі зразка. Знов вимірюють інтенсивність ЕМВ, що пройшло через матеріал. Через зміну кутової спрямованості  $\varphi$  волокон в матеріалі покази вольтметра  $P1$  змінюються до значення

$$V_2 = SIKf_2(\varphi), \quad (2)$$

де  $f_2(\varphi)$  – функція кута спрямованості волокон в матеріалі при іншому значенні площини поляризації.

Якщо волокна в матеріалі розташовані хаотично, то зміна положення площини поляризації антени  $X1$  відносно зразка  $O$  не змінює інтенсивність випромінювання, що приймається ( $V_1 = V_2$ ). Навпаки, при ідеальній структурі матеріалу, коли всі волокна мають

одну спрямованість, паралельні розпрямлені, одна з вимірюваних інтенсивностей буде максимальна, а інша – мінімальна. Кількісна оцінка ступеня паралельності волокон та їх розпрямленості в реальному матеріалі визначається формулою

$$\eta = \frac{V_1 - V_2}{V_1 + V_2}, \quad (3)$$

де  $\eta$  – кількісна оцінка спрямованості волокон в матеріалі. Підставив в (3) вирази (1) і (2) отримаємо

$$\eta = \frac{f_1(\varphi) - f_2(\varphi)}{f_1(\varphi) + f_2(\varphi)}. \quad (4)$$

З виразу (4) випливає, що результат вимірювання не залежить від коливань інтенсивності  $I$ , що випромінюється людиною, від товщини та наявності неоднорідностей в контрольованому матеріалі, які впливають на коефіцієнт послаблення ЕМВ матеріалом  $K$ . Не впливає на результат вимірювання  $\eta$  і непостійність чутливості радіометричної системи. Показник спрямованості волокон в матеріалі  $\eta$  в залежності від структури матеріалів може змінюватися від 0 до 1. При цьому нулю відповідає хаотичне розташування волокон у матеріалі, а одиниці – повністю впорядковане розташування волокон. Практично показник  $\eta$  для текстильних матеріалів змінюється в діапазоні від 0,1 до 0,6. Порівняно з оцінкою структури текстильних матеріалів за способом [1]

$$\eta = \frac{V_1}{V_2}, \quad (5)$$

запропонована оцінка (3) і (4) має ряд переваг. Так, при випробуваннях у слабких ЕМВ, що властиве ЕМВ біологічного походження, слід враховувати адитивну похибку від впливу власних шумів в елементах радіометричної системи і дії зовнішніх завад. З урахуванням адитивної похибки вираз (5) набуває вигляду

$$\eta = \frac{V_1 + \Delta V}{V_2 + \Delta V}, \quad (6)$$

де  $\Delta V$  – зсув нуля радіометричної системи.

В запропонованому способі оцінка структурних властивостей матеріалів здійснюється за формулою

$$\eta = \frac{(V_1 + \Delta V) - (V_2 + \Delta V)}{(V_1 + \Delta V) + (V_2 + \Delta V)} = \frac{V_1 - V_2}{V_1 + V_2 + 2\Delta V}. \quad (7)$$

З порівняння (6) і (7) видно, що вплив шумів і завад в запропонованому способі послаблене. В чисельнику виразу (7) вони взаємно віднімаються, а в знаменнику їх вплив малий через відносно великий рівень сумарної інтенсивності ЕМВ ( $V_1 + V_2 > 2\Delta V$ ).

Таким чином, використання запропонованого способу дозволяє з більш високою точністю оцінювати ступень паралельності і розпрямленості волокон в текстильних матеріалах (стрічці, ровниці, пряжі), що дозволяє вірогідно визначати міцність текстильного матеріалу, а також сортувати їх за гнучкістю та розтяжінню. Використання ЕМВ в діапазоні міліметрових довжин хвиль (30... 100 ГГц), які властиві живим істотам, забезпечує отримання інформації як від зовнішніх, так і внутрішніх структурних особливостей текстильних матеріалів. Зазначений діапазон довжин хвиль ЕМВ дає можливість оцінювати адаптаційні властивості текстильних матеріалів, які використовуються для виготовлення одягу.

#### **Висновки.**

1. Використання запропонованого способу дозволяє з більш високою точністю оцінювати ступень паралельності і розпрямленості волокон в текстильних матеріалах, вірогідно визначати їх міцність, а також сортувати дані тканини за гнучкістю та розтяжінню.

2. Використання ЕМВ в діапазоні міліметрових довжин хвиль (30... 100 ГГц) забезпечує отримання інформації як від зовнішніх, так і внутрішніх структурних особливостей текстильних матеріалів.

3. Зазначений діапазон довжин хвиль ЕМВ дає можливість оцінювати адаптаційні властивості текстильних матеріалів, які використовуються для виготовлення одягу. Вплив шумів і завад в запропонованому способі послаблене.

### Література

- |    |   |
|----|---|
| 1. | Шустов Ю.С. Основи текстильного матеріалознавства. – М.: МГТУ ім. А.Н.Косыгина, 2007. – С. 2-13.  |
| 2. | Викторов В.А., Лункин Б.В., Совлуков А.С. Радиоволновые измерения параметров техно-логических процессов. – М.: Энергоатомиздат. 1989. – 194 с.  |
| 3. | Патент України на корисну модель № 34897, МПКG01N33/36, 2008.   |
| 4. | Патент Англії №2027898, НКІ: G1N, H4D 1980.   |
| 5. | Скрипник Ю.А., Яненко А.Ф., Манойлов В.Ф., Куценко В.П., Гимпилевич Ю.Б. Микроволновая радиометрия физических и биологических объектов/ Под ред. Ю.А. Скрипника. Житомир: изд-во «Волянь», 2003. – 408 с. |
| 6. | Головко Д.Б., Скрипник Ю. О., Яненко О. П. Надвисокочастотні методи та засоби вимірювання фізичних величин: Навчальний посібник. – Київ:Либідь. – 2003. –327 с.   |
| 7. | Скрипник Ю. О., Манойлов В. П., Яненко О. П. Модуляційні радіометричні пристрої та системи НВЧ-діапазону: Навчальний посібник. – Житомир: ЖІТІ. – 2001. – 374 с.  |

### Abstrakt

*Y.A. Skripnik, W.P. Kutsenko, K.L. Schewchenko, O.P. Yanenko. The radio wave analysis of structural properties of textile materials. In work the radio wave way of the analysis of structural properties of textile materials at the expense of their irradiation in free space not polarised electromagnetic radiation from a palm of the person and research of the accepted signal by means of the radiometric receiver is offered.*

**Keywords:** radiometr, the radio wave analysis, textile materials, properties, electromagnetic radiation.

### Аннотация

*Ю.А. Скрипник, В.П. Куценко, К.Л. Шевченко, А.Ф. Яненко. Радиоволновой анализ структурных свойств текстильных материалов. В работе предлагается радиоволновой способ анализа структурных свойств текстильных материалов за счет их облучения в свободном пространстве неполяризованным электромагнитным излучением от ладони человека и исследования принятого сигнала с помощью радиометрического приемника.*

**Ключевые слова:** радиометр, радиоволновой анализ, текстильные материалы, свойства, электромагнитное излучение.

Здано в редакцію:  
10.04.2010р.

Рекомендовано до друку:  
д.т.н., проф., Зорі А.А.