

## Теорія і практика радіовимірювань

тання випромінювання мм-діапазону в якості лікувальних процедур і для людського організму. Відзначаються (на рис.5) більш виражені резонансні ефекти при опроміненні БАТ шкіри у порівнянні з водою та насінням, що потребує чіткого визначення цих резонансних частот при проведенні терапевтичних процедур.

Переваги мм-хвиль для впливу на біологічні об'єкти: висока чутливість біооб'єктів до сигналів мм-діапазону і відповідні малі значення потужності для опромінення ( $3-10 \text{ мВт/см}^2$ ), що дозволяє віднести подібні обробки до енергозберігаючих технологій.

### Література

1. Frohlich H. Theoretical Physics and Biology // Biological Coherence and Response to External Stimuli/ Ed. by Frohlich H. – New York: Springer-Verlag, 1988.
2. Ситько С.П. Мкртчян Л.Н. Введение в квантовую медицину. К.: Паттерн, 1994.
3. Залюбовская Н.П. К оценке действия микроволн миллиметрового и субмиллиметрового диапазона на различные биологические объекты. Автореф. дис. канд. биол. наук. – Харьков, 1970. – 15 с.
4. Бецкий О.В., Девятков Н.Д. Механизмы взаимодействия электромагнитных волн с биологическими объектами // Радиотехника, 41, №9. – 1996. – С. 4-11.
5. Девятков Н.Д., Голант М.Б. Особенности частотно-зависимых биологических эффектов при воздействии электромагнитных излучений. // Электр. техника. "Электроника СВЧ". – 1982. – Вып. 12 (348). – С. 46-50.
6. Мацibuра А., Яненко А.Ф., Унияка Т.Л. Исследование влияния излучения миллиметрового диапазоне волн на продуктивные и урожайные качества ANETHUM GRAVEOLENS// СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии: материалы 15-ой Междунар. Крым. конф. в 2 т., Севастополь, 12–16 сентября 2005 г. – Т.2 – С. 898–899.
7. Андреев Є.О, Білий М.У, Ситько С.П. Проявлення власних характеристичних частот організму людини. // Доп. АН УРСР. Сер. Б. – 1984. - №10. – с.56-59.
8. Скрипник Ю.А. и др. Микроволновая радиометрия физических и биологических объектов / Под общ. ред. проф. Ю.А. Скрипника. – Житомир: "Вольный", 2003. – 408 с.

*Яненко О.П., Мельник Є.Т., Зінченко В.І. Дослідження резонансного поглинання біооб'єктами мм – випромінювання. Приводяться результати досліджень поглинальної здатності насіння злакових рослин, води та шкіри людини в мм-діапазоні хвиль.*

**Ключові слова:** біооб'єкт, поглинання мм-випромінювання біооб'єктом

*Яненко А.Ф., Мельник Е.Т., Зинченко В.И. Исследования резонансного поглощения биообъектами мм-излучения. Приводятся результаты исследования поглощающей способности семян злаковых растений, воды и кожи человека в мм-диапазоне волн.*

**Ключевые слова:** биообъект, поглощение мм-излучения биообъектами

*Yanenko O.P., Melnik E.T., Zinchenko V.I. Investigation of the resonance absorption of bio-objects mm-radiations. The results of investigation of absorbing capacity of cereals, water and human skin in mm-wave band are presented.*

**Keywords:** bioobject, absorb mm-radiation by bioobject

УДК 621.317

## РАДИОМЕТРИЧНИЙ НЕРУЙНІВНИЙ КОНТРОЛЬ ДІЕЛЕКТРИЧНИХ ВИРОБІВ

*Куценко В.П., Яненко О.П.*

Вироби з діелектричних і композиційних матеріалів широко використовуються в сучасному літакобудуванні, ракетній та космічній техніці. До

даної продукції пред'являються високі вимоги щодо міцності, термостійкості, радіопрозорості та інших параметрів. В той же час внутрішні неоднорідності матеріалів, приховані дефекти (повітряні бульбашки, розшарування, тріщини), домішки можуть привести до позаштатних (аварійних) ситуацій під час експлуатації техніки. Для забезпечення якості продукції з діелектричних і композиційних матеріалів у період виробництва використовують методи технологічного контролю із застосуванням ультразвукового, рентгенівського та інш. досліджень.

В той же час в останні роки все більша увага приділяється неруйнівним радіохвильовим методам контролю [1]. За рівнем потужності власного радіотеплового випромінювання або сигналу зовнішнього випромінювання, що проходить через досліджуваний матеріал, (радарний метод) можна контролювати вироби безпосередньо на робочому місці, що створює переваги даним методам контролю [2,3]. Реалізація радіохвильових методів здійснюється приймальними системи надвисокочастотного (НВЧ) або надзвичайно високочастотного (НЗВЧ) діапазону, побудованими за принципом радіометрів, що дозволяє вимірювати слабкі сигнали, рівень яких може бути навіть меншим ніж рівень власних шумів самої апаратури [4].

В той же час, незважаючи на перспективність подібної апаратури, сьогодні радіохвильові методи ще недостатньо використовуються в технологічних процесах для контролю складу і властивостей діелектричних виробів. Так, наприклад, при контролі технологічних параметрів ситалів, ситалової і кварцової кераміки, з яких виготовляють термостійкі елементи літальних апаратів, використовується вибірковий контроль та руйнуючий метод хіміко-механічного дослідження.

### **Постановка задачі**

У процесі виробництва термостійких радіопрозорих діелектричних елементів літальних апаратів повинна забезпечуватися повторюваність їхніх технологічних параметрів. Тому метою даної роботи є розробка системи технологічного неруйнівного контролю виробів із ситалів, ситалової і кварцової кераміки і із застосуванням власних радіотеплових і зовнішніх радіохвильових сигналів.

### **Основна частина**

Активний розвиток елементної бази НВЧ і НЗВЧ діапазонів дозволяє сьогодні розробляти системи неруйнівного радіотеплового і радарного контролю радіопрозорих виробів із діелектричних матеріалів, які здатні забезпечити підвищення якості та надійності продукції і, як наслідок, рентабельності виробництва. Застосування такого виду контролю в процесі виробництва може забезпечити якісне дослідження сто відсотків виробів в технологічному циклі виготовлення і виключає необхідність їхнього руйнування при вибіркового контролю.

В основі радіотеплового контролю лежить вимірювання рівня власного

електромагнітного випромінювання (ЕМВ) матеріалів, джерелом якого є теплові електричні флуктуації (тепловий шум), які несуть докладну інформацію про їх склад та властивості.

Середній квадрат флуктуючої напруги на ділянці матеріалу з опором  $R$  визначається формулою Найквіста [2]:

$$\bar{U}^2 = 4kTR\Delta f, \quad (1)$$

де  $k$  – стала Больцмана,  $1,38 \cdot 10^{-23}$  Дж/К;  $T$  – температура об'єкта;  $\Delta f$  – смуга частот, всередині якої вимірюються флуктуації напруги.

Спектральна густина квадрата флуктуючої напруги, тобто розподіл енергії в частотному діапазоні, описується співвідношенням:

$$G(f) = 4kTR_E, \quad (2)$$

де  $R_E$  – еквівалентний опір, що включає діелектричні втрати в матеріалі.

Оскільки середній квадрат флуктуючої напруги на ділянці матеріалу (1) пов'язаний з температурою  $T$ , то за інтенсивністю ЕМВ можна визначити не тільки температуру речовини, а параметри і властивості, які впливають на розподіл температури в матеріалі. При зовнішньому впливі на виріб ЕМВ, у мікрорадіохвиль, що пройшли через матеріал виробу, можуть змінюються такі параметри, як коефіцієнти проходження (передачі), поглинання і відбиття, діаграма розсіювання, фазовий зсув, вид і площина поляризації. Зміни цих величин при проходженні мікрорадіохвиль через контрольований виріб або відбитті від нього характеризують внутрішній стан виробу, зокрема наявність різних дефектів (розшарування, пористість, тріщини, сторонні включення, нерівномірність розподілу сполучного, порушення структури та інші.).

Вимірюваними величинами при оцінці рівня інтенсивності випромінювань, що пройшли через матеріал виробу, зазвичай є коефіцієнти поглинання і відбиття, показник загасання. Ці коефіцієнти пов'язані з діелектричною проникністю і товщиною стінки контрольованого виробу. Для кожного типу виробів, в залежності від його форми, необхідно вибрати оптимальний метод контролю і режим роботи вимірювальної системи.

На рис.1 приведена установка неруйнівного радіотеплового і радарного контролю технологічних параметрів виготовлених виробів із ситалів, ситалової і кварцової кераміки безпосередньо на робочому місці [5].

Установка складається зі стенда з посадковим місцем для контрольованого виробу, антенних стійок (АС) для випромінюючої і приймальної антен (А), стандартних генераторів НВЧ або НЗВЧ сигналів (G), радіометричного приймача контролю (РПК), атенюаторів (db), що входять до складу радіометричного приймача і забезпечують керування програмою виконання контрольних випробувань. В якості РПК застосований радіометр із флуктуаційним порогом чутливості  $10^{-14}$ – $10^{-15}$  Вт [6, 7]. Контроль здійснюється у НЗВЧ діапазоні, оскільки при цьому зменшуються розміри антен апліка-

торного або рупорного типу і збільшується розрізнявальна здатність системи. Обертання виробу і синхронне переміщення антен здійснюється за програмою випробувань електроприводами (Д). При контролі враховується, що товщина стінок виробів і їхній хімічний склад є константою.

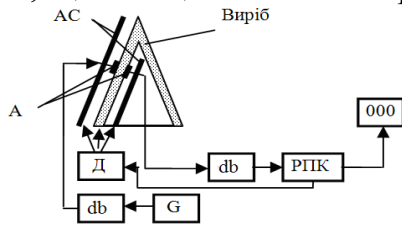


Рис. 1.

Дослідження показали, що дана система контролю дозволяє реєструвати ослаблення сигналу, що проходить через виріб, від 0,5 db і вище з точністю  $\pm 0,02$  db. Результати вимірювання вводяться в комп'ютер, де аналізується в порівнянні з еталонними показниками. Похибка, обумовлена відбиттям електромагнітних хвиль діелектричним матеріалом виробу і установленням просторових стоячих хвиль, нівелюється за рахунок вимірювання в рівних умовах як еталонного зразка, так і контрольованого виробу. Зменшення випадкових похибок досягається проведенням багаторазових вимірювань та стандартною обробкою отриманих результатів. Нижче наведені результати досліджень ряду матеріалів з використанням запропонованої методики та розробленої вимірювальної установки: 1, 2 і 5 зразки – ситали кристалізовані, 3 і 4 зразки – ситали некристалізовані, 6 зразок – ситало-кераміка.

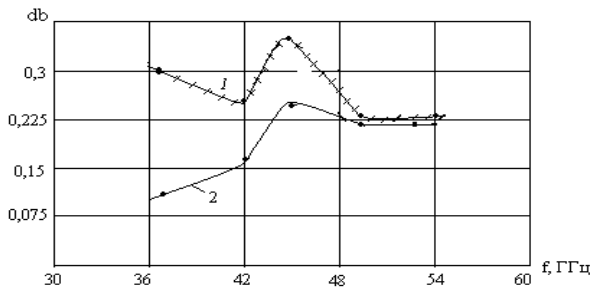


Рис. 2.

$\Delta P_{\text{пог.}}(db) = P_{\text{над.}}(db) - P_{\text{прох.}}(db)$ . Із рис. 2 видно, що ситали 1 і 2 мають максимальне питоме поглинання на частоті 45 ГГц. У цілому поглинаючі властивості ситалів на цих частотах мають нелінійний характер, що необхідно враховувати при оцінці їх радіопрозорості.

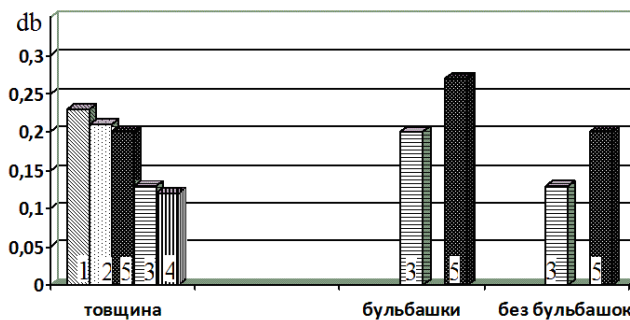


Рис. 3.

Дослідження радарним методом питомих поглинаючих властивостей ситалів 1 і 2 у діапазоні 37-53 ГГц за температури 24°C наведені на рис. 2. Рівень поглинання визначався за показаннями поляризаційного атенюатора ДЗ-37 як різниця падаючої та прохідної потужності:

При дослідженні радарним методом питомого поглинання різними зразками ситалів на частоті 52 ГГц за температури 24°C отримана наступна залежність (рис. 3). З діаграми (рис. 3) видно, що найбільше питоме поглинання сигналу в ситалі 1, середнє – у ситалів 2 і 5 і най-

менше в ситалів 3 і 4. Це вказує на те, що кристалізація ситалів збільшує їхні поглинаючі властивості. У зоні повітряних бульбашок також поглинання сигналу вище, ніж в однорідному матеріалі. Вимірювання показали, що реєструються бульбашки розміром порядку  $\lambda/4$  (де  $\lambda$  – довжина електромагнітної хвилі випромінювання). Проведені дослідження власного радіотеплового випромінювання  $\Delta P_{випр.}$  (db) різних зразків ситалів на частоті 52 ГГц в діапазоні температур 33-53°C підтверджують залежності, отримані радарним методом (рис. 4).

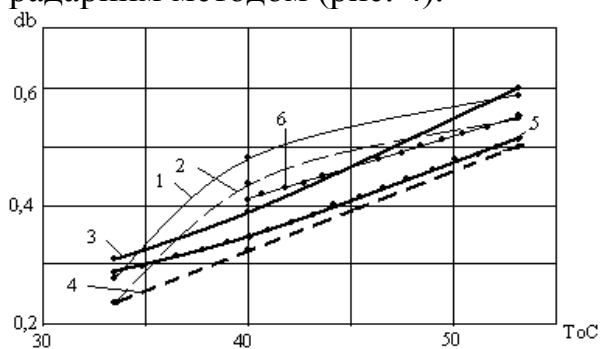


Рис. 4.

Графіки (рис. 4) показують зміни нелінійності інтенсивностей радіотеплових випромінювань різних ситалів, а отже і їхніх радіопоглинаючих властивостей. При цьому в кристалізованих ситалах рівень радіотеплового випромінювання вищий ніж у некристалізованих, пере-

робка некристалізованих ситалів у ситало-кераміку приводить до зростання її радіотеплових властивостей.

Аналіз проведених досліджень показує, що розроблена система технологічного неруйнівного контролю виробів із ситалів, ситалової і кварцової кераміки із застосуванням власних радіотеплових і зовнішніх радіохвильових сигналів дозволяє реєструвати дефекти структури виробів, зміни складу зазначених матеріалів і їхніх властивостей, що виникають при їх технологічній обробці. Результати вимірювань, проведені радіотепловим і радарним методами, корелюють між собою і сприяють підвищенню вірогідності досліджень.

### Висновки

Таким чином запропонована авторами радіометрична система неруйнівного контролю радіопрозорих виробів із ситалів, ситалової і кварцової кераміки чутлива до змін складу та властивостей матеріалів.

Дана система може бути використовувана для дослідження технологічних параметрів виробів із вказаних діелектричних матеріалів без їх руйнування, що буде сприяти підвищенню рентабельності виробництва.

### Література

1. Мищенко С. В., Малков Н. А. Проектирование радиоволновых (СВЧ) приборов неразрушающего контроля материалов. Тамбов: Тамб. гос. техн. ун-т. – 2003. – 127 с.
2. Приборы для неразрушающего контроля материалов и изделий: Справочник. В 2-х кн. / Под ред. В. В. Клюева. Кн.1. М.: Машиностроение. – 1976. – 396 с.
3. Головка Д.Б., Скрипник Ю.А., Яненко А.Ф. СВЧ-методи вимірювання фізических величин. - К.: Лебедь. – 2003. – С. 72 – 74
4. Скрипник Ю.А., Яненко А.Ф., Манойлов В.П., Куценко В.П., Гимпилевич Ю.Б. Микроволновая радиометрия физических и биологических объектов. – Житомир: „Во-

льнень” – 2003. – 408 с.

5. Куценко В.П., Трегубов М.Ф. Радиоволновой контроль изделий из диэлектрических материалов // Материалы 17-й МК „СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии” (Крымико-2007). - Севастополь: „Вебер”. –2007. – С. 733-734.

6. Патент на корисну модель №18320 (Україна). Спосіб вимірювання енергетичного спектра слабких радіовипромінювань / Куценко В.П., Скрипник Ю.О., Трегубов М.Ф., Шевченко К.Л., Яненко О.П. – № u200603339; Заявл. 28.03.2006; Опубл. 15.11.2006; Бюл. № 11.

7. Куценко В.П., Скрипник Ю.О., Трегубов М.Ф., Шевченко К.Л., Яненко О.П. Радиометрический способ неразрушающего контроля состава и свойств диэлектрических материалов // Материалы 16-й МК „СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии” (Крымико-2006). – Севастополь: „Вебер”. – 2006. – С. 762-764.

*Куценко В.П., Яненко О.П. Радиометричний неруйнівний контроль діелектричних матеріалів. Запропонована система неруйнівного радіотеплового і радарного методів контролю технологічних параметрів термостійких виробів із ситалів, ситалової та кварцової кераміки на робочому місці. Розроблено механізм зняття і обробки інформації про контрольовані параметри діелектричних виробів, що дозволяють забезпечити необхідну вірогідність контролю.*

**Ключові слова:** радіометрія, неруйнівний контроль, діелектричні матеріали, електромагнітне випромінювання, радіотеплове випромінювання, властивості об'єктів.

*Куценко В.П., Яненко А.Ф. Радиометрический неразрушающий контроль диэлектрических материалов. Предлагается система неразрушающего радиотеплового и радарного методов контроля технологических параметров термостойких изделий из ситаллов, ситалловой и кварцевой керамики на рабочем месте. Разработан механизм снятия и обработки информации о контролируемых параметрах диэлектрических изделий, позволяющий обеспечить необходимую достоверность контроля.*

**Ключевые слова:** радиометрия, неразрушающий контроль, диэлектрические материалы, электромагнитное излучение, радиотепловое излучение, свойства объектов

*Kucenko O.P., Yanenko A.F. Radiometry notdestroying control of dielectric materials. The system is offered non-destructive radiothermal and radar methods of control of technological parameters of heat-resistant wares from sitall, sitall and quartz ceramics in the workplace. The mechanism of removal and treatment of information is developed about the controlled parameters of dielectric wares, allowing to provide necessary authenticity of control.*

**Keywords:** radiometry, notdestroying control, dielectric materials, electromagnetic radiation, radioteplovoe radiation, properties of objects.