

## ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДІВ РАДІОТЕПЛОВОГО КОНТРОЛЮ ДІЕЛЕКТРИЧНИХ МАТЕРІАЛІВ

К. т. н. О. В. Алексахин<sup>1</sup>, Ю. В. Штефура<sup>2</sup>, д. т. н. К. Л. Шевченко<sup>3</sup>

Одеська національна академія харчових технологій<sup>1</sup>,  
Київський національний університет технологій та дизайну<sup>2</sup>,  
Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського»<sup>3</sup>  
Україна  
autom1@meta.ua

*Зазначено проблеми використання традиційних електромагнітних методів вимірювань та показано, що вирішити їх можна шляхом використання пасивних радіотеплових методів контролю. Проведено аналіз джерел власного електромагнітного випромінювання діелектричних матеріалів, який дозволив виділити основні напрямки застосування методів радіотеплового контролю, зокрема вимірювання глибинних температур та теплових полів, оцінка структури та складу матеріалів. Сформульовано основні задачі, які потребують вирішення для подальшого розвитку методів радіотеплового контролю.*

*Ключові слова: радіотепловий контроль, електромагнітне випромінювання, діелектричні матеріали.*

Оцінка параметрів діелектричних речовин та матеріалів часто здійснюється активними електромагнітними методами. Застосування цих методів передбачає генерацію зондуєчого електромагнітного випромінювання (ЕМВ), взаємодію ЕМВ з досліджуваним матеріалом та вимірювання параметрів ЕМВ (амплітуди, частоти або фази) після взаємодії з досліджуваним матеріалом. Залежно від властивостей досліджуваного матеріалу використовують ЕМВ різних частотних діапазонів, від інфраних до міліметрових.

Слід зазначити, що існує велика кількість речовин та матеріалів, які складно або неможливо контролювати традиційними електромагнітними методами. Так, матеріали на основі кераміки, аморфного скла та високомолекулярних полімерів мають низьку електропровідність, великі діелектричні втрати, що суттєво зменшує достовірність результатів контролю. Об'єкти рослинного та біологічного походження (насіння зернових культур, бактеріальні закваски та ін.) під впливом навіть низькоінтенсивного ЕМВ можуть суттєво змінювати фізичні властивості.

Метою даної роботи є аналіз перспективних напрямків використання пасивних радіотеплових методів контролю, заснованих на аналізі енергетичних і спектральних характеристик власного ЕМВ діелектричних матеріалів в діапазоні надвисоких частот.

Актуальність використання радіотеплових методів контролю обумовлена тим, що при проведенні досліджень об'єкт не піддається дії зовнішніх факторів, які можуть впливати на його стан.

Джерелом власного ЕМВ матеріалів є теплові електричні флуктуації, які є наслідком броунівського руху носіїв електричного заряду, який викликає флуктуації їх рівноважного розподілу по об'єму матеріалу і обумовлює появу незбалансованих зарядів. Останні створюють різницю потенціалів і струм, який вирівнює цю різницю. У діелектричних матеріалах з невеликою кількістю вільних електронів тепловий шум обумовлений в основному появою термозбуджених поляризованих молекул, які утворюють флуктуючі диполі [1]. Теплові електричні флуктуації в матеріалі і породжують широкосмугове радіотеплове ЕМВ. При цьому електромагнітне поле, створюване зарядами, що рухаються у речовині, у свою чергу впливає на ці заряди. У результаті створюється рівноважне ЕМВ, інтенсивність якого пропорційна термодинамічній температурі матеріалу. Але з ростом температури збільшується і нерівномірність спектра випромінювання, особливо в оптичному (інфрачервоному та видимому) діапазоні [2].

Параметри теплового випромінювання в оптичному діапазоні давно використовуються для безконтактного виміру температури різних об'єктів [3]. Але в оптичному діапазоні через малу довжину хвилі ЕМВ можна оцінити лише поверхневу температуру. В той же час, в багатьох випадках важли-

вим є вимірювання підповерхневих (глибинних) температур. Це стосується задач медичної сфери (наприклад, пошук новоутворень в організмі людини, визначення глибини опіків), харчової промисловості (наприклад, контроль внутрішніх температур у зерносховищах) та ін.

Авторами показано, що рішенням цієї проблеми є використання більш довгих хвиль (сантиметрового і дециметрового діапазонів), що дозволяє безконтактно вимірювати не тільки температуру на глибині до 10—12 см, а і визначати градієнт температури шляхом переналаштування частоти приймального тракту вимірювача [4]. Підвищення чутливості і роздільної здатності радіотермометрів робить цей напрямок контролю дуже перспективним.

Останніми роками розвивається новий напрямок у радіотепловому контролі, пов'язаний з оцінкою ЕМВ від різних матеріалів або від різних ділянок одного матеріалу при заданій температурі нагріву. Завдяки радіопрозорості діелектричних матеріалів можна приймати радіовипромінювання з глибини матеріалу чи виробу. Якщо порівнюються ЕМВ при однаковій температурі, то різниця їхніх інтенсивностей дозволяє оцінити структуру матеріалу та її порушення. Так, нерівномірний розподіл речовини по об'єму виробу, різні її густини або градієнт концентрації домішок обумовлюють і нерівномірне поглинання ЕМВ на різних частотах. Наслідком є зміна спектру власного ЕМВ [5]. Авторами запропоновано порівнювати потужність випромінювання досліджуваного і зразкового матеріалу або визначати зміни у формі огинаючої спектра випромінювання, що дозволяє оцінювати структуру матеріалу.

Радіотеплові методи відкривають принципово нові можливості для пасивного контролю матеріалів за рівнем і спектром власного ЕМВ, що викликається тепловими електричними флуктуаціями. Власне радіотеплове ЕМВ є інформаційною основою нового напрямку як у термометрії, так і в області дефектоскопії і діагностики діелектричних матеріалів.

Проте подальший розвиток радіотеплового контролю потребує вирішення ряду задач, зокрема:

- підсилення надслабких ( $10^{-17}$ — $10^{-13}$  Вт) інформативних ЕМВ надвисокочастотного діапазону;
- одержання високого співвідношення сигнал/шум (рішення цієї складної задачі ускладнюється ще й тим, що корисний сигнал і завада є однорідними і статистично нерозрізненими випадковими процесами);
- розробка методів високоточного виміру ЕМВ і відповідних алгоритмів обробки результатів вимірів для виключення систематичних похибок адитивного і мультиплікативного характеру;
- вибір типу і конструкції антен для прийому ЕМВ в широкому діапазоні частот, узгоджених з об'єктом контролю та підсилювально-вимірювальним трактом, і забезпечення необхідної вибіркової до складових спектра ЕМВ;
- розвиток методів придушення впливу власних шумів апаратури шляхом комутаційно-модуляційної обробки прийнятого ЕМВ, включаючи метод періодичного заміщення, інвертування та протиставлення вхідних сигналів.

#### ВИКОРИСТАНІ ДЖЕРЕЛА

1. Ван-дер-Зил А. Шум. Источники, описание, измерение.— Москва: Сов. радио, 1973.
2. Рытов С.М. Теория электрических флюктуаций и теплового излучения.— Москва: Изд-во АН СССР, 1953.
3. Герашенко О.А., Гордов А.Н., Лах В.И. и др. Температурные измерения: Справочник.— Киев: Наук. думка. 1984.
4. Скрипник Ю.А., Шевченко К.Л., Алексашин А.В. Измерение микроволновых электромагнитных излучений нетепловой интенсивности // 21-я Междунар. Крымская конференция «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии» (КрыМиКо'2011).— Украина, Крым, г. Севастополь.— 2011.— С. 895—896.
5. Скрипник Ю.А., Шевченко К.Л., Горкун В.В. Оценка спектральных характеристик материалов в электромагнитных полях низкой интенсивности // 23-я Междунар. Крымская конференция «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии» (КрыМиКо'2013).— Украина, Крым, г. Севастополь.— 2013.— С. 974—975.

O. V. Aleksashin, Ju. V. Shtefura, K. L. Shevchenko

#### **The prospects of using methods of radiothermal control of dielectric materials**

*The study considers the problems of using traditional electromagnetic methods of measurement. It is shown that such problems can be solved using passive radiothermal methods of control. The sources of own electromagnetic radiation of dielectric materials are analyzed. The analysis allows highlighting the main ways to apply the methods of radiothermal control, in particular the measurement of deep temperatures and thermal fields, evaluation of structure and composition of the materials. The authors formulate the main tasks, which need to be solved for the further development of radio-thermal control methods.*

*Keywords: radiothermal control, electromagnetic radiation, dielectric materials.*