

УДК 539.2; 541.1; 542.269

к.фіз.-мат.н. Краснянський Г.Ю.,

Азнаурян І.О., Кузнецова І.О.,

Київський національний університет будівництва і архітектури

## ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕКРАНУЮЧИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ МЕТАЛОСИЛКАТНИХ ОБЛИЦЮВАЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ У ДІАПАЗОНІ НВЧ

*Проведено теоретичні дослідження екрануючих властивостей металосилікатних облицювальних матеріалів. Запропоновано теоретичну модель, що описує розсіювання і поглинання електромагнітного випромінювання вказаними матеріалами.*

*Ключові слова: металосилікатний, облицювальний, матеріал, ослаблення, відбивання, НВЧ-випромінювання.*

Проблема захисту від електромагнітного випромінювання в даний час набуває все більшої актуальності. З цією метою, зокрема, можуть використовуватися облицювальні матеріали на основі металосилікатних композицій [1]. Принципова можливість їх застосування в якості електромагнітних екранів, здатних поглинати і розсіювати НВЧ-випромінювання, була показана нами раніше експериментальним шляхом [2, 3].

Метою цієї роботи є теоретичні дослідження захисних властивостей металосилікатних матеріалів в НВЧ-діапазоні, в тому числі – розробка математичної моделі, яка дозволяла б не тільки правильно визначати значення коефіцієнтів поглинання і відбивання, але й прогнозувати властивості композицій.

Першочерговим завданням при вивченні радіоекрануючих властивостей є отримання теоретичних залежностей, що дають адекватний опис процесів розсіювання електромагнітного випромінювання композиційним матеріалом.

При розрахунку коефіцієнта ослаблення (D) і відбивання (R) електромагнітної хвилі, яка падає на композит, припускали, що матеріал має ізотропні електрофізичні властивості і хвиля падає нормально до поверхні зразка.

Розв'язок рівнянь Максвелла для амплітуди хвилі, що розповсюджується в середовищі з поглинанням, як відомо, має вигляд (див., наприклад, [5]):

$$E = E_0 e^{-inx/c} \cdot e^{-\chi\omega x/c}, \quad (1)$$

де  $E_0$  – напруженість електричного поля хвилі, що падає;

$n$  – коефіцієнт заломлення;

$x$  – товщина зразка;

$\omega$  – циклічна частота хвилі;

$\chi$  – коефіцієнт екстинкції середовища, який визначає швидкість згасання.

Використовуючи (1), для коефіцієнта ослаблення по потужності отримуємо:

$$D = \frac{(n+1) + \chi^z}{4n} \exp\left[\frac{2\chi\omega x}{c}\right]. \quad (2)$$

Вираз для коефіцієнта відбивання у випадку хвилі, що падає нормально до поверхні зразка, має вигляд:

$$R = \frac{(n-1)^2 + \chi^z}{(n+1)^2 + \chi^z}. \quad (3)$$

При цьому:

$$n = \sqrt{\frac{\varepsilon' + \sqrt{\varepsilon'^2 + \varepsilon''^2}}{2}}; \quad (4)$$

$$\chi = \sqrt{\frac{\varepsilon' - \sqrt{\varepsilon'^2 + \varepsilon''^2}}{2}}, \quad (5)$$

де  $\varepsilon'$  та  $\varepsilon''$  – дійсна і уявна частини комплексної діелектричної проникності:

$$\hat{\varepsilon} = \varepsilon + i \frac{4\pi\sigma}{\omega}, \quad (6)$$

де  $\sigma$  – електропровідність зразка.

Зауважимо, що електричні втрати, які визначають поглинання електромагнітної хвилі матеріалом, пропорційні до уявної частини діелектричної проникності, що враховує як втрати на діелектричний гістерезис, так і джоулеві втрати. Ці види втрат при фіксованій частоті з макроскопічної точки зору нерозрізнені. У нашому випадку ефекти, пов'язані з діелектричним гістерезисом, є надзвичайно малими в порівнянні з втратами за рахунок провідності в досліджуваній області концентрацій металевго компонента.

Отже, знаючи величини дійсної та уявної частини діелектричної проникності зразків з різним вмістом металевго компонента, можна розрахувати залежності коефіцієнта ослаблення і відбивання від об'ємного вмісту електропровідного компонента.

Вирази для залежностей  $\sigma$  і  $\varepsilon$  від об'ємної частки металевго компонента  $\Theta$  в металосилікатних композиціях були отримані раніше [5, 6], виходячи з аналогії з теорією фазових переходів. При вмісті металевго компонента, який відповідає допороговій області, залежності  $\varepsilon''(\Theta)$  та  $\varepsilon'(\Theta)$  мають вигляд:

$$\varepsilon''(\theta) = \frac{4\pi\sigma_m}{\omega} \left\{ B_0 h(-\tau)^{-q} + B_1 \left[ h^2 - \left( \frac{\omega\varepsilon_d}{4\pi\sigma_m} \right) 2 \right] (-\tau)^{-p} \right\}; \quad (7)$$

$$\varepsilon'(\theta) = B_0 \varepsilon_d (-\tau)^{-q},$$

де  $\sigma_m$  – електропровідність металевго компонента;

$\varepsilon_d$  – діелектрична проникність діелектрика;

$q$  та  $p$  – критичні індекси теорії протікання;

$\theta_c$  – поріг протікання,

$$\tau = \theta - \theta_c,$$

$$h = \sigma_d / \sigma_m.$$

При порівнянні теоретичних залежностей (7) з експериментальними для композиту мідь-портландцемент, проведеному за методом найменших квадратів, отримано:

$$\theta_c = 0,162; B_0 = 0,15; p = 3,5 \pm 0,054; q = 1 \pm 0,05,$$

що свідчить про гарну відповідність аналітичних і експериментальних даних.

Залежності коефіцієнта ослаблення і відбивання, розраховані по (2-7) з використанням наведених вище даних, показані на рисунку разом з експериментальними даними.

Як показує аналіз отриманих результатів, теоретичні розрахунки досить добре узгоджуються з експериментом. При цьому слід зазначити, що вимірювання діелектричної проникності і електропровідності проводились на низьких частотах, а ослаблення і відбивання – в діапазоні НВЧ. Вказана обставина додатково підтверджує адекватність використаної теоретичної моделі, відповідно до якої дисперсія в досить широкому діапазоні частот повинна бути незначною.

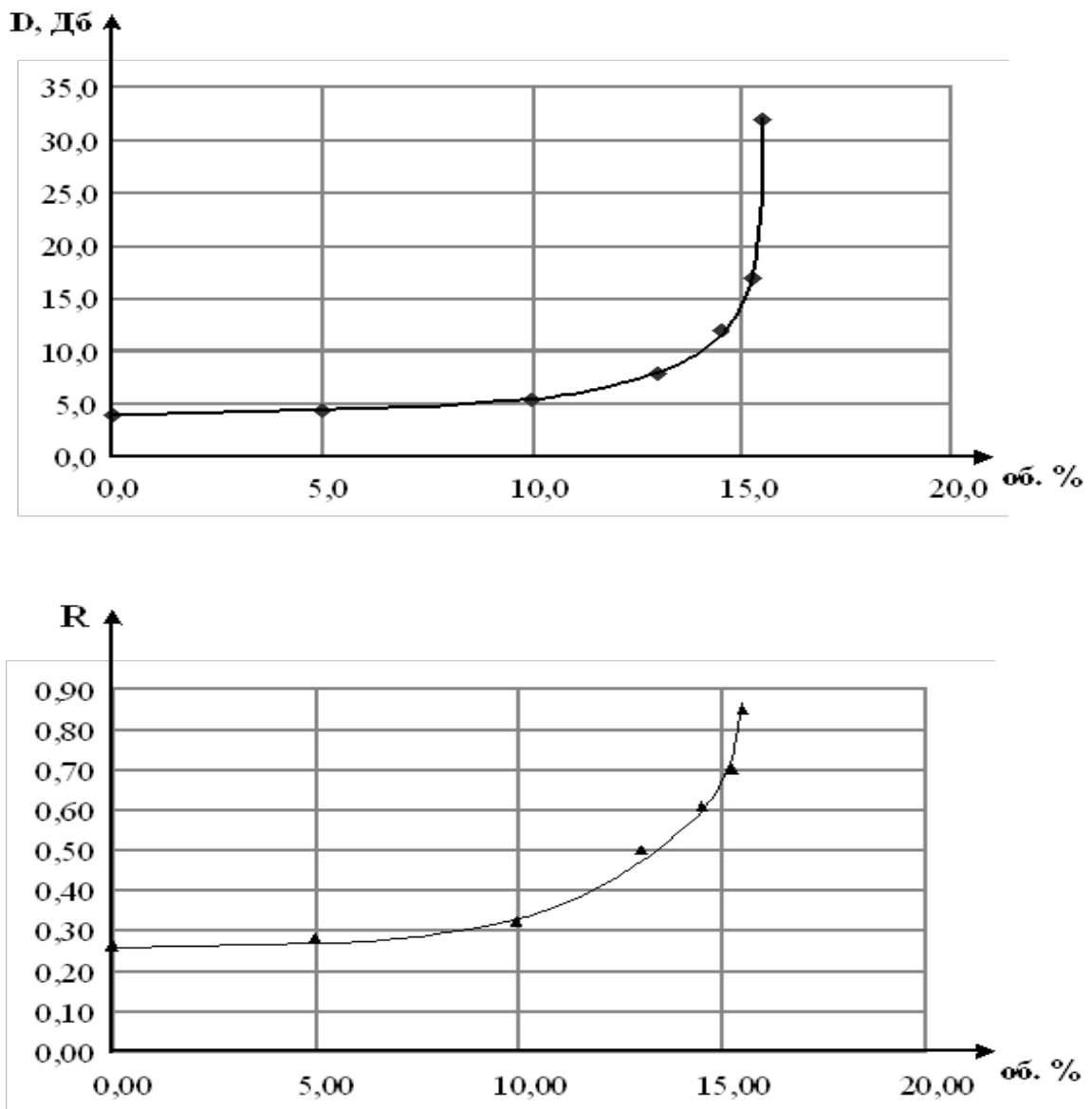


Рис. Залежність коефіцієнтів ослаблення (D) та відбивання (R) металосилікатних композитів від вмісту металу ( $\Theta$ ); точки – експеримент, суцільна лінія – теоретична залежність

### Висновки

На основі експериментальних і теоретичних досліджень показано принципову можливість використання металосилікатних композиційних матеріалів в якості електромагнітних екранів, здатних поглинати і розсіювати електромагнітне НВЧ-випромінювання.

Запропоновано теоретичну модель, яка адекватно описує розсіяння і поглинання електромагнітного випромінювання гетерогенним матеріалом з діелектричної зв'язкою. Отримані вирази можуть бути використані при проектуванні складів електромагнітних екранів.

### Литература

1. Клапченко В.И., Краснянский Г.Е., Азнаурян И.А. Электрофизические исследования строительных материалов. – Киев: ВИПОЛ, 2002. – 84 с.
2. Рунова Р.Ф., Семенов Ю.Н., Максунув С.Е. Перспективы применения силикатных пресс-порошков для специальных материалов. – Тез. докл. II Всесоюз. науч.-практ. конф. Шлакощелочные цементы, бетоны и конструкции, КИСИ. – Киев: СССР, 1984. - С. 100-102.
3. Краснянський Г.Ю., Азнаурян І.О., Кузнецова І.О. Екрануючі властивості металосилікатних облицювальних матеріалів у діапазоні нвч. – Містобудування та територіальне планування: Наук.-техн. збірник / Відпов. ред. М.М. Осетрін. – К., КНУБА, 2015. – Вип. 58. – С. 231-236.
4. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М.: Электродинамика сплошных сред. – М.: Гос. изд. физ. мат. лит., 1959.
5. Краснянский Г.Е., Максунув С.Е., Величко Т.П.: Электрофизические свойства металлосиликатных материалов контактного твердения. – Тез. докл. III Всесоюз. науч.-практ. конф. Шлакощелочные цементы, бетоны и конструкции, КИСИ. – Киев: СССР, 1989. - С. 209-210.
6. Глуховский В.Д., Казанский В.М., Краснянский Г.Е., Максунув С.Е.: Электропроводность металлосиликатных материалов контактного твердения, Известия АН СССР. Неорганические материалы, т. 24, N 5, 1988. - С. 824-827.

### Аннотация

Проведены теоретические исследования экранирующих свойств металлосиликатных облицовочных материалов. Получены зависимости коэффициентов отражения и поглощения электромагнитного излучения в диапазоне СВЧ от содержания меди в материале.

Ключевые слова: металлосиликатный, облицовочный, материал, ослабление, отражение, СВЧ-излучение.

### Annotation

Theoretical studies of screening properties of metal-silicate covering materials are conducted. The dependences of the reflection and absorption factors of electromagnetic radiations in the microwave range on the copper content in the material are obtained.

Keywords: metal-silicate, covering, material, absorption, reflection, UHF-radiation.