

УДК 666.97.033+681.5.015.8:519

Використання електромагнітних хвиль для контролю процесів вологопереносу в матеріалах художніх виробів

Ю. В. Човнюк¹, М. Г. Диктерук², В. Б. Довгалюк³, О. М. Скляренко⁴

¹к.т.н., доц. Національний університет біоресурсів і природокористування України, м. Київ, Україна, yhovnyuk@ukr.net

²к.т.н., доц. Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ, Україна,

³к.т.н., проф. Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ, Україна, 2280170@ukr.net,

ORCID: 0000-0002-4836-5354

⁴к.т.н., проф. Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ, Україна,

ORCID: 0000-0001-5891-8410

Анотація. Для контролю процесів вологопереносу в експонатах, які розміщені в музеях (наприклад, у картинах майстрів минулих століть, gobеленах, скульптурах тощо), запропоновано використовувати метод поглинання енергії електромагнітних хвиль (НВЧ(SHF) – радіочастотного й КВЧ(EHF) – міліметрових) нетеплової інтенсивності. Контроль за процесом вологопереносу в експозиційних приміщеннях даним способом заснований на тому, що поглинання енергії НВЧ/КВЧ електромагнітних хвиль нетеплової інтенсивності при їхньому проходженні через дисперсні системи (саме такою є полотно художньої картини, фарби, нанесені на нього, захисні прошарки (лакування) тощо) визначається кількістю вільної води та питомою електропровідністю досліджуваного об'єкту. При експонуванні художніх виробів об'ємний вміст води в системі та її питома електропровідність збільшуються і досягають інколи таких значень, при яких може бути порушена цілісність експонату – з'являються тріщини, згини полотна, що, у кінцевому випадку, призводить до його руйнування. При цьому електромагнітні хвилі мають нетеплову інтенсивність саме для того, щоб електромагнітний сигнал, який зондує, не створював пошкодження матеріалу при поглинанні в тонкому поверхневому шарі. Додатковий вологоперенос всередину експонатів музею викликаний наявністю в приміщенні музею (у картинній галереї) потоку відвідувачів, особливо в ті дні, коли проводяться виставки. Якщо наявна стабілізація поглинання НВЧ/КВЧ енергії, котру можна отримати за допомогою спеціальних систем контролю мікроклімату музейних приміщень, тоді процес руйнування художніх картин/експонатів можна призупинити (або, принаймні, суттєво зменшити). На точність визначення даним методом параметрів НВЧ/КВЧ енергії, яка поглинається, суттєво впливає низка факторів (зокрема, робоча частота генератора електромагнітних хвиль, точність її налаштування, ширина частотної смуги випромінювання тощо), котрі пов'язані як з точністю вимірювання послаблення НВЧ/КВЧ сигналу (методом НВЧ/КВЧ рефлектометрії), так і з особливостями експонату/картини, що досліджується.

Ключові слова: робоча частота, вологоперенос, музейний експонат, художнє полотно, НВЧ електромагнітні хвилі, КВЧ електромагнітні хвилі, нетеплова інтенсивність.

Постановка проблеми. Необхідною умовою, яку потрібно зберігати для підтримання в нормі необхідних параметрів експонатів (художні твори), є надійна система управління (регулювання) повітряними потоками, температурою і вологістю у виставкових приміщеннях, де зберігаються експонати і можуть знаходитися групи людей (відвідувачів), які вносять свій вологісно-температурний дисбаланс. Контроль останнього параметра є одним із основних умов зберігання витворів мистецтва.

Для визначення показника вологовміста в дисперсному матеріалі можна застосувати метод поглинання НВЧ/КВЧ енергії електромагнітних хвиль нетеплової інтенсивності, який не руйнує дисперсний матеріал.

Контроль за вологовмістом дисперсного матеріалу даним методом оснований на тому, що поглинання енергії надвисокочастотних (НВЧ)/вкрай високочастотних (КВЧ) електромагнітних хвиль при проходженні їх через дис-

персні системи визначається кількістю вільної вологи і питомою провідністю системи. При перебуванні відвідувачами виставкових приміщень, як правило, об'ємний вміст вологи в дисперсних матеріалах та їхня питома (електро-) провідність збільшуються. Можливе досягнення таких значень, за яких може статися суттєва деструкція дисперсного матеріалу (з'являються тріщини, короблення на полотні картин тощо), що в кінцевому випадку призводить до втрати художнього твору в цілому, або вимагається спеціальна реставрація його.

Якщо у виставкових приміщеннях присутня система контролю за їхнім мікрокліматом, яка практично миттєво відслідковує можливі коливання відносної вологості, %, температури, °С, швидкості, м/с, повітряних потоків у експозиційних приміщеннях, то для нормальної експлуатації необхідно забезпечити подачу в контролери оперативної інформації цієї системи, зокрема, про вологовміст приміщення, щоб сама система змогла швидко внести корективи в

параметри кондиціонованого повітря відповідно до норм експлуатації приміщення та норм утримання виробів мистецтва.

Таким чином, вологовміст в експозиційних матеріалах можна визначити за стабілізацією поглинання НВЧ/КВЧ енергії електромагнітних хвиль нетеплової інтенсивності. На такому принципі можуть бути побудовані датчики вологовмісту приміщення, які оперативно передають інформацію про вологовміст, г/кг, на контролери системи моніторингу мікроклімату приміщення з метою його корекції в бік нормальних значень. На точність визначення моменту стабілізації поглинання НВЧ/КВЧ енергії електромагнітних хвиль нетеплової інтенсивності, як і на точність визначення вологовмісту в дисперсному матеріалі, впливає ряд факторів, що зв'язані як з точністю вимірювання послаблення НВЧ/КВЧ сигналу, так і з особливостям досліджуваного дисперсного матеріалу.

Останні дослідження і публікації. Розглянемо контроль поглинання НВЧ енергії, який використовується в дисперсних будівельних матеріалах. Для визначення закінчення процесу ущільнення, наприклад, бетонної суміші при формуванні залізобетонних виробів запропоновано метод поглинання НВЧ енергії електромагнітних хвиль в роботі [1].

Контроль за процесом ущільнення бетонної суміші даним способом заснований на поглинанні енергії надвисокочастотних електромагнітних хвиль при проходженні їх крізь дисперсні системи. За параметрами цементу визначається кількість вільної води і питома провідність системи, См/м [2, 4]. У роботі [3] обґрунтована формула для комплексного постійного розповсюдження електромагнітних хвиль у речовині, зокрема, для немагнітних ізотропних діелектриків. У роботі [5] досліджені діелектричні явища і подвійний шар у дисперсних системах і поліелектролітах. Автори [6] розглянули діелектричні властивості води в розчинах. У [7] запропоновано метод неруйнівального контролю якості бетону за його електропровідністю. Фактори, які впливають на питомий омичний опір цементного тіста, вивчені в роботі [8]. Вимірювання вологості бетонної суміші та її компонентів вологомірами НВЧ наведено в [9]. В [10...12] наведені радіовимірювальні прилади, техніка надвисоких частот і, зокрема, техніка НВЧ-вологометрії.

Результати аналізу виконаних досліджень частково використані в поглиблених дослідженнях, присвячених моніторингу і контролю процесу вологопереносу в експонатах/картинах

методом поглинання НВЧ/КВЧ енергії електромагнітних хвиль нетеплової інтенсивності.

Формулювання цілей статті. Мета роботи – створення і обґрунтування наукової концепції контролю процесу вологопереносу в експозиціях (картинах) методом поглинання НВЧ/КВЧ енергії електромагнітних хвиль нетеплової інтенсивності, що дозволяє вибрати оптимальну робочу частоту генератора вказаних хвиль.

Основна частина. Розповсюдження електромагнітних хвиль (нетеплової інтенсивності) в речовині визначається через комплексну постійну величину розповсюдження [3]

$$\gamma = \alpha + j\beta, \quad (1)$$

де α – коефіцієнт затухання; j – уявна одиниця, β – фазова постійна.

Для немагнітних ізотропних діелектриків α і β дорівнюють:

$$\alpha = \frac{2\pi}{\lambda_0} \cdot \left[\frac{1}{2} \varepsilon' \cdot \left(\sqrt{1 + \left(\frac{\varepsilon''}{\varepsilon'} \right)^2} - 1 \right) \right]^{1/2}, \text{ м}^{-1}; \quad (2)$$

$$\beta = \frac{2\pi}{\lambda_0} \cdot \left[\frac{1}{2} \varepsilon' \cdot \left(\sqrt{1 + \left(\frac{\varepsilon''}{\varepsilon'} \right)^2} + 1 \right) \right]^{1/2}, \text{ м}^{-1}, \quad (3)$$

де λ_0 – довжина хвилі у вільному просторі, м; ε' та ε'' – дійсна та уявна частини комплексної відносної діелектричної проникності.

Скористаємося результатами робіт [2, 4], де показано, що у надвисоких частотах (і більше) діелектричні характеристики дисперсних систем, залежності від складу й температури, з достатньою для практики точністю можливо розрахувати за наступними формулами:

$$\varepsilon_c'' = \varepsilon_p'' + \varepsilon_\sigma'', \quad (4)$$

$$\varepsilon_\sigma'' = \frac{\sigma}{\omega_0 \varepsilon_0}; \quad (5)$$

$$\varepsilon'_p \approx \left\{ \sum_{i=1}^n \sqrt{\varepsilon_i' \left[1 + \frac{1}{4} \left(\frac{\varepsilon_i''}{\varepsilon_i'} \right)^2 \right]} \cdot P_i \right\}^2 - \left\{ \sum_{i=1}^n \frac{\varepsilon_i''}{2\sqrt{\varepsilon_i'}} \left[1 - \frac{1}{8} \left(\frac{\varepsilon_i''}{\varepsilon_i'} \right)^2 \right] \cdot P_i \right\}^2; \quad (6)$$

$$\varepsilon_p \approx \left\{ \sum_{i=1}^n \frac{\varepsilon''_i}{\sqrt{\varepsilon'_i}} \left[1 - \frac{1}{8} \left(\frac{\varepsilon''_i}{\varepsilon'_i} \right)^2 \right] \cdot P_i \right\} \times \left\{ \sum_{i=1}^n \sqrt{\varepsilon'_i} \left[1 + \frac{1}{4} \left(\frac{\varepsilon''_i}{\varepsilon'_i} \right)^2 \right] \cdot P_i \right\}. \quad (7)$$

де ε_p' та ε_p'' – розрахункові значення дійсної та уявної частин комплексної відносної діелектричної проникності системи; ε'_i та ε''_i – дійсна та уявна частини комплексної відносної діелектричної проникності i -ої компоненти; n – кількість компонент; P_i – об'ємний вміст i -ої компоненти; ε_c'' – уявна частина відносної діелектричної проникності, яка зумовлена втратами на провідність системи; σ – низькочастотна питома провідність системи, См/м; ω_0 – циклічна частота; $\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$, Ф/м, – діелектрична проникність вакууму. При цьому, низькочастотна питома провідність дисперсних матеріалів розраховується за формулою Бруггемана [5]:

$$\sigma = \sigma_0 P_0^{3/2}, \text{ См/м}, \quad (8)$$

де σ_0 – питома провідність провідної фази системи, См/м; P_0 – об'ємна концентрація провідної фази.

Таким чином, формули (4...8) можна практично застосовувати для розрахунку діелектричних характеристик дисперсних систем.

На вибір робочої частоти НВЧ/КВЧ генератора впливає хімічний і мінералогічний склад фарб, температура, гранулометричний склад заповнювача фарб, похибка виміральної апаратури тощо.

Зміна хіміко-мінералогічного складу фарб, нанесених на полотно картини, впливає на зміну питомої провідності рідкої фази фарбового тіста, а, відповідно, і зміну коефіцієнту затухання (2, 6, 7, 8). Як видно з формули (5), вплив даного параметра ε'' зворотно пропорційний частоті. Для зменшення впливу варіацій хіміко-мінералогічного складу фарб частоту НВЧ/КВЧ генератора необхідно підвищувати. Крім того, більш високу частоту слід вибирати тому, що зміна провідності системи і перерозподіл вологи в дисперсному матеріалі в часі будуть позначатися на зміні значення α , а, відповідно, і на точності визначення закінчення процесу вологопереносу в дисперсному матеріалі.

Зміна температури впливає на релаксаційні втрати в дисперсному матеріалі, які визначаю-

ться втратами вологи, і на втрати, пов'язані з провідністю системи. За даними [6], значення ε'' для води в межах температури 10...20 °С має негативний температурний коефіцієнт, приблизно рівний 0,02 на 1 °С для $\lambda_0 = 3,28$ см і 0,032 на 1 °С для $\lambda_0 = 9,2$ см. Отже, зі зменшенням частоти вплив температури збільшується. Таким чином, для дисперсного матеріалу одного складу можна знайти таку частоту, при якій коефіцієнт затухання α в робочому діапазоні температури буде практично сталим. При зміні складу або виду фарб, нанесених на полотно, частота температурної компенсації буде іншою. Отже, якщо температура дисперсного матеріалу в процесі контролю за ним залишається сталою, то краще підвищувати частоту НВЧ/КВЧ генератора.

Як і автори [9], ми вважаємо, що впливу гранулометричного і мінералогічного складу заповнювачів дисперсного матеріалу на поглинання НВЧ/КВЧ енергії відсутній тому при виборі частоти НВЧ/КВЧ генератора цим впливом для вказаного матеріалу можливо знехтувати.

Для точного визначення параметрів поглинання НВЧ/КВЧ енергії нетеплової інтенсивності дисперсними матеріалами необхідно фіксувати незначні зміни послаблення НВЧ/КВЧ сигналу. Тому необхідно використовувати прилад, який має високу точність у широкому діапазоні частот і може вимірювати послаблення сигналу в тій зоні показів приладу, де випадкова відносна похибка вимірювань мінімальна. Даним умовам, наприклад, відповідає автоматичний вимірювач затухання типу ДІ-3 (ДІ-9), який має діапазон частот 0,25...16,5 ГГц, оптимальна область якого, виражена в децибелах, становить порядку 50 дБ відносно 1 МВт при випадковій похибці вимірювання 0,1 дБ [10].

Якщо провідність і температура дисперсного матеріалу в процесі вологопереносу не змінюються (наприклад, для швидкоплинних процесів), то можливо запропонувати наступний метод розрахунку частоти НВЧ/КВЧ генератора. Припустимо, необхідно зондувати СВЧ/КВЧ сигналами нетеплової інтенсивності дисперсний матеріал завтовшки h , м, причому, температура і склад його відомі. Задаємося оптимальною областю показників приладу, вираженою в децибелах (позначимо цю область A_{opt}). Нехтуємо втратами на відбиття від меж розподілу повітря – дисперсний матеріал (дисперсний матеріал – повітря). Тоді коефіцієнт затухання визначається за формулою:

$$\alpha = A_{om} / (8,686 h), \text{ м}^{-1}. \quad (9)$$

Але α , як видно з формули (2), залежить від діелектричних характеристик дисперсного матеріалу. Вважатимемо, що формули (4...8) справедливі і для дисперсних матеріалів, таких як полотно картини. Відомими величинами є об'ємна концентрація вологи, фарб, заповнювачів та їхні діелектричні характеристики, а також питома провідність маси фарб σ_0 , См/м. Тоді за формулами (4...8) можливо знайти ϵ' і ϵ'' даного дисперсного матеріалу. При певній довжині хвилі λ_0 , м⁻¹, значення коефіцієнта затухання α , м⁻¹, за формулою (2) стане рівним значенню α , м⁻¹, отриманому з формули (9). Відповідна частота і є оптимальною робочою частотою НВЧ/КВЧ генератора електромагнітних хвиль нетеплової інтенсивності.

Втрати на відбиття від меж розподілу повітря – дисперсний матеріал (дисперсний матеріал – повітря) можуть практично наближатися до нуля шляхом застосування пластин із матеріалу з діелектричною проникністю, яка дорівнює кореню квадратному із показника проникності досліджуваного середовища [3]. Діелектричні характеристики вологи для будь-яких температури і частоти можливо знайти за формулами, які наведені в роботі [6]. Діелектричні характеристики повітря: $\epsilon' = 1$ та $\epsilon'' = 0$. Значення діелектричних характеристик інших компонент дисперсного матеріалу можуть бути розраховані за формулами (6, 7) на підставі експериментальних даних. При цьому, при розрахунку робочої частоти НВЧ/КВЧ генератора уявною частиною діелектричної проникності існуючих компонент можна знехтувати, маючи на увазі їх незначну кількість.

При розрахунку α за формулою (9) не враховувалися як величина потужності НВЧ/КВЧ генератора, так і послаблення електромагнітного поля НВЧ/КВЧ, яке пов'язане з діаграмою спрямованості антен і відстанню між ними. Для цього необхідно до A_{om} , дБ, додати значення потужності генератора, яке виражене в децибелах відносно рівня 1 МВт, і відняти втрати (в децибелах), які пов'язані з діаграмою спрямованості антен.

Даний метод розрахунку при значній модифікації був використаний авторами для розрахунку оптимальних розмірів вимірювальних комірок при дослідженні діелектричних дисперсних систем (полотен картин художників), причому розраховані й експериментальні значення α , м⁻¹, для вказаних дисперсних матеріалів на частотах

9,24 ГГц (НВЧ-діапазон) і 56 ГГц (КВЧ-діапазон) відрізнялися не більше ніж на 10...15 %.

Висновки. Для контролю процесів вологопереносу в експонатах (наприклад в картинах, гобеленах, в скульптурах та ін.) запропоновано використовувати метод поглинання енергії електромагнітних хвиль (НВЧ-радіочастотного діапазону і КВЧ-діапазону міліметрових хвиль) нетеплової інтенсивності. Контроль за процесом вологопереносу в експонатах даним способом заснований на тому, що поглинання енергії НВЧ/КВЧ – електромагнітних хвиль нетеплової інтенсивності при проходженні їх через дисперсні системи (полотно картини, фарби, які нанесені на неї, лакові захисні шари тощо) визначається кількістю вільної вологи і питомою провідністю досліджуваного об'єкту. При експонуванні художніх полотен в експозиційних приміщеннях (картинних галереях) об'ємний вміст вологи в системі та її питома провідність збільшуються. Вони можуть досягти таких значень, за яких може бути порушена цілісність полотна (тканини), з'являються тріщини, загини полотна, що веде до його руйнування. При цьому НВЧ/КВЧ – електромагнітні хвилі мають нетеплову інтенсивність для того, щоб зондувальний сигнал як прямий, так і відбитий не створювали її/його пошкодження при поглинанні в тонкому поверхневому шарі. Додатковий вологоперенос всередину експонатів спричинюється наявністю в приміщенні потоку відвідувачів. Якщо є стабілізація поглинання НВЧ/КВЧ енергії, яку можна отримати за допомогою спеціальних систем контролю мікроклімату експозиційних приміщень, тоді процес руйнування полотен/експонатів можна призупинити (або суттєво зменшити). На точність визначення параметрів енергії, що поглинається НВЧ/КВЧ, за даним методом суттєво впливає ряд факторів (робоча частота електромагнітних хвиль, точність її налагодження, ширина частотного діапазону випромінювання тощо), які пов'язані як з точністю вимірювання послаблення НВЧ/КВЧ сигналу (методом НВЧ/КВЧ – рефлектометрії), так і з особливостями досліджуваного експонату/картини. Отримані в роботі результати можуть бути в подальшому використані для уточнення й удосконалення існуючих інженерних методів розрахунку систем контролю мікроклімату музейних приміщень, у яких експонуються картини художників і інші витвори мистецтв.

Литература

1. Атаев С. С. Об автоматизации контроля уплотнения бетонной смеси / С. С. Атаев, Н. П. Блещик, И. И. Монастырный // Бетон и железобетон. – 1972. - №12.
2. Михалевич А. А. Диэлектрические свойства цементного теста / А. А. Михалевич, Н. К. Кобляков // Тезисы сообщений к Всесоюзной конференции «Повышение эффективности и качества бетона и железобетона». – Минск, 1977. – Ч.1.
3. Хиппель А. Р. Диэлектрики и волны / А. Р. Хиппель. – Москва: Издательство иностранной литературы: Ред. литературы по вопросам техники, 1960. – 439 с..
4. Михалевич А. А. Диэлектрические характеристики цементно-песчаных растворов на сверхвысоких частотах / А. А. Михалевич, Н. К. Кобляков // Вопросы строительства и архитектуры. – Минск, 1979. - №9.
5. Духин С. С. Диэлектрические явления и двойной слой в дисперсных системах и полиэлектrolитах / С. С. Духин, В. Н. Шилов. – Київ: Наукова думка, 1972. – 206 с.
6. Hasted J. B. The dielectric properties of water in solutions / J. B. Hasted, S. H. M. El Sabeh // Transactions of the Faraday Society. – 1953. – Vol. 49.
7. Ахвердов И. Н. Неразрушающий контроль качества бетона по электропроводности / И. Н. Ахвердов, Л. Н. Маргулис. – Минск : Наука и техника, 1975. – 174 с..
8. Малинин Ю. С. Исследование факторов, влияющих на удельное омическое сопротивление цементного теста / Ю. С. Малинин, С. Е. Ленский // Труды НИИ цемента. – 1967. – Вып. 22.
9. Берлинер М. А. Измерение влажности бетонной смеси и её компонентов влагомерами СВЧ / М.А. Берлинер, В. А. Иванов, В. А. Клоков // Бетон и железобетон. – 1969. – №2.
10. Справочник по радиоизмерительным приборам / Ю. С. Гаврилов, А. А. Ерёмченко, Л. Ю. Зубилевич и др. – Москва: Энергия 1976. – 622 с.
11. Бензарь В. К. Техника СВЧ-влажнометрии / В. К. Бензарь. – Минск: Вышэйшая школа, 1974. – 349 с.
12. Харвей А. Ф. Техника сверхвысоких частот: у 2-х т. – Москва: Советское радио, 1965. – Т. 1. – 784 с.

References

1. Ataev S. S., Bleshchik N. P., Monastyrnyi I. I. "Ob avtomatizatsii kontroliia uplotneniia betonnoi smesi." *Beton i zhelezobeton*, no.12, 1972.
2. Mikhalevich A. A., Kobliakov N. K. "Dielektricheskie svoistva tsementnogo testa." *Tezisy soobshchenii k Vsesoiuznoi konferentsii «Povyshenie effektivnosti i kachestva betona i zhelezobetona»*, Minsk, 1977, Ch.1.
3. Khippel A. P. *Dielektriki i volny*. Izdatelstvo inostrannoi literatury, 1960.
4. Mikhalevich A. A., Kobliakov N. K. "Dielektricheskie kharakteristiki tsementno-peschanykh rastvorov na sverkhvysokikh chastotakh." *Voprosy stroitelstva i arkhitektury*, no. 9, 1979.
5. Dukhin S. S., Shilov V. N. *Dielektricheskie yavleniia i dvoinoi sloi v dispersnykh sistemakh i polielektrolitakh*. Naukova dumka, 1972.
6. Hasted J. B., El Sabeh S. H. M. "The dielectric properties of water in solutions." *Transactions of the Faraday Society*, vol. 49, 1953.
7. Akhverdov I. N., Margylis L. N. *Nerazrushaiushchii kontrol kachestva betona po elektroprovodnosti*. Nauka i tekhnika, 1975.
8. Malinin Yu. S., Lenskii S. E. "Issledovanie faktorov, vliiaiuushchikh na udelnoe omicheskoe soprotivlenie tsementnogo testa." *Trudy NII tsementa*, vol. 22, 1967.
9. Berliner M. A., Ivanov V. A., Klokov V. A. "Izmerenie vlazhnosti betonnoi smesi i ee komponentov vlagomerami." *Beton i zhelezobeton*, no.2, 1969.
10. Gavrilo Yu. S., Eremenko A. A., Zubilevich L. Yu. i dr. *Spravochnik po radioizmeritelnykh priboram*. Energiia, 1976.
11. Benzar V. K. *Tekhnika SVCH-vlagometrii*. Vysheishaia shkola, 1974.
12. Kharvei A. F. *Tekhnika sverkhvysokikh chastot*. Vol. 1, Sovetskoe radio, 1965.

УДК 666.97.033+681.5.015.8:519

Использование электромагнитных волн для контроля процессов влагопереноса в материалах художественных изделий.

Ю. В. Човнюк¹, М. Г. Диктерук², В. Б. Довгалиук³, О. М. Скляренко⁴

¹к.т.н., доц. Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины, г. Киев, Украина, yhovnyuk@ukr.net

²к.т.н., доц. Киевский национальный университет строительства и архитектуры, г. Киев, Украина,

³к.т.н., проф. Киевский национальный университет строительства и архитектуры, г. Киев, Украина, 2280170@ukr.net

ORCID: 0000-0002-4836-5354

⁴к.т.н., проф. Киевский национальный университет строительства и архитектуры, г. Киев, Украина,

Аннотация. Для контроля процессов влагопереноса в экспонатах, помещённых в музеях (например, в картинах мастеров прошлых веков, гобеленах, скульптурах и пр.) предложено использовать метод поглощения энергии электромагнитных волн (СВЧ(SHF) – радиочастотного диапазона и КВЧ(EHF) – миллиметровых волн) нетепловой интенсивности. Контроль за процессом влагопереноса в экспозиционных помещениях данным способом основан на том, что поглощение энергии СВЧ/КВЧ электромагнитных волн при их прохождении через дисперсные системы (полотно художественной картины, краски, нанесённые на него защитные слои и др.) определяется количеством свободной воды и удельной электропроводностью исследуемого объекта. При экспонировании художественных изделий объёмное содержание воды в системе и её удельная электропроводность увеличивается, достигая иногда таких значений, при которых может быть нарушена целостность экспоната – появляются трещины, сгибы полотна, что в итоге, приводит к его разрушению. При этом электромагнитные волны имеют нетепловую интенсивность именно для того, чтобы зондирующий электромагнитный сигнал как падающий, так и отражённый, не создавал повреждение материала при поглощении в тонком поверхностном слое. Дополнительный влагоперенос внутрь экспонатов музея вызван наличием в музейном помещении (картинной галерее) потока посетителей, особенно в те дни, когда проводятся выставки. Если имеется стабилизация поглощения СВЧ/КВЧ энергии, которую можно получить с помощью специальных систем контроля микроклимата музейных помещений, тогда процесс разрушения полотен/экспонатов можно приостановить (или, по крайней мере, существенно уменьшить). На точность определения параметров поглощаемой СВЧ/КВЧ энергии данным методом существенно влияет ряд факторов (в частности, рабочая частота генератора электромагнитных волн, точность её настройки, ширина частотного диапазона излучения и пр.), которые связаны как с точностью измерения ослабления СВЧ/КВЧ сигнала (методом СВЧ/КВЧ – рефлектометрии), так и с особенностями исследуемого экспоната/картины.

Ключевые слова: рабочая частота, влагоперенос, музейный экспонат, художественное полотно, СВЧ электромагнитные волны, КВЧ электромагнитные волны, нетепловая интенсивность.

UDC 666.97.033+681.5.015.8:519

Using Electromagnetic Waves for Controlling the Processes of Moisture Transfer in Materials of Artistic Products

Yu. Chovniuk¹, M. Dykteruk², V. Dovhaliuk³, O. Skliarenko⁴

¹PhD, associate professor. National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine, yhovnyuk@ukr.net

²PhD, associate professor. Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv, Ukraine,

³PhD, professor. Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv, Ukraine, 2280170@ukr.net

ORCID: 0000-0002-4836-5354

⁴PhD, professor. Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv, Ukraine

Abstract. In order to control of moisture transfer in museum's exhibits (for example, in pictures by masters of past centuries, hobbles, sculptures etc.), it is proposed to use the method of electromagnetic energy absorption (UHF – radio frequency range and EHF – range of millimeter waves) with a very low level of heat intensity of these waves. The control of moisture transfer in museum's exhibits with a help of such method is based on a phenomenon of UHF/EHF electromagnetic waves absorption, when they have non-heat intensity, during the process of transmission of such waves along dispersive systems (canvases of pictures, paints, protective layer on canvases (polish), etc.). This value of absorption is determined by the quantity of free water and by the conductivity of researched object, as well. When canvases are exhibited at museum's rooms (painting galleries), the volume content of a water in the system and its conductivity are increased, and that's why they may have such values which can destroy the canvases' condition of being intact (for example, their materials), there are cracks in a canvases, their bending and so on. All these phenomena destroy canvases during a certain period of time. By the way, UHF/EHF electromagnetic waves of non-heat intensity have such values of it in order to no destroy the exhibit/canvas surface during the act of absorption of incident/reflected electromagnetic search signal in the thin surface layer. The additive moisture transfer into museum's exhibits is due to the flow of visitors at museum's rooms (at painting gallery) just during those days when exhibitions are. If one has the stabilization of UHF/EHF energy absorption, which may be obtained with the help of a special control system of microclimate of museum's rooms, then the process of destroying of canvases/exhibits may be suspended (or may be substantially decreased). The accuracy of determination of absorption parameters of UHF/EHF energy with the help of this method substantially depends on some factors (for example, the working frequency of electromagnetic waves generator; the accuracy of its tuning, the bandwidth of frequency range of emission, etc.). These factors are connected with accuracy of measuring of UHF/EHF signal attenuation (with the help of UHF/EHF reflectometer method) and with characteristic properties of the researching exhibit/canvas.

Keywords: working frequency, moisture transfer, museum's exhibit, painting canvas, UHF electromagnetic waves, UHF electromagnetic waves, non-heat intensity.

Надійшла до редакції / Received 13.08.2018.