

РЕЦЕНЗІЯ

рецензента, к.т.н., доцента **Лаврової Інни Олегівни**

на дисертаційну роботу **Баглая Володимира Юрійовича**

«Композиційні керамічні матеріали для маскування військових об'єктів»,
подану на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 161 –
Хімічні технології та інженерія

1. Актуальність теми та її зв'язок з науковими програмами і темами

У сучасних воєнних конфліктах, що характеризуються широким застосуванням високотехнологічних засобів розвідки, зокрема оптико-електронних та радіолокаційних систем, які постійно вдосконалюються, особливої уваги набуває проблема ефективного маскування військових об'єктів та швидкого реагування на зміну спектрального діапазону дії таких систем. Це зумовлює необхідність створення нових матеріалів, здатних забезпечити зниження ефективності засобів розвідки противника. В цьому напрямку вельми перспективним є створення радіопоглинаючих композиційних керамічних матеріалів, які поєднують високі механічні характеристики, термостійкість, хімічну інертність, довговічність і здатність до ефективного поглинання електромагнітного випромінювання. Такі матеріали можуть бути використані як елементи маскувального покриття або конструктивні компоненти технічних засобів, що підлягають захисту. На особливу увагу заслуговують керамоматричні композити з функціональними наповнювачами з різними фізичними характеристиками, які здатні забезпечити ефективне поглинання електромагнітного випромінювання в широкому частотному діапазоні. Їх застосування дозволяє мінімізувати відбиття хвилі об'єктами, підвищити рівень їхньої скритості та зменшити ймовірність виявлення противником. Таким чином, розробка радіопоглинаючих керамічних матеріалів є не лише актуальним, а й стратегічно важливим завданням сучасного матеріалознавства, що має безпосереднє прикладне значення для технологічної автономії держави та підвищення її обороноздатності.

Здобував при підготовці дисертаційної роботи брав участь у виконанні держбюджетної науково-дослідної роботи «Новітні керамополімерні композиційні матеріали для радіолокаційного і тепловізійного маскування об'єктів військової техніки різного призначення» (№ ДР 0124U000673) в межах наукової тематики кафедри технології кераміки, вогнетривів, скла та емалей НТУ «ХПІ».

2. Аналіз змісту дисертації та ступеня обґрунтованості сформульованих наукових положень, висновків і рекомендацій

В дисертації *ставилося за мету* розробити технологічні параметри синтезу радіопоглинаючої кераміки із заданим фазовим складом і комплексом спеціальних властивостей для радіолокаційного маскування спеціальних об'єктів.

В роботі наявні необхідні формальні ознаки. Як об'єкт дослідження вивчалися фізико-хімічні та технологічні процеси отримання радіопоглинаючих композитів з різними видами керамічних матриць і керамічних наповнювачів. Як предмет дослідження здобувачем визначені фізико-механічні, електрофізичні та електродинамічні характеристики радіопоглинаючих композитів у взаємозв'язку з їх складом, структурою і технологічними параметрами отримання.

У вступі до роботи обґрунтовано актуальність обраної тематики та її відповідність науковим напрямам кафедри, сформульовано мету дослідження та окреслено основні наукові завдання. Надана характеристика сировинної бази дослідження, описані використані методи та обладнання. Визначені наукова новизна та практичне значення отриманих результатів, зазначений авторський внесок здобувача у публікації, представлені дані щодо апробації матеріалів дисертації, а також щодо структури й обсягу роботи.

В першому розділі наведені результати аналізу сучасної науково-технічної літератури з питань технологій отримання композиційних матеріалів різного типу з функцією захисту від електромагнітного випромінювання, показані переваги і недоліки різних композитів, проаналізовані робочі діапазони частот, технологічні особливості виготовлення. Обрані способи удосконалення матеріалів для покращення їх радіопоглинаючих властивостей і стабільності в жорстких умовах експлуатації. Виділені технологічні аспекти, які вимагають подальших досліджень, сформульовані задачі досліджень.

В другому розділі дисертації представлені характеристика використаних сировинних матеріалів та методики виготовлення зразків для лабораторних досліджень. Описані застосовані методи, методики та обладнання для теоретичного та експериментального аналізу з деталізацією для кожної групи властивостей розроблених матеріалів.

В третьому розділі наведені результати теоретичних досліджень базових оксидних та інших композицій для розробки керамічних діелектричних матриць і наповнювачів, які є основою радіопоглинаючих композиційних матеріалів заданого фазового складу. Наведені результати термодинамічних та фізико-хімічних розрахунків в системі $\text{SrO}-\text{BaO}-\text{TiO}_2-\text{SiO}_2$, визначена область перспективних складів для отримання композитів з керамічними наповнювачами у вигляді титанатів барію і стронцію, яка відноситься до фазового трикутника $\text{BaTiO}_3-\text{SrTiO}_3-\text{SiO}_2$. Наведені результати графо-аналітичних розрахунків в перерізі $\text{BaTiO}_3-\text{SrTiO}_3-\text{SiO}_2$, надана характеристика кристалічних сполук цієї підсистеми.

В четвертому розділі наведені результати експериментальних досліджень з отримання радіопоглинаючих керамічних композитів з сегнетоелектричними

добавками титанатів стронцію і барію в системі $\text{BaO-SrO-Al}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2\text{-SiO}_2$ зі значеннями діелектричної проникності, які змінюються в широких межах. Наведені оптимальні склади сировинних композицій і технологічні параметри отримання керамічних матеріалів за двостадійною технологією, визначені температури синтезу наповнювачів і кінцевого випалу матеріалів. Представлені результати досліджень з отримання радіопоглинаючої кераміки на основі титанатів стронцію і барію для використання в градієнтних композиціях, які включають дослідження взаємозв'язку фазового складу, фізичних та діелектричних властивостей матеріалів. У розділі наведені технологічні параметри виготовлення дво- та тришарової радіопоглинаючої композиційної керамічної плитки з використанням двох або трьох шарів, які містять титанат стронцію та/або карбід кремнію як сегнетоелектричний та електропровідний компоненти відповідно. Наведені результати дослідження коефіцієнтів передачі, відбиття та поглинання електромагнітного випромінювання на високих частотах (20 і 40 ГГц), значення яких відносять розроблені матеріали до класу радіопоглинаючих.

Висновки по дисертації відповідають задачам дослідження, чітко сформульовані і повністю висвітлюють отримані теоретичні та експериментальні результати.

Список використаних джерел містить 117 джерел, які відносяться до предметної галузі та представлені вітчизняною і закордонною літературою. Аналіз літератури проводився з ретроспективою у 20 років, що дозволило простежити еволюцію наукових підходів, виявити сучасні тенденції у галузі та обґрунтувати вибір напрямів дослідження.

Додатки до роботи представлені списком публікацій здобувача (Додаток А), який відповідає актуальним вимогам, що висуваються до дисертаційних робіт доктора філософії, актом впровадження результатів дисертації при виконанні бюджетної НДР (Додаток Б) та довідкою про впровадження результатів дисертації у навчальний процес (Додаток В).

Сформульовані в дисертації наукові **положення, висновки і рекомендації є науково обґрунтованими**, що підтверджується їх узгодженістю між собою, повною відповідністю меті і завданням дослідження та результатам експериментів, наявністю наукової новизни і практичної значущості.

3. Оформлення дисертації, дотримання вимог академічної доброчесності

Оформлення дисертації відповідає актуальним вимогам, затвердженим наказом № 40 МОН України від 12.01.2017. Дисертаційна робота складається з анотацій українською та англійською мовами, вступу, чотирьох розділів, висновків, списку джерел інформації та трьох додатків. Загальний обсяг дисертації становить

132 сторінки, в тому числі рисунки і таблиці на 10 окремих сторінках, список джерел і додатки на 18 сторінках.

В роботі дотримані вимоги академічної доброчесності. При використанні в тексті роботи результатів інших науковців є посилання на відповідні джерела, авторський внесок здобувача у сумісні публікації висвітлений у вступі до роботи. Антиплагіатна перевірка виявила 11,8 % схожості тексту, які містять назви конференцій (у списку публікацій, вступі та анотації), формули сполук і стійкі словосполучення з предметної галузі.

4. Наукова новизна отриманих результатів

Отримані в дисертації наукові результати характеризуються такими елементами новизни:

- *вперше* побудована діаграма стану системи $\text{SrO}-\text{BaO}-\text{TiO}_2-\text{SiO}_2$, досліджені фазові співвідношення в перерізі $\text{BaTiO}_3-\text{SrTiO}_3-\text{SiO}_2$, визначені співіснуючі кристалічні фази, надана їх геометро-топологічна характеристика, що дозволило визначити область складів, перспективну для синтезу заданих фаз при отриманні керамічних діелектричних матриць і сегнетоелектричних наповнювачів;

- *вперше* встановлені закономірності формування фазового складу і властивостей кераміки на основі титанату барію-стронцію з регульованими значеннями діелектричної проникності (21,3...72,5), хвильового опору (44,5...81,6 Ом), коефіцієнтів відбиття (-2...-3,8 дБ), коефіцієнтів затухання хвилі (52–141 Нп/м) для використання як функціональних шарів градієнтних радіопоглинаючих композицій;

- *вперше* експериментально підтверджена можливість використання тришарової композиційної керамічної плитки класу ВІІ_б з використанням наповнювачів SiC і SrTiO_3 з показником ослаблення потужності хвилі 76–78 % (40 ГГц) для використання як елемента пасивної системи захисту спеціальних об'єктів як всередині приміщення, так і з його зовнішнього боку.

5. Достовірність представлених результатів і висновків

Теоретичні дослідження, проведені в дисертації, базувались на положеннях хімічної термодинаміки і фізичної хімії силікатів, зокрема – графо-аналітичних розрахунках в оксидних системах, а також відомих розрахункових методиках оцінки діелектричних властивостей матеріалів. Експериментальні дослідження проводились з використанням сучасного лабораторного обладнання в умовах кафедри технології кераміки, вогнетривів, скла та емалей НТУ «ХП», ПАТ «УкрНДІВ ім. А. С. Бережного», кафедри квантової радіофізики Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Достовірність наукових

результатів дисертації також підтверджується використанням стандартних методик досліджень, відтворюваністю результатів та апробацією наукових положень на наукових конференціях.

6. Практична цінність результатів дисертації

Практична цінність отриманих в дисертації результатів полягає в наступному.

1. Розроблені технологічні параметри отримання щільної композиційної кераміки типу « $\text{SrAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8\text{--SrTiO}_3$ » з регульованими значеннями діелектричної проникності в межах $\varepsilon = 20\text{--}60$ за частоти 1 кГц і температурами синтезу 1350–1450 °С.

2. Розроблені технологічні параметри отримання композиційної кераміки типу « $\text{SrAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8\text{--BaTiO}_3$ » з регульованими значеннями діелектричної проникності в межах $\varepsilon = 15\text{--}45$ за частоти 1 кГц і температурами синтезу 1300–1350 °С.

3. Розроблені технологічні параметри отримання керамічних матеріалів на основі титанату барію-стронцію з високими (62,0–72,5) і середніми (21,3–45,8) значеннями діелектричної проникності за частоти 0,1 ГГц, коефіцієнтами затухання електромагнітної хвилі 123–141 Нп/м і 52,0–90,3 Нп/м відповідно і температурами синтезу 1250–1350 °С для використання як функціональних шарів градієнтної радіопоглинаючої композиції.

4. Розроблені технологічні параметри отримання тришарової радіопоглинаючої керамічної плитки з температурою швидкісного випалу 1100 °С, яка має показник ослаблення потужності електромагнітної хвилі 76–78 % за частоти 40 ГГц для її використання як елемента системи пасивного захисту спеціальних об'єктів.

5. Теоретичні та практичні результати дисертаційної роботи (результати вивчення системи $\text{SrO--BaO--TiO}_2\text{--SiO}_2$, технологічні принципи створення керамічних композитів зі спеціальними властивостями) впроваджені в навчальний процес кафедри технології кераміки, вогнетривів, скла та емалей НТУ "ХПІ" і використані при виконанні держбюджетної науково-дослідної роботи кафедри (№ ДР 0124U000673).

7. Повнота викладення наукових результатів в опублікованих працях

Основні положення та наукові результати дисертації опубліковані у 15 наукових працях, в тому числі: 3 статтях (1 – у вітчизняному виданні категорії А, що індексується наукометричною БД Scopus, 2 – у наукових фахових виданнях України категорії Б), одній статті і одній монографії у співавторстві, які додатково відображають результати дисертації. Положення дисертації представлені та обговорені на 10 наукових конференціях вітчизняного і міжнародного рівня та

відображені у 10 тезах доповідей. Усі публікації містять результати досліджень автора на окремих етапах підготовки дисертації та повністю відображають основні її положення та висновки. Особистий внесок здобувача в опубліковані у співавторстві наукові праці відображений у вступі дисертації.

8. Недоліки та зауваження по дисертаційній роботі

1) З моєї точки зору, у дисертації автор не приділив уваги радіопоглинаючим композитам на основі полімерних матриць. Не дивлячись на те, що в літературному огляді роботи наведена позитивна характеристика таких матеріалів, автор незаслужено обходить їх увагою у своїх розробках.

2) В таблиці 1.2 дисертації наведена характеристика радіопоглинаючих композитів, які реалізують різні механізми поглинання електромагнітного випромінювання. Але з цієї інформації незрозуміло, яких саме композитів я інформація стосується – полімер-матричних, керамоматричних або якихось інших.

3) При дослідженні структури керамічних зразків і демонстрації результатів мікроструктурними знімками (рис. 4.6, 4.11, 4.12) автор не розшифровує, якому елементу структури відповідає та чи інша частина знімка. Слід було б нанести відповідні позначення на даних рисунках (як це було зроблено на рис. 1.3), що дозволило б краще зрозуміти структурні особливості матеріалів та їх зав'язок з властивостями.

4) У висновках до дисертації автор зазначає, що він розробив технологічні схеми отримання радіопоглинаючої композиційної кераміки з використанням керамічних матриць і наповнювачів різних типів і наводить в роботі чотири технологічних схеми (рис. 4.7, 4.14, 4.24, 4.26), які містять схожі технологічні стадії. Враховуючи те, що усі матеріали виготовляються за керамічною технологією, на мій погляд, було б доцільно об'єднати ці схеми в одну узагальнену з деталізацією параметрів конкретних стадій стосовно до того чи іншого виду розробленого матеріалу.

9. Висновки

Дисертаційна робота є закінченою науковою працею, що вирішує актуальну науково-технічну задачу створення радіопоглинаючих композиційних керамічних матеріалів із заданим фазовим складом та заданими електродинамічними властивостями для їх використання як функціональних матеріалів або шарів градієнтних композицій в системах пасивного захисту спеціальних об'єктів.

Дисертація містить достовірні та науково обґрунтовані результати теоретичних та експериментальних досліджень, які отримані з використанням комплексу сучасних методів аналізу властивостей матеріалів та їх структури,

методу планованого експерименту при розробці рецептурно-технологічних параметрів виготовлення композитів. Теоретичні і практичні результати роботи мають наукову новизну і важливе практичне значення для галузі знань 16 «Хімічна та біоінженерія» і спеціальності 161 «Хімічні технології та інженерія».

Враховуючи актуальність теми дисертації, наукову новизну отриманих результатів, високий рівень їх наукової обґрунтованості та практичну цінність розробок, вважаю, що дисертаційна робота Баглая Володимира Юрійовича «Композиційні керамічні матеріали для маскування військових об'єктів» відповідає вимогам пунктів 6, 7, 8, 9 «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії» (№ 44 від 12.01.2022 р.) та вимогам до оформлення дисертації згідно з наказом МОН України № 40 від 12.01.2017 р., а сам автор, Баглай Володимир Юрійович, заслуговує на присудження йому наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 161 «Хімічні технології та інженерія».

Рецензент – заступник директора
навчально-наукового інституту
хімічних технологій та інженерії
Національного технічного університету
«Харківський політехнічний інститут»,
к.т.н., доцент

Інна ЛАВРОВА

Підпис к.т.н., доц. Лаврова І.П.
Засвідчую
06.08.2025 р.



Професор
Міхуленко Р.П.