



ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. Ректора НТУ «ХПІ»

Євген СОКОЛ

(підпис) М.П.

« 14 » грудня 2020 р.

**АНОТОВАНИЙ ЗВІТ**  
**про виконану роботу у 2020 році в рамках реалізації проєкту**  
**із виконання наукових досліджень і розробок**  
**«Композиційні матеріали на основі кераміки для захисту від електромагнітного випромінювання»**

**Назва конкурсу:** Підтримка досліджень провідних та молодих учених  
**Рєєстраційний номер** 2020.02/337

**Підстава для реалізації Проєкту з виконання наукових досліджень і розробок**  
**рєєстраційний номер** 2020.02/337 «Композиційні матеріали на основі кераміки для захисту від електромагнітного випромінювання»

Рішення наукової ради Національного фонду досліджень України щодо визначення переможця конкурсу «Підтримка досліджень провідних та молодих учених» протокол від «16–17» вересня 2020 року № 21.

## 1. ЗАГАЛЬНА ІНФОРМАЦІЯ ПРО ПРОЄКТ

Тривалість виконання Проєкту

Початок – 05.11.2020 дата укладання Договору про виконання наукових досліджень і розробок;

Закінчення – 2021 рік.

Загальна вартість Проєкту: 2 247 132 грн

Вартість Проєкту по роках, грн.:

1-й рік            533 780 грн.;

2-й рік            1 713 352 грн.

## 2. ІНФОРМАЦІЯ ПРО ВИКОНАВЦІВ ПРОЄКТУ

до виконання Проєкту буде залучено 8 виконавців, з них:

доктори наук            2;

кандидати наук            5;

інші працівники            1.

## 3. ІНФОРМАЦІЯ ПРО ГРАНТООТРИМУВАЧА ТА ОРГАНІЗАЦІЮ(Ї) СУБВИКОНАВЦЯ(ІВ) ПРОЄКТУ

## 4. ОПИС ПРОЄКТУ

**4.1. Мета Проєкту:** розробка складів та технологічних параметрів одержання електропровідної та сегнетомагнітної композиційної кераміки, яка виготовляється за швидкісним режимом випалу, з ефективною захисною дією від впливу електромагнітного випромінювання.

**4.2. Основні завдання Проєкту** (до 400 знаків): провести літературний огляд існуючих матеріалів, що захищають від дії електромагнітного випромінювання (ЕМВ); термодинамічні розрахунки реакції утворення кристалічних фаз з магнітними та сегнетоелектричними властивостями; графо-аналітичні розрахунки процесів взаємодії діелектричної матриці та спеціальних добавок в мовах виробництва та експлуатації; проведення синтезу діелектричних матриць та спеціальних добавок та вивчення їх фізико-механічних та електромагнітних властивостей.

#### 4.3. Детальний зміст Проєкту:

- Сучасний стан проблеми (до 400 знаків)

Перед матеріалознавцями стоїть завдання по створенню матеріалів, які ефективно захищають біологічні та технічні об'єкти від дії електромагнітного випромінювання в широкому частотному діапазоні і мають мінімальну товщину. Основними недоліками сучасних матеріалів є використання органічних матриць, які можуть виділяти токсичні речовини під час експлуатації; крім того, органічні матриці не забезпечують міцного зчеплення з неорганічними наповнювачами, що є активною складовою матеріалу і забезпечують заданий рівень механічних, магнітних і діелектричних властивостей. Тому для розширення області застосування захисних матеріалів доцільним є використання діелектричної матриці з функціональної кераміки.

- Новизна Проєкту (до 400 знаків)

Перспективним напрямом створення радіопоглинаючих матеріалів є розробка неорганічних оксидних композицій, яким притаманна висока однорідність властивостей. Неорганічні діелектрики є оптимальною базою для створення композиційних матеріалів, оскільки цілеспрямований підбір функціональних наповнювачів, близьких за природою до керамічної матриці, забезпечує комплекс заданих специфічних властивостей. Наукова новизна проєкту, що виконується, полягає в теоретичному обґрунтуванні та експериментальному підтвердженні можливості синтезу за технологією швидкісного режиму випалу композиційної кераміки з захисними властивостями від дії ЕМВ.

- Методологія дослідження (до 400 знаків)

Запропоновано новий методологічний підхід до проєктування і розробки композиційних радіопоглинаючих матеріалів, який передбачає визначення раціонального фазового складу матеріалу на основі експериментального визначення комплексу експлуатаційних властивостей. До переліку таких властивостей, окрім традиційних для керамічних виробів міцності і термостійкості, віднесено питомий об'ємний опір, діелектричну та магнітну проникність в області широких частот.

#### 5. ОТРИМАНІ НАУКОВІ АБО НАУКОВО-ТЕХНІЧНІ РЕЗУЛЬТАТИ (до 2 сторінок) в поточному році/ в рамках реалізації Проєкту, зокрема:

##### 5.1. Опис наукових або науково-технічних результатів, отриманих в рамках виконання Проєкту (із зазначенням їх якісних та кількісних (технічних) характеристик)

Аналіз існуючих матеріалів і покриттів, що захищають від дії ЕМВ, показав, що ефективними в цій області є провідники, напівпровідники, феромагнетики та сегнетоелектрики. Однак використання їх в чистому вигляді для захисту приміщень від негативного впливу ЕМВ не є доцільним з багатьох причин (масивність, дорожнеча, дефіцитність, складність в експлуатації). Тому перспективним напрямком слід вважати створення композиційних матеріалів шляхом введення в діелектричну керамічну матрицю добавок, що характеризуються електропровідними, сегнетоелектричними або магнітними властивостями.

З використанням фізико-хімічних та термодинамічних розрахунків проведено тріангуляцію систем  $\text{CoO} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{NiO} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{Fe}_2\text{O}_3$  та  $\text{BaO} - \text{SrO} - \text{TiO}_2$  з урахуванням утворення кристалічних фаз, які мають магнітні та сегнетоелектричні властивості, встановлено положення полів первинної кристалізації фаз та температури евтектик. У побудованих діаграмах з використанням графо-аналітичних розрахунків обрано склади, які мають найнижчу температуру утворення, оптимальне співвідношення фазоутворюючих оксидів. Встановлено, що найбільша кількість фериту кобальту утворюється при кристалізації розплавів системи  $\text{CoO} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{Fe}_2\text{O}_3$  складу 2С (49,2 %  $\text{CoO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ ), а в системі  $\text{NiO} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{Fe}_2\text{O}_3$  найбільша кількість фериту нікелю виділяється при кристалізації розплаву складу 2N (42,9 %  $\text{NiO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ ).

Досліджено субсолідусну будову чотирьохкомпонентної системи  $\text{SrO} - \text{BaO} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2$ , яка розбивається на 27 елементарних тетраедрів. Встановлено, що найменшу ступінь асиметрії та найбільший об'єм з обраними фазами має композиція тетраедра  $\text{SiO}_2 - \text{BaS}_2 - \text{SrAS}_2 - \text{SrS}$  ( $\Delta V$ , % = 81,  $K = 2,78$ ). Результати вивчення будови систем є підґрунтям розробки нових композиційних високотемпературних радіопоглинаючих матеріалів. В багатокомпонентній системі  $\text{SrO} - \text{BaO} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2$  розроблено склад діелектричної матриці, який відповідає



співвідношенню кристалічних мас стехіометричного складу  $\text{BaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8 : \text{SrAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8 = 1 : 3$  (РПК-1) з додаванням 1 мас. % евтектичної добавки SL і характеризується наступними властивостями: діелектрична проникність – 6,73; водопоглинання – 0,07 %; межа міцності при згині – 72,5 МПа; уявна щільність – 3060 кг/м<sup>3</sup>.

Проведено синтез діелектричних матриць та спеціальних добавок та вивчено їх фізико-механічні та електромагнітні властивості. Встановлено, що всі досліджувані діелектричні матриці (керамічна маса та поливи) відносяться до класу діелектриків і мають високі фізико-механічні, експлуатаційні властивості в широкому інтервалі температур, що задовольняє як вимогам ДСТУ Б В.2.7-282:2011, так і вимогам, що пред'являються до діелектричних матриць при створенні електропровідних і магнітних керамічних композиційних матеріалів, що захищають від дії ЕМВ.

Встановлено ймовірність утворення феритів міді, кобальту і цинку в інтервалі температур 1173–1473 К. Виявлено, що зі всіх синтезованих феритів ( $\text{CoO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{ZnO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CuO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ ) тільки ферит кобальту має магнітні властивості (максимальне значення магнітної проникності – 252). Іншим феритам ( $\text{ZnFe}_2\text{O}_4$ ,  $\text{CuFe}_2\text{O}_4$ ), синтезованим в аналогічних умовах (температура синтезу 1150 °С, тривалість 8 годин), не притаманні магнітні властивості. Тому, використовуючи ферит кобальту як спеціальну добавку для створення керамічних композиційних матеріалів, можна отримати магнітні покриття, що захищають від дії ЕМВ, в яких буде відбуватися ослаблення електромагнітної енергії за рахунок втрат енергії на перемагнічування і втрат на вихрові струми.

Встановлена можливість отримання спеціальної добавки на основі титанатів стронцію та барію з регульованою діелектричною проникністю залежно від хімічного складу композиції та температури і тривалості випалу. Отримані склади характеризуються значеннями діелектричної проникності в межах 35–45.

Встановлено особливості синтезу феритвмісного склокристалічного покриття шляхом попередньої термообробки шихти (800 °С) та подальшого її плавлення ((1250–1300) °С), що забезпечує значення магнітної проникності на рівні ( $\mu = 5,19\text{--}7,28$  ум. од.) та питомого об'ємного опору в межах  $(1,5\text{--}3,4) \cdot 10^4$  Ом·м.

## **5.2. За наявності науково-технічної продукції обґрунтування її переваг у порівнянні з існуючими аналогами**

Проведений аналіз існуючих матеріалів зданих поглинати ЕМВ і виявлені наступні:

- піноскло з вуглецевим наповнювачем - ефективність захисту 20 дБ у частотному діапазоні 3-4 ГГц; строк служби 10 років;
- скло з металізованим покриттям - ефективність захисту 20 дБ у частотному діапазоні 0,1-100 МГц; строк служби 5 років;
- Краска Тіколак - ефективність захисту 2-4 дБ (один шар) у частотному діапазоні 5-54 ГГц; строк служби 5-10 років;
- лако-фарбове покриття- ефективність захисту 12-20 дБ у частотному діапазоні 0,15 -1000 МГц ; строк служби 15 років;
- розроблена кераміка в рамках проєкту - ефективність захисту біля 20 дБ у частотному діапазоні 50 Гц - 80 ГГц ; строк служби до 20 років;

## **5.3. Практична цінність отриманих результатів реалізації Проєкту для економіки та суспільства (стосується проєктів, що передбачають проведення прикладних наукових досліджень і науково-технічних розробок)**

Результати досліджень, отриманих при виконанні Проєкту, впроваджені в навчальний процес при підготовці магістрів та аспірантів за спеціальністю 161 «Хімічна технологія та інженерія».

Розроблену електропровідну композиційну кераміку буде рекомендовано для виробництва нового керамічного матеріалу з високими фізико-механічними, експлуатаційними властивостями та високим ступенем захисту від дії ЕМВ, що дозволить поліпшити екологічну безпеку біологічних та технічних об'єктів на діючих підприємствах та організацій України та Європи. Для впровадження розробки за даним проєктом на підприємствах з виробництва керамічної плитки не потрібно додаткових капіталовкладень.

За результатами розроблених наукових положень та одержаних експериментальних даних буде запропоновано раціональний склад і технологію виробництва керамічного композиційного матеріалу з радіопоглинаючими властивостями.

Одержані керамічні композиційні матеріали будуть відповідати діючим стандартам до керамічної плитки (ДСТУ Б В.2.7-282:2011 Плитки керамічні. Технічні умови (EN 14411:2006, NEQ).

#### **5.4. Опис шляхів та способів подальшого використання результатів виконання Проєкту в суспільній практиці.**

Результати роботи використані при підготовці бакалаврів, магістрів та аспірантів на кафедрах «Загальна та неорганічна хімія» та «Технологія кераміки, вогнетривів, скла і емалей» НТУ «ХПІ». Студенти старших курсів брали участь у розробці експериментальних зразків кераміки і у вивченні фізико-механічних та електродинамічних властивостей. У результаті виконання завдань проєкту захищені 2 магістерські кваліфікаційні роботи. На основі матеріалів досліджень розроблено і впроваджено нові лекційні курси з навчальних дисципліни «Матеріали для захисту від електромагнітного випромінювання» і «Електростійка кераміка». Експериментальні данні, отримані при роботі над проєктом, будуть використані при підготовці фахівців зі спеціальності 161 «Хімічна технологія та інженерія». За результатами виконаної роботи будуть захищені 1 кандидатська та 1 докторська дисертація.

#### **Науковий керівник Проєкту**

професор кафедри загальної та неорганічної хімії

(посада)

доктор технічних наук ВЕДЬ Марина Віталіївна

(ПІБ)

\_\_\_\_\_  
(підпис)

