

## АННОТАЦИЯ

диссертации на соискание степени доктора философии PhD по  
специальности 8D07104 - «Химическая технология неорганических веществ»

**Анас Хуби**

на тему: «Создание и исследование новых композиционных материалов для микроволнового поглощения в диапазоне 8,8-12 ГГц»

**Актуальность темы исследования.** Электромагнитные помехи - хорошо известная проблема в радиолокационных и антенных системах и электронных устройствах. Электромагнитные помехи - это нежелательная электромагнитная волна (ЭМ), которая действует как шум, нарушающий естественную работу электронных устройств. Этот шум возникает из-за электронных устройств, испускающих электромагнитные волны, таких как мобильные телефоны, беспроводные устройства, экраны телевизоров / компьютеров и беспроводные микрофоны в залах. Как правило, электромагнитные помехи будут рассматриваться как нежелательный результат современных технологий, который оказывает опасное воздействие на здоровье человека, интеллектуальные устройства, телекоммуникационные устройства и военную промышленность. Следовательно, эффективное удаление электромагнитных волн от ЕМІ так важно для общественной защиты и электронной безопасности. Развитие технологии радиолокационных или микроволновых поглощающих материалов оказало большое влияние на военную сферу. Радиопоглощающие материалы (РЭМ) являются важными инструментами в радиоэлектронной борьбе, поскольку их можно использовать для сокрытия целей и защиты их от радиолокационного обнаружения. Материалы для защиты от электромагнитных помех и тараны были произведены международными компаниями по высоким ценам. В связи с этим актуальность темы исследования докторской диссертации прокладывает путь к внедрению методологии и научных основ для производства MAMS в лаборатории с требуемым международным качеством. А также конкурируют с коммерческими поглотителями, упомянутыми в литературе, с точки зрения веса, потерь на отражение, полосы пропускания поглощения и эффективности экранирования.

**Цель работы:** найти оптимальные параметры для производства новых RAM, характеризующихся сильным  $RL_{min}$ , высоким  $SE_{max}$ , широким поглощением  $BW_{-10}$  дБ и низким  $SD$  в диапазоне 8,8–12,0 ГГц.

### **Задачи работы:**

- 1) Определение влияния молярных соотношений ионов металлов к цитратной кислоте (1:1, 2:1 и 3:1) и водных растворов ПВС (1%, 4% и 6%) на  $RL_{min}$ ,  $f_m$  и  $SE_{max}$ .
- 2) Выяснение влияния добавления материалов с диэлектрическими потерями и магнитными потерями на свойства наноферритов и определение весовых соотношений нанокomпозитов, которые оказывают наибольшее положительное влияние на  $RL_{min}$ ,  $f_m$ ,  $BW_{-10}$  дБ,  $SD$  и  $SE_{max}$ .

3) Выявление влияния процентной доли загрузки гибридного нанокompозита в матрице-носителе и весовых соотношений  $\text{PANI}/\text{Ni}^{3+}_{0.25}\text{Ni}^{2+}_{0.375}\text{Zn}^{2+}_{0.25}\text{Fe}_2\text{O}_4$  и  $\text{PANI}/\text{BaNiZnFe}_{16}\text{O}_{27}$  на защиту от электромагнитных помех и свойства МА.

4) Определение эффекта добавления технического углерода (СВ) и карбонильного железа (СІ) к гибридным нанокompозитам на  $\text{RL}_{\min}$ ,  $\text{BW}_{-10\text{ dB}}$ ,  $\text{SD}$  и  $\text{SE}_{\max}$ .

### **Методы исследования**

Подготовленные образцы были структурно охарактеризованы с использованием XRD, FTIR, TGA и EDX. SEM использовали для определения морфологии порошков. Наконец, подготовленные образцы были функционально охарактеризованы с использованием рупорной антенны, подключенной к осциллографу.

**Научная новизна полученных результатов исследования подтверждается тем фактом, что впервые:**

- Выявлено влияние различных молярных соотношений ионов металлов к лимонной кислоте и различных водных растворов ПВС на  $\text{RL}_{\min}$ ,  $f_m$  и  $\text{SE}_{\max}$ .
- Создание новых поглотителей за счет включения материалов с магнитными и диэлектрическими потерями, которые могут уменьшить процент загрузки, увеличить поглощение  $\text{BW}_{-10\text{ dB}}$  и увеличить семакс поглотителей, чтобы покрыть большую часть полосы частот 8,8–12,0 ГГц.
- Был достигнут низкий процент загрузки нанокompозита  $\text{PANI}/\text{Ni}^{3+}_{0.25}\text{Ni}^{2+}_{0.375}\text{Zn}^{2+}_{0.25}\text{Fe}_2\text{O}_4$  в матрице-носителе, составляющий 25%, что является одним из самых низких опубликованных процентов загрузки в мире.
- Были обнаружены новые поглотители, которые могут превышать порог -10 дБ и покрывать всю полосу частот 8,8–12,0 ГГц за счет добавления СВ и СІ в гибридные нанокompозиты. Эти поглотители конкурируют с коммерческими поглотителями.

**Объектом исследования** являются микроволновые поглотители, изготовленные из материалов с магнитными потерями и диэлектрическими потерями.

**Предметом исследования** является получение микроволновых поглотителей, приготовленных различными физико-химическими методами. Оценка характеристик поглотителей путем измерения  $\text{RL}$ ,  $\text{SE}$ , поглощения  $\text{BW}_{-10\text{ dB}}$  и  $\text{SD}$ .

**Теоретическая значимость:** Результаты диссертационного исследования расширили известные знания в области производства материалов, защищающих от электромагнитных помех, и MAMS для подавления электромагнитных помех и повышения эффективности электронных устройств.

**Практическая значимость.**

1) Этот проект (первый в своем роде в Республике Казахстан как академическая попытка подготовить радиопоглощающие материалы) представляет собой ядро для последующих исследований в Казахском национальном университете им. Аль-Фараби и других университетах Казахстана в области подготовки радиопоглощающих материалов.

2) Определены оптимальные параметры для изготовления нанокompозитов–поглотителей микроволн во всей полосе частот 8,8-12,0 ГГц с низким SD, полученных из материалов с магнитными потерями и диэлектрическими потерями.

3) Было выявлено, что нанокompозиты PANI /феррит шпинели (SF) / гексагональный феррит (HF) и PANI / SF / HF /CB, полученные в результате полимеризации in situ, показали наилучшие результаты по поглощению микроволн. Процент поглощения микроволн достигал примерно 99,9% при проценте загрузки 30%.

#### **Основные положения для защиты диссертации:**

1) Увеличение концентрации ионов металла в цитратной кислоте и ПВС в феррите приводит к смещению пиков ослабления RL образцов на более низкие частоты. Это позволяет контролировать положение  $f_m$ -передатчика.

2) Синергетическое включение материалов с магнитными потерями и диэлектрическими потерями приводит к уменьшению процента загрузки поглотителя в основной матрице, увеличению поглощения BW-10 дБ и увеличению SEmax поглотителей для покрытия большей части полосы частот 8,8–12,0 ГГц.

3) Пики потерь на отражение нанокompозитов приводят к переходу на более высокие частоты за счет увеличения PANI в нанокompозитах. Это позволяет контролировать полосу пропускания поглощения, потери на отражение и согласовывать частоту поглотителей.

4) Добавление CB и CI к гибридным нанокompозитам приводит к улучшению SE и SD. Это позволяет получить 99,9% поглощения в микроволновой печи.

#### **Отношение к плану государственных исследовательских программ**

Эта диссертационная работа была выполнена без каких-либо рамок.

**Личный вклад автора работы состоит в сборе, обработке и анализе литературных данных по теме диссертации, непосредственном планировании и реализации экспериментальной части. Заявитель принимал участие в анализе, интерпретации и представлении полученных результатов исследования и их обсуждении, а также в подготовке научных статей.**

#### **Апробация диссертации**

Материалы диссертации были представлены и обсуждены на различных международных конференциях:

- Международная научная конференция студентов и молодых ученых "ХИМИЧЕСКАЯ ФИЗИКА И ФИЗИЧЕСКАЯ ХИМИЯ" (Казахский национальный университет им. Аль-Фараби, Алматы, Казахстан, 6-8 апреля 2021 года).

- 11-й МЕЖДУНАРОДНЫЙ КОНГРЕСС БЕРЕМЖАНОВА ПО ХИМИИ И ХИМИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ "ФУНДАМЕНТАЛЬНОЕ И ПРИКЛАДНОЕ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ", Алматы, Казахстан, 19-20 ноября 2021 года.

- МОЛОДЕЖНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ ПО ХИМИИ (Назарбаев университет, Астана, Казахстан, 20 ноября 2021 года).

- Международная научная конференция студентов и молодых ученых "ХИМИЧЕСКАЯ ФИЗИКА И ФИЗИЧЕСКАЯ ХИМИЯ" (Казахский национальный университет им. Аль-Фараби, Алматы, Казахстан, 6-8 апреля 2022 года).

### **Публикации**

Основные результаты исследований по теме диссертации представлены в 10 опубликованных работах, в том числе:

- Одна научная статья, опубликованная в журнале, имеет импакт-фактор в соответствии с базой данных Scopus.

- Две научные статьи, опубликованные в журнале, индексируемом в базе данных Web of Science.

- Одна научная статья, опубликованная в журнале, рекомендованном Комитетом по контролю в сфере образования и науки Министерства образования и науки Республики Казахстан.

- Четыре тезиса докладов на международных конференциях.

- Две научные статьи в международных журналах.

### **Личный вклад докторанта в подготовку каждой статьи**

- Докторант принимал непосредственное участие в получении экспериментальных данных, обработке и интерпретации экспериментальных результатов для оформления статьи «Synthesis and microwave absorption properties of (Ni<sub>0.5</sub>Zn<sub>0.5</sub>Fe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>/CI/CB) ternary composites» в журнале «Bulletin of the University of Karaganda – Chemistry No. 3 (107)/2022» (Web of Science database) <https://doi.org/10.31489/2022Ch3/3-22-8>.

- Докторант принимал непосредственное участие в получении экспериментальных данных, обработке и интерпретации экспериментальных результатов для оформления статьи «Synthesis and Microwave Absorption Properties of Ni<sub>0.5</sub>Zn<sub>0.5</sub>Fe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>/CI Composite Coated with Polyaniline within Paraffin Wax Matrix» в журнале «Bulletin of the University of Karaganda – Chemistry No. 4 (108)/2022» (Web of Science database) <https://doi.org/10.31489/2022Ch4/4-22-9>.

- Докторант был непосредственно сосредоточен на изучении ферритов, поглощающих микроволны, получении экспериментальных данных, обработке и интерпретации экспериментальных результатов, а также принимал участие в реализации дизайна статьи «Microwave absorbing properties of ferrites and their composites» в журнале «Journal of Magnetism and Magnetic Materials Volume 529, 1 July 2021» (Scopus database, IF 2.99. Quartile Q2). <https://doi.org/10.1016/j.jmmm.2021.167839>.
- Докторант принимал непосредственное участие в получении экспериментальных данных, обработке и интерпретации экспериментальных результатов для оформления статьи «Microwave absorption and electromagnetic interference shielding properties of carbon black/MnNiZn nanocomposites-filled paraffin wax in the frequency range (8.8-12 GHz)» в журнале «KazNU Journal. Recent Contributions to Physics. №2 (81). 2022» <https://doi.org/10.26577/RCPH.2022.v81.i2.011>.
- Докторант принимал непосредственное участие в получении экспериментальных данных, обработке и интерпретации экспериментальных результатов для оформления статьи «Microwave Absorption Behavior of Low Loading Ratio of Ni<sub>3</sub>+0.25Ni<sub>2</sub>+0.375Zn<sub>2</sub>+0.25Fe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> Nanoparticles Coated with Polyaniline Within Paraffin Wax Matrix» в журнале «Advances in Theoretical & Computational Physics. Volume 5, Issue 2, 2022» <https://doi.org/10.33140/ATCP.05.02.03>.
- Докторант принимал непосредственное участие в получении экспериментальных данных, обработке и интерпретации экспериментальных результатов для оформления статьи «Electromagnetic Interference Shielding Properties of (Ni<sub>0.5</sub>Zn<sub>0.5</sub>Fe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>/CI/CB) Ternary Composites-Filled Paraffin Wax Matrix» в журнале «Journal of Chemistry: Education Research and Practice. Volume 6, Issue 2, 2022». <https://doi.org/10.33140/JCERP.06.02.18>.