

ХІМІЧНО МОДИФІКОВАНІ НАНОКОМПОЗИТИ Fe_3O_4 ДЛЯ МАГНІТНОЇ ГІПЕРТЕРМІЇ: ВПЛИВ СКЛАДУ ТА СТРУКТУРИ НА НАГРІВАЛЬНУ ЗДАТНІСТЬ

Котляр Юрій

здобувач вищої освіти

Свиридюк Катерина

асистент

Кафедра хімії

Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Магнітна гіпертермія є одним із перспективних напрямів протипухлинної терапії, що ґрунтується на локальному нагріванні тканин шляхом дії змінного магнітного поля на магнітні наночастинки. Найбільш досліджуваними матеріалами для цього застосування є наноккомпозити на основі магнетиту (Fe_3O_4), які завдяки своїм суперпарамагнітним властивостям здатні ефективно поглинати електромагнітну енергію та перетворювати її на тепло. Водночас ефективність такого нагрівання, що характеризується питомою швидкістю

поглинання енергії (SAR), значною мірою залежить від хімічного складу, морфології, кристалічної структури та умов стабілізації наночастинок.[1]

Літературні дані свідчать, що хімічна модифікація Fe_3O_4 нанокompозитів, зокрема шляхом допування іонами металів (Er^{3+} , Co^{2+} , Mn^{2+} , Zn^{2+}), дозволяє змінювати магнітний момент, анізотропію та розміри частинок, що, в свою чергу, впливає на ефективність нагрівання. Наприклад, допування кобальтом підвищує анізотропію й SAR, однак може знижувати біосумісність. Включення іонів металів у решітку магнетиту змінює орієнтацію спінів у решітці, сприяючи більш ефективному нагріванню під час впливу зовнішнього магнітного поля, а також допомагає контролювати коерцитивну силу та намагніченість насичення магнетиту. [2] Крім того, важливу роль відіграє структура нанокompозиту: оптимальними вважаються частинки розміром 10–20 нм, які забезпечують суперпарамагнітну поведінку та високу теплову ефективність. Показано, що морфологія також суттєво впливає на нагрівальні властивості: кубічні та стрижневидні частинки, як правило, мають вищий SAR, ніж сферичні. [3]

Значний вплив має також покриття наночастинок — використання оболонок з SiO_2 , полімерів (PEG, полілактид), графену або вуглецевих нанотрубок сприяє підвищенню стабільності, тепловіддачі та біосумісності. Стабілізація частинок у водному середовищі також є критично важливою, адже агрегація суттєво знижує нагрівальну здатність. Таким чином, ефективність магнітної гіпертермії безпосередньо залежить від комплексного підходу до синтезу, модифікації та структурування магнетитових нанокompозитів.[1-6]

Узагальнюючи, можна стверджувати, що хімічно модифіковані нанокompозити Fe_3O_4 є перспективними матеріалами для застосування в магнітній гіпертермії. Регулювання їх складу, морфології та поверхневої хімії дозволяє досягати високих показників SAR, зберігаючи при цьому біосумісність та функціональність. Подальші дослідження мають бути спрямовані на створення високоефективних і безпечних систем для клінічного використання у протипухлинній терапії.

Список використаних джерел

1. Rajan A., Sharma M., Sahu N. K. Assessing magnetic and inductive thermal properties of various surfactants functionalised Fe_3O_4 nanoparticles for hyperthermia. *Scientific Reports*. 2020. Т. 10.
2. Erbium substituted magnetite nanoparticles for hyperthermia applications: Synthesis, characterization, and performance evaluation / V. Janani та ін. *Materials Research Bulletin*. 2025. Т. 192.
3. R. Jasrotia et al. Effect of rare earth (Nd^{3+}) metal doping on structural, morphological, optical and magnetic traits of Zn–Mg nano-ferrites *J. Rare Earths* (2023).
4. Jamir M., Borgohain C., Borah J. Influence of structure and magnetic properties of surface modified nanoparticles for hyperthermia application. *Physica B: Condensed Matter*. 2023. Т. 648.

5. Synthesis of Graphene Oxide-Fe₃O₄ Based Nanocomposites Using the Mechanochemical Method and In Vitro Magnetic Hyperthermia / V. Narayanaswamy та ін. International Journal of Molecular Sciences. 2019. Т. 20, вип. 13.
6. Physical characterization and heating efficacy of chitosan-coated cobalt ferrite nanoparticles for hyperthermia application Phys. E Low-Dimensional Syst. Nanostructures, 2021.