

Доведено ефективність використання магнетиту в ліпідно-магнетитових суспензіях в якості дисперсійної фази, що забезпечує необхідні властивості: стійкість у часі, дисперсність та концентрацію. В якості дисперсійного середовища застосовувалися рослинні масла: кукурудзяне, соєве та соняшникове; в якості поверхнево-активної речовини (ПАР) – моноацилгліцерол. Експериментально підібрані співвідношення компонентів біомагнітної рідини: рослинної олії, ПАР, магнетиту. Досліджена хімічна сумісність магнетиту з компонентами суспензії інфрачервоною спектроскопією

Ключові слова: суспензія, магнетит, моноацилгліцерол, поверхнево-активна речовина, стійкість, центрифугування, інфрачервона спектроскопія

Доказана эффективность использования магнетита в липидно-магнетитовых суспензиях в качестве дисперсионной фазы, обеспечивающей необходимые свойства: устойчивость во времени, дисперсность и концентрацию. В качестве дисперсионной среды применялись растительные масла: кукурузное, соевое и подсолнечное; в качестве поверхностно-активного вещества (ПАВ) – моноацилглицерол. Экспериментально подобраны соотношения компонентов биомангнитной жидкости: растительного масла, ПАВ, магнетита. Исследована химическая совместимость магнетита с компонентами суспензии инфракрасной спектроскопией

Ключевые слова: суспензия, магнетит, моноацилглицерол, поверхностно-активное вещество, устойчивость, центрифугирование, инфракрасная спектроскопия

УДК 664.546

ВИЗНАЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ МАГНЕТИТУ В ЛІПІДО- МАГНЕТИТОВИХ СУСПЕНЗІЯХ

І. В. Цихановська

Кандидат технічних наук*

E-mail: cikhanovskaja@rambler.ru

З. В. Барсова

Кандидат технічних наук, асистент*

E-mail: zoya_barsova@mail.ru

О. В. Александров

Кандидат хімічних наук, доцент*

E-mail: alexandrov_a_v@inbox.ru

М. Г. Ілюха

Доктор технічних наук, професор*

E-mail: iliukha.nick@mail.ru

*Кафедра хімії, нафтоорганічного

синтеза та хімічних технологій

Українська інженерно-педагогічна академія

вул. Університетська, 16,

м. Харків, Україна, 61003

1. Вступ

Одним зі способів покращення здоров'я людини є використання дієтичних добавок. Відомо, що один з механізмів регуляції метаболізму – колоїдно-осмотичний стан внутрішнього середовища організму [1].

Біологічно активні речовини (дієтичні добавки) являють собою ліофільні або ліофобні молекули з властивостями поверхнево-активних речовин (ПАР), з яких складаються біологічні мембрани, багато лікарських засобів, високомолекулярні з'єднання білка, стероїдів, та ін. Створюючи колоїдно-осмотичний фон внутрішнього середовища організму, ці речовини відіграють значну роль в процесах обміну води на рівні мікроциркулярного ложа, забезпечуючи тургор кліток органів та підтримку обміну водяних секторів [1, 2]. Тому доцільно виділити в особливу групу рідини, біофізико-хімічні властивості яких сумісні із життєвими процесами. До такої групи можна віднести і біомагнітні рідини, які не повинні спричиняти токсичний вплив на всіх рівнях організму, що дозволить реально використовувати властивості, притаманні рідинно-

магнітним дисперсним середовищам для медичних та біологічних цілей [3].

Питання про застосування біомагнітних рідин (БМР) у медицині та фармації розглядається давно [4–6]. Відомо, що магнітні лікарські форми (МЛФ) пригнічують активність патогенних мікроорганізмів [3–4]. Зазначений чіткий бактеріостатичний ефект МЛФ за відсутності порушень нормальної мікрофлори у мікробіоценозі слизових оболонок людини [4]. Отриманими раніше даними [5] встановлено, що магнетит має характеристики дієтичної добавки зі строком активної дії у межах 3–4 годин. Оптимальна доза застосування магнетиту складає 0,2–0,3 г на 70–80 кг маси тіла людини. Магнетит проявляє здатність короткочасного зниження внутрішньочерепного лікворного тиску, активізує діяльність шлунку та дванадцятипалої кишки, посилює сечовиділення протягом 2–3 годин [2–4]. Магнетит може бути рекомендований людям, схильним до алергічних реакцій.

Таким чином, розширюються можливості використання магнетиту в фармацевтичних, лікарських засобах, дієтичних та комплексних харчових добавках [3].

Біомагнітні рідини (суспензії) являють собою колоїдну систему, що складається з дисперсної фази, частіше за все магнетиту (Fe_3O_4), ПАР та дисперсійного середовища. Особливу увагу при отриманні магнетитових суспензій має питання їх стійкості та методики її оцінки.

2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

Ультратонкі феромагнітні наночастки з іммобілізованими на поверхні біологічно-активними сполуками становлять практичний і теоретичний інтерес для різних біотехнологій [7–13].

Досліджуються наночастинки як самостійні одиниці, так і комплексні орґано-неорґанічні системи «мінеральне ядро – функціональна оболонка» [6–10], оскільки структура та морфологія наночастинок залежать від функціональності їхньої поверхні.

Теоретичне обґрунтування складу біомагнітної рідини (суспензії).

У фізико-хімічному плані БМР являють собою суспензії дрібно-дисперсних магнітних матеріалів у дисперсійному середовищі з високим ступенем намагніченості, стабілізованого поверхнево-активною речовиною (ПАР) [6–10].

Дрібнодисперсні частки магнетиту, одержані методом хімічної конденсації, використовувалися нами як магнітна (дисперсійна) фаза в ліпідно-магнетитових суспензіях (біомагнітних рідинах). Для створення нової суспензії (БМР) необхідно було вибрати ПАР та дисперсійне середовище.

У якості середовища увагу привернули олії рослинного походження (соняшникова, кукурудзяна та соєва), які застосовувалися як гідрофобні основи ліпідно-магнетитових суспензій. Їх переваги: біологічна нешкідливість, фізіологічна індиферентність, легке змішування з іншими жирами, жирними кислотами. Завдяки вмісту фітостерину, рослинні олії можуть інкорпорувати до 25 % води, 70 % спирту, 35 % гліцерину, утворюючи з ними стабільні емульсійні системи, що важливо в різних фізико-хімічних процесах, наприклад, в процесах перетравлення їжі, метаболізму та ін. [2, 11]. Крім того, велика їх частина має жирну консистенцію, що пов'язано з високим вмістом гліцеридів ненасичених кислот. У зв'язку з цим, рослинні жири та суспензії на їх основі можуть використовуватися як компоненти мазевих фармацевтичних препаратів, харчових кремів, соусів, майонезів тощо. За своєю стійкості рослинні жири аналогічні тваринним – прогоркають (за рахунок окиснювально-деструктивних процесів) при тривалому зберіганні, проте завдяки вмісту фітонцидів вони більш стійкі до впливу мікроорґанізмів.

В якості дисперсної фази ліпідно-магнетитових суспензій нами використовувався ультратонкий порошок магнетиту Fe_3O_4 , синтезований методом конденсації солей в лужному середовищі. Розмір частинок 40–70 нм. Враховуючи біологічну сумісність магнетиту з живими організмами та його позитивний вплив на організм людини, можливо магнетит використовувати в продуктах харчування з метою збагачення засвоюваним залізом і створення протианемічної групи продуктів (для лікування і профілактики).

Крім того відомо, що подвійний оксид заліза ($\text{FeO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$) може бути застосований в якості анти-

оксидантної добавки, яка перешкоджає прогоранню (окисненню) жирів і тим самим покращує їх якість і термін вживання [3].

При виготовленні ліпідно-магнетитової суспензії (біомагнітної рідини) в якості поверхнево-активної речовини (ПАР) найчастіше використовується в БМР – олеїнова кислота та її солі [2, 5], а при отриманні майонезів та соусів на основі рослинних ліпідів (олій) – моно-, діацилгліцероли [3]. Таким чином, до складу БМР було введено дрібнодисперсні частки магнетиту, рослинна олія та моноацилгліцерол Dimodan HP.

У роботі поставлено завдання визначення концентрації компонентів ліпідно-магнетитової суспензії: магнетиту, рослинної олії та моноацилгліцеролу, яка б максимально забезпечувала стійкість суспензії та прояву всього спектру комплексної дії Fe_3O_4 як харчової добавки на гідрофобній основі.

Експериментальне обґрунтування складу БМР на гідрофобній основі.

При визначенні концентрацій компонентів БМР – ліпідно-магнетитової суспензії, керувалися вимогами до рослинних олій. Масляна основа суспензії, яка б забезпечувала максимальний ефект комплексної дії харчової добавки, повинна мати необхідні структурно-механічні (консистентні) властивості: в'язкість, текучість. Тому необхідно було контролювати реологічні характеристики БМР, включаючи стійкість та дисперсність. При цьому необхідно було враховувати вміст заліза в суспензії на рівні 5 мг/кг відповідно до медико-біологічних вимог та санітарних норм якості продовольчої сировини. Оскільки магнітну основу БМР складає феромагнетик, то контролювали і магнітні властивості ліпідно-магнетитової суспензії.

3. Мета та задачі дослідження

Метою роботи є обґрунтування концентрації ПАР й магнетиту в ліпідно-магнетитової суспензії; дослідження стійкості, магнетиту, стабілізованого ПАР та хімічної сумісності магнетиту з компонентами ліпідно-магнетитової суспензії методом ІЧ-спектроскопії.

Задачі дослідження:

- експериментальним шляхом підібрати концентрації компонентів в ліпідно-магнетитових (соняшниково-магнетитових, кукурудзяно-магнетитових, соєво-магнетитових) суспензіях;

- методом центрифугування оцінити стійкість цих суспензій; методом ІЧ-спектроскопії досліджувати хімічну сумісність компонентів ліпідно-магнетитової суспензії (магнетиту та поверхнево-активної речовини – моноацилгліцеролу).

4. Експериментальні дані з підбору оптимального співвідношення компонентів ліпідно-магнетитової суспензії, дослідження її стійкості методом центрифугування і хімічної сумісності магнетиту з компонентами суспензії ІЧ-спектроскопії

Дослідження стабільності БМР та обґрунтування концентрації ПАР й магнетиту в ліпідно-магнетитової суспензії.

З точки зору колоїдної хімії БМР – високодисперсні ліофобні системи, які мають нерозчинне ядро (частки магнітного наповнювача) [4, 7, 8]. Поверхня ядра несе певний заряд, завдяки якому формується подвійний електричний шар. Це є формою стабілізації для олеодисперсних колоїдних систем, як у нашому випадку – рослинних олій. Хоча й цей вид стабілізації не є досить сильним. Однак наряду з цим існує інший вид стабілізації, який може бути оцінено за реологічними властивостями – структурно-механічний фактор стійкості.

При проведенні роботи по визначенню складу БМР [4, 8] постало питання необхідності використання ПАР. Беручи до уваги значення в'язкості дисперсійного середовища (рослинної олії), невеликі розміри часток дисперсної фази (магнетиту) та вимоги до ліпідом-магнетитової суспензії як харчової добавки вважаємо доцільним використовувати в якості ПАР моноацилгліцерол Dimodan HP. Оцінку стійкості ліпідом-магнетитових суспензій проводили методом центрифугування, результати випробувань представлені в табл. 1.

З табл. 1 видно, що додавання магнетиту в досліджувану олію практично не змінює стійкість суспензії (зменшується об. % не зруйнованої суспензії на 0,5–2 %). Оптимальний результат був отриманий

при вмісті ПАР 0,35 (0,7 мас. %) і магнетиту 0,025 і 0,02 або 0,045 мас. % і 0,04 мас. %. Але оскільки експериментальні дані однакові при вмісті магнетиту 0,025 і 0,03 г, а відповідно до медико-біологічних вимог вмісту магнетиту (у перерахунку на залізо) в оліях і жирах повинне відповідати 5 мг/кг, тому ми віддаємо перевагу вмісту магнетиту 0,025 г (яке і відповідає вимогам МБВ). Аналогічні результати були отримані і на інших масляних основах: кукурудзяної, соєвої оліях.

Таким чином, для одержання ліпідом-магнетитових суспензій використовувались наступні компоненти: олія кукурудзяна, соєва та соняшникова рафінована та нерафінована, (масою 49,625 г); емульгатор моноацилгліцерол Dimodan HP, (маса 0,1–0,35 г); магнетит (маса 0,02–0,03 г).

Дослідження хімічної сумісності магнетиту з компонентами ліпідом-магнетитової суспензії методом ІЧ-спектроскопії.

Мета дослідження полягала у визначенні хімічної сумісності магнетиту з іншими компонентами ліпідом-магнетитової суспензії. Для цього був використаний метод ІЧ-спектроскопії. Спектри дрібнодисперсного магнетиту, моноацилгліцеролу та магнетиту, модифікованого моноацилгліцеролом вимірювали в діапазоні 400–4000 см⁻¹ з використанням стандартної методики у таблетках калій броміду.

Таблиця 1

Оцінка стійкості в об'ємних відсотках не зруйнованої суспензії олії соняшникової нерафінованої з добавкою магнетиту методом центрифугування

Зміст, г (мас. %)		Відсоток незруйнованої суспензії, об. %									
Магнетит	Емульгатор	Швидкість обертання, об/хв.									
		1000			1500			2000			
		Тривалість центрифугування, хв.									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
0,020 (0,04)	0,1 (0,2)	78,6	78,4	78,2	78,2	78,0	78,0	78,0	78,0	78,0	77,8
	0,225 (0,45)	79,8	79,6	79,3	79,1	79,0	78,8	78,8	78,8	78,6	78,4
	0,35 (0,7)	80,2	80,0	80,0	79,4	79,2	79,0	79,0	79,0	78,8	78,6
0,025 (0,05)	0,1 (0,2)	78,2	78,1	78,1	78,0	77,9	77,7	77,7	77,7	77,5	77,5
	0,225 (0,45)	78,4	78,4	78,2	78,2	78,1	78,0	77,8	77,8	77,8	77,7
	0,35 (0,7)	79,4	79,1	78,9	78,9	78,8	78,6	78,6	78,6	78,4	78,4
0,03 (0,06)	0,1 (0,2)	78,1	78,0	77,7	77,4	77,1	77,1	77,0	77,0	77,0	76,7
	0,225 (0,45)	78,4	78,4	78,2	78,2	78,0	77,8	77,8	77,8	77,5	77,4
	0,35 (0,7)	78,8	78,8	78,6	78,6	78,4	78,4	78,4	78,3	78,2	78,0
Контрольна проба (олія)	0,1 (0,2)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	0,225 (0,45)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	0,35 (0,7)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

В ІЧ-спектрі синтезованого магнетиту (рис. 1) спостерігаються інтенсивні смуги поглинання при 3370 см^{-1} і 1620 см^{-1} , які можна віднести, відповідно, до валентних коливань ОН-груп води, зв'язаною міжмолекулярним водневим зв'язком (що свідчить про наявність вологи у зразку) та до деформаційних коливань ОН-груп води, що адсорбована на поверхні наночастинок. Інтенсивна смуга $\approx 640\text{ см}^{-1}$ відповідає валентним коливанням зв'язку Fe–O. Перелічені смуги поглинання магнетиту зберігається на спектрі магнетиту, модифікованого моноацилгліцеролом.

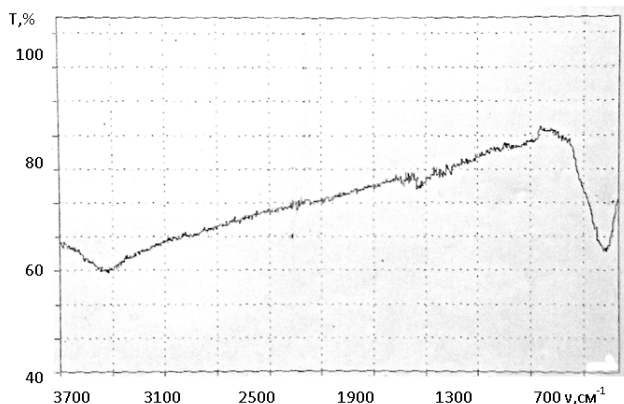


Рис. 1. Графік залежності пропускання (Т, %) від хвильового числа світла (ν , см^{-1}) для синтезованого магнетиту

Аналіз ІЧ-спектрів (рис. 2, 3) виявив добре помітні смуги, характерні для функціональних груп моноацилгліцеролу. Широка інтенсивна смуга поглинання при 3358 см^{-1} відповідає валентним коливанням ОН-групи, що утворює міжмолекулярну асоціацію. При додаванні магнетиту з'являється нова смуга в області валентних коливань асоційованої ОН-групи при 3375 см^{-1} (рис. 3), яка може бути віднесена тільки до взаємодії («асоціації») ОН-груп моноацилгліцеролу з магнетитом (швидше за все по донорно-акцепторному механізму). Крім того, при модифікації магнетиту моноацилгліцеролом, відбувається переміщення смуги поглинання ОН-групи в короткохвильову область 3003 см^{-1} (3009 см^{-1} у моноацилгліцеролу).

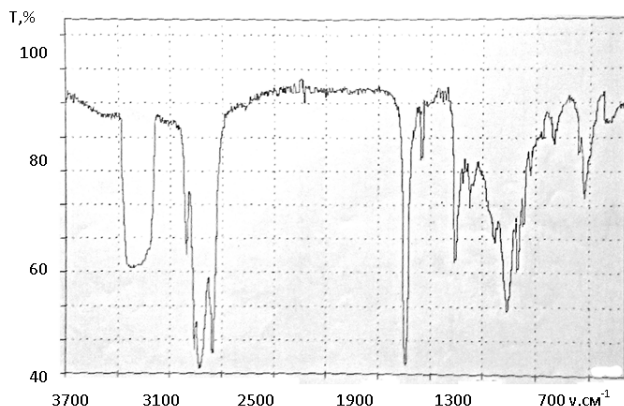


Рис. 2. Графік залежності пропускання (Т, %) від хвильового числа світла (ν , см^{-1}) для моноацилгліцеролу

При 1450 см^{-1} проявляється інтенсивна смуга поглинання, пов'язана з деформаційними коливаннями групи –ОН. У зразках (рис. 2, 3) спостерігаються смуги поглинання з частотами 2970 , 2920 , 2877 см^{-1} , які відносять до симетричних і асиметричних валентних коливань СН-зв'язку в CH_2 групі. Смуга поглинання валентних коливань карбонового скелета (так звані «скелетні коливання») виявляються в спектрах при 1378 см^{-1} . Смуги поглинання при 720 і 715 см^{-1} відповідають деформаційним маятниковим коливанням СН-зв'язку. Наявність смуг поглинання в області 1080 , 1060 , 1055 см^{-1} свідчить про присутність у моноацилгліцеролі та в магнетиті, модифікованому моноацилгліцеролом, груп С–О простих ефірів. Смуга поглинання при 1240 см^{-1} відповідає асиметричним валентним коливанням С–О–С-групи етерів.

Наявність смуг поглинання при 2958 і 2865 см^{-1} (рис. 3) свідчить про присутність на поверхні модифікованого магнетиту метиленових груп. Смуги симетричних і асиметричних валентних коливань в магнетиті, модифікованому моноацилгліцеролом, виявляються більш чітко й зміщуються в довгохвильову область приблизно на 30 см^{-1} : $\nu_s=1760\text{ см}^{-1}$, $\nu_{as}=1670\text{ см}^{-1}$ ($\nu_s=1730\text{ см}^{-1}$, $\nu_{as}=1640\text{ см}^{-1}$ у моноацилгліцеролі), що може свідчити про участь СОО-групи у взаємодії з магнетитом.

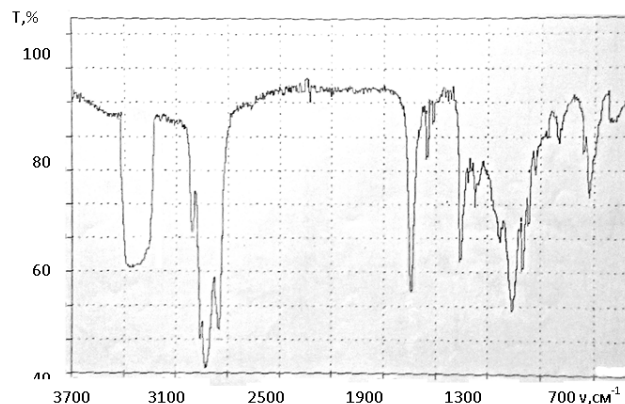


Рис. 3. Графік залежності пропускання (Т, %) від хвильового числа світла (ν , см^{-1}) для магнетиту, модифікованого моноацилгліцеролом

Ці смуги поглинання зберігаються в спектрі БМР (ліпідо-магнетитової суспензії).

Дослідження ІЧ-спектрів модифікованих моноацилгліцеролом часток магнетиту ймовірно свідчить про хемосорбцію моноацилгліцеролу на поверхні частинок.

5. Висновки

Експериментальним шляхом підбрали концентрації компонентів в ліпідо-магнетитових суспензіях і методом центрифугування оцінили стійкість суспензій. Оптимальний результат був отриманий при вмісті ПАР $0,35$ ($0,7\text{ мас.}\%$) і магнетиту $0,025$ і $0,02$ або $0,045\text{ мас.}\%$ і $0,04\text{ мас.}\%$. З урахуванням допустимих норми вмісту заліза в оліях і жирах 5 мг/кг (згідно

медико-біологічних вимог і санітарних норм якості продовольчої сировини МБТ 5061–89) ми віддаємо перевагу вмісту магнетиту 0,025 г (0,045 мас. %). Аналогічні результати були отримані і на інших масляних основах: кукурудзяної, соєвої оліях.

Методом ІЧ-спектроскопії досліджували хімічну сумісність компонентів ліпідно-магнетитової суспензії. Було встановлено, що між магнетитом та поверхнево-активною речовиною (моноацилгліцеролом) в суспензії спостерігається хімічна взаємодія (хемосорбція), швидше за все, за донорно-акцепторним механізмом: при додаванні магнетиту в ІЧ-спектрі ПАР з'являється нова смуга в області валентних коливань асоційованої ОН-групи при

3375 cm^{-1} яка може бути віднесена тільки до взаємодії («асоціації») ОН-груп моноацилгліцеролу з магнетитом (швидше за все за донорно-акцепторному механізмом). Крім того, при модифікації магнетиту моноацилгліцеролом, відбувається переміщення смуги поглинання ОН-групи в короткохвильову область 3003 cm^{-1} (3009 cm^{-1} у моноацилгліцеролі). Смуги симетричних і асиметричних валентних коливань в магнетиті, модифікованому моно-ацилгліцеролом, виявляються більш чітко й зміщуються в довгохвильову область приблизно на 30 cm^{-1} : $\nu_s=1760 \text{ cm}^{-1}$, $\nu_{as}=1670 \text{ cm}^{-1}$ ($\nu_s=1730 \text{ cm}^{-1}$, $\nu_{as}=1640 \text{ cm}^{-1}$ у моноацилгліцеролі), що може свідчити про участь СОО-групи у взаємодії з магнетитом.

Література

1. Милославський, Д. К. Мембранні механізми впливу магнітотерапії при «м'яких» формах артеріальної гіпертензії [Текст] / Д. К. Милославський, О. В. Васильєва // Укр. кардіол. журнал. – 1996. – № 1. – С. 45–47.
2. Брусенцов, Н. А. Физические и химические критерии ферромагнетиков для биомедицинских целей [Текст] / Н. А. Брусенцов, В. В. Гогосов, М. В. Лукашевич // Хим.-фарм. журнал. – 1996. – № 10. – С. 48–53.
3. Цихановская, И. В. О перспективах использования магнетита в качестве биологически активных добавок [Текст] : тез. док. 2-ой межд. науч.-тех. конф. / И. В. Цихановская, Т. А. Оноприенко, В. А. Коваленко, В. И. Оноприенко // Химия и технология жиров. Перспективы развития масло-жировой отрасли. – Харьков, НИИ масел и жиров, 2009. – С. 53–54.
4. Вольтер, Е. Р. Физико-химические аспекты применения магнитных жидкостей в экспериментальной медицине [Текст] : тр. IX межд. Плесской конф. / Е. Р. Вольтер, Н. Н. Глущенко // Конференция по магнитным жидкостям. – Иваново, ИГЭУ, 2000. – С. 349–351.
5. Ілюха, Н. Г. Технологія виробництва і показателі якості харчової добавки на основі магнетиту [Текст] / Н. Г. Ілюха, З. В. Барсова, В. А. Коваленко, І. В. Цихановська // Восточно-Європейський журнал передових технологій. – 2010. – Т. 6, № 10 (48). – С. 32–35.
6. Ілюха, М. Г. Нанохімічна технологія магнетиту [Текст] / М. Г. Ілюха, З. В. Барсова, І. В. Цихановська, В. П. Тимофєєва, І. О. Ведерникова // Хімічна промисловість України. – 2009. – № 5 (94). – С. 37–41.
7. Tartaj, P. The preparation of magnetic nanoparticles for applications in biomedicine [Text] / P. Tartaj, M. Morales, S. Veintemillas-Verdaguer, T. Gonzalez-Carreño, C. J. Serna // J. Phys. D: Phys. – 2003. – Vol. 36, № 8. – P. 182–189.
8. Pankhurst, Q. A. High-efficiency plasma surface modification of graphite-encapsulated magnetic nanoparticles using a pulsed particle explosion technique [Text] / Q. Pankhurst, J. Connolly, S. K. Jones, J. Dobson // J. Phys. D: Appl. Phys. – 2003. – Vol. 36, № 6. – P. 167–173.
9. Qiang, Y. The antibacterial activity of magnetic nanofluid: Fe_3O_4 /oleic acid/cephalosporins core/shell/adsorption-shell proved on *S. aureus* and *E. coli* and possible applications as drug delivery systems [Text] / Y. Qiang, J. Antony, A. Sharma, J. Nutting, D. Sikes, D. Meyer // J. Nanoparticle Research. – 2006. – Vol. 8, № 4. – P. 489–499.
10. Gupta, A. K. Synthesis and surface engineering of iron oxide nanoparticles for biomedical applications [Text] / A. K. Gupta, M. Gupta // J. Biomaterials. – 2005. – Vol. 26, № 18. – P. 3995–4021.
11. Cotica, L. F. Surface spin disorder effects in magnetite and poly(thiophene)-coated magnetite nanoparticles [Text] / L. F. Cotica, I. A. Santos, E. M. Giroto, E. V. Ferri, A. A. Coelho // J. Appl. Phys. – 2010. – Vol. 108, № 3. – P. 395–401.
12. Chaubey, G. S. Synthesis and Stabilization of FeCo Nanoparticles [Text] / G. S. Chaubey, C. Barcena, N. Poudyal, C. Rong, J. Gao, S. Sun, J. P. Liu // J. Am. Chem. Soc. – 2007. – Vol. 129, № 5. – P. 7214–7215.
13. Couto, G. G. Nickel nanoparticles obtained by a modified polyol process: synthesis, characterization, and magnetic properties [Text] / G. G. Couto, J. J. Klein, W. H. Schreiner, D. H. Mosca, A. J. A. Oliveira, A. J. G. Zarbin // Journal of Colloid and Interface Science. – 2007. – Vol. 311, № 6. – P. 461–468.