

М. І. Нагорняк, А. В. Вороновська, М. В. Яковів, О. В. Майкович, С. М. Варваренко

Національний університет “Львівська політехніка”,

кафедра органічної хімії

varvarenko@polynet.lviv.ua

ОСОБЛИВОСТІ ОДЕРЖАННЯ ДИСПЕРСІЙ ПОЛІАКРИЛАМІДНИХ ГІДРОГЕЛІВ, НАПОВНЕНИХ МАГНЕТИТОМ

<https://doi.org/10.23939/ctas2019.02.159>

Розглянуто проблеми введення наночастинок магнетиту в гідрогелеві дисперсії, які створені на основі поліакриламідів. Утворення полімерного каркаса гідрогелю відбувалось за рахунок збалансованої кількості поперечних зв'язок між поліакриламідом та полі-N-гідроксиметилакриламідом. Вивчено структурування поліакриламідів та полі-N-(гідроксиметил)акриламідів в присутності магнетиту та солей феруму – прекурсорів магнетиту та показано вплив добавок на параметри тривимірної сітки гідрогелю. Проведено оптимізацію складу та вивчення стабільності гідрогелевої композиції у зворотних емульсіях. На основі проведених досліджень синтезовано магніточутливий матеріал у вигляді дисперсій гідрогелю з інкорпорованими частинками магнетиту.

Ключові слова: поліакриламід, полі-N-гідроксиметилакриламід, гідрогелі, дисперсія, магнетит.

Вступ

Унікальні властивості гідрогелів роблять їх доволі привабливими для таких галузей, як фармація та біотехнологія, а саме для тканинної і клітинної інженерії, технології імплантатів і біологічно активних систем та інших галузей. Але все ще існують невирішені завдання щодо використання гідрогелів через відсутність властивостей керованості, відгуку та швидкого реагування. Тому розроблення гідрогелевих матеріалів спеціального призначення є одним з пріоритетних напрямків наукових досліджень. Особливий інтерес має введення магнітних наповнювачів в матрицю гідрогелю. При застосуванні таких магніточутливих гідрогелів з'являються можливості керованої доставки хімотерапевтичних препаратів. Гідрогелева оболонка знижує потенційні токсичні побічні ефекти магнітних частинок на нецільові тканини і, водночас, підвищує ефективність лікарських препаратів. Використання дисперсій магнітонаповнених гідрогелів для націлювання на уражені тканини дозволяє також отримувати контрастні зображення методом МРТ і підвищувати, відповідно, загальну точність діагностики захворювання пацієнта. Імобілізація ферментних препаратів

на мікрочастинках з магнітокерваністю дає можливість легко відділяти їх від субстрату та продуктів у процесах біотехнології.

Метою роботи було отримання гідрогелевих дисперсних систем із частинками типу ядро-оболонка, ядро яких складатиметься з частинок магнетиту, а оболонка – з гідрогелю поліакриламідів.

Матеріали та методи досліджень

Матеріали

Акриламід – амід акрилової кислоти (2-пропенамід). Формула: $\text{CH}_2=\text{CHC}(\text{O})\text{NH}_2$, безбарвні кристали. Молекулярна маса – 71,08 г/моль. $T_{\text{пл}} - 84,5\text{ }^\circ\text{C}$, $T_{\text{кип}} - 215\text{ }^\circ\text{C}$, густина – 1,122 г/см³.

Формальдегід – емпірична формула – CH_2O , молярна маса – 30,03 г/моль, густина – 0,8153 г/см³ (293 К).

Метилловий спирт (метанол); емпірична формула – CH_3OH – безбарвна рідина зі слабким спиртовим запахом. Молекулярна маса – 32,04 г/моль. $T_{\text{пл}} - -98\text{ }^\circ\text{C}$, $T_{\text{кип}} - 64,5\text{ }^\circ\text{C}$, густина – 0,7918 г/см³.

Тіогліколева кислота (меркаптооцтова к-та) HSCH_2COOH , молярна маса – 92,11; $T_{\text{пл}} - 16,5\text{ }^\circ\text{C}$, $T_{\text{кип}} - 123\text{ }^\circ\text{C} / 29\text{ мм рт. ст.}$

Сульфат заліза (II) (залізо (II) сірчанокисле) –FeSO₄. Безводна речовина, безбарвна, непрозора, дуже гігроскопічна. Добре розчинний у воді (26,3 г при 20 °С).

Сульфат заліза (III) Fe₂(SO₄)₃ – світло-жовті парамагнітні дуже гігроскопічні кристали моноклінної сингонії.

Поліакриламід (ПАА) – прозора речовина без запаху, молярна маса – 104–107 г/моль (в залежності від умов отримання), густина – 1,302 г/см³ (296 К).

Span 80 (сорбітан моноолеат) – поверхнево-активна речовина з ГЛБ = 4,7. Білдожовта в'язка рідина без запаху. Вміст основної речовини 90 %.

Методика одержання поліакриламід у з ММ 40 кДа.

Розчин акриламід у воді продувають аргоном протягом 20 хв. Як регулятор ММ використовують тіогліколеву кислоту (0,12 % у реакційній суміші). Розчин нагрівають до 323 К, додають ініціувальну систему – водні розчини персульфату амонію і тіосульфату натрію – і витримують протягом 2 год. Полімер виділяють осадженням в метанол та очищають переосаджуванням з води в метанол тричі. Отриманий полімер сушать до постійної маси у вакуумі при кімнатній температурі. Вихід 70–75 %.

Полімерний структуруючий агент полі-N-(гідроксиметил)акриламід (ЗШ) зі ступенем конверсії амідних груп 85–90 % отримують при модифікуванні поліакриламід у формальдегідом за методикою [7].

Методика одержання гідрогелів

Синтез гідрогелів проводили при змішуванні у заданих співвідношеннях форполімерів поліакриламід та полі-N-гідроксиметилакриламід у водному середовищі. Отриману композицію гомогенізували, доводили значення водневого показника рН до 2 введенням 10 % розчину сірчаної кислоти та прогрівали заданий час при температурі 343 К.

Методика одержання магнетиту

Для отримання магнетиту розчин 15 % суміші солей феруму (FeSO₄ і Fe₂(SO₄)₃) повільно додавали до 10-кратного за об'ємом надлишку водного розчину аміаку концентрацією 15 %, перемішували протягом 15 хв при температурі 35–40 °С та рН 9–10. У результаті отримували золь магнетиту, який осаджували в магнітному

полі. Отримані частинки магнетиту промивали дистильованою водою до рН=6,5. Одержаний осад сушили до постійної маси у вакуумі.

Гідрогелі, в об'ємі яких містилися солі феруму, для отримання в них магнетиту витримували в ексікаторі у парах аміаку протягом 1 доби і промивали дистильованою водою.

Молекулярну масу форполімерів розраховували за рівнянням Марка–Хаувінка [1] через характеристичну в'язкість зразків синтезованого ПАА у воді, яку визначали за методикою [2] за допомогою віскозиметра Уббелодє при 293 К.

Методика дослідження набрякання

Рівноважний ступінь набрякання визначали при 293 К у дистильованій воді через 10 діб. Для вимірювання кількості абсорбованої води зразок гідрогелю поміщали в прилад Догадкіна і проводили визначення за методикою [3]. Розрахунок ступеня набрякання S_{max} проводили за рівнянням:

$$S_{\max} = \frac{m_t - m_0}{m_0},$$

де m_t – маса набряклого зразка гідрогелю в момент часу t, m₀ – маса сухого полімеру.

Результати досліджень та їх обговорення

У попередніх роботах нами було показано можливість створення гідрогелів спеціального призначення методами радикальної кополімеризації акриламід у, а також методом конденсації через структурування попередньо синтезованих форполімерів поліакриламід і активного полімерного структуруючого агенту полі-N-гідроксиметилакриламід. Було синтезовано гідрогелі із заданими параметрами набрякання, прищеплені до полімерної поверхні, мікропористі гідрогелі з регульованими розмірами пор та покращеними фізико-механічними властивостями, а також гідрогелі, наповнені частинками полістиролу [4–7].

Розроблення методу синтезу форполімерів акриламід із керованим ступенем полімеризації (молекулярною масою 20–300 кДа) дало можливість при їх конденсації отримувати гідрогелі з вмістом гелеутворюючого полімеру до 20 % та заданим балансом їх властивостей.

Синтезували гідрогелі з використанням поліакриламід з ММ 40 кДа і полі-N-гідроксиметилакриламід з ММ=60 кДа. Вміст добавок солей або магнетиту в гелеутворюючій

композиції 2,5 %. Оскільки відомо, що внесення в систему дисперсних добавок чи розчинних у воді солей навіть у невеликих кількостях може впливати на процеси гелеутворення і, відповідно, на характеристики отриманих гідрогелів, насамперед оцінювали зміну їх властивостей при синтезах у присутності заданих кількостей добавок. У попередніх дослідженнях було встановлено, що мінімальне співвідношення форполімерів, при якому утворюється тривимірна сітка гідрогелю, становить як 1 (поліакриламід) до 0,35 (зшивач) відповідно, та їх сумарній концентрації 20 %. Саме ці умови було обрано для встановлення впливу добавок неорганічної природи на процеси гелеутворення та характеристики композитних гідрогелів.

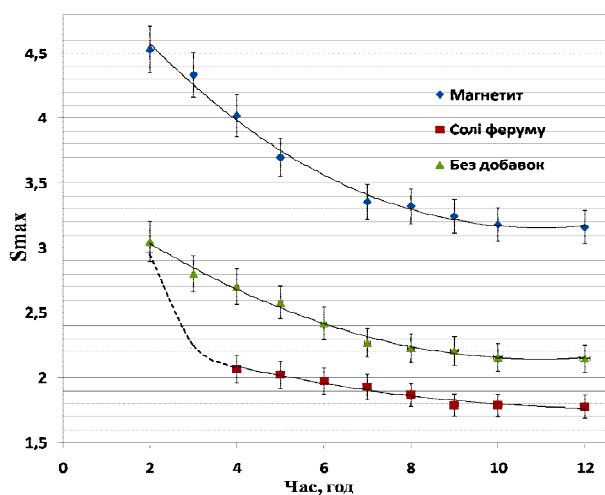


Рис. 1. Значення рівноважного ступеня набрякання S_{max} гідрогелю, отриманого при поліконденсації форполімерів при співвідношенні ПАА:ЗШ 1:0,35 у присутності магнетиту (2,5 %), прекурсорів магнетиту (2,5 %) і без добавок залежно від часу структурирування

Динаміку структурирування форполімерів і вплив введених в композицію солей феруму (прекурсорів) і магнетиту вивчали, вимірюючи ступінь набрякання у воді гідрогелів, які отримували за різного часу структурирування.

З наведених залежностей рівноважного ступеня набрякання гідрогелів, отриманих реакцією конденсації, можна зробити висновок, що добавки мають неоднозначний вплив на ступінь набрякання гідрогелю (рис.1). З характеру отриманих кривих та порівняння їх між собою видно, що введення прекурсорів магнетиту (солей феруму) збільшує ступінь

структурирування форполімерів у такій системі. Це супроводжується зменшенням рівноважного ступеня набрякання практично у 1,5 разу порівняно з гідрогелем без добавок. Проте в цьому випадку динаміка структурирування композиції змінюється не так однозначно. Гідрогелі, які отримані при часі прогрівання до 3 годин, проявляють ознаки необмеженого набрякання і в результаті розчиняються у воді. Можна припустити, що із введенням солей і збільшенням іонної сили розчину конформація макромолекул стає менш розгорнутою, що відповідно зменшує доступність реакційноздатних груп для конденсації на початковому етапі реакції. Надалі із перебігом структурирування відбувається суттєве зростання величини макромолекул і збільшення імовірності утворення міжмолекулярних зв'язків. Цей чинник на пізніх стадіях уже суттєвого впливу не має, а, навпаки, сприяє утворенню більшої кількості зв'язків між компактними макромолекулами, що проявляється у зменшенні ступеня набрякання.

Введення гетерофази у вигляді частинок магнетиту, як і слід було очікувати, також впливає на динаміку формування гідрогелю порівняно з формуванням гідрогелю без добавок (рис. 1). Видно, що хоча із введенням частинок гелеутворення відбувається уже на другу годину проведення реакції, але загалом спостерігається зменшення ступеня структурирування гідрогелю (збільшення ступеня його рівноважного набрякання порівняно з гідрогелем без додатків). Це можна пояснити просторовими перешкодами, які створюються частинками магнетиту і не дозволяють реалізувати весь потенціал реакційноздатних груп макромолекул за цих умов.

Під час структурирування понад 10 год в усіх випадках отримані гідрогелі – як композитні з магнетитом чи прекурсором, так і без додатків – характеризуються значеннями рівноважного набрякання, яке не змінюється із збільшенням тривалості прогріву. Це свідчить про завершення утворення всіх можливих зв'язків між макромолекулами форполімерів.

Отже, незважаючи на те, що введення додаткових компонентів по-різному впливає на структурирування гідрогелів, отриманих конденсацією форполімерів, встановлено, що у всіх досліджених умовах тривалість синтезу 12 год є

достатньою для отримання структури гідрогелю, яка уже не здатна змінюватися з погляду її здатності до набрякання.

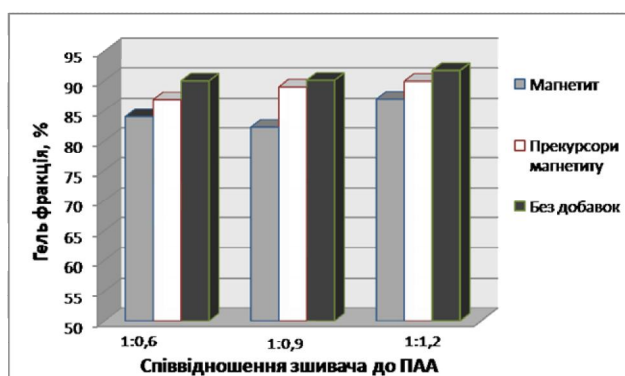


Рис. 2. Гель-фракція гідрогелів, отриманих при різних співвідношеннях форполімерів у присутності магнетиту, прекурсорів магнетиту і без добавок

Проведені дослідження золь-фракції гідрогелів, отриманих у цих умовах, демонструють, що введення в систему гелеутворення додатків, які не беруть участі в утворенні просторової полімерної сітки, зменшує гель-фракцію гідрогелю (до 55–60%), що свідчить про певне розбалансування у співвідношеннях форполімерів. Збільшення співвідношення форполімерів на користь зшивача закономірно підвищує вихід гель-фракції, і уже при співвідношенні 1 до 0,6 це значення становить 84%.

Разом з тим збільшення частки структуруючого форполімеру у гелеутворюючій композиції практично повністю нівелює вплив добавок на ступінь набрякання гідрогелів. Через 12 годин конденсації гідрогелі, синтезовані при співвідношеннях поліакриламід: полі-N-гідроксиметиленакриламід як 1:0,6, 1:0,9, 1:1,2 у присутності магнетиту або його прекурсорів дуже

мало відрізняються за рівноважним ступенем набрякання від їхніх аналогів без наповнювачів (рис. 2).

Можна вважати, що збільшення кількості полі-N-(гідроксиметил)акриламід у співвідношенні форполімерів хоча і приводить до загального зменшення ступеня набрякання, проте дає змогу отримувати композитні та ненаповнені гідрогелі, властивості яких не відрізняються.

Проведені дослідження показали, що оптимальними умовами реакції гелеутворення є температура 343К, концентрація 20% при співвідношенні форполімерів 1:0,6, за яких можна отримати гідрогелеві мікро- та наночастинки із магнітними властивостями.

Невисока в'язкість розчинів форполімерів акриламід, використаних для синтезу полімерної матриці гідрогелю у випадку з інкорпорованими наночастинками магнетиту, має значні переваги, проте має і недолік, який проявляється в тому, що за час формування гідрогелю частинки магнетиту осідають, і утворюються макрогелі, неоднорідні за товщиною. Одним із шляхів вирішення цієї проблеми є синтез гідрогелів у формі дисперсій мікрочастинок, які наповнені магнетитом. Обмеження об'єму гідрогелю через утворення нанореакторів у зворотних міцелах нівелює проблеми з осіданням частинок магнетиту, проте накладає певні умови, які пов'язані з вибором середовища органічного розчинника, а також стабілізатора зворотної емульсії. Тому насамперед повинна має бути забезпечена стійкість наночастинок магнітних гідрогелів.

Таблиця 1

Результати вивчення стійкості емульсій II роду, стабілізованих сумішшю ПАР

№	Вміст водної фази (%)	Вміст в суміші емульгаторів, частка		ГЛБ суміші емульгаторів	Сумарна кількість емульгатора в олеофазі %	% відшарування емульсії (год)
		Span 80	Tween 40			
1	20	0,8	0,2	6,8	5	20
2	20	0,85	0,15	6,25	5	15
3	20	0,89	0,11	5,81	5	10
	20	0,93	0,07	5,37	5	10
4	20	0,95	0,05	5,15	5	12
5	20	0,98	0,02	4,82	5	9

Дослідження емульсій, отриманих з розчину форполімерів у воді в різних органічних фазах (циклогексан, толуол, вазелінова олія), показало, що найоптимальнішим є використання суміші циклогексан:вазелінова олія у співвідношенні 40:60 відповідно (табл. 1). Для приготування емульсії у олеофазі розчиняли відповідну кількість емульгаторів і при інтенсивному перемішуванні в систему вносили розчин гелеутворюючої композиції у воді з доведеним до заданого значення рН (рН=2).

Для стабілізації вихідної емульсії при отриманні ПАА мікросфер використовують, як правило, неіоногенні ПАР (сорбітан моноолеат (СПАН), або суміші СПАНу з Полісорбатом (Твін) [8, 9, 10, 11, 12, 13]. Також як ПАР використовують тетрагліцерил рицинолеат [14], гексагліцерил пентаетер (РО 500), кополімер окису етилену і окису пропілену (лутрол F127) [15, 16]. Були спроби створити ПАА мікросфери на основі емульсій, що містять аніонний ПАР діоктилсульфосукцинат натрію (Na(AOT) [17].

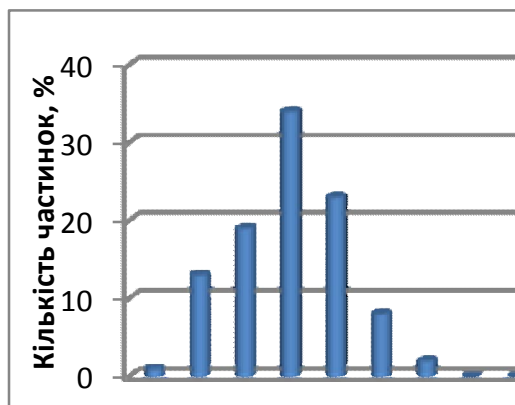


Рис. 3. Гістограма розподілу за розміром частинок дисперсії гідрогелю, наповнених солями феруму (2,5 %)

Попередніми дослідами з вивчення стабільності емульсій розчину форполімерів у воді в різного роду органічних фазах було встановлено, що ні Span 80, ні AOT не дають можливості отримувати стабільні дисперсії. Для забезпечення стабільності емульсії використовували індивідуальний стабілізатор (Span 80), з яким утворювались частинки (діаметром 2–18 мкм), але, крім того, в системі утворювались великі агрегати до 10 % (розміром до 2 мм), як видно на рис. 3.

Оскільки при використанні індивідуальних емульгаторів не вдавалось забезпечити стабільність зворотної емульсії у системі, яка розглядається (утворювалась доволі значна частка коагуляту) було проведено дослідження із використання суміші емульгаторів, яка, за літературними даними, часто виявляється ефективнішою.

Визначення стабільності 20 % зворотної емульсії показало, що в досліджуваному діапазоні співвідношень емульгаторів стабільні системи було отримано при використанні суміші Tween 40:Span 80 як 20:80.

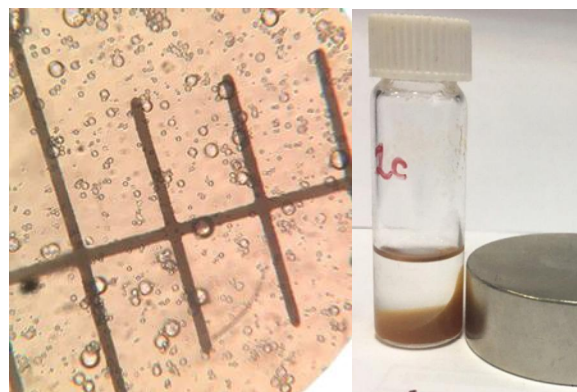


Рис. 4. Мікрофотографії частинок дисперсії гідрогелю, наповнених магнетитом (збільшення 250)

Синтез мікрогідрогелів проводили за температури 343 К при співвідношеннях компонентів у системі, вказаних у табл. 2. При синтезі частинок гідрогелю, наповненого магнетитом чи прекурсорами магнетиту, відповідні компоненти вводилися в водну фазу суміші форполімерів. За цих умов гідрогелі мали властивості, які були порівнянними із гідрогелями, отриманими при поліконденсації у блоці. Разом з тим магнетит в складі гелеутворюючої композиції під час структурування частинок гідрогелю зменшує їх стабільність (утворюється значна кількість коагуляту), тоді як частинки, отримані на основі композиції, яка містила солі феруму у водній фазі, зберігали стабільність.

Отримані дисперсії з частинками гідрогелю розміром 5÷10 мкм у стані максимального набрякання, які наповнені солями феруму, після обробки в парах аміаку проявляють магніточутливі властивості (рис. 4), що дозволяє легко вилучити їх з реакційного середовища.

Співвідношення компонентів при синтезі частинок гідрогелю в зворотніх емульсіях

Речовина	Завантаження базове, %	Завантаження з магнетитом, %	Завантаження з прекурсорами магнетиту, %
Олеофаза	84	84	80
Циклогексан	37	37	93
Вазелінова олія	55	55	–
Tween	2	2	–
Span	6	6	7
Водна фаза	16	16	20
ПАА	60	59	59
Полі-N-(гідроксиметил)акриламід	40	38,5	38
Частинки магнетиту	–	2,5	–
Прекурсор магнетиту (солі Феруму)	–	–	3

Висновки

Отже, встановлено умови для синтезу гетерогідрогелевого магніточутливого матеріалу. Встановлено, що використання гідрофільних форполімерів при конструюванні тривимірного каркаса гетерогідрогелю та зміна концентрації і розміру частинок дисперсної фази дозволяє цілеспрямовано регулювати його властивості. Визначено умови отримання гетерогідрогелю (концентрація та молекулярна маса форполімерів, при яких вміст дисперсної фази наповнювача не впливає на властивості гідрогелю), що дає можливість гнучко підходити до конструювання на їх основі дисперсних полімерних систем (гідрогелів) із заданими параметрами полімерної матриці та магнітними властивостями.

Такі гідрогелеві носії можуть знайти використання в процесах біотехнології.

Література

1. Van Krevelen, D.V. (1976). *Svoistva y khymicheskoe stroenye polymerov*, М., Khymiya, 413 p.
2. Toroptseva, A. M., Belohorodskaia, K. V., Bondarenko, V. M. (1972). *Laboratornyi praktikum po khimii i tekhnologii vysokomolekuliarnykh soedinenii*, L., Khimiia, 416 p.
3. Lavrova, Y.S. (1983). *Praktykum po kolloydnoi khimii*. Moskva, Vysshaia shkola, 216 p.
4. Tarnavchyk, I. T., Samaryk, V. Ya, Voronov, A. S., Varvarenko, S. M., Nosova, N. G., Kohut, A. M., Voronov, S. A. (2008). Formuvannia hidrohelei pryshcheplenykh do polimernoї poverkhni dlia biomedychnykh zastosovan. *Dopovidi NAN Ukrainy*, 8, 105-120.
5. Samaryk, V. Ya., Varvarenko, S. M., Tarnavchyk, I. T., Nosova, N. G., Puzko N. V.,

Voronov S. A. (2008). Formation of polymer nanolayers with special properties at Polymer surfaces. *Macromolecular Symposia*, 267, 113-117.

6. Tarnavchyk, I. T., Samaryk, V. Ya, Voronov, A. S., Varvarenko, S. M., Nosova, N. G., Kohut, A. M., Voronov, S. A. (2008). Formuvannia porystykh hidroheliv z reholovanyimi fizyko-mekhanichnyimi vlastyvostyami. *Dopovidi NAN Ukrainy*, 9, 101-113.

7. Samaryk, V. Ya, Varvarenko, S. M., Nosova, N. G., Fihurka, N. V., Musyanovych, A. V., Landfester, K. O., Popadyuk, N. Y., Voronov, S. A. (2017). Optical properties of hydrogels filled with dispersed nanoparticles. *Chem. Chem. Technol.*, 11(4), 449-453.

8. Shanmuganathan S., Shanmugasundaram, N., Adhirajan, N., Ramyaa Lakshmi, T. S., Babu, M.(2008). Preparation and characterization of chitosan microspheres for doxycycline delivery. *Carbohydrate Polymers*, 73, 201-211.

9. Jose, S., Fanguero, J. F., Smitha, J., Cinu, T. A., Chacko, A. J., Premaletha, K., Souto, E. B. (2012). Cross-linked chitosan microspheres for oral delivery of insulin: Taguchi design and in vivo testing. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 92, 175-179.

10. Rajesh R. Dubey, Rajesh H. Parikh. (2004). Two-Stage optimization process for formulation of chitosan microspheres. *AAPharmSciTech*, 5(1), Article 5.

11. Peng H., Xiong H., Li J., Xie M., Liu Y., Bai C., Chen L. (2010). Vanillin cross-linked chitosan microspheres for controlled release of resveratrol. *Food Chemistry*, 121(1), 23-28.

12. Rokhade, A. P., Shelke, N. B., Patil, S. A., Aminabhavi, T. M. (2007). Novel interpenetrating polymer network microspheres of chitosan and methylcellulose for controlled release of theophylline. *Carbohydrate Polymers*. 69(4), 678-687.

13. Saha, T. K., Ichikawa, H., Fukumori, Y. (2006). Gadolinium diethylenetriaminopentaacetic acid-loaded chitosan microspheres for gadolinium neutron-capture therapy. *Carbohydrate Research*, 341(17), 2835-2841.

14. Akamatsu, K., Ikeuchi, Y., Nakao, A., Nakao, S. (2012) Size-controlled and monodisperse enzyme-encapsulated chitosan microspheres developed by the SPG membrane emulsification technique. *Journal of Colloid and Interface Science*, 371, P. 46-51.
15. Wang L.-Y., Gu Y.-H., Su Z.-G., Ma G.-H. (2006). Preparation and improvement of release behavior of chitosan microspheres containing insulin. *International Journal of Pharmaceutics*, 311(1-2), 187-195.
16. Wei W., Ma G.-H., Wang L.-Y., Wu J., Su Z.-G. (2010). Hollow quaternized chitosan microspheres increase the therapeutic effect of orally administered insulin. *Acta Biomaterialia*, 6(1), 205–209;
17. El-Gibaly, I. (2002). Development and in vitro evaluation of novel floating chitosan microcapsules for oral use: comparison with non-floating chitosan microspheres. *International Journal of Pharmaceutics*, 249(1-2), 7-21.

M. I. Nahorniak, A. V. Voronovska, M. V. Yakoviv, O. V. Maikovych, S. M. Varvarenko
Lviv Polytechnic National University,
Department of organic chemistry

RECEIPT FEATURES OF POLYACRYLAMIDE HYDROGEL DISPERSIONS FILLED WITH MAGNETITE

In the article are showed the problems of introduction of magnetite nanoparticles into the hydrogel dispersions, which were created, based on the polyacrylamide. The formation of the polymeric framework of the hydrogel occur due to the balanced number of cross-linkings between polyacrylamide and poly-N-hydroxymethylacrylamide. The structure of polyacrylamide and poly-N-(hydroxymethyl) acrylamide were studied in the presence of magnetite and ferrum salts – magnetite precursor and were shown the influence of additives on the parameters of a three-dimensional grid of hydrogel. Moreover, the optimization of the composition and the study of the stability of the hydrogel composition in reverse emulsions were carried out. Based on the conducted research, the magnetic-sensitive material was synthesized in the form of hydrogel dispersions with incorporated magnetite particles.

Key words: polyacrylamide, poly-N-hydroxymethylacrylamide, hydrogels, dispersion, magnetite.