

*Досліджено закономірності одержання наповнених гідроксіапатитом пористих композиційних матеріалів на основі кополімерів метакрилових естерів з полівінілпіролідом. Встановлено вплив природи та кількості наповнювача, аргентуму нітрату, складу полімер-мономерної композиції на швидкість полімеризації та властивості композиційних матеріалів. Показано можливість одержання наночастинок срібла відновленням аргентуму нітрату третинним нітрогеном полівінілпіролідону під час формування композитів, що надає їм бактерицидні та фунгіцидні властивості*

*Ключові слова: пористі гідрогелі, полівінілпіролідон, наночастинки срібла, гідроксіапатит, бактерицидні та фунгіцидні властивості*

*Исследованы закономерности получения наполненных гидроксипатитом пористых композиционных материалов на основе сополимеров метакриловых эфиров с поливинилпирролидоном. Установлено влияние природы и количества наполнителя, нитрата серебра, состава полимер-мономерной композиции на скорость полимеризации и свойства композиционных материалов. Показана возможность получения наночастиц серебра восстановлением нитрата серебра третичным азотом поливинилпирролидона при формировании композитов, что придает им бактерицидные и фунгицидные свойства*

*Ключевые слова: пористые гелевые, поливинилпирролидон, наночастицы серебра, гидроксипатит, бактерицидные и фунгицидные свойства*

УДК 678.746.744

DOI: 10.15587/1729-4061.2014.27701

# ЗАКОНОМІРНОСТІ ОДЕРЖАННЯ ТА ВЛАСТИВОСТІ НАПОВНЕНИХ ГІДРОКСІАПАТИТОМ ПОРИСТИХ КОМПОЗИТІВ НА ОСНОВІ ПОЛІВІНІЛПІРОЛІДОНУ

**Н. Б. Семенюк**Кандидат технічних наук,  
старший науковий співробітник\*  
E-mail: natsemenyuk@yahoo.com**Г. Д. Дудок**Кандидат технічних наук,  
молодший науковий співробітник\*  
E-mail: galyna\_lukan@ukr.net**Т. В. Скорохода**Кандидат хімічних наук, асистент\*\*  
E-mail: vskorohoda@yahoo.com.**О. В. Суберляк**Доктор хімічних наук, завідувач кафедри\*  
E-mail: suberlak@polynet.lviv.ua

\*Кафедра хімічної технології переробки пластмас\*\*\*

\*\*Кафедра охорони праці\*\*\*

\*\*\*Національний університет "Львівська політехніка"  
вул. С. Бандери, 12, м. Львів, Україна, 79013

## 1. Вступ

Розроблення гідрогелевих композиційних матеріалів спеціального призначення є одним з пріоритетних і сучасних напрямків наукових досліджень в різних галузях науки і виробництва, у т. ч. у медицині, фармації, електроніці, де відчувається гостра потреба у нових полімерних композиційних матеріалах. На даний час гідрогелі, завдяки біотолерантності та можливості моделювати структуру тканин живого організму, ефективно застосовують у медичній практиці для виготовлення еластичних пористих імплантатів, замінників шкіри, офтальмологічних елементів (контактних та інтраокулярних лінз), ультрафільтраційних та діалізних мембран, систем контрольованого вивільнення ліків тощо [1, 2]. Однак у цілому ряді випадків, де гідрогелі ще могли б застосовуватись, вони не відповідають вимогам з погляду експлуатаційних властивостей. Це стосується, зокрема, формування на їхній основі ком-

позиційних матеріалів зі спорідненою до кісткової маси структурою для заміщення пошкоджених кісткових тканин, а також формування пористих гелів та матриць з регульованим розміром пор як носіїв біологічних субстанцій та фармакологічних засобів і т. п.

Можливим вирішенням проблеми надання гідрогелевим композиційним матеріалам потрібних властивостей є використання дрібнодисперсних наповнювачів різної природи розмірами від декількох нанометрів до десятків часток міліметра. Такі наповнювачі будуть активно впливати не лише на перебіг полімеризації, але й на структуру та властивості гідрогелевих матеріалів, що дасть змогу отримати нові матеріали та вироби на їхній основі.

## 2. Аналіз літературних даних і постановка проблеми

Однією з найважливіших проблем, з якою стикаються хірурги всього світу, є проблема регенерації

кісткової тканини внаслідок різних хірургічних втручань, проведення імплантологічного лікування, а також різних кістковопластичних операцій [3]. Для вирішення цих проблем переважно застосовуються різні вітчизняні і зарубіжні препарати, створені на основі гідроксіапатиту та трикальційфосфату, що містять хімічні елементи в таких же йонних формах, в яких вони знаходяться в живому організмі [4, 5]. Також у відновлювальній хірургії застосовуються препарати, виготовлені з натуральної кісткової тканини великої рогатої худоби. Однак у зв'язку з численними спалахами захворювань тварин, розвинуті країни останнім часом найбільший інтерес проявляють до синтетичних препаратів [6]. З іншого боку, якщо готують матеріали з природного гідроксіапатиту, то вони, зазвичай, досить крихкі і їхні міцнісні характеристики значно поступаються властивостям кістки [4].

Можливим способом усунення недоліків кальцій-фосфатних матеріалів є поєднання їх з полімерною матрицею, яка зможе зв'язати такі матеріали у єдину структуру, бажано пористу, і сприятиме ефективному проростанню кісткової тканини. Використання для таких цілей пористих полімер-мінеральних композитів на основі кальцій-фосфатних матеріалів, які за своїм складом наближені до складу кістки, і біосумісної полімерної матриці, зокрема, на основі кополімерів 2-гідроксіетилметакрилату (ГЕМА) та гліцидилметакрилату (ГМА) з полівінілпіролідом (ПВП) [7], дає змогу поєднати переваги кожного з них і позбутись притаманних їм індивідуальних недоліків.

Однак перебування композиційних матеріалів в організмі людини чи тварини дуже часто супроводжується запальними і відторгувальними процесами, що вимагає введення в організм лікарських препаратів, у т. ч. антибіотиків. Вирішення цієї проблеми частково може бути пов'язане із можливістю використання композитів, які містять мікро- або наночастинки срібла як матеріалів з фунгібактеріальними властивостями [8]. У цьому зв'язку обгрунтовано потребу введення до складу вихідних композицій солей аргентуму, які під час взаємодії з полімерною матрицею ПВП, яка містить третинний нітроген, дали б змогу отримати наночастинки срібла безпосередньо під час формування композиту без використання додаткових токсичних відновників.

### 3. Мета і задачі дослідження

Метою досліджень було розроблення нових композиційних пористих матеріалів з фунгібакцицидними властивостями на основі наповнених гідроксіапатитом (ко)полімерів метакрилових естерів з ПВП, які були б придатними для застосування у процесах заміщення кісткової тканини, дослідити вплив композиційного складу на закономірності формування та властивості композиційних матеріалів.

Для досягнення цієї мети необхідно було вирішити такі завдання:

1. Дослідити кінетичні закономірності полімеризації композицій та встановити вплив складу полімер-мономерної суміші та кількості наповнювача (гідроксіапатиту) на швидкість полімеризації.

2. Встановити вплив природи та кількості реагентів на формування пористої структури та властивості композитів.

3. Дослідити можливість одержання наночастинок срібла реакцією відновлення солей аргентуму полівінілпіролідом з метою надання композитам фунгібакцицидних властивостей.

4. Синтезувати експериментальні зразки композитів, дослідити їхню структуру та фунгібакцицидні властивості.

### 4. Матеріали і методи дослідження

Для досліджень використовували очищені перегонкою у вакуумі метакрилові мономерні торгові марки Bisomer – ГЕМА (залишковий тиск 130 Н/м<sup>2</sup>, T<sub>кип</sub>=351 К); ГМА (залишковий тиск 520 Н/м<sup>2</sup>, T<sub>кип</sub>=342 К). ПВП високої очистки з молекулярною масою 28·10<sup>3</sup> використовували торгові марки AppliChem GmbH; аргентуму нітрат використовували марки ч.д.а.; гідроксіапатит (ГА) Ca<sub>10-x</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>6</sub>(OH)<sub>2</sub> з розміром частинок 0,05...1,25 мкм синтезований на кафедрі хімічної технології силікатів НУ «Львівська політехніка». Кополімери отримували блоковою полімеризацією композицій за попередньо встановленими режимами [8]. Кінетику полімеризації вивчали за зміною кількості непрореагованого ГЕМА та ГМА в композиції [9]. Середній діаметр пор (d<sub>n</sub>) та показник полідисперсності (PDI) зразків визначали вимірюванням розмірів щонайменше 100 пор на мікроскопі МБС-9. Загальну пористість та густину композитів визначали за методом Манеголда, який описаний в [10].

Електронно-мікроскопічні дослідження зразків пористих композитів та дисперсій колоїдного срібла проводили з використанням трансмісійного електронного мікроскопу (ТЕМ) JEOL JEM 200 CX. Середній розмір частинок срібла визначений аналізом зображень мікрофотографій застосовуючи для обробки даних програму Atlas.

Фунгібакцицидні властивості композитних зразків досліджували на тест-культурах бактерій *Escherichia coli* HB 101 (*E. coli*) (кишкова паличка), *Staphylococcus aureus* (*S. aureus*) і цвільового гриба *Aspergillus niger* (*A. niger*) за стандартною методикою дифузії діючої речовини в агар на твердому поживному середовищі (м'ясо-пептонний агар – для бактерій, сусло-агар – для грибів). Діаметр зразків композиту 15 мм. Мікробне навантаження становило 10<sup>9</sup> КУО (колоніє утворюючих одиниць) в 1 мл. Тривалість інкубації бактерій 24 год за температури 35 °С, грибів – 48...72 год за 28 °С. Ступінь активності оцінювали за величиною діаметрів зон пригнічення росту тест-культур мікроорганізмів, вважаючи, що якщо діаметр 11...15 мм, то мікроорганізм малочутливий до препарату, якщо 16...25 мм – чутливий, а якщо більший за 25 мм – високочутливий.

### 5. Результати та їх обговорення

#### 5. 1. Дослідження кінетики полімеризації композицій

Структура і властивості полімерних матеріалів визначаються значною мірою умовами синтезу. З ме-

тою встановлення технологічних режимів синтезу пористих кополімерів метакрилових естерів з ПВП, вивчення впливу наповнювача та солей аргентуму на швидкість полімеризації здійснювали дослідження кінетики полімеризації композицій. Залежності приведені складу подані на рис. 1, 2.

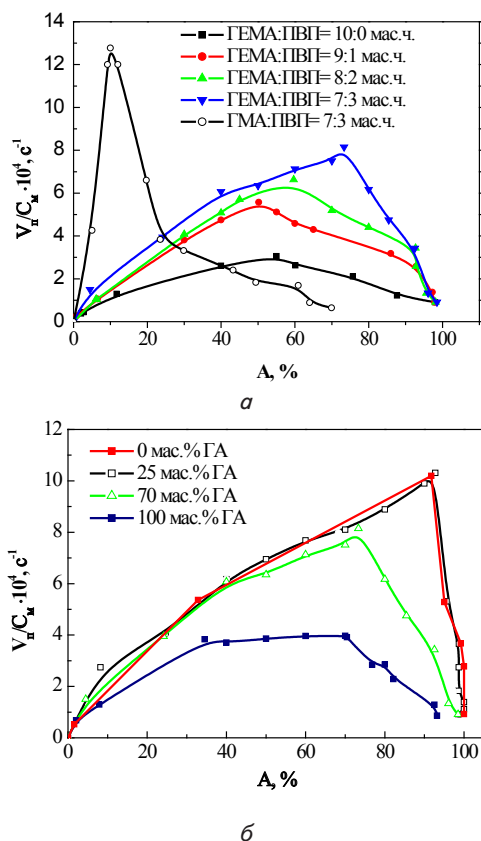


Рис. 1. Залежність приведені швидкості полімеризації ( $V_p/C_m$ ) від виходу полімеру (A).  $T=348\text{ K}$ ;  $[PB]=1\text{ мас. \%}$ :  
 а – залежно від співвідношення мономер: ПВП;  
 б – залежно від вмісту ГА

Як показали виконані дослідження, вплив ПВП на характер кінетичних кривих подібний до блокової, дисперсійної та полімеризації у розчині [11, 2, 12] – із збільшенням його кількості швидкість полімеризації зростає, а індукційний період практично відсутній. Причиною цього є матричний ефект з утворенням комплексу з перенесенням заряду між мономером та ПВП [13].

З метою порівняння реакційної здатності метакрилових естерів різної природи досліджували кінетику полімеризації композицій ПВП з ГЕМА та ГМА у присутності ГА з розміром частинок 0,1...0,2 мм. Виявлено, що швидкість полімеризації композицій гідрофобного ГМА на початкових стадіях суттєво вища (рис. 1, а), ніж у разі ГЕМА, що добре корелює з кінетичними дослідженнями дисперсійної полімеризації цих же мономер-полімерних композицій [2] без наповнювача. На перебіг полімеризації впливає і ГА. Композиції, які містять ГА у кількості понад 70 мас. %, відзначаються меншою реакційною здатністю порівняно з композиціями без наповнювача.

Після додавання до композиції  $AgNO_3$  швидкість полімеризації зменшується (рис. 2, кр. 2). Отримані результати добре узгоджуються з кінетичними дослідженнями гомогенної полімеризації в блоці і в розчині композицій ГЕМА-ПВП у присутності солей аргентуму [11], що може бути наслідком резонансної стабілізації радикалів на нітрат-іонах.

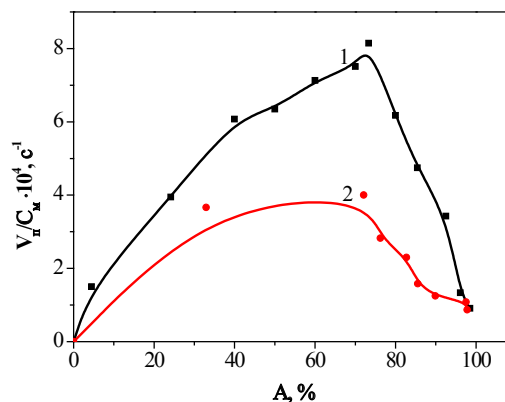


Рис. 2. Залежність приведені швидкості полімеризації ( $V_p/C_m$ ) від виходу полімеру (A), залежно від вмісту аргентуму нітрату  $AgNO_3$ .  
 $[ГЕМА:ПВП:ПЕГ-1500] = 7:3:2\text{ мас. ч.}$ ;  $T= 348\text{ K}$ ;  
 $[PB]=1\text{ мас. \%}$ ;  $[ГА]=70\text{ мас. \%}$  від полімер-мономерної композиції;  $[AgNO_3],\text{ мас. \%}$ : 1 – 0; 2 – 1,5

### 5. 2. Дослідження впливу складу вихідних композицій на формування пористої структури та властивості композитів

Однією з основних вимог до біопластичних матеріалів є наявність наскрізної пористої структури із регульованими розмірами мікро- та макропор, яка необхідна для проростання імплантаційного композиту кістковою тканиною. У зв'язку з цим в роботі на першому етапі досліджували вплив природи потенційних пороутворювачів на формування пористої структури та умовну густину композитів. Ефективними пороутворювачами за результатами попередніх досліджень [8] виявлені циклопентан, амонію карбонат та натрію гідрокарбонат. Циклопентан формує пори під час випаровування, амонію карбонат та натрію гідрокарбонат – внаслідок розпаду і виділення діоксиду карбону під час нагрівання композиції. Як найефективніший пороутворювач у подальших дослідженнях використовували циклопентан.

Величина пористості суттєво залежить від кількості наповнювача (ГА) (табл. 1).

Під час затвердження композиції без ГА отримати пористий матеріал не вдалося навіть за оптимальної кількості пороутворювача. У даному випадку, на наш погляд, спінування відбулось ще до того часу, коли композиція почала інтенсивно тверднути. У той же час, у досліджуваному інтервалі концентрацій спостерігається зменшення пористості матеріалу із збільшенням вмісту наповнювача. Найоднорідніший пористий матеріал із найменшою умовною густиною вдалося сформувані за вмісту ГА у композиції 70 мас. %. Додавання аргентуму нітрату мало впливає на загальну пористість матеріалу, хоча показник полідисперсності і середній розмір пор зростає.

Таблиця 1

Вплив кількості наповнювача на властивості композитів  
(ГЕМА:ПВП:ПЕГ-400=7:3:2 мас. ч.,  
циклопентан — 10 мас. %, [ПБ]=1 мас. %)

№ з/п	Кількість ГА, мас.%	Пористість, %	$d_p$ , мм	PDI	Умовна густина композиту, кг/м <sup>3</sup>
1.	0	Пори не утв.	—	—	—
2.	25	90,1	1,19	1,99	990
3.	50	80,4	1,20	1,98	611
4.	70	67,4/66,4	0,94/1,58	1,27/1,32	419
5.	100	67,3	1,41	1,76	553
6.	150	38,9	0,46	1,69	1106

Примітка: у знаменнику для композиції, яка містить додатково 1 мас. %  $AgNO_3$

Оскільки під час отвердження композиції без гідроксипатиту отримати спінений матеріал не вдалося навіть за наявності оптимальної кількості спінювального агента, а також з метою стабілізації піни після спінування композиції досліджували вплив природи і кількості стабілізатора піни на властивості композитів. Як стабілізатори піни були використані желатин, полівініловий спирт (ПВС), гліцерин та поліетиленгліколь ПЕГ-1500 (табл. 2).

Таблиця 2

Вплив природи стабілізатора піни на властивості спієних композитів  
(ГЕМА:ПВП=7:3 мас. ч., [ГА]=70 мас. %, T=353 K)

№ з/п	Стабілізатор піни	Вміст стабілізатора, мас.%	Пористість, %	$d_p$ , мм	PDI	Умовна густина композиту, кг/м <sup>3</sup>
1	желатин	50	65,4	2,74	1,59	594
2		70	76,7	2,39	1,70	582
3	ПВС	20	59,7	1,78	2,39	795
4		50	61,2	2,12	1,62	854
5	гліцерин	70	68,3	1,87	1,94	748
6		20	56,6	1,74	2,08	478
7	гліцерин	50	83,0	2,64	1,61	453
8		70	65,3	2,24	1,78	383
9	ПЕГ-1500	20	59,4	1,77	1,44	663
10		50	75,2	2,01	1,51	590
11	(1:1 мас.ч.)	70	61,1	1,76	1,88	622
12	ПЕГ-1500	20	67,0	0,87	1,32	678
13		15	55,6/56,5	2,14/2,37	1,84/2,48	740/813

Примітка: у знаменнику для композиції, що додатково містить 5 %  $AgNO_3$

Найбільша пористість спостерігається у випадку використання гліцерину з вмістом 50 мас. %. У випадку ПВС із збільшенням його вмісту у композиції загальна пористість композитів зростає.

На рис. 3 подані фотографії наповнених ГА композитів, які підтверджують наявність у них розвинутої мікро- та макропористої структури, що передбачає ефективне проростання композиту кістковою тканиною.

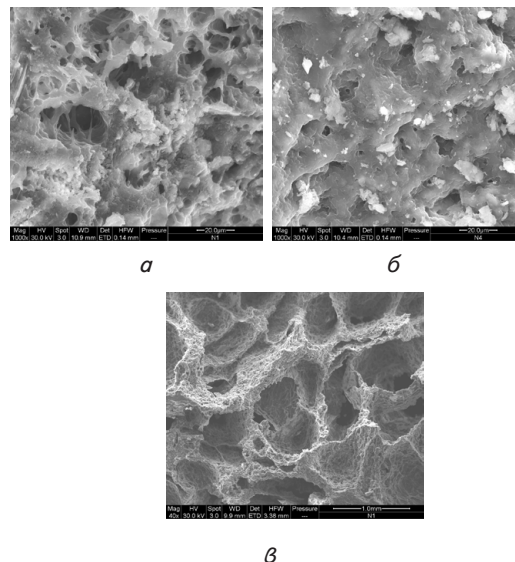


Рис. 3. Фотографії структури наповненого композиту на основі ГЕМА-ПВП. Вміст наповнювача ГА — 70 мас. % від мономер-полімерної композиції: а — фотографії мікропористої структури, ГЕМА:ПВП=60:40 мас. ч.; б — фотографії мікропористої структури, ГЕМА:ПВП=90:10 мас. ч.; в — фотографії макропористої структури, ГЕМА:ПВП=60:40 мас. ч.

### 5. 3. Одержання наночастинок срібла та дослідження фунгібактерицидних властивостей наповнених пористих композитів

З метою надання композитам антибактеріальних властивостей отримували наночастинок срібла (рис. 4) у формі багатограників розміром від 10 до 60 нм реакцією відновлення аргентуму нітрату третинним нітрогеном ПВП. Реакцію здійснювали у темряві як у водному та водно-спиртовому середовищі, так і під час формування композиту.

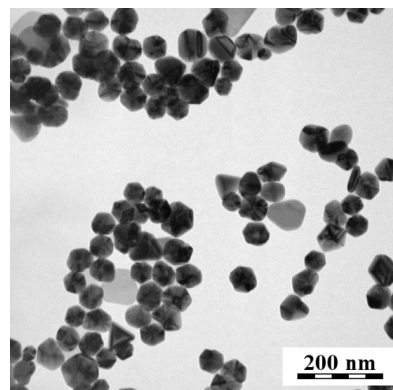


Рис. 4. ТЕМ фото наночастинок срібла. ( $[AgNO_3]:[ПВП]=1:10$  мас.ч., 348 К, тривалість реакції 1 год)

Ступінь завершеності реакції відновлення, яку оцінювали за методикою [13], за умов, які подані в підписі до рис. 4, через 1 год. складає 85 %. Підтвердженням утворення срібла за даною реакцією є наявність в УФ спектрі піку в області  $\approx 430...440$  нм (рис. 5).



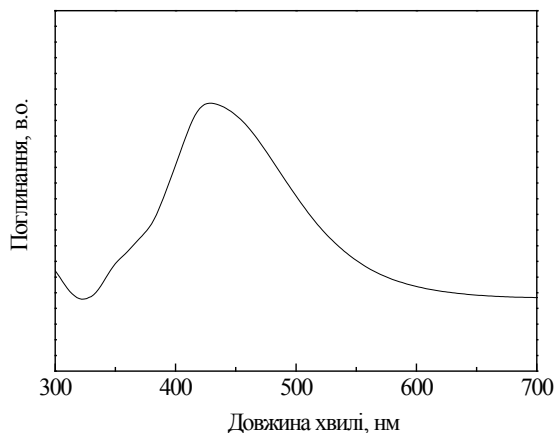


Рис. 5. Фрагмент УФ спектра розчину продуктів взаємодії AgNO<sub>3</sub> з ПВП

Композити, які містять у вихідній композиції ПВП та солі аргентуму, під час синтезу змінюють своє забарвлення з слабо жовтого на коричневе, що теж є непрямим підтвердженням утворення наночастинок срібла під час взаємодії аргентуму нітрату з третинним нітрогеном ПВП. Такий спосіб має беззаперечні переваги над відомими, за якими наночастинок та гідрогелі готують окремо, або коли гідрогель насичують солями аргентуму і витримують у розчині токсичного відновника, чи коли наночастинок срібла отримують відновленням аміновмісним метакриловим мономером з подальшою кополімеризацією його з іншими мономерами [7]. Окрім того, відпадає потреба у використанні в багатьох випадках токсичних аміновмісних відновників.

Для підтвердження можливого практичного застосування розроблених срібловмісних композитів у біомедицинській галузі виконані дослідження їх бактерицидних та фунгіцидних властивостей. Результати досліджень подані в табл. 3.

Одержані композити проявляють високу бактерицидну та фунгіцидну активність щодо модельних мікроорганізмів грамнегативних бактерій *Escherichia coli* НВ 101, грампозитивних *Staphylococcus aureus* та цільового гриба *Aspergillus niger*.

Таблиця 3

Фунгібактерицидна активність срібловмісних композитів

Склад вихідної композиції для синтезу композиту	Діаметр зони затримки росту, мм (%)		
	<i>E. coli</i>	<i>S. aureus</i>	<i>A. niger</i>
ГЕМА:ПВП:ГА:AgNO <sub>3</sub> = 7:3:7:0,6 мас.ч.	24,4 (60)	26,0 (73)	20,0 (33)

7. Висновки

1. Кінетичними дослідженнями полімеризації наповнених гідроксіапатитом композицій метакрилових естерів та ПВП встановлено, що ПВП прискорює, а гідроксіапатит сповільнює полімеризацію. На швидкість полімеризації суттєво впливає природа метакрилового мономера – у випадку використання гідрофобного ГМА, швидкість полімеризації, особливо на початкових стадіях, значно більша порівняно з композиціями на основі ГЕМА.

2. Виявлено, що гідроксіапатит активно впливає на формування пористої структури та властивості композитів. Без гідроксіапатиту отримати спінений матеріал не вдалося, навіть за наявності оптимальної кількості спінюючого агента. Встановлено, що оптимальним стабілізатором піни є гліцерин, у присутності якого досягається найбільша пористість композитів.

3. Обґрунтовано і реалізовано на практиці одержання наночастинок срібла хімічною взаємодією солей аргентуму з третинним нітрогеном без використання токсичних відновників. Утворення срібла підтверджено УФ спектроскопією, хімічним аналізом та трансмісійною електронною мікроскопією.

4. Електронно-мікроскопічними дослідженнями підтверджено наявність у розроблених композитах розвинутої мікро- та макропористої структури. Виявлено бактерицидну та фунгіцидну активність композитів щодо модельних мікроорганізмів грамнегативних бактерій *Escherichia coli* НВ 101, грампозитивних *Staphylococcus aureus* та цільового гриба *Aspergillus niger*.

Література

1. Павлюченко, В. Н. Композиционные полимерные гидрогели [Текст] / В. Н. Павлюченко, С. С. Иванчев // Высокомолекулярные соединения. – 2009. – №7, Т. 51. – С. 1075-1095.
2. Suberlyak, O. Regular trends in synthesis of sorption-active granular copolymers of methacrylic acid esters with polyvinylpyrrolidone [Text] / O. Suberlyak, N. Semenyuk, G. Dudok, V. Skorokhoda // Russian Journal of Applied Chemistry. – Vol. 85, № 5. – P. 830–838. doi:10.1134/s1070427212050254.
3. Hasegawa, S. In Vivo Evaluation of Porous Hydroxyapatite/Poly D/L-lactide Composite for Bone Substitutes and Scaffolds [Text] / S. Hasegawa, J. Tamura, M. Neo, S. Fujibayashi, K. Goto, Y. Shikinami, K. Okazaki et al. // KEM. Trans Tech Publications. – 2006. – Vol. 309-311. – P. 1311–1314. doi:10.4028/www.scientific.net/kem.309-311.1311.
4. Chen, F. Biocompatibility of electrophoretical deposition of nanostructured hydroxyapatite coating on roughen titanium surface: in vitro evaluation using mesenchymal stem cells [Text] / F. Chen, W. M. Lam, C. J. Lin, G. X. Qiu et al. // J Biomed Mater Res B Appl Biomater. – 2007. – Vol. 82. – P. 183-191. doi:10.1002/jbm.b.30720.
5. Oliveira, J. M. Dendrimers and derivatives as a potential therapeutic tool in regenerative medicine strategies [Text] / J. M. Oliveira, A. J. Salgado, N. Sousac et al. // Progress in Polymer Science. – 2010. – Vol. 35, № 9. – P. 1163–1194. doi:10.1016/j.progpolymsci.2010.04.006.
6. Маланчук, В. О. Наномедицина та нанобіотехнології: застосування наноматеріалів у стоматології, хірургічній стоматології, черепно-щелепно-лицевій, пластичній хірургії та дентальній імплантації [Текст] / В. О. Маланчук, І. С. Чекман,

- А. В. Рибачук // Науковий вісник Національного медичного університету імені О. О. Богомольця. – 2010. – №1. – С. 169-179.
7. Гресь, О. В. Композити на основі акрилатних кополімерів і частинок срібла [Текст] / О. В. Гресь, Є. В. Лебедєв, В. О. Климчук, В. Ф. Матюшов, С. В. Головань // Український хімічний журнал. – 2009. – Т.75, №5. – С. 55-59.
  8. Семенюк, Н. Наповнені гідроксіапатитом композиційні полімерні матеріали для заміщення кісткової тканини [Текст] / Н. Семенюк, О. Сірий, О. Галишин, І. Солоха, В. Скорохода // Вісник НУ “Львівська політехніка”. Хімія, технологія речовин та їх застосування. – 2010. – № 667. – С. 452–455.
  9. Селякова, В. Методи аналізу акрилатів і метакрилатів [Текст] / В. Селякова, Ю. Кашеварова. – М.: Хімія, 1982. – 170 с.
  10. Дубяга, В. П. Полимерные мембраны [Текст] / В. П. Дубяга, Л. П. Перепечкин, Е. Е. Каталевский. – М.: Хімія, 1981. – 232 с.
  11. Suberlyak, O. Complex PVP-Me<sup>n+</sup> – active catalyst of vinyl monomers polymerization [Text] / O. Suberlyak, V. Skorokhoda, O. Grytsenko // Mat. polimerowe i ich przetworstwo. – Wyd. politechniki Czestohowskiej, 2004. – P. 140-145.
  12. Skorokhoda, V. Matrix polymerization of 2-hydroxyethylmethacrylate in the presence of polyvinylpyrrolidone in permanent magnetic field [Text] / V. Skorokhoda // Chemistry & Chemical Technology. – 2010. – V. 4, №3. – P. 191-196.
  13. Пятницкий, И. В. Аналитическая химия серебра [Текст] / И. В. Пятницкий, В. В. Сухан. – М.: Наука, 1975. – 264 с.

УДК 666.291:533.9  
DOI: 10.15587/1729-4061.2014.27705

# ПОЛУЧЕНИЕ НАНОДИСПЕРСНЫХ ЖЕЛЕЗОСОДЕРЖАЩИХ ПИГМЕНТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОНТАКТНОЙ НЕРАВНОВЕСНОЙ ПЛАЗМЫ

**А. А. Пивоваров**  
Доктор технических наук, профессор\*  
E-mail: apivo@fm.ua

**Л. А. Фролова**  
Кандидат технических наук, доцент\*  
E-mail: domosedii@i.ua

**Е. Г. Цепич**  
Аспирант\*

**М. И. Воробьева**  
Ассистент\*

\*Кафедра технологии неорганических  
веществ и экологии  
Украинский государственный химико-  
технологический университет  
пр. Гагарина, 8, г. Днепропетровск, Украина, 49005  
E-mail: Rita-vorobyova@yandex.ru

*В роботі показано ефективність використання контактної нерівноважної низькотемпературної плазми для одержання нанодисперсних пігментів різної кольорової гами. Встановлено вплив початкового значення рН, часу обробки та електричних параметрів плазмохімічної установки на основні технологічні властивості пігментів. Досліджено кольорові характеристики одержаних продуктів. Визначено їх фазовий склад*

*Ключові слова: пігменти, магнетит, гетит, одержання, контактна нерівноважна низькотемпературна плазма*

*В работе показана эффективность использования контактной неравновесной низкотемпературной плазмы для получения нанодисперсных пигментов разной цветовой гаммы. Установлено влияние начального значения рН, времени обработки и электрических параметров плазмохимической установки на основные технологические свойства пигментов. Исследованы цветовые характеристики полученных продуктов. Определен их фазовый состав*

*Ключевые слова: пигменты, магнетит, гетит, получение, контактная неравновесная низкотемпературная плазма*

## 1. Введение

С развитием цивилизации спектр областей применения железоксидных пигментов значительно расширился. Сегодня синтетические оксиды являются

наибольшей группой цветных пигментов по объемам потребления. Оксиды и оксигидрооксиды железа одни из наиболее распространенных типов неорганических пигментов. Оксиды железа долговечны, экономичны, не оказывают влияние на окружающую среду,