

Залежність активності зразків Се-5К, Се-7К, Се-9К і нано- CeO_2 від рН екстремальна з максимумом при рН 9,5–10. Каталазоподібна активність вивчених матеріалів у перерахунку на 100 % вміст оксиду церію корелює з дисперсністю часток нанооксиду та поверхневими дефектами, оціненими за відношенням $I_{UVSCe^{4+}}/I_{UVSCe^{3+}}$. Таким чином, синтезовані нанокомпозити є ефективними каталізаторами і можуть бути використані в біотехнології та медицині для розкладання пероксидних сполук.

Ключові слова: каолін, нанорозмірний оксид церію, каталазоподібна активність, пероксиду водню розкладання.

Матеріал надійшов 11.01.2016

УДК 678.674:616-089.843

Руденчик Т. В., Рожнова Р. А., Галатенко Н. А., Кісельова Т. О.

ВЛАСТИВОСТІ КОПОЛІМЕРІВ НА ОСНОВІ ОЛІГООКСИПРОПІЛЕНФУМАРАТУ, ДИМЕТАКРИЛАТ ТРИЕТИЛЕНГЛІКОЛЮ ТА N-ВІНІЛПРОЛІДОНУ/СТИРОЛУ

Синтезовано кополімери на основі олігооксипропіленфумарату (ООПФ), диметакрилат триетиленгліколю (ТГМ-3) та N-вінілпіролідону (ВП) та кополімери на основі ООПФ, ТГМ-3 і стиролу (СТ) за різного вмісту ВП і СТ. Досліджено структуру синтезованих кополімерів та виявлено вплив ВП і СТ на їхні фізико-механічні та теплофізичні властивості. Встановлено, що потрібні кополімери зі стиролом мають більші показники модуля пружності при стисненні в порівнянні з кополімерами з ВП.

Ключові слова: олігооксипропіленфумарат, N-вінілпіролідон, стирол, кополімер.

Вступ

Завдяки біосумісності та здатності до біодеградації ненасичені олігоестери широко використовують при створенні полімерів медичного призначення [1–5].

До широко застосовуваних ненасичених олігоестерів при створенні матеріалів медичного призначення належать поліпропіленфумарати (ППФ), які отримують на основі діетилфумарату та 1,2-пропандіолу [2]. Наявність ненасиченого подвійного зв'язку забезпечує здатність ППФ

утворювати монолітні зшиті структури, тоді як присутність естерних груп надає здатності до гідролітичної біодеградації з утворенням біосумісних фрагментів.

Введенням до структури зшитої полімерної системи на основі ППФ різних за властивостями компонентів можна отримувати полімерні матеріали різного медичного призначення з покращеними властивостями.

Відома зшита полімерна матриця на основі ППФ та діетилфумарату, отримана під дією УФ-опромінення з використанням фотоініціатора

оксиду бис(2,4,6-триметилбензоїл)фенілфосфіну, яка запропонована для використання як основа при створенні імплантатів кісткової тканини [2]. Незначна кількість діетилфумарату в структурі зшитої системи покращує її експлуатаційні характеристики, зокрема надає підвищеної механічної міцності.

На основі ППФ і N-вінілпіролідону (ВП), а також ППФ і β -трикальційфосфату за різного співвідношення компонентів розроблено біосумісні та біодеградабельні композиційні матеріали з фізико-механічними властивостями, які відповідають вимогам до матеріалів, що можуть бути використані в ортопедії як кістковий цемент [4].

Завдяки високій гідрофільності та низькій токсичності як модифікатор властивостей полімерних матеріалів медичного призначення застосовує на увагу ВП [6].

ВП та його кополімери використовують як основу при створенні полімерних лікарських форм пролонгованої дії [7–9]. Модифікація ППФ N-вінілпіролідонм підвищує біосумісність, гідрофільність і як наслідок – спорідненість розробленого матеріалу до тканин організму [7].

Враховуючи здатність гарно розчиняти ненасичені естери та вступати з ними в реакцію кополімеризації з великою швидкістю [10; 11], стирол можна використовувати для створення кополімерів медичного призначення.

Так, кополімеризацією естерів на основі гліколю спіроацеталевої структури з такими мономерами, як стирол, метилметакрилат і диметакрилат триетиленгліколю (ТГМ-3), отримано полімери тривимірної структури з гарною стійкістю до лужних розчинів, підвищеною твердістю і теплостійкістю та гарною адгезією [12].

Авторами [13] шляхом кополімеризації модифікованих циклопентадіеном олігоалкіленмалеїнатфумаратів із ТГМ-3 і стиролом при термо- та радіаційно-хімічному ініціюванні реакції, а також УФ-опроміненні із використанням ініціатора пероксиду бензоїлу отримано полімерні матеріали для використання в медицині.

Таким чином, виходячи із зазначеного вище, роботи в галузі створення нових полімерних матеріалів на основі олігоестерів та ненасичених мономерів різної природи залишаються актуальними і на сьогодні.

Раніше нами було отримано кополімери на основі олігооксипропіленфумарату (ООПФ), олігомеру ТГМ-3 та реакційноздатного мономера ВП методом термоотверднення за різного співвідношення ТГМ-3 і ВП. При введенні в структуру кополімерів ВП спостерігалось

підвищення міцності при розриві, відносного подовження та водопоглинання [14].

Проте актуальним завданням залишається дослідження впливу структури кополімерів при варіюванні вмісту мономерів на їхні властивості з метою вибору оптимального складу полімерів зшитої структури як основи для створення біологічно активних матеріалів як імплантатів кісткової тканини.

Тому метою роботи є синтез ряду кополімерів на основі ООПФ, ТГМ-3 і ВП та кополімерів на основі ООПФ, ТГМ-3 і СТ за різного вмісту ВП і СТ у їхньому складі, а також встановлення особливостей структури отриманих кополімерів, їхніх фізико-механічних і теплофізичних властивостей.

Матеріали та методи

Матеріали. Для створення кополімерів було використано: синтезований методом високотемпературної поліестерифікації [13] олігооксипропіленфумарат (ООПФ) (ММ = 2500), осушений у потоці сухого аргону протягом 8 годин (1–3 мм рт. ст., 80 °С); диметакрилат триетиленгліколю (ТГМ-3) (ММ = 286,20), перегнаний у вакуумі (87 °С, 0,05 кПа); N-вінілпіролідон (ВП) (ММ = 111,16; $n_D^{20} = 1,045$), очищений двократною вакуумною перегонкою (1,5 мм рт. ст., 66 °С); стирол (СТ) (ММ = 104,15; $\rho = 0,906$ г/см³ (20 °С)), перегнаний у вакуумі (2,4 кПа, 60 °С); N,N-диметиланілін (ДМА) (ММ = 121,2; $\rho = 0,9557$ г/см³ (20 °С); $n_D^{20} = 1,55819$) та пероксид бензоїлу (ПБ) (ММ = 242,23; $n_D^{20} = 1,3340$) без додаткового очищення.

Метод синтезу. Синтез кополімерів здійснювали методом термоотверднення за механізмом радикальної полімеризації, яка ґрунтується на активації та розкритті подвійних зв'язків, за методикою, описаною в роботі [14].

Методи досліджень. Структуру синтезованих полімерів досліджували методом ІЧ-спектроскопії на ІЧ-спектрометрі з перетворенням Фур'є «Tensor-37» у діапазоні спектра 650–4000 см⁻¹ методом порушеного повного внутрішнього відображення (ППВВ). Віднесення смуг поглинання зроблено відповідно до [15].

Фізико-механічні характеристики, а саме модуль пружності при стисненні (E , МПа), досліджували методом випробування на стиснення згідно з ГОСТ 23206 на розривній машині Р-5 зі швидкістю переміщення активних захватів 10 мм/хв. Цей показник обчислювали за формулами:

$$E = \frac{\Delta P}{S} \cdot \frac{h_0}{\Delta h},$$

$$S = \frac{\pi \cdot 14^2}{4},$$

де ΔP – навантаження, кН; S – площа поперечного перерізу, мм²; h_0 – висота зразків до випробування, мм; Δh – деформація зразків при навантаженні, мм.

Теплофізичні властивості, такі як температура склування та стрибок теплоємності при склуванні тривимірних систем, вивчали методом диференціальної сканувальної калориметрії в діапазоні температур від -90 до $+200$ °С (прилад TA Instrument Q2000) зі швидкістю нагрівання 20 °С/хв.

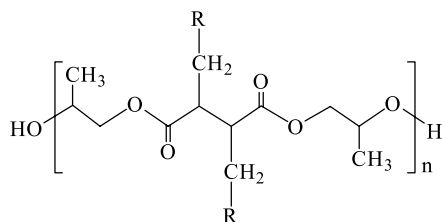
Результати та їх обговорення

Задля вибору оптимального складу отримано ряд кополімерів на основі ненасичених олігомерів (ООПФ і ТГМ-3) та мономерів (ВП і СТ) за різного вмісту ВП і СТ. Співвідношення компонентів наведено в табл. 1.

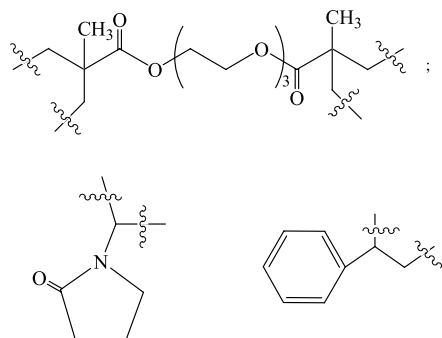
Таблиця 1. Склад синтезованих кополімерів

Зразок	Вміст компонентів, % мас.				
	ООПФ	ТГМ-3	ВП і СТ	ПБ	ДМА
1	49,50	49,50	0,00	0,500	0,500
2	43,75	43,75	11,51	0,495	0,495
3	39,19	39,19	20,62	0,495	0,495
4	35,32	35,32	28,37	0,495	0,495
5	32,43	32,43	34,14	0,495	0,495
6	28,15	28,15	42,68	0,495	0,495

Отримано кополімери загальної формули:



де R – залишок молекули ТГМ-3, ВП або СТ:



Для дослідження впливу складу кополімерів на їхню структуру було проведено ІЧ-спектроскопичні дослідження кополімерів, синтезованих за різного вмісту ВП (рис. 1) і СТ (рис. 2).

За даними ІЧ-спектроскопії на ІЧ-спектрах кополімерів без ВП широка смуга поглинання ν_{OH} ООПФ проявляється двома максимумами – 3516 і 3437 см⁻¹, тоді як на спектрах кополімерів, що містять у своїй структурі ВП, смуга поглинання з максимумом 3516 см⁻¹ зникає, а смуга поглинання з максимумом 3437 см⁻¹ зміщується в діапазон менших частот 3423 см⁻¹, що свідчить про появу більш зв'язаних водневими зв'язками ОН-груп (рис. 1).

Смуги поглинання $\nu_{\text{C=C}}$ зв'язку ООПФ 1647 см⁻¹ та $\nu_{\text{C=C}}$ зв'язку ВП 1630 см⁻¹ на спектрах відсутні, що є доказом розкриття подвійних зв'язків олігоестеру та ВП у результаті реакції кополімеризації.

Смуга поглинання $\nu_{\text{C=C}}$ зв'язку ТГМ-3 1638 см⁻¹ присутня на спектрах кополімерів без ВП (рис. 1, крива 1). На спектрах зразків, що містять у своїй структурі ВП, смуга поглинання $\nu_{\text{C=C}}$ зв'язку ТГМ-3 відсутня, що є доказом

більш повного розкриття подвійних зв'язків ТГМ-3 внаслідок їхньої взаємодії з подвійними зв'язками ВП.

На спектрах кополімерів з ВП з'являється смуга поглинання $\nu_{\text{C=O}}$ піролідонного кільця 1669 см⁻¹, інтенсивність якої зростає із збільшенням кількості ВП (рис. 1, криві 2, 3).

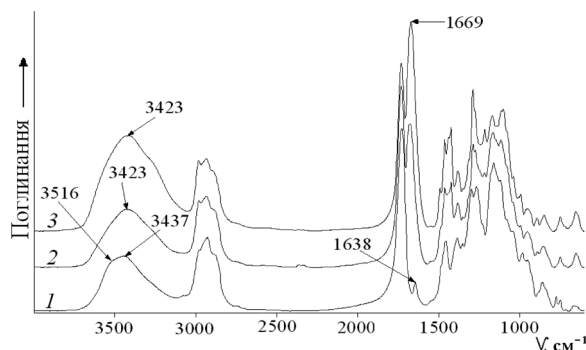


Рис. 1. ІЧ-спектри кополімерів з різним вмісту ВП: 1 – ООПФ + ТГМ; 2 – ООПФ + ТГМ + ВП (28,37); 3 – ООПФ + ТГМ + ВП (42,68)

У частотному інтервалі спектрів 1000–1300 cm^{-1} , що відповідає за смуги поглинання $\nu_{\text{C-O}}$ різних груп, спостерігається перерозподіл їхніх інтенсивностей, що можна пояснити присутністю в структурі кополімерів, що містять СТ, С–О зв'язків різних груп, які утворились унаслідок реакції кополімеризації.

Таким чином, за результатами ІЧ-спектроскопічних досліджень на ІЧ-спектрах кополімерів, що містять у своїй структурі ВП, спостерігається поява більш зв'язаних водневими зв'язками ОН-груп. Збільшення кількості ВП у структурі полімерів підтверджується збільшенням інтенсивностей смуг поглинання ВП.

На ІЧ-спектрах кополімерів зі СТ і без СТ ν_{OH} ООПФ представлені широкою смугою з двома максимумами – 3512 і 3438 cm^{-1} (рис. 2). Із збільшенням вмісту СТ спостерігається перерозподіл інтенсивностей цих смуг: інтенсивність смуги поглинання 3438 cm^{-1} зменшується, а інтенсивність смуги поглинання 3512 cm^{-1} збільшується. Тобто присутність більшої кількості СТ у структурі синтезованих кополімерів спричиняє появу більшої кількості менш зв'язаних водневими зв'язками ОН-груп.

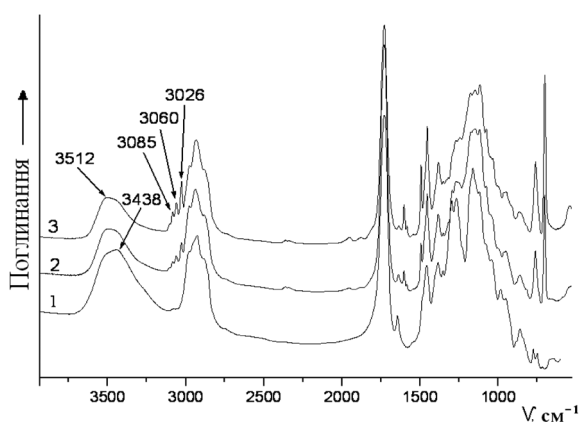


Рис. 2. ІЧ-спектри кополімерів з різним вмістом стиролу: 1 – ООПФ + ТГМ; 2 – ООПФ + ТГМ + СТ (28,37); 3 – ООПФ + ТГМ + СТ (42,68)

На спектрах кополімерів, що містять у своїй структурі СТ, можна зазначити смуги поглинання $\nu_{(\text{C-H})}$ бензольного кільця (3026, 3060 і 3085 cm^{-1}), інтенсивність яких із збільшенням вмісту стиролу збільшується.

Смуги поглинання площинних коливань бензольного кільця стиролу 1600 cm^{-1} та 1576 cm^{-1} на ІЧ-спектрах кополімерів зміщуються відповідно в смуги поглинання 1603 cm^{-1} та 1583 cm^{-1} , положення яких відповідає смугам полістиролу, що міститься в полімерній молекулі. Із збільшенням вмісту стиролу в структурі

кополімерів інтенсивність цих смуг збільшується (рис. 3, криві 2, 3).

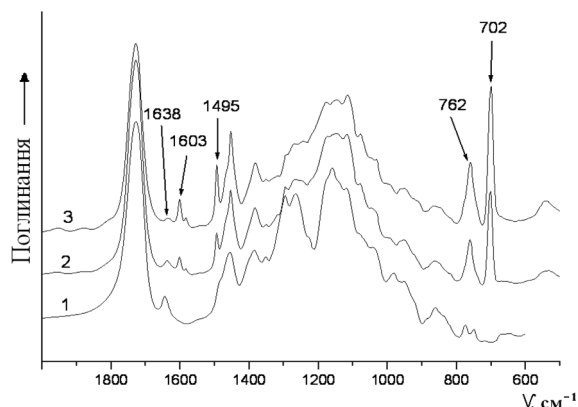


Рис. 3. Фрагменти ІЧ-спектрів кополімерів з різним вмістом стиролу в діапазоні 2000–6000 cm^{-1} : 1 – ООПФ + ТГМ; 2 – ООПФ + ТГМ + СТ (28,37); 3 – ООПФ + ТГМ + СТ (42,68)

Зазнає змін і смуга поглинання $\delta_{\text{C-H}}$ СТ 1495 cm^{-1} . Із збільшенням вмісту стиролу в структурі кополімерів інтенсивність смуги деформаційних коливань СН-груп збільшується, що підтверджує проходження реакції кополімеризації.

Характерний для стиролу дублет з максимумами 776 і 698 cm^{-1} на спектрах кополімерів зміщується відповідно в смуги поглинання 762–702 cm^{-1} , положення яких відповідає смугам поглинання полістиролу.

Смуги поглинання $\nu_{\text{C=C}}$ зв'язків ООПФ 1647 cm^{-1} та $\nu_{\text{C=C}}$ зв'язків стиролу 1630 cm^{-1} на ІЧ-спектрах відсутні, що є доказом розкриття подвійних зв'язків олігоестеру та вінілового замісника в молекулі стиролу в процесі реакції.

Спостерігаються невеликі кількісні зміни смуги поглинання $\nu_{\text{C=C}}$ ТГМ-3 1638 cm^{-1} . На ІЧ-спектрі кополімеру, що не містить СТ (рис. 3, крива 1), ця смуга найбільш інтенсивна. При введенні до їхньої структури СТ та із збільшенням його кількості інтенсивність смуги поглинання $\nu_{\text{C=C}}$ ТГМ-3 зменшується (рис. 3, криві 2, 3), тобто відбувається більш повне розкриття подвійних зв'язків ТГМ-3 внаслідок їхньої взаємодії з подвійними зв'язками стиролу.

У частотному інтервалі ІЧ-спектра 1000–1300 cm^{-1} , що відповідає за смуги поглинання $\nu_{\text{C-O}}$, спостерігається перерозподіл їхніх інтенсивностей, що можна пояснити присутністю в структурі кополімерів, що містять СТ, С–О зв'язків різних груп, які утворились унаслідок кополімеризації.

Таким чином, на ІЧ-спектрах кополімерів, що містять у своїй структурі СТ, присутні смуги поглинання полістиролу, тому можна зробити висновок, що в композиції деяка кількість стиролу

прореагувала з утворенням полістиролу. Збільшення кількості СТ у структурі кополімерів підтверджується збільшенням інтенсивностей смуг поглинання полістиролу.

При проведенні фізико-механічних досліджень було встановлено, що модуль пружності при стисненні залежить від вмісту ВП і СТ, змінюється нелінійно з максимумом за вмісту 28,36 % мас. ВП ($E = 15,6$ МПа) і 34,14 % мас. СТ ($E = 112,4$ МПа) (табл. 2).

Таблиця 2. Модуль пружності при стисненні отриманих кополімерів

Вміст ВП і СТ, % мас.	E, МПа	
	кополімери з ВП	кополімери зі СТ
0,00	9,9	9,9
11,51	12,3	50,6
20,62	15,6	80,3
28,36	13,9	98,9
34,14	11,9	112,4
42,70	7,4	96,7

Введення до структури кополімерів ВП і СТ приводить до підвищення модуля пружності при стисненні в порівнянні зі зразками, що не містять у своїй структурі цих мономерів.

З табл. 2 видно, що кополімери, які містять СТ, характеризуються значно вищими значеннями модуля пружності при стисненні в порівнянні зі зразками з ВП.

Отже, властивості отриманих кополімерів залежать не тільки від наявності в їхній структурі ВП і СТ, а й від їхньої концентрації, що дає змогу створювати полімерні матеріали із заданими характеристиками.

Оскільки зміна складу полімерного матеріалу може спричинити зміни теплофізичних властивостей матеріалів, досліджували зразки кополімерів, які мають різний вміст ВП і СТ.

Температура склування (T_g) досліджуваних полімерних систем, що містять у своїй структурі ВП, майже не відрізняється і перебуває в діапазоні від $-15,8$ до $-16,9$ °С. Найбільше значення

T_g має кополімер із вмістом ВП 20,62 % мас. (табл. 3).

Величина стрибка теплоємності (ΔC_p) залежить від наявності в їхній структурі ВП і його концентрації. При введенні ВП та із збільшенням його вмісту спостерігається зменшення ΔC_p за температури склування (табл. 3).

Порівнюючи теплофізичні властивості кополімерів, що містять у своїй структурі ВП, та кополімерів, які містять у своїй структурі СТ (табл. 3), можна зробити висновок, що T_g кополімерів зі СТ значно вища за T_g кополімерів з ВП.

Висновки

Таким чином, методом термоотвердження за механізмом радикальної полімеризації синтезовано кополімери на основі ненасичених олігомерів (ООПФ і ТГМ-3) і мономерів (ВП і СТ) за різного вмісту ВП і СТ.

ІЧ-спектроскопічними дослідженнями встановлено, що на спектрах потрійних кополімерів спостерігається більш повне розкриття подвійних зв'язків ТГМ-3 внаслідок їхньої взаємодії з подвійними зв'язками ВП і СТ. У ряду зразків, що містять у своїй структурі СТ, відбувається полімеризація деякої кількості стирулу з утворенням полістиролу.

Встановлено залежність фізико-механічних і теплофізичних властивостей від складу кополімерів. Показано, що збільшення вмісту ВП і СТ спричиняє підвищення модуля пружності при стисненні в порівнянні з кополімерами, які не містять у своїй структурі цих мономерів. Встановлено, що кополімери зі СТ характеризуються значно вищими значеннями модуля пружності при стисненні та T_g в порівнянні зі зразками з ВП.

Склад отриманих кополімерів у подальшому використано для отримання композиційних матеріалів на основі кополімерів і лікарської речовини левамізолу як полімерних матеріалів медичного призначення.

Таблиця 3. Теплофізичні властивості кополімерів

Зразки	T_g , °С	ΔC_p , Дж/(г·°С)
Кополімери з ВП		
ООПФ + ТГМ-3	-16,5	0,2452
ООПФ + ТГМ-3 + N-ВП (11,51)	-16,9	0,1640
ООПФ + ТГМ-3 + N-ВП (20,62)	-15,8	0,1685
ООПФ + ТГМ-3 + N-ВП (28,36)	-16,7	0,1454
ООПФ + ТГМ-3 + N-ВП (34,14)	-16,6	0,1732
ООПФ + ТГМ-3 + N-ВП (42,70)	-16,6	0,1231
Кополімери зі СТ		
ООПФ + ТГМ-3	-16,5	0,2452
ООПФ + ТГМ-3 + СТ (28,37)	63,5	0,1575
ООПФ + ТГМ-3 + СТ (42,68)	63,2	0,2555

Список літератури

1. Pat. 6753358 United States, A61L 27/00, A61L 27/18, C08L 67/06, C08L 67/00, C08F 002/50, C08F 022/00. Photocrosslinking of diethyl fumarate/poly(propylene fumarate) biomaterials / J. P. Fisher, A. G. Mikos. – Publ. 22.06.2004.
2. Fisher J. P. Photocrosslinking characteristics and mechanical properties of diethyl fumarate/poly(propylene fumarate) biomaterials / J. P. Fisher, D. Dean, A. G. Mikos // Biomaterials. – 2002. – Vol. 23, № 22. – P. 4333–4343.
3. Temenoff J. S. Fumarate-based Macromers as Scaffolds for Tissue Engineering Applications / J. S. Temenoff, F. K. Kasper, A. G. Mikos // Topics in Tissue Engineering / N. Ashammakhi, R. L. Reis, E. Chiellini. – 2007. – Vol. 3, Ch. 5. – P. 6.1–6.16.
4. Crosslinking characteristics of an injectable poly(propylene fumarate)/ β -tricalcium phosphate paste and mechanical properties of the crosslinked composite for use as a biodegradable bone cement / S. J. Peter, P. Kim, A. W. Yasko [et al.] // Journal of Biomedical Materials Research. – 1999. – Vol. 44, № 3. – P. 314–321.
5. Biodegradable fumarate-based drug-delivery systems for ophthalmic applications / M. C. Hacker, A. Haesslein, H. Ueda [et al.] // Journal of Biomedical Materials Research Part A. – 2009. – Vol. 88A, № 4. – P. 976–989.
6. Шефтель В. О. Полимерные материалы. Токсические свойства / В. О. Шефтель. – Л.: Химия, 1982. – 240 с.
7. Matrix modifications modulate ophthalmic drug delivery from photo-cross-linked poly(propylene fumarate)-based networks / A. Haesslein, M. C. Hacker, H. Ueda [et al.] // Journal of Biomaterials Science, Polymer Edition. – 2009. – Vol. 20, № 1. – P. 49–69.
8. Copolymerization of N-vinylpyrrolidone and activated esters of unsaturated acid / O. V. Nazarova, M. V. Solovskij, E. F. Panarin [et al.] // European Polymer Journal. – 1992. – Vol. 28, № 1. – P. 97–100.
9. Hydrophilic polymers derived from Vitamin E / B. Vazques, C. Ortizand, J. SanRoman [et al.] // Biomaterials Application. – 2000. – Vol. 14. – P. 367–388.
10. Магзумова А. К. Синтез и исследование сополимеров полиэтиленгликольмалеината с некоторыми ионогенными мономерами : дис. ... доктора философии по спец. 6D060600 – «Химия» / А. К. Магзумова. – Республика Казахстан, Караганда, 2013. – 115 с.
11. Pat. № 2255313 United States of America. Ethylenic-alpha-beta synthetic resins and process of making same / C. Ellis. – Publ. 09.09.1941.
12. Пат. № 328123 СССР, C08G 63/52. Способ получения ненасыщенных полиэфиров / Л. Н. Седов, В. Т. Волнушкина, Н. И. Кученко, С. Б. Скрипко. – Опубл. 02.11.1972, бюл. № 6.
13. Бондаренко П. О. Синтез новых олигооксипропиленфумаратов и исследование их фотоиницируемой сополимеризации / П. О. Бондаренко, Р. А. Рожнова, Н. А. Галатенко // Доповіді НАН України. – 2011. – № 5. – С. 135–139.
14. Властивості кополімерів на основі олигооксипропиленфумарату, диметакрилат триетиленгліколю та N-вінілпіролідону / Т. В. Руденчик, П. О. Бондаренко, Р. А. Рожнова [та ін.] // Доповіді НАН України. – 2013. – № 11. – С. 136–142.
15. Беллами Л. Инфракрасные спектры молекул / Л. Беллами. – М.: Изд-во иностр. л-ры, 1957. – 444 с.

T. Rudenychyk, R. Rozhnova, N. Galatenko, T. Kiselova

PROPERTIES OF THE COPOLYMER BASED ON OLIGOXYPROPYLENE FUMARATE, THREEETHYLENE GLICOL-DIMETHACRYLATE AND N-VINYLPYRROLIDONE/STYRENE

Copolymers were synthesized based on oligo-oxypropylene fumarate (OOPF), triethylene glycol dimethacrylate (TGM-3), and N-vinylpyrrolidone (VP), as well as copolymers based on OOPF, TGM-3, and styrene (ST), with various quantities of VP and ST. The structure of the synthesized copolymers was investigated by the method of IR-spectroscopy. It was established that on the spectra of the ternary copolymers there is full disclosure of the double bonds of TGM-3 as a result of their interaction with the double bonds of VP and ST. It is shown that during polymerization in the copolymers containing ST, polymerization some amount of styrene takes place, with the formation of polystyrene. The influence of VP and ST in the structure of polymers on their physical, mechanical, and thermal properties was defined. It is proven that ternary copolymers which contain styrene have a greater modulus of elasticity in compression (50.6–112.4 MPa) and glass-transition temperature (from 63.2 to 63.5 °C) compared to the copolymers with VP (7.4–15.6 MPa, from –15.8 to –16.9 °C accordingly). The composition of the obtained copolymers was subsequently used to synthesise composite materials based on copolymers and the medicine of levamisole as polymeric materials for medical purposes.

Keywords: oligo-oxypropylene fumarate, N-vinylpyrrolidone, styrene, copolymer.

Матеріал надійшов 14.12.2015