

О. І. Яцишин, М. М. Братичак
Національний університет "Львівська політехніка",
кафедра хімічної технології переробки нафти та газу

РЕАКЦІЙНОЗДАТНІ ПОХІДНІ ЕПОКСИДОВАНОЇ СОНЯШНИКОВОЇ ОЛІЇ

© Яцишин О. І., Братичак М. М., 2014

Синтезовано реакційноздатні похідні епоксидованої соняшникової олії, що містять епоксидні і пероксидні групи або метакрилатні фрагменти, або одночасно пероксидні і метакрилатні фрагменти. Вивчено структурування полімерних сумішей на основі епоксидної смоли ЕД-20 у присутності реакційноздатних олігомерів.

Ключові слова: епоксидована соняшникова олія, реакційноздатні олігомери, структурування, композиція, гель-фракція, твердість.

Reactive derivatives of epoxidized sunflower oil containing epoxy and peroxy groups or methacrylic fragments or peroxy and methacrylic fragments at the same time have been synthesized. The cross-linking of polymeric mixtures based on ED-20 epoxy resin has been studied in the presence of reactive oligomers.

Key words: epoxidized sunflower oil, reactive oligomers, crosslinking, composition, gel-fraction, hardness.

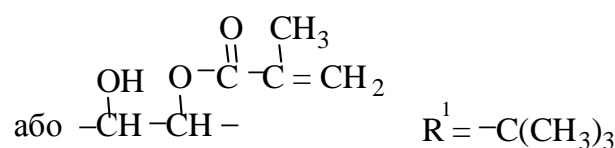
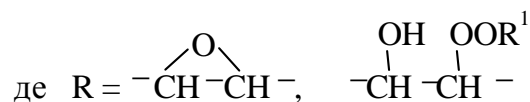
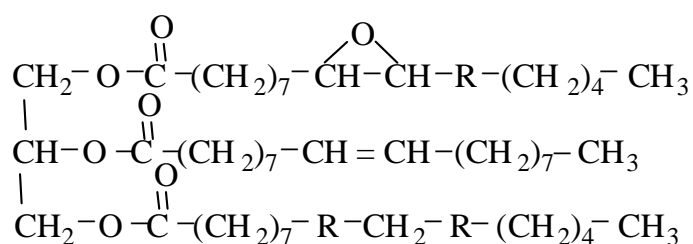
Постановка проблеми і її зв'язок з важливими науковими завданнями. Олії можуть бути використані для створення полімерних матеріалів. Поряд з тим, використання відходів виробництва олій дасть змогу економити сировинні ресурси, а також отримувати дешеві продукти для синтезу полімерних матеріалів. Згідно із загальною структурною будовою, є два основні напрями модифікації молекул олій: перший передбачає розкладання гліцеридного центра внаслідок взаємодії з речовинами, активними щодо естерних груп (аміни, гідразин та їхні похідні), другий дає можливість вводити функціональні групи в аліфатичний ланцюг, зі збереженням структури олії. У результаті реалізації першого з них утворюються амідні, амідо-амінні, гідразидні та інші функціональні групи, що дає змогу використовувати похідні олій як модифікаторів; другий уможливило введення функціональних груп (епоксидних, гідроксильних, акрилатних, вінільних, ізоціанатних тощо) в аліфатичну частину молекули олії, й отримання на їх основі реакційноздатних олігомерів, придатних для розробки нових полімерів і блоккополімерів, що відкриває широкі можливості для створення технологій виробництва нових композиційних матеріалів у різних галузях промисловості [1–2].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Більшість олій (соєва, ріпакова, лляна, соняшникова, кукурудзяна тощо) багатотоннажного виробництва потребують модифікації введенням функціональних груп за їх використання як вихідної сировини для синтезу полімерних матеріалів [3]. Це дає змогу систематизувати отримані результати, вказати шляхи подальшого розвитку досліджень синтезу полімерних матеріалів на основі олій різної природи. Розроблені методи функціоналізації олій різної хімічної природи введенням реакційноздатних груп і фрагментів різної природи та показана перспективність отриманих реакційноздатних олігомерів і блоккополімерів для застосування їх як модифікаторів, активаторів, цільових добавок, ініціаторів полімеризації для синтезу композиційних полімерних матеріалів різноманітного призначення [4]. З іншого боку, в останні роки сполуки, що містять епоксидні групи, модифікують гідропероксидами [5]. Синтезовані при цьому сполуки містять у своїй структурі фрагменти пероксиду і епоксидні групи [6, 7]. Це дає

можливість використовувати їх як активні добавки полімерних сумішей на основі промислових діанових епоксидних смол і олігоестеракрилатів [8]. Структурування епокси-олігоестерних сумішей, що містять як активний додаток модифікований гідропероксидом епоксидний олігомер, відбувається як за участю епоксидних, так і пероксидних груп [9]. Це дає змогу підвищувати як твердість виробів, так і вміст у них гель-фракції.

Мета роботи. Синтезувати нові функційні похідні епоксидованої соняшникової олії, в молекулах яких містяться епоксидні і пероксидні групи або метакрилатні фрагменти, або одночасно пероксидні і метакрилатні фрагменти, та показати можливість їх використання як активних додатків до епокси-олігоестерних сумішей на основі промислової епоксидної смоли ЕД-20 та олігоестеракрилату ТГМ-3.

Результати досліджень та їх обговорення. У роботі запропоновано модифікувати епоксидовану соняшникову олію (ЕСО) різними низькомолекулярними сполуками. Синтезовані похідні ЕСО можна подати такою загальною формулою:



Як низькомолекулярні сполуки були використані метакрилова кислота, гідропероксид *трет.*-бутилу (ГПТБ) та суміш, що складалася з метакрилової кислоти та гідропероксиду *трет.*-бутилу.

З метою розроблення методики синтезу пероксидної похідної епоксидованої соняшникової олії необхідно було вивчити вплив природи та кількості каталізатора, співвідношення вихідних компонентів, природу розчинника, а також вплив температури і тривалості процесу на швидкість перебігу реакції. Результати проведення кінетичних досліджень процесу хімічної модифікації ЕСО ГПТБ наведено у табл. 1.

Таблиця 1

Ефективні константи швидкості реакції взаємодії ЕСО з ГПТБ

Кількість ТБГП, моль/г.екв. епоксидної групи ЕСО	Каталізатор та його кількість (% мольн.) на г.екв. епоксидної групи	Розчинник	Температура реакції, К	$K_{\text{эф.}} \cdot 10^4$, л/(моль·с)
1	2	3	4	5
1,0	ZnCl ₂ ; 20,0	2-пропанол	323	0,58±0,60
1,0	18-краун-6; 20,0	2-пропанол	323	0,71±0,34
1,0	БТЕАХ; 20,0	2-пропанол	323	1,51±0,80
1,0	18-краун-6 + ZnCl ₂ ; (10,0+20,0)	2-пропанол	323	0,83±0,57
1,0	БТЕАХ; 5,0	2-пропанол	323	Реакція не проходить
1,0	БТЕАХ; 10,0	2-пропанол	323	0,25±0,60

1	2	3	4	5
1,0	БТЕАХ; 15,0	2-пропанол	323	0,58±0,17
1,0	БТЕАХ; 25,0	2-пропанол	323	0,91±0,25
1,0	БТЕАХ; 30,0	2-пропанол	323	0,78±0,46
1,0	БТЕАХ; 40,0	2-пропанол	323	0,85±0,36
0,5	БТЕАХ; 20,0	2-пропанол	323	Реакція не проходить
2,0	БТЕАХ; 20,0	2-пропанол	323	2,71±0,15
4,0	БТЕАХ; 20,0	2-пропанол	323	3,67±0,23
2,0	БТЕАХ; 20,0	толуен	323	Реакція не проходить
2,0	БТЕАХ; 20,0	1,4-діоксан	323	0,90±0,31
2,0	БТЕАХ; 20,0	ацетон	323	0,86 ± 0,21
2,0	БТЕАХ; 20,0	2-пропанол	313	0,42 ± 0,31
2,0	БТЕАХ; 20,0	2-пропанол	333	4,06±0,16

Як бачимо, з цієї таблиці знаходимо, що найбільша швидкість реакції спостерігається при використанні як каталізатора БТЕАХ, а найменша у разі застосування як каталізатора $ZnCl_2$. Використання як каталізатора 18-краун-6 і каталітичної системи 18-краун-6+ $ZnCl_2$ займають проміжні місця. Отримані результати дають можливість запропонувати БТЕАХ каталізатором реакції між ЕСО і ГПТБ.

Під час вивчення різної кількості каталізатора БТЕАХ знаходимо, що при 5 % мольн. каталізатора реакція між ЕСО та ГПТБ не відбувається. Збільшення кількості каталізатора до 20 % мольн. у розрахунку на 1 г-екв. епоксидної групи ЕСО приводить до збільшення ефективної константи швидкості. Подальше збільшення кількості каталізатора призводить до зменшення значення ефективної константи швидкості. Зменшення значення ефективної константи у разі використання БТЕАХ 20 % мольн. і вище можна пояснити, враховуючи міркування, що за збільшення кількості каталізатора збільшується у реакційній суміші і кількість води, яка вводиться у реакційне середовище разом з каталізатором. Це призводить до зменшення розчинності ЕСО в ізопропіловому спирті, який також розчинний у воді і, як наслідок, зменшення загальної швидкості реакції між ЕСО і гідропероксидом. Враховуючи отримані результати, надалі під час вивчення впливу співвідношення вихідних реагентів, температури та тривалості реакції як каталізатор реакції використовували БТЕАХ в кількості 20 % мольн.

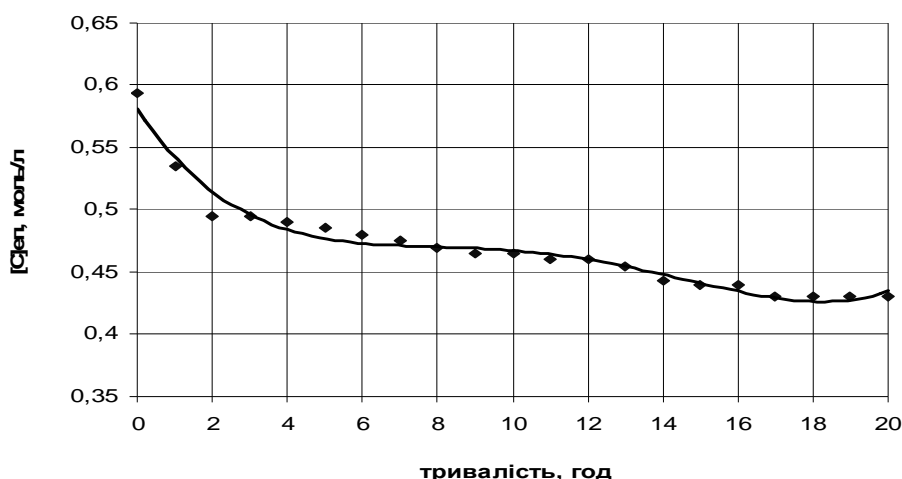
Результати досліджень, наведені в табл. 1, вказують на те, що у разі використання гідропероксиду в кількості 0,5 моль на 1 г-екв. епоксидної групи ЕСО реакція між смолою і ГПТБ не відбувається. Збільшення кількості ГПТБ до 1 моля і більше на 1 г-екв. епоксидної групи смоли приводить до перебігу реакції між ЕСО та ГПТБ. З іншого боку, значне підвищення кількості гідропероксиду до 4 молів приводить до значного підвищення швидкості реакції, але таке збільшення кількості ГПТБ може призвести до значного збільшення вартості такого продукту. Тому надалі як під час розгляду методики синтезу олігомеру на основі ЕСО і ГПТБ, так і у разі розгляду природи розчинника, впливу температури та тривалості процесу реакцію вивчали, враховуючи 2 молі гідропероксиду на 1 г-екв. епоксидної групи ЕСО.

Як видно з табл. 1 найбільша швидкість реакції спостерігається у 2-пропанолі, а у середовищі ацетону і діоксану є практично однаковою, і не відбувається у середовищі толуену. Враховуючи ці результати, надалі як реакційне середовище використовували 2-пропанол.

Під час вивчення впливу температури на швидкість реакції між ЕСО та ГПТБ було встановлено, що, як і слід було очікувати, з підвищенням температури ефективна константа швидкості реакції зростає. Температурою процесу була вибрана 333 К.

Опрацювання отриманих констант швидкості реакції за 313, 323 і 333 К та побудова лінійної залежності у координатах $\log(K) = f(1/T)$ дозволила визначити енергію активації для реакції між ЕСО та ГПТБ, значення якої становить 12 кДж/моль.

Отримані вище результати кінетичних досліджень були використані для встановлення впливу тривалості процесу хімічної модифікації ЕСО ГПТБ (рисунок).



Залежність концентрації епоксидних груп у реакційній суміші від тривалості реакції взаємодії ЕСО з ГПТБ за 333 К у середовищі 2-пропанолу з використанням каталізатора БТЕАХ в кількості 20 % мольн. і кількості ГПТБ – 1,5 моля на 1 г-екв. епоксидної групи ЕСО

Як видно з рис. 1, зміна концентрації епоксидних груп під час реакції на 30 % досягається лише за 15–17 год. Це зумовлено низькою реакційною здатністю епоксидних груп молекул ЕСО. З іншого боку, неповна заміна епоксидних груп на пероксидні має свої позитивні аспекти оскільки утворений олігомер I є багатофункційним олігомером і буде містити у своїй структурі як лабільні – О-О- зв'язки, непрореаговані епоксидні групи та ненасичені подвійні зв'язки.

На основі ЕСО нами синтезовані різні функційні олігомери: сполука, яка одночасно містить в своїй структурі пероксидні та епоксидні групи (олігомер I), сполука з ненасиченими метакрилатними фрагментами та епоксидними групами (олігомер II), а також олігомер з метакрилатними фрагментами, пероксидними та епоксидними групами. Характеристики яких наведені в табл. 2.

Таблиця 2

Характеристика функційних олігомерів на основі ЕСО

Позначення	Вихідний продукт				Модифікатор	Характеристика функційного олігомеру				
	Мп, г/моль	е.ч., %	[O _{акт.}], %	Бр.ч.		Позначення олігомеру	Мп, г/моль	е.ч., %	[O _{акт.}], %	Бр.ч.
ЕСО	950	20,3	-	-	ГПТБ	I	1040	15,3	4,7	-
ЕСО	950	20,3	-	-	МАК	II	1037	4,2	-	17,2
Олігомер II	1037	4,2	-	17,2	ГПТБ	III	1125	1,0	4,2	14,7

Структура синтезованих олігомерів підтверджена ІЧ спектроскопічними дослідженнями. В олігомері I при 879 см⁻¹ знайдена смуга поглинання, що відповідає валентним коливанням лабільного – О-О- зв'язку. Крім цього в спектрі олігомеру I спостерігається збільшення смуги поглинання при 3440 см⁻¹, які належать до валентних коливань гідроксильної групи. Також в олігомері I, порівняно з вихідною ЕСО, зменшується інтенсивність смуги поглинання при 824 см⁻¹. Отримані результати вказують на те, що внаслідок хімічної модифікації молекул ЕСО гідрпероксидом трет.-бутилу відбувається приєднання молекул гідрпероксиду до молекул ЕСО за реакцією між ГПТБ і епоксидною групою. Наслідком такої реакції є зменшення вмісту епоксидних груп (табл. 2) та зменшення інтенсивності смуги поглинання, що характеризує епоксидну групу. Внаслідок розкриття епоксидного кільця приєднується фрагмент гідрпероксиду та додатково появляється гідроксильна група, про що свідчить збільшення інтенсивності смуги поглинання при 3440 см⁻¹.

У випадку олігомеру II в спектрі такої сполуки додатково появляються смуги коливання при 1716 і 1296 cm^{-1} , які відповідають карбонільній групі і С-О-С групі відповідно у метакрилатному фрагменті. Поряд з цим, спостерігається збільшення інтенсивності смуги поглинання при 3368 cm^{-1} . Це вказує на приєднання метакрилової кислоти до молекули ЕСО з розкриттям епоксидного кільця.

В олігомері III поряд із появою смуг поглинання 1720, 1296 cm^{-1} , які вказують на присутність у молекулі фрагментів метакрилової кислоти, значно зростає інтенсивність смуги поглинання 3432 cm^{-1} , а також появляються смуги поглинання при 1376, 1360 cm^{-1} , що характеризують гем-диметильні коливання $\text{C}(\text{CH}_3)_2$ групи. Присутність $-\text{O}-\text{O}-$ зв'язку доказана слабкою смугою поглинання при 879 cm^{-1} . Поява смуг поглинання при 1720 і 1296 cm^{-1} вказує на присутність в молекулі олігомеру III фрагментів метакрилової кислоти. Одночасно поява пероксидних груп підтверджена наявністю в молекулі $(\text{CH}_3)_2\text{COO}$ – фрагменту. Про розкриття епоксидного кільця, внаслідок приєднання як молекули гідропероксиду, так і метакрилової кислоти, вказує також значне збільшення інтенсивності смуги поглинання при 3432 cm^{-1} , що характеризують гідроксильну групу.

Присутність у похідних епоксидованої соняшникової олії різних за природою функційних груп повинно сприяти входженню фрагментів епоксидованої соняшникової олії у зшити структуру полімерних сумішей. З іншого боку, наявність в структурі зшитої полімерної суміші фрагментів молекул епоксидованої соняшникової олії повинно покращувати еластичність утворених покриттів. Структуруючі властивості функційних похідних ЕСО вивчали на прикладі епокси-олігомерної суміші, склад якої наведено в табл. 3.

Таблиця 3

Склад епокси-олігомерних сумішей

Компонент	Вміст компоненту, мас. част.				
	I	II	III	IV	V
Смола ЕД-20	80	90	80	80	80
ЕСО	20	-	-	-	-
Олігомер I	-	10	20	-	-
Олігомер II	-	-	-	20	-
Олігомер III	-	-	-	-	20
ПЕПА	14	14	14	14	14

Епокси-олігомерні суміші не містять олігоестеракрилату ТГМ-3. Функцію пластифікатора у досліджуваних сумішах повинна виконувати похідна ЕСО. Структурування суміші проводили ступінчасто. На початку за нормальних умов впродовж 1, 2, 7 та 10 діб, а потім при нагріванні за 383, 403 або 423 К протягом 15, 30, 45, 60 і 75 хв. Контролювали за процесом структурування внаслідок визначення твердості плівок на маятниковому приладі М-3 та вмісту гель-фракції подріблених зразків в апараті Сокслета під час екстракції їх ацетоном впродовж 12 год. Для порівняння вивчалась суміш, яка містила вихідну ЕСО (табл. 3, суміш I). Отримані при цьому результати подані в табл. 4.

Таблиця 4

Залежність вмісту гель-фракції та твердості плівок від тривалості структурування за кімнатної температури та складу суміші

Номер суміші за табл. 3	Показник	Значення показника за час структурування, доби			
		1	2	7	10
I	2	3	4	5	6
I	Г	51,4	52,1	57,3	62,7
	Т	0,30	0,30	0,31	0,35
II	Г	66,5	67,6	81,1	82,8
	Т	0,51	0,51	0,54	0,57
III	Г	66,1	67,2	79,9	81,9
	Т	0,42	0,43	0,45	0,48

1	2	3	4	5	6
IV	Г	83,5	84,2	86,4	88,2
	Т	0,55	0,58	0,61	0,64
V	Г	78,5	79,1	83,9	85,5
	Т	0,54	0,55	0,58	0,61

Примітки: Г – гель-фракція, %; Т – твердість плівок за М-3, відн. од.

При вивченні структурування за кімнатної температури знаходимо (табл. 4), що вміст гель-фракції та твердість утворених покриттів залежить як від складу епоксидно-олігомерних сумішей, кількості використаного функційного олігомеру та тривалості процесу формування плівок. Водночас, з табл. 4 знаходимо, що синтезовані на основі ЕСО продукти сприяють формуванню просторово-зшитих структур таких сумішей. У випадку ЕСО за 10 діб захисні покриття характеризуються твердістю, яка не перевищує 0,35 відн. од. за вимоги до полімерних плівок 0,6 відн. од., причому вміст гель-фракції становить 62,7 %. Введення в склад епоксидно-олігомерних сумішей олігомеру I приводить до збільшення як гель-фракції, так і твердості отриманих плівок. Причому зменшення кількості олігомеру I до 10 %, як і слід було очікувати, сприяє збільшенню твердості отримуваних плівок при практично однаковому значенні вмісту нерозчинних продуктів у зразку. Підвищення як твердості, так і збільшення вмісту нерозчинних продуктів в суміші II і III, можна пояснити, враховуючи структуру олігомеру I. Такий олігомер, як видно із табл. 2, містить в своїй структурі крім епоксидних груп вільні пероксидні групи. Також під час структурування епоксидної смоли ЕД-20 в присутності затвердника ПЕПА має місце нагрівання суміші, яка приводить до часткового розкладу пероксидних груп. Пероксидні групи в такій суміші можуть як рекомбінуватися, так і викликати полімеризацію за подвійними зв'язками в олігомері I. Це приводить до збільшення як гель-фракції, так і твердості зразків. Збільшення кількості нерозчинних продуктів та твердості плівок залежно від тривалості процесу формування покриттів пов'язане як з подальшою взаємодією молекул ПЕПА з епоксидними групами смоли ЕД-20 і олігомеру I, так і з подальшим розкладом пероксидних груп в присутності третинних атомів азоту. При формуванні плівок на основі суміші IV, яка як активний додаток містить олігомер II, спостерігається значне збільшення як гель-фракції, так і твердості отриманих плівок. Отримані результати можна пояснити, враховуючи таке. Під час структурування епоксидних смол у присутності ПЕПА вже на початкових стадіях відбувається достатньо велике виділення тепла, що приводить до розігрівання полімерної суміші. Утворене тепло спричиняє полімеризацію подвійних зв'язків в молекулі олігомеру II. Це дає можливість вже за першу добу отримувати плівки з твердістю 0,55 відн. од. та вмістом нерозчинних продуктів 83,5 %. Подальше витримування таких плівок впродовж 10 діб приводить до незначного підвищення вмісту гель-фракції та збільшення твердості плівок. Підвищення цих характеристик у разі тривалого формування плівок може бути пояснене подальшою взаємодією молекул смоли ЕД-20 та олігомеру II із затвердником.

Введення в епоксидно-олігомерну суміш як активного додатка олігомеру III, молекула якого одночасно містить епоксидну і пероксидну групи, а також ненасичені фрагменти (табл. 2), не дає можливості істотно, порівняно із сумішшю IV, підвищити як твердість отримуваних покриттів, так і вміст нерозчинних продуктів.

Аналізуючи загалом результати, наведені в табл. 4, можемо стверджувати, що найкращі результати у разі структурування полімерних плівок за кімнатної температури можуть бути отримані за участю олігомеру II. Олігомер I та олігомер III в своїй структурі містять пероксидні групи і тому структурувати суміші за їх участю краще за нагріванням.

Результати, отримані внаслідок ступінчастого структурування, подані в табл. 5. З табл. 5 знаходимо, що кількість нерозчинних продуктів у зразках, твердість полімерних плівок залежать від складу сумішей, температури та тривалості структурування. Підвищення температури та тривалості процесу формування полімерних плівок сприяє збільшенню вмісту гель-фракції та

твердості покритть. Аналізуючи дані, отримані для суміші I, яка містить вихідну ЕСО та суміші III, IV і V, в склад яких входять синтезовані продукти, знаходимо, що вже за перших 15 хв зростає вміст гель-фракції в зразках, які містять як активний компонент олігомер I, II або III. У разі формування полімерних плівок за кімнатної температури найкращі результати були досягнуті у за застосування як активного компонента олігомеру II (суміш IV), а під час структурування при нагріванні достатньо високих показників за вмістом нерозчинних продуктів та твердості можна досягнути в сумішах, до складу яких входять олігомери I і III. Це дає можливість стверджувати, що в формуванні полімерних плівок у сумішах III і V беруть участь пероксидні групи, які містяться в структурі олігомеру I і III. Аналізуючи вплив температури на вміст нерозчинних продуктів та твердості, можемо стверджувати, що температура 403 К є достатньою для отримання зразків з високим вмістом гель-фракції. Подальше збільшення температури до 423 К незначною мірою впливає на вищевказані показники. Крім того, із табл. 5 знаходимо, що формування плівок за нагрівання також позитивно впливає на збільшення як нерозчинних продуктів, так і твердість плівок в суміші IV, в якій як активний компонент застосовується олігомер II.

Таблиця 5

**Залежність вмісту гель-фракції та твердості плівок
від температури та тривалості структурування та складу суміші**

Температура, К	Номер суміші за табл. 5.7	Показник	Значення показника за час структурування, хв.					
			24 год. за н.у.	15	30	45	60	75
383	I	Г	51,4	70,9	83,1	84,9	85,9	89,9
		Т	0,30	0,44	0,46	0,48	0,49	0,51
	III	Г	66,1	79,3	84,4	86,9	89,3	91,3
		Т	0,42	0,45	0,50	0,53	0,55	0,56
403	I	Г	51,4	72,7	85,4	86,4	86,7	90,4
		Т	0,30	0,44	0,47	0,48	0,50	0,51
	III	Г	66,1	81,7	87,2	88,7	90,5	92,4
		Т	0,42	0,47	0,50	0,52	0,56	0,56
	IV	Г	83,5	91,3	94,2	95,4	95,9	96,1
		Т	0,55	0,58	0,59	0,60	0,62	0,70
V	Г	78,5	92,9	93,4	95,5	96,7	96,8	
	Т	0,54	0,63	0,64	0,66	0,71	0,73	
423	I	Г	51,4	79,3	86,7	87,9	89,3	91,5
		Т	0,30	0,49	0,51	0,52	0,52	0,52
	III	Г	66,1	85,9	88,3	89,5	92,5	94,8
		Т	0,42	0,52	0,54	0,55	0,56	0,56

Примітки: Г – вміст гель-фракції, %; Т – твердість плівок за М-3, відн. од.

Отримані вище результати були використанні під час нанесення сумішей, описаних в табл. 3, на металічні пластинки та скло. Після формування плівок були визначені їх деякі фізико-механічні показники, а також встановлена хімічна стійкість полімерних плівок до дії агресивних середовищ. Для порівняння визначали характеристики суміші I, в склад якої входила вихідна ЕСО. Отримані при цьому результати подані в табл. 6.

Із табл. 6 видно, що суміші, в склад яких входять синтезовані на основі ЕСО олігомери, характеризуються непоганими фізико-механічними показниками та, порівняно із покриттям на основі вихідної ЕСО, проявляють більшу хімічну стійкість до агресивних середовищ.

Фізико-механічні і хімічні властивості плівок на основі епокси-олігомерних сумішей

№ суміші за табл. 3	Вміст гель-фракції, Г, %	Твердість за М-3, Т, відн.од	Міцність		Адгезія, мм	Хімічна стійкість, доби				
			при ударі за У-1А, см	на згин за ШГ, мм		H ₂ O (дист)	NaOH (5 %-ий)	NaCl (5 %-ий)	H ₂ SO ₄ (3 %-ий)	CH ₃ COOH (3 %-ий)
I*	62,7	0,35	50	3	1	3	1	1	1	1
I**	90,4	0,51	40	5	2	5	1	3	1	2
III**	92,4	0,56	50	2	1	>10	7	>10	3	8
IV*	88,2	0,64	50	2	1	>10	5	>10	3	5
IV**	96,1	0,70	50	2	1	>10	7	>10	5	>10
V**	96,8	0,73	50	3	1	>10	8	>10	5	>10

* Структурування за кімнатної температури впродовж 10 діб

** Структурування за температури 403 К впродовж 75 хв.

Висновки. З використанням епоксидованої соняшникової олії синтезовані продукти, в молекулах яких містяться епоксидні і пероксидні групи або метакрилатні фрагменти, або одночасно пероксидні і метакрилатні фрагменти. При додаванні в епокси-олігомерну суміш функційних похідних епоксидованої соняшникової олії останні виконують роль пластифікатора, що дає можливість вилучати із такої суміші олігоестеракрилату ТГМ-3 та дещо підвищувати фізико-механічні та захисні властивості отриманих при цьому полімерних покриттів.

1. Овчаров В. І. Особливості процесу сірчаної вулканізації полідієнів за наявності четвертинних амонієвих солей / В. І. Овчаров, Л. О. Соколова, В. К. Грищенко, А. В. Баранцова, Н. А. Бусько // Полімер. журн. – 2008, 30 (3). – С. 227–232. 2. Бубнова А. С. Синтез і дослідження властивостей композиційних матеріалів на основі функціоналізованих ізоціанатних oligомерів та алкідних смол / А. С. Бубнова, В. Г. Сисюк, В. К. Грищенко, А. В. Баранцова // Вопросы химии и химической технологи. – 2007. – № 2. – С. 121–125. 3. Sanmathi C. S. Interpenetrating polymer networks based on polyol modified castor oil polyurethane and poly(2-ethoxyethyl methacrylate): Synthesis, chemical, mechanical, thermal properties, and morphology / C. S. Sanmathi, S. Prasannakumar, V. S. Sherigara // J. Appl. Polym. Sci. – 2004, 94 (3). – С. 1029–1034. 4. Баранцова А. В. Синтез і дослідження функціоналізованих похідних олій різної природи як біопаливної сировини, розробка полімерних матеріалів на їх основі / А. В. Баранцова, В. К. Грищенко, Н. А. Бусько, З. В. Фальченко, В. В. Шевченко // Катализ нефтехимия. – 2012, № 21. – С. 143–151. 5. Firdous Habib and Madhu Bajrai. UV Curable Heat Resistant Epoxy Acrylate Coatings // Chemistry and Chemical Technology. – 2010. – Vol.4, № 3. – P.205–216. 6. Братичак М. М. Хімічна модифікація епоксидних смол гідропероксидами в присутності каталітичної системи 18-краун-6+ZnCl₂ / М. М. Братичак, Т. І. Червінський, М. Б. Гагін, О. І. Гевусь, Н. І. Кінаш // Укр. хім. журнал. – 2005. – Т.71, № 5. – С. 50–54. 7. Братичак М. М. Модифікація поверхні скла епоксидолігомерними сумішами, які містять пероксидну похідну епоксидної смоли ЕД-20 / М. М. Братичак, Н. Г. Носова, Т. І. Червінський // Доповіді НАН України. – 2006. – № 9. – С. 140–145. 8. Братичак М. М. Формування зшитих структур на основі епоксиполімерних композицій / М. М. Братичак, О. І. Кутень, М. Б. Гагін // Укр. хім. журнал. – 2005 – Т.71, № 6. – С. 124–127. 9. Братичак М. М. Структурування епокси-олігоестерних сумішей в присутності пероксидної похідної епоксидної смоли ЕД-20 / М. М. Братичак, Т. І. Червінський, М. Б. Гагін, Я. Намеснік, А. Кропідловська // Укр. хім. журнал. – 2006. – Т.72, № 5. – С. 58–63.