



<https://doi.org/10.15407/polymerj.43.02.095>  
УДК 678.664.668.968.1/9

**Л.А. ГОРБАЧ,**

Інститут хімії високомолекулярних сполук НАН України, 48, Харківське шосе, Київ, 02160, Україна,  
ORCID:0000-0003-2711-7244  
e-mail: gorbachla@ukr.net

**Н.В. БАБКІНА,**

Інститут хімії високомолекулярних сполук НАН України, 48, Харківське шосе, Київ, 02160, Україна  
ORCID: 0000-0002-1803-0887  
e-mail: nabab1906@gmail.com

**О.Г. ПУРІКОВА,**

Інститут хімії високомолекулярних сполук НАН України, 48, Харківське шосе, Київ, 02160, Україна  
ORCID: 0000-0002-4606-8815

**А.В. БАРАНЦОВА,**

Інститут хімії високомолекулярних сполук НАН України, 48, Харківське шосе, Київ, 02160, Україна  
ORCID: 0000-0001-5781-2323

**В.К. ГРИЩЕНКО,**

Інститут хімії високомолекулярних сполук НАН України, 48, Харківське шосе, Київ, 02160, Україна  
ORCID: 0000-0002-4951-936X

**О.О. БРОВКО,**

Інститут хімії високомолекулярних сполук НАН України, 48, Харківське шосе, Київ, 02160, Україна  
ORCID: 0000-0003-0238-1137

## **ФІЗИКО-МЕХАНІЧНІ ТА В'ЯЗКОПРУЖНІ ВЛАСТИВОСТІ ПОЛІМЕРНИХ КОМПОЗИЦІЙ НА ОСНОВІ СИНТЕТИЧНОГО ОЛІГОМЕРУ ЕД-20 Й ЕПОКСИДОВАНОЇ СОЄВОЇ ОЛІЇ**

Вивчено ефекти від суміщення епоксидованої соєвої олії (ЕСО) зі стандартною епоксидною смолою бісфенольного типу А (ЕД-20) за співвідношення компонентів ЕД-20/ЕСО, що становило 100/0; 90/10; 95/15 і 80/20 % мас. Систему отвердівали амінними отверджувачами моно(ціанетил)діетилентриаміном (МЦДТ), триетаноламіном (ТЕА) та їх сумішшю (ТЕА+МЦДТ) за різних температурних режимів тверднення. Вибір базувався на можливості отверджувачів розкривати оксиранові цикли, утворювати просторову сітку та ініціювати декілька паралельних реакцій. Досліджено в'язкопружні властивості, механічні властивості – міцність на розрив та відносне подовження при розтязі, визначено густину отриманих зразків ЕД-20/ЕСО. Введення ЕСО в епоксидну смолу ЕД-20 супроводжувалось помітними змінами в отвердненні та кінцевих властивостях зразків. Показано, що фізико-механічні властивості полімерних композицій ЕД-20/ЕСО визначаються як вмістом ЕСО, так і температурним режимом тверднення. Залежно від обраного режиму тверднення, додавання 5–10 % мас. ЕСО підвищує показники міцності на розрив відносно значення  $\sigma_r$  для вихідної епоксидної матриці. Значення відносного подовження істотно зростають за вмісту 15–20 % мас. ЕСО. Методом динамічного механічного аналізу показано, що збільшення вмісту ЕСО приводить до пластифікації епоксидної композиції та до зменшення густини зшивання. Визначено, що 5–10 % мас. – оптимальна концентрація ЕСО, за якої епоксидна композиція має покращені фізико-механічні показники. Подальше збільшення вмісту ЕСО зменшує густину зшивання та збільшує дефектність епоксидного полімеру, що спричиняє передчасне руйнування в слабких місцях структури під дією навантаження.

**Ключові слова:** епоксидна смола, епоксидована соєва олія, в'язкопружні властивості, міцність на розрив, відносне подовження.

Цитування: Горбач Л.А., Бабкіна Н.В., Пурікова О.Г., Баранцова А.В., Грищенко В.К., Бровко О.О. Фізико-механічні та в'язкопружні властивості полімерних композицій на основі синтетичного олігомеру ЕД-20 й епоксидованої соєвої олії. *Полімерний журнал*. 2021. 43, № 2. С. 95—102. <https://doi.org/10.15407/polymerj.43.02.095>

## Вступ

Епоксидні смоли – це найпоширеніші синтетичні олігомерні сполуки, які використовують як термореактивні матриці для армованих композитів і адгезивів завдяки їхній здатності після твердіння набувати відмінну механічну міцність, термічну, електричну та хімічну стійкість, адгезію до багатьох субстратів [1]. Але найчастіше епоксидні полімери – це крихкі матеріали. Для запобігання крихкості та підвищення ударної стійкості у склад епоксидних композицій вводять модифікатори, зокрема сполуки природного походження, а саме функціоналізовані рослинні олії [2–4].

Додавання рослинних олій в подальшому сприяє їх фрагментації та розкладанню за умов довкілля, що є певним вирішенням проблеми утилізації епоксидних полімерів [5–12].

У роботах [13, 14] наведені численні дослідження, які показують можливість оптимізації основних властивостей епоксидних сполук при використанні епоксидованих рослинних олій (ЕРО). Перевагою застосування саме ЕРО є можливість використання отверджувачів однакової природи для отверднення як епоксидної смоли, так і ЕРО. Зазвичай, це аміни, ангідриди карбонових кислот або карбонові кислоти. Для часткового заміщення синтетичних епоксидних форполімерів надзвичайно поширене використання епоксидованої соєвої

олії (ЕСО) як екологічного та недорогого повновлюваного джерела [2–4, 7, 15]. Виявлено, що часткова заміна синтетичного епоксидного форполімеру на основі дигліцидилового етеру бісфенолу А на ЕСО при використанні ангідридного отверджувача приводить до зниження температури склування ( $T_g$ ), а зростання вмісту ЕСО посилює пластифікувальну дію олії [2]. Схожий ефект спостерігали автори [4], але вони показали, що одночасно відбувається й підвищення міцності при введенні 10 % мас. ЕСО в епоксидну матрицю.

При формуванні структури композиційних матеріалів на основі епоксидних полімерів важливими факторами є температурно-часовий режим структурування та характер взаємодії полімерної матриці з отверджувачем [7]. У роботі [3] показано, що властивості модифікованих ЕСО епоксидних полімерів істотно залежать від температури та часу тверднення композицій.

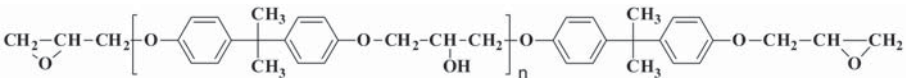
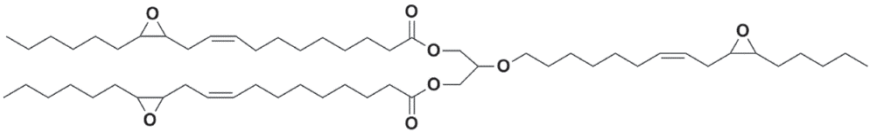
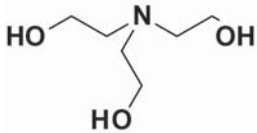
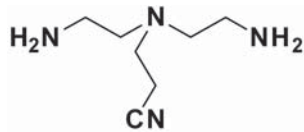
Метою роботи є вивчення впливу вмісту ЕСО на фізико-механічні та в'язкопружні властивості полімерних композицій на основі синтетичного олігомеру ЕД-20, отверднених за різних температурно-часових режимів.

## Експериментальна частина

### Матеріали та методи дослідження.

Для отримання просторової сітки на основі синтетичного олігомеру ЕД-20 (24,76 % мас.

Таблиця 1. Структурні формули компонентів полімерної системи

ЕД-20	
ЕСО	
Триетаноламін (ТЕА)	
Моно(ціанетил)діетилтриамін (МЦДТ)	

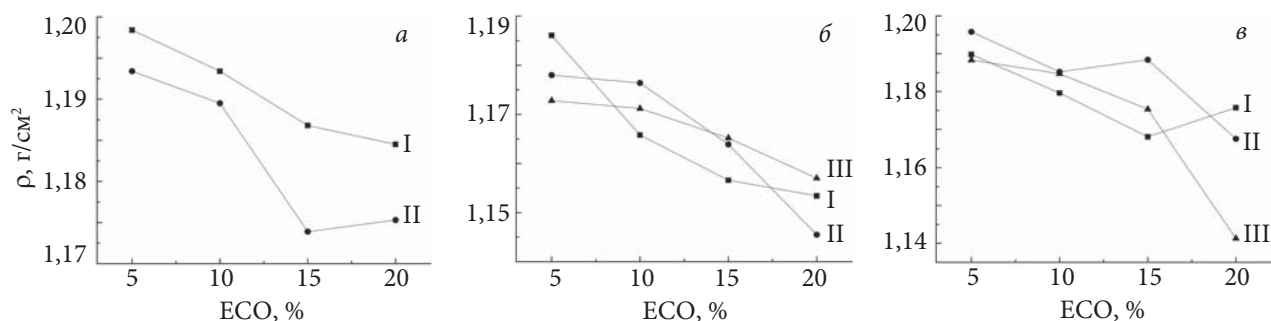


Рис. 1. Залежність густини зразків від вмісту ЕСО, затверднених отверджувачами: ТЕА (а); МЦДТ (б); ТЕА+МЦДТ (в) за I, II і III режимами отвердження

епоксидних груп) (табл. 1) застосовували амінні отверджувачі, триетаноламін (ТЕА), моно(ціанетил)діетилентриамін (МЦДТ) та їх суміш (ТЕА+МЦДТ) за співвідношення 50/50 % мас. Вибір базувався на здатності отверджувачів розкривати оксиранові цикли, утворювати просторову сітку та ініціювати декілька паралельних реакцій [7, 16, 17]. Функціоналізована епоксидними групами соєва олія (табл. 1) – це комерційно доступна сировина, екологічно чиста, отримана з поновлюваних ресурсів, біологічно розкладається. Всі реагенти використовували без додаткового очищення.

Для отримання зразків ЕСО змішували з епоксидною матрицею за співвідношення компонентів 5 : 10 : 15 : 20 % мас., використовуючи ультразвуковий гомогенізатор Elmasonic S15H протягом 15 хв, додавали отверджувач 20 % мас. і за кімнатної температури заливали у форми для тверднення. Спираючись на літературні дані та власний доробок [18, 19] було обрано режими тверднення, які надалі позначали, як I (перший), що тривав 4 год. за  $T = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$  та застосовувався тільки для отверджувача МЦДТ. Режими II (другий) за  $T = 80\text{ }^{\circ}\text{C}$  – 2 год, за  $T = 100\text{ }^{\circ}\text{C}$  – 7 год. і III (третій) за  $T = 80\text{ }^{\circ}\text{C}$  – 1 год, за  $T = 100\text{ }^{\circ}\text{C}$  – 1 год, за  $T = 120\text{ }^{\circ}\text{C}$  – 3 год, за  $T = 160\text{ }^{\circ}\text{C}$  – 2 год. для отверджувача ТЕА та суміші (ТЕА+МЦДТ). Отримували також індивідуальні вихідні епоксидні композиції, що не містили ЕСО.

Вплив ЕСО на в'язкопружні властивості епоксидних композицій досліджували методом динамічного механічного аналізу (ДМА) на релаксометрі Q800 (TA Instruments, USA) в режимі розтягування за частоти 10 Гц. Вимірювання в'язкопружних характеристик, а саме тангенса механічних втрат ( $\tan\delta$ ), модуля

пружності ( $E'$ ) та модуля механічних втрат ( $E''$ ) проводили в температурному діапазоні 20–200  $^{\circ}\text{C}$  за швидкості нагрівання 3 гр/хв. Температуру склування ( $T_c$ ) композицій, визначали за положенням максимуму на температурній залежності  $\tan\delta$ .

Вимірювання міцності на розрив та відносного подовження при розтязі вільних плівок проводили на розривній машині Р-50, швидкість активного затискача становила 10 мм/хв.

Густину зразків вільних плівок визначали за допомогою методу гідростатичного зважування. Вимірювання проводили у середовищі ізооктану. Точність вимірювання маси приладом Radwag WPS 60/180/C/2 на повітрі становить 0,0001г, а в середовищі ізооктану 0,001г.

## Результати дослідження та їх обговорення

Можливість застосування амінних отверджувачів для затверднення як епоксидної смоли, так і ЕСО з одночасним формуванням подовжених ланцюгів впливає на густину зразків. Як видно з рис. 1, введення ЕСО призводить до зменшення густини зразків, винятком є зразок ЕД-20/ЕСО/(ТЕА+МЦДТ) за вмісту 15 % мас. ЕСО, отверднений за II режимом тверднення. Вірогідно, що зменшення густини зразків відбувається за рахунок зниження ефективної густини зшивання і відповідно зростання молекулярної маси ділянки ланцюга між вузлами просторової сітки в порівнянні з немодифікованим композитом. Тобто введення ЕСО в деяких випадках працює як розпушуючий фактор і може впливати на ряд корисних властивостей матеріалу, наприклад таких, як міцність і модуль пружності [7, 20].

Таблиця 2. Залежність міцності на розтяг зразків від вмісту ЕСО за різними температурними режимами

ЕСО, %	Міцність на розтяг ( $\delta$ ), кг/см <sup>2</sup>		
	МЦДТ	ТЕА+ МЦДТ	ТЕА
І режим тверднення			
0	443,62	71,41	-
5	553,47	197,88	-
10	533,04	242,67	-
15	490,11	173,40	-
20	360,21	50,38	-
ІІ режим тверднення			
0	360,84	217,67	300,64
5	321,95	470,99	482,65
10	265,34	310,05	290,77
15	451,40	255,70	248,47
20	337,43	85,87	181,08
ІІІ режим тверднення			
0	416,06	455,14	431,87
5	446,86	595,93	437,84
10	578,33	347,61	523,61
15	488,58	184,30	267,71
20	356,08	90,92	137,06

Так у табл. 2 наведена залежність міцності на розтяг зразків на основі ЕД-20 та ЕСО, отриманих при використанні амініх отверджувачів ТЕА, МЦДТ та їх суміші за різними режимами тверднення.

Видно, що при застосуванні отверджувача МЦДТ підвищуються показники міцності на розтяг зразків, що містять 5–15 % мас. рослинної олії та отверднені за І та ІІІ режимами, тоді як за ІІ режимом тверднення підвищення відбувається тільки при додаванні 15 % мас. ЕСО. Показники міцності на розтяг зразків знижуються при додаванні 20 % мас. ЕСО та застосуванні будь-якого режиму тверднення. При використанні отверджувача ТЕА відбувається зростання міцності на розтяг за ІІ (5 % мас. ЕСО) та ІІІ (5–10 % мас. ЕСО) режимами, інші внесені концентрації ЕСО призводять тільки до зниження показників. Використання суміші отверджувачів (ТЕА+МЦДТ) за І і ІІ режимами тверднення підвищують показники міцності в діапазоні концентрацій 5–15 % мас. ЕСО, але при внесенні 20 % мас. ЕСО міцність стає нижчою за показники вихідних епоксидних композицій. Для ІІІ режиму тверднення

Таблиця 3. Залежність відносного подовження зразків від вмісту ЕСО за різними режимами тверднення

ЕСО, %	Відносне подовження ( $\epsilon$ ), %		
	МЦДТ	ТЕА+ МЦДТ	ТЕА
І режим тверднення			
0	7,18	11,54	-
5	7,01	13,10	-
10	5,48	7,94	-
15	5,31	6,22	-
20	9,44	8,62	-
ІІ режим тверднення			
0	9,04	13,78	12,32
5	4,33	7,70	5,44
10	5,37	6,30	5,54
15	9,58	14,72	6,44
20	7,87	16,49	13,08
ІІІ режим тверднення			
0	8,02	8,02	11,40
5	10,60	8,32	7,48
10	11,94	7,88	7,59
15	12,54	34,96	11,04
20	6,56	23,25	10,93

при додаванні 5 % мас. ЕСО відбувається зростання міцності, в подальшому при збільшенні кількості ЕСО міцність на розтяг знижується.

Залежність відносного подовження зразків на основі ЕД-20 та ЕСО, отриманих при використанні амініх отверджувачів та їх суміші за різними режимами тверднення, наведено в табл. 3 відповідно.

Як видно з табл. 3 при застосуванні отверджувача МЦДТ показники відносного подовження зразків зменшуються при введенні 5–15 % мас. ЕСО та отвердненні за І і ІІ режимами тверднення, крім зразка з вмістом 15 % мас. ЕСО (ІІ), тоді як зростають показники відносного подовження зразків, затверднених за ІІІ режимом. Внесення 20 % мас. ЕСО призводить до зростання відносного подовження за І режимом та спаду за ІІ та ІІІ режимами тверднення. При застосуванні отверджувача ТЕА в інтервалі концентрацій 5–20 % мас. відбувається зниження показників відносного подовження, крім зразка з 20 % мас. ЕСО (ІІ). Застосування суміші отверджувачів (ТЕА+МЦДТ) знижує показники відносного подовження в інтервалі концентрацій 10–20 % мас. ЕСО за

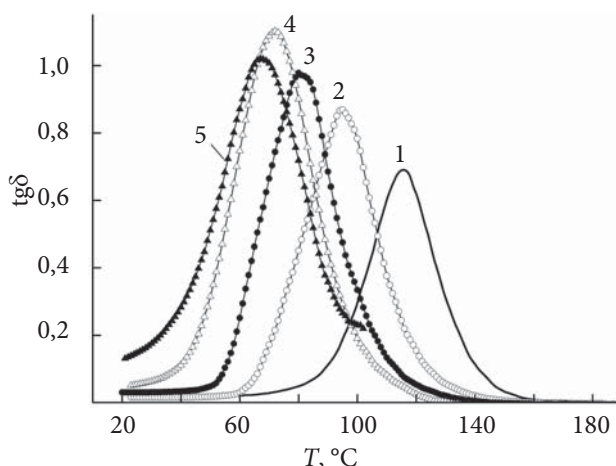


Рис. 2. Температурні залежності  $\tan\delta$  для епоксидних композицій ЕД-20/ЕСО з вмістом ЕСО: 0 (1); 5 (2); 10 (3); 15 (4) та 20 % мас. (5)

І режимом тверднення, за вмісту 5–10 % мас. ЕСО за ІІ, за вмісту 10 % мас. ЕСО за ІІІ режимами тверднення відповідно. Підвищує показники відносного подовження внесення в епоксидну систему 15–20 % мас. ЕСО при твердненні за ІІ та ІІІ режимами тверднення.

Відомо, що динамічні механічні дослідження – це потужний інструмент для аналізу кореляцій між структурою та властивостями як окремих полімерів, так і полімерних сумішей [21, 22]. Вплив вмісту ЕСО на в'язкопружні властивості епоксидних композицій вивчали на прикладі зразків ЕД-20/ЕСО/(ТЕА+МЦДТ), які затвердівали за ІІ температурним режимом.

На рис. 2 наведено температурні залежності  $\tan\delta$  для епоксидної матриці ЕД-20 та епоксидних композицій ЕД-20/ЕСО з різним вмістом ЕСО. Для всіх зразків на залежності  $\tan\delta(T)$  спостерігається релаксаційний максимум, що визначає перехід склування, але при цьому  $T_c$

Таблиця 4. В'язкопружні характеристики та значення  $M_c$  для епоксидних композицій

ЕД-20/ЕСО, % мас.	$T_c, ^\circ\text{C}$	$\tan\delta_{\max}$	$E'_{T=25^\circ\text{C}}, \text{МПа}$	$E'_{\text{в.е.}}, \text{МПа}$	$M_c$
100/0	115	0,687	2830	27,53	360
95/5	95	0,871	2900	11,78	590
90/10	80	0,973	2920	7,70	850
85/15	72	1,102	2330	3,27	9300
80/20	67	1,023	1325	-	-

істотно залежить від складу епоксидної композиції (табл. 4). Так, якщо  $T_c$  вихідної епоксидної матриці становить  $115^\circ\text{C}$ , то додавання лише 5 % мас. ЕСО приводить до зниження  $T_c$  на  $20^\circ\text{C}$ , що свідчить про значне підвищення сегментальної рухливості внаслідок зростання гнучкості макроланцюга в структурі ЕД-20/ЕСО. Збільшення вмісту ЕСО приводить до подальшого значного зниження  $T_c$ , і за вмісту 20 % мас. температура склування зменшується майже на  $50^\circ\text{C}$  щодо вихідної немодифікованої композиції. Методом ДМА також було показано зниження  $T_c$  для подібних модифікованих ЕСО композитів, але де використовували епоксидні сполуки іншої природи та ангідридні отверджувачі [2–4]. Пластифікуювальну дію ЕСО автори пояснювали більш гнучкою структурою олії в порівнянні з епоксидною матрицею.

На температурній залежності модуля пружності для всіх досліджених зразків в області релаксаційного переходу спостерігали стрімкий спад  $E'$  (рис. 2). Видно, що при збільшенні вмісту ЕСО ця область зсувається в бік низьких температур, що є наслідком дії пластифікації. В табл. 4 наведені значення  $E'$  епоксидних композицій у склоподібному стані за  $T=25^\circ\text{C}$  ( $E'_{T=25^\circ\text{C}}$ ) та у високоеластичному стані за  $T=160^\circ\text{C}$  ( $E'_{\text{в.е.}}$ ).

Виявлено, що збільшення вмісту ЕСО до 5–10 % мас. приводить до зростання модуля пружності в склоподібному стані, але за більших концентрацій ЕСО значення  $E'_{T=25^\circ\text{C}}$  епоксидної композиції стрімко знижується, і

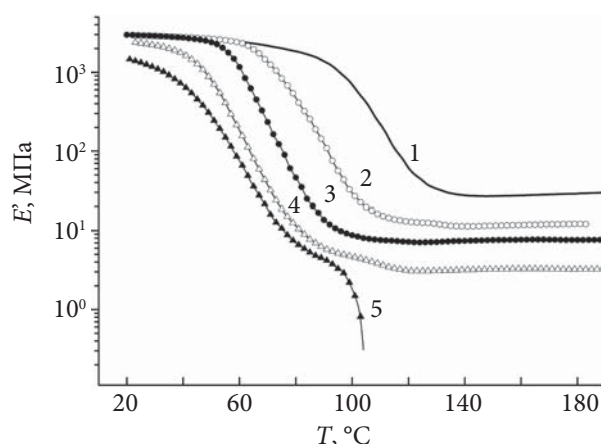


Рис. 3. Температурні залежності  $E'$  для епоксидних композицій ЕД-20/ЕСО з вмістом ЕСО: 0 (1); 5 (2); 10 (3); 15 (4) та 20 % мас. (5)

за вмісту 20 % мас. ЕСО стає майже в 2 рази нижчим за відповідне значення для вихідного епоксидного полімеру. Такий нелінійний характер залежності  $E'_{T=25^\circ\text{C}}$  від вмісту ЕСО добре корелює з даними показників міцності (табл. 2). Виявлено, що найвищі значення міцності та модуля пружності мають епоксидні композити за вмісту 5–10 % мас. ЕСО.

З рис. 3 видно, що в області високоеластичного стану значне зниження модуля пружності спостерігається вже за вмісту 5 % мас. ЕСО. Значення  $E_{\text{в.е.}}$  поступово зменшується при збільшенні вмісту ЕСО, а за вмісту 20 % мас. ЕСО для епоксидної композиції високоеластичний стан вже не ідентифікується, і близько  $T=100^\circ\text{C}$  відбувається руйнування зразка.

Використовуючи значення  $E_{\text{в.е.}}$  (табл. 4) за емпіричним рівнянням для густосітчастих полімерів [21] обчислено значення відносної молекулярної маси відтинків між вузлами зшивання  $M_c$ :

$$\lg G \approx 6 + 293 \rho / M_c$$

де:  $G = E_{\text{в.е.}} / 3$ , Па;  $\rho$  – густина полімеру, г/см<sup>3</sup>.

Розраховані значення  $M_c$  підтверджують тенденцію зменшення густини хімічних зшивок в епоксидних композиціях, модифікованих ЕСО (табл. 2). Спостерігається поступове зростання  $M_c$  при введенні 5 та 10 % мас. ЕСО і різке збільшення значення  $M_c$  при додаванні 15 % мас. ЕСО. Отже, збільшення  $M_c$ , тобто зменшення густини зшивання композицій при зростанні вмісту ЕСО також підтверджує, що

модифікація олією приводить до пластифікації епоксидного полімеру. Однак, при збільшенні вмісту ЕСО до 20 % мас. при формуванні ЕД-20/ЕСО композиції відбувається як руйнування хімічної просторової сітки, так і послаблення фізичних зв'язків у полімерній системі.

## Висновки

Отже, встановлено, що кількість введеного ЕСО, різновид отверджувача та температурний режим тверднення впливають на фізико-механічні та в'язкопружні властивості композицій на основі епоксидної смоли ЕД-20. Простежується зменшення густини епоксидних композицій залежно від вмісту рослинної олії. Показано, що розраховані значення  $M_c$  зростають зі збільшенням кількості введеної ЕСО. Знайдено, що за вмісту 5 % мас. модифікатора ЕСО значення  $M_c$  зростає більше, ніж у 2 рази, а введення 15 % мас. ЕСО приводить до зростання  $M_c$  майже у 9 разів у порівнянні зі значенням  $M_c$  для вихідної епоксидної композиції. Вміст ЕСО 5–10 % мас. приводить до зростання показників міцності на розтяг за всіх режимів тверднення, але показники при застосуванні отверджувача МЦДТ найкращі при використанні І режиму. Визначено, що 5–10 % мас. – оптимальний вміст ЕСО в епоксидній композиції, за якого утворюється кращий баланс між фізичними і хімічними зв'язками.

## REFERENCES

1. Chernin I.Z., Smehov F.M., Zherdev Yu.V. Epoksidnyie polimery i kompozitsii. M.: Himiya, 1982: 232.
2. Altuna F.I., Espo' sito L.H., Ruseckaitė R.A., Stefani P.M. Thermal and Mechanical Properties of Anhydride-Cured Epoxy Resins with Different Contents of Biobased Epoxidized Soybean Oil. J. Appl. Polym. Sci, 2001, **120**: 789–798. <https://doi.org/10.1002/app.33097>.
3. Karger-Kocsis J., Grishchuk S., Sorochnyńska L., Rong M.Z. Curing, Gelling, Thermomechanical, and Thermal Decomposition Behaviors of Anhydride-Cured Epoxy (DGEBA)/Epoxidized Soybean Oil Compositions. Polym. Eng. Sci, 2013. <https://doi.org/10.1002/pen.23605>.
4. Soo-Jin Park, Fan-Long Jin, Jae-Rock Lee. Thermal and mechanical properties of tetrafunctional epoxy resin toughened with epoxidized soybean oil. Mater. Sci. Eng. Part A, 2004, **374**: 109–114. <https://doi.org/10.1016/j.msea.2004.01.002>.
5. Meier M.A.R., Metzger J.O., Schubert U.S. Plant oil renewable resources as green alternatives in polymer science. Chem. Soc. Rev, 2007, **36**: 1788–1800. <https://doi.org/10.1039/b703294c>.
6. Güner F.S., Yagci Y., Erciyas A.T. Polymers from triglyceride oils. Prog. Polym. Sci, 2006, **31**: 633–670. <https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2006.07.001>.
7. Mustata A. Fanica, Tudorachi Nita, Rosu Dan. Curing and thermal behavior of resin matrix for composites based on epoxidized soybean oil/diglycidyl ether of bisphenol. Composites.Part B, 2011, **42**: 1803–1812. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2011.07.003>.

8. Anastas P. J., Warner J.C. Green Chemistry: Theory and Practice. London: Oxford University, 1998: 144.
9. Hofer R., Selig M. Green Chemistry and Green Polymer Chemistry. Polymer Science: A Comprehensive Reference, 2012. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-53349-4.00252-1>.
10. Hourston D.J. Degradation of Plastics and Polymers. Shreir's Corrosion. 2010. 3: 2369–2386. <https://doi.org/10.1016/B978-044452787-5.00116-5>.
11. Shah A. A., Hasan F., Hameed A., Ahmed S. Biological degradation of plastics: a comprehensive review. Biotechnology Advances, 2008, 26: 246–265. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2007.12.005>.
12. Liu W., Tingting C., Tianshun X., Qiu R. Soybean oil-based thermosets with N-vinyl-2-pyrrolidone as crosslinking agent for hemp fiber composites. Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, 2016, 82: 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2015.11.035>.
13. Tan S. G., Chow W. S. Biobased Epoxidized Vegetable Oils and Its Greener Epoxy Blends: A Review. Polym. Plast. Techn. Eng, 2010, 49: 1581–1590. <https://doi.org/10.1080/03602559.2010.512338>.
14. Wang R., Schuman T. P. Vegetable oil-derived epoxy monomers and polymer blends: A comparative study with review. Expr. Polym. Lett, 2013, 7, no. 3: 272–292. <https://doi.org/10.3144/expresspolymlett.2013.25>.
15. Zhu J., Chandrashekhara K., Flanigan V., Kapila S. Curing and Mechanical Characterization of a Soy-Based Epoxy Resin System. J. Appl. Polym. Sci, 2004, 91: 3513–3518. <https://doi.org/10.1002/app.13571>.
16. Friasa Célia F., Serraa Arménio C., Ramalhob A., Coelhoa Jorge F.J., Fonseca Ana C. Preparation of fully biobased epoxy resins from soybean oil based amine hardeners. Industrial Crops & Products, 2017, no. 109: 434–444. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.08.041>.
17. J.-E. Ehlers, N.G. Rondan, L.K. Huynh, Ha Phan, Marks M., Truong T.N. Theoretical study on mechanisms of the epoxy amine curing reaction. Macromol, 2007, 40, no. 12: 4370–4377. <https://doi.org/10.1021/ma070423m>.
18. Lapitskiy V.A., Kritsuk A.A. Fiziko-mehanicheskie svoystva epoksidnyih polimerov i stekloplastikov. Kiev: Nauk. dumka, 1986: 92.
19. Tkalich M. G., Gorbach L. A., Shumskiy V. P., Getmanchuk I. P., Brovko O. O. Vpliv spivvidnoshennya vihidnih reagentiv na reokinetiku ta v'язkopruzni vlastivosti otverdnenogo aminom epoksidnogo oligomeru. Polym.J.(Ukr), 2015, 37, no. 4: 341–346. <https://doi.org/10.15407/polymerj.37.04.341>.
20. Mustata F. R., Tudorachi N., Bicu I. Industrial & Engineering Chemistry Research, 2013, 52: 17099–17110. <https://doi.org/10.1021/ie402221n>.
21. Nilsen L. Mehanicheskie svoystva polimerov i ih kompozitsiy. M.: Himiya, 1978: 310.
22. Menard K.P. Dynamic Mechanical Analysis: A Practical Introduction. Boca Raton-London-New York: Taylor and Francis Group. CRC Press, 2008: 218. <https://doi.org/10.1201/9781420053135>.

Received 28.01.2021

*L.A. Gorbach,*

Institute of Macromolecular Chemistry, NAS of Ukraine, 48, Kharkivske shose, Kyiv, 02160, Ukraine  
e-mail: gorbachla@bigmir.net

*N.V. Babkina,*

Institute of Macromolecular Chemistry, NAS of Ukraine, 48, Kharkivske shose, Kyiv, 02160, Ukraine  
e-mail: nabab1906@gmail.com

*O.G. Purikova,*

Institute of Macromolecular Chemistry, NAS of Ukraine, 48, Kharkivske shose, Kyiv, 02160, Ukraine

*A.V. Barantsova,*

Institute of Macromolecular Chemistry, NAS of Ukraine, 48, Kharkivske shose, Kyiv, 02160, Ukraine

*V.K. Grischenko,*

Institute of Macromolecular Chemistry, NAS of Ukraine, 48, Kharkivske shose, Kyiv, 02160, Ukraine

*O.O. Brovko,*

Institute of Macromolecular Chemistry, NAS of Ukraine, 48, Kharkivske shose, Kyiv, 02160, Ukraine

#### PHYSICO-MECHANICAL AND VISCOELASTIC PROPERTIES OF POLYMER COMPOSITIONS BASED ON SYNTHETIC OLIGOMER ED-20 AND EPOXIDIZED SOYBEAN OIL

The work was aimed at studying the effects of combining epoxidized soybean oil (ESO) with standard bisphenol type A epoxy resin (ED-20). The ED-20 / ESO ratios were 100/0, 90/10, 95/15 and 80/20 (wt%). The system was cured with amine hardener mono(cyanethyl) diethylenetriamine (MCDT), triethanolamine (TEA) and mixture thereof (TEA + MCDT) at different curing temperatures. The choice was based on the hardener's ability to open oxirane cycles, form a spatial network and initiate several parallel reactions. The viscoelastic properties, mechanical properties (tensile strength and elongation) were studied the density of obtained ED-20 / ESO samples was determined.

The results showed that the introduction of ESO into epoxy resin ED-20 was accompanied by significant changes in the curing and final properties of the samples. It was shown that the physico-mechanical properties of polymer compositions ED-20 / ESO were determined by both the ESO content and the temperature of curing. Depending on the selected curing mode, the addition of 5–10 wt.% of ESO increased the tensile strength relative to the  $\sigma_p$  value of the original epoxy matrix. The values of relative elongation increased significantly at 15–20 wt.% of ESO. By the method of dynamic mechanical analysis it was shown that the increase of ESO content leads to plasticization of epoxy composition and to reduction of crosslinking density. It was determined that 5–10 wt.% was the optimal concentration of ESO, at which the epoxy composition had improved physical and mechanical properties. Further increase of ESO content reduced the crosslinking density and increased the defectiveness of the epoxy polymer, which causes premature failure in weak places of the structure under load.

**Key words:** epoxy resin, epoxidized soybean oil, viscoelastic properties, tensile strength, relative elongation.