



<https://doi.org/10.15407/polymerj.43.03.190>  
УДК:678:678.82:678.01

**В.Д. МИШАК,**

Інститут хімії високомолекулярних сполук НАН України, 48, Харківське шосе, Київ, 02160, Україна,  
e-mail: Myshak.V.D@nas.gov.ua  
ORCID: 0000-0003-1615-3303

**В.В. СЕМИНОГ,**

Інститут хімії високомолекулярних сполук НАН України, 48, Харківське шосе, Київ, 02160, Україна,  
e-mail: seminogv@ukr.net  
ORCID: 0000-0001-9587-8307

**Н.В. КОЗАК,**

Інститут хімії високомолекулярних сполук НАН України, 48, Харківське шосе, Київ, 02160, Україна,  
e-mail: kozaksmalt@ukr.net  
ORCID: 0000-0001-6200-4048

## **ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ПРИРОДИ ПОВЕРХНІ НАПОВНЮВАЧА НА ВЛАСТИВОСТІ ГІБРИДНИХ ОРГАНО-НЕОРГАНІЧНИХ НАНОКОМПОЗИТІВ НА ОСНОВІ ЕПОКСИДНОГО ОЛІГОМЕРУ**

*Досліджено вплив хімічної природи поверхні високодисперсного аеросилу на термічні властивості нанокompозитів на основі епоксидного олігомеру ЕД-20. Вивчено особливості процесу термоокиснювальної деструкції. Показано, що введення 0,5 % мас. високодисперсного аеросилу в епоксидну матрицю не приводить до змін термічних властивостей композитів, а за вмісту 5 % мас. нанонаповнювача термічна стійкість композитів покращується. Методом ІЧ-спектроскопії досліджено кінетику процесу тверднення епоксидних нанокompозитів. Визначено вплив наявності функціональних груп на поверхні аеросилу на характер перебігу реакції тверднення та ступінь перетворення епокси-груп. Встановлено, що швидкість перетворення епоксидних груп за наявності аеросилів знижується в ряду ЕД-20>ЕД-20+А-300>ЕД-20+АМ-300. Досліджено сорбційні властивості епоксидних нанокompозитів. Встановлено, що процес сорбції відбувається швидше при наповненні матриці немодифікованим аеросилом. Розглянуто механізми впливу хімічної природи поверхні та концентрації аеросилу на властивості епоксидних нанокompозитів.*

**Ключові слова:** нанокompозити, епоксидний олігомер, аеросил, термоокиснювальна деструкція, сорбція.

### **Вступ**

Невпинний розвиток полімерних технологій вимагає створення нових полімерних матеріалів у т.ч. за рахунок модифікації відомих. Значний обсяг наукових публікацій присвячений дослідженням зі створення нових епоксидних композиційних наноматеріалів. Створення

епоксидних нанокompозитів – важливе і актуальне завдання, оскільки такі матеріали мають високі фізико-механічні, теплофізичні характеристики і забезпечують ефективне підвищення їхніх експлуатаційних показників. Значна увага до них пояснюється можливістю створювати системи з широким спектром властивостей, які можна спрямовано регулювати

Цитування: Мишак В.Д., Семиног В.В., Козак Н.В. Дослідження впливу природи поверхні наповнювача на властивості гібридних органо-неорганічних нанокompозитів на основі епоксидного олігомеру. *Полімерний журнал*. 2021. 43, № 3. С. 190—197. <https://doi.org/10.15407/polymerj.43.03.180>

і отримувати матеріали з заданими характеристиками для багатоцільового використання [1–5].

Економічно обґрунтованим, ефективним і найбільш широко застосовуваним методом отримання полімерних наноматеріалів є їх формування шляхом введення в епоксидні матриці наповнювачів [6, 7], що дає змогу спрямовано регулювати властивості композитів, підвищувати показники механічної міцності, хімічної стійкості, біо-, термо- і теплостійкості, діелектричних властивостей, жорсткості тощо.

Експериментально було підтверджено, що значний вплив на експлуатаційні характеристики епоксикомпозитів і зміну структури матриці має введення невеликої кількості нанорозмірного наповнювача [8].

Для епоксидних олігомерів особливий інтерес, як наноаповнювачі, становлять дисперсні матеріали неорганічного походження з реакційноздатними групами на поверхні, серед них слід виділити двоокис кремнію (аеросил). Висока адсорбційна здатність аеросилу визначається високою дисперсністю і особливостями хімічної будови поверхні, великою концентрацією та активністю гідроксильних груп [7], що в свою чергу дає змогу проводити модифікацію поверхні частинок аеросилу необхідними функціональними групами, наприклад гідрофобними метильними, або аміногрупами, або акрилатними та ін., які активно впливають на процес структуроутворення епоксидного полімеру. При цьому хімічна активність прищеплених функціональних груп щодо оксидно-циклів епоксидного олігомеру може істотно послабитися за рахунок міцних водневих зв'язків із протонами гідратного шару аеросилу, а також через утворення поверхневих комплексів.

Процес уведення в епоксидний олігомер дисперсних часток методом змішування ускладнюється злипанням часток із утворенням поверхнево-фрактальних чи масово-фрактальних агрегатів, що підтверджується даними малокутової рентгенографії [9]. Тому часто використовують технологічні прийоми формування наночастинок безпосередньо в полімерній матриці методом гідролізу попередньо введеного в полімерну матрицю неорганічного компонента, як описано в роботі [6], або змінюючи його фізичний стан (золь-гель метод) [10].

Метою цієї роботи було дослідження впливу природи поверхні наповнювача на властивості гібридних органо-неорганічних нанокompозитів на основі епоксидного олігомеру за наявності нанорозмірного функціонального наповнювача неорганічного походження – аеросилу, з різною природою поверхні. Вивчення впливу наноаповнювача та природи його поверхні на кінетику формування, теплофізичні, сорбційні характеристики полімерних композицій.

## Матеріали та методи дослідження

Об'єктами досліджень були гібридні органо-неорганічні полімерні нанокompозити (ГОНК) на основі епоксидіанового олігомеру марки ЕД-20 (ММ – 420, епоксидне число – 21,6) і неорганічної складової у вигляді порошкоподібного нанорозмірного неорганічного двоокису кремнію ( $\text{SiO}_2$ ) – аеросилу з різною природою поверхні. Для досліджень було обрано аеросил марки А-300 з немодифікованою поверхнею і аеросил АМ-300 (ТУ 618-185-78) з промислово гідрофобізованою диметилдихлорсиланом поверхнею. Питома поверхня аеросилів 300 м<sup>2</sup>/г, розмір часток близько 10–20 нм. Полімерні гібридні композиції з вмістом наноаповнювача від 0,1 до 15,0 % мас. готували змішуванням епоксидного олігомеру та аеросилу. Розподіл наноаповнювача за об'ємом олігомеру забезпечували шляхом механічного перемішування протягом 20–30 хв. Твердження композитів відбувалось протягом 1–2 год. при вакуумуванні з періодичним підігріванням у термошафі за температури 50–60 °С до зникнення пухирців. Повне твердження зразків відбувалось за кімнатної температури протягом 24 год. Як отверджувач використовували УП 0633М.

Контролювання кінетики твердіння епоксидного олігомеру за наявності модифікованого та не модифікованого аеросилу і встановлення продуктів, що утворюються в результаті реакції полімеризації, проводили методом ІЧ-спектроскопії. Спектри отримували на ІЧ-спектрометрі з Фур'є перетворенням. Зразки для досліджень у вигляді тонких плівок формували на NaCl стеклах. Граничну межу перетворення епоксидних груп ненаповнених та аеросил-наповнених композитів реєстрували за оптичною густиною смуги поглинання 917 см<sup>-1</sup>,

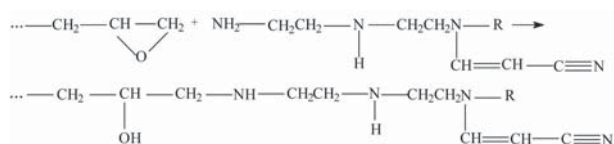
яка відповідає валентним коливанням епоксидного циклу, віднесеного до оптичної густини смуги поглинання  $2966 \text{ cm}^{-1}$ , що відповідає валентним коливанням С–Н-зв'язків бензолного кільця.

Особливості термоокиснювальної деструкції полімерних епоксидних композитів, сформованих за наявності аеросилу А-300 та модифікованого аеросилу АМ-300 досліджували методом динамічного термогравіметричного аналізу (ТГА) за допомогою дериватографа Derivatograph Q-1500D system F. Paulik, J. Paulik, L. Erdey в інтервалі температур від 20 до 750 °С в атмосфері повітря при одночасному видаленні газоподібних продуктів деструкції. Швидкість підвищення температури становила 10 град/хв. Вага зразків становила 50 мг. Температурні інтервали стадій розкладання оцінювали за диференціальними кривими втрати ваги (ДТВ), враховуючи той факт, що площа піка кривої ДТВ пропорційна втраті маси на відповідній стадії (ДТВ), а ступінь розділення стадій на кривих ДТВ істотно перевищує можливості інтегральних кривих втрати ваги (ТВ)

Водопоглинання композицій ГОНК вивчали за різного вмісту нанонаповнювача. Кількість сорбованої рідини визначали ваговим методом при зануренні зразків у воду. Через певні проміжки часу зразки виймали з рідини і вимірювали зміну ваги. Час вимірювання не перевищував 1 хв.

## Результати дослідження та їх обговорення

Процес синтезу епоксидного нанокompозиту, отриманого з використанням ЕД-20, аеросилу А-300 і отверджувача УП-0633М, можна схематично подати таким чином:



З метою вивчення впливу наповнення нанорозмірним аеросилом з поверхнею різної природи на тверднення епоксидної матриці (ЕД-20) кінетику процесу полімеризації вивчали на зразках ГОНК за вмісту 0,5 % мас. А-300 та АМ-300 у композиції. Для цього за температури 20 °С реєстрували спектри зразків

протягом перших двох годин реакції через кожні 15 хв. Після виходу кінетичної кривої на плато контроль реакції продовжували періодично протягом 150 год. Для розрахунку кінетичних параметрів процесу з ІЧ-спектрів визначали інтенсивність вихідного пучка ( $I_0$ ), інтенсивність смуг поглинання епоксидних груп ( $I_{\text{COC}}$ ) і СН-груп ( $I_{\text{CH}}$ ). Оптичну густину ( $D$ ) визначали, як  $D_{\text{COC}} = \lg I_0/I_{\text{COC}}$  і  $D_{\text{CH}} = \lg I_0/I_{\text{CH}}$ . Для зменшення похибки аналізу скористалися відношенням інтенсивностей поглинання цих смуг, виражених у значеннях оптичної густини ( $D_{\text{COC}}/D_{\text{CH}}$ ). Числові значення цього відношення, зняте з вихідного спектра, приймали за 100 % і робили перерахунок для всіх наступних спектрів. З отриманих даних будували залежності перетворення  $\alpha$  (%) від часу  $\tau$  (год.) і отримували кінетичні криві.

Результати досліджень зразків, отриманих методом ІЧ-спектроскопії, вказують на різний час початку реакцій і їх швидкість для кожного зразка. Встановлено, що швидкість перетворення епоксидних груп за наявності аеросилів знижується в ряду ЕД-20>ЕД-20+А-300>ЕД-20+АМ-300. Видно, що введення 0,5 % мас. А-300 (рис. 1, крива 2) призводить до зниження швидкості перетворення епоксидних груп у порівнянні з ненаповненою системою, але вона вища у порівнянні з композицією, яка містить АМ-300 (рис. 1, крива 3),

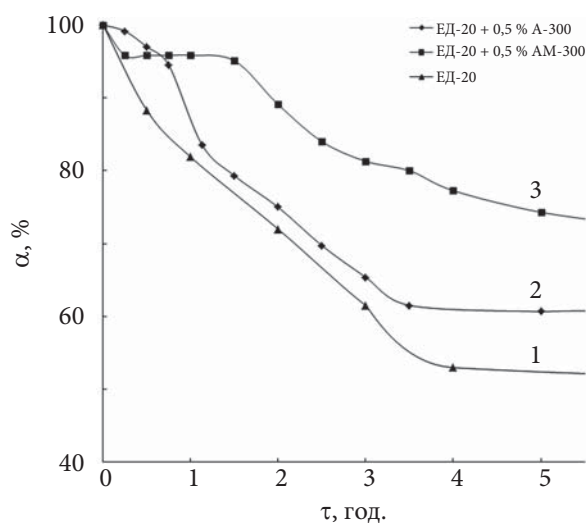


Рис. 1. Кінетичні криві процесу полімеризації епоксидного полімеру (1) за наявності немодифікованого (2) та модифікованого аеросилу (3) протягом перших 5 год.

Таблиця 1. Швидкості конверсії СОС-груп у композиціях залежно від фізичного стану поверхні нанонаповнювача (аеросилів А-300 і АМ-300)

Композиція	Вміст аеросилу, % мас.	Глибина перетворення, %	$V_k$ , %/год.
Епоксиполімер ЕД-20	0	59,3	9,46
Епоксиполімер ЕД-20 + А-300	0,5	52,5	10,21
Епоксиполімер ЕД-20 + АМ-300	0,5	49,82	12,38

особливо це чітко проявляється в перші 5 год. реакції.

Отримані кінетичні криві свідчать про вплив аеросилу на перебіг реакції тверднення і структурування епоксидного полімеру. Проведені розрахунки і порівняння показують, що в перші 15 хв. ступінь перетворення епоси-груп у ненаповненій системі становить 6,8 %, що у 8,2 раза вище, ніж у наповненій А-300 (0,85 %), і у 1,7 раза вище, ніж у наповненій АМ-300 (4,12 %). В подальшому характер перебігу реакцій структурування зберігається. Через 3 год. від початку реакції ступінь перетворення епоси-груп у ненаповненій системі становить 61,5 %, що у 1,2 раза вище, ніж у наповненій А-300 (65,4 %), і в 2,1 раза вище, ніж у наповненій АМ-300 (81,3 %).

Для реакції отримання ГОНК на основі епоксиполімеру ЕД-20, наповненого А-300, глибина перетворення становить 52,5 %, для зразка ГОНК на основі епоксиполімеру ЕД-20, наповненого АМ-300, глибина перетворення становить 49,82 %, а для чистого епоксиполімеру – 59,3 %. З кінетичних кривих визначали

швидкість конверсії ( $V_k$ ), згідно з [11], як тангенс кута нахилу дотичної, проведеної до кінетичної кривої  $V_k = \text{tg } A/B$ . Для зразка ГОНК на основі епоксиполімеру ЕД-20, наповненого А-300, швидкість конверсії дорівнює 10,21 % за годину, а для зразка ГОНК на основі епоксиполімеру ЕД-20, наповненого АМ-300, 12,38 % за годину. Швидкість конверсії для зразка на основі чистого епоксиполімеру становить 9,46 % за годину. Відповідні дані для двох композицій і ненаповненого полімеру наведені в табл. 1.

Характер кривих показує, що залежно від хімічної природи поверхні аеросилу в ГОНК (немодифікована, модифікована), швидкість перебігу реакції СОС-груп знижується у випадку модифікованої поверхні аеросилу, про що свідчить менш стрімкий нахил кривої на обох її ділянках, у порівнянні зі зразком, який містить А-300, що цілком зрозуміло, якщо припустити, що реакції СОС-груп у ГОНК мають гетерогенний характер і відбуваються на межі розділу органічної та неорганічної фаз. Наявність гідроксильних груп на поверхні А-300 [9] сприяє перебігу реакцій СОС-груп в більшій

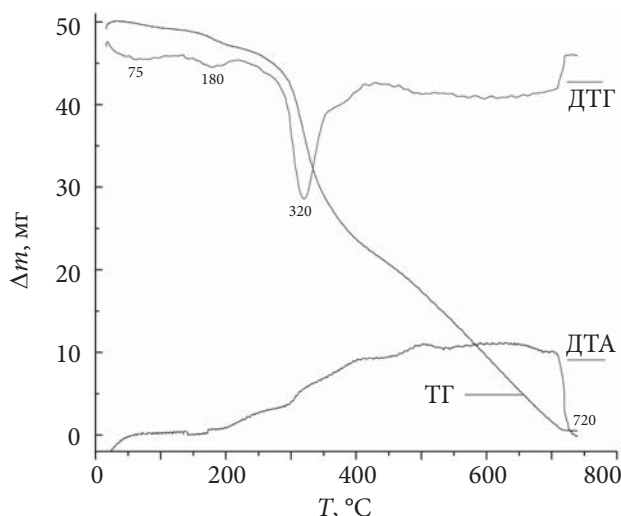


Рис. 2. Криві ТГА епоксидної смоли, отвердненої амініним отверджувачем

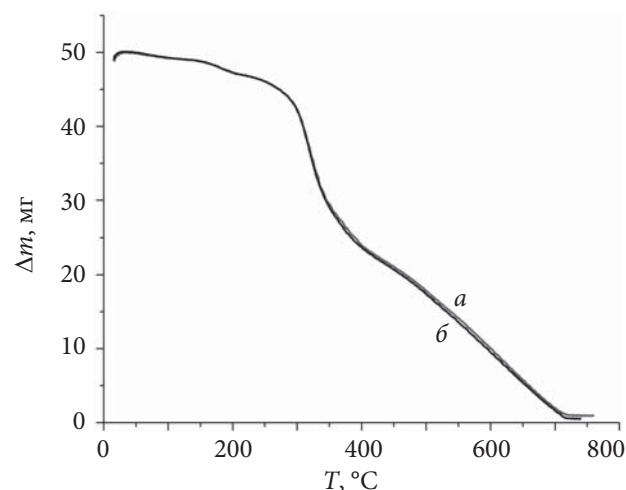
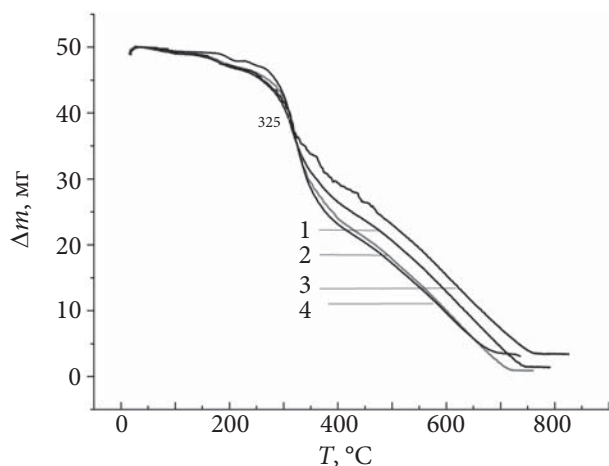


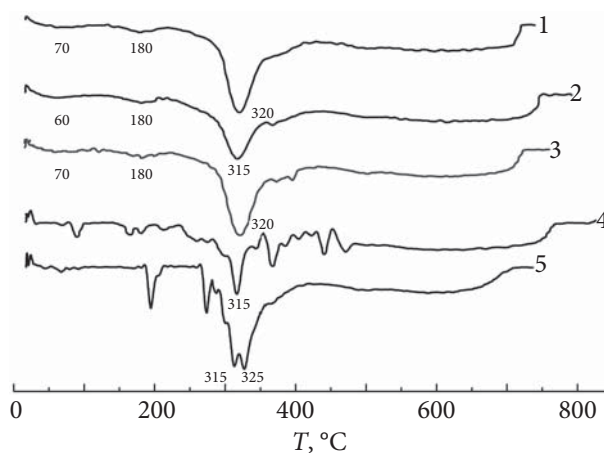
Рис. 3. Криві ТГ отвердненої ЕД-20 (а) та епоксидного композиту, що містить 0,5 % мас. АМ-300 (б)



**Рис. 4.** Криві ТГ епоксидних композитів, що містять: по 0,5 % мас. А-300 (1) і АМ-300 (2); по 5,0 % мас. А-300 (3) і АМ-300 (4)

мірі, у порівнянні з АМ-300, який містить на поверхні метильні групи, що здатні блокувати реакційноздатні групи. Ці хімічні реакції відбуваються переважно на межі розділу органічної та неорганічної фаз, у результаті чого формується специфічна структура ГОНК з хімічними зв'язками між мінеральним і органічним компонентами. Очевидно, адсорбційна взаємодія молекул епоксидного олігомеру з наночастками аеросилу, з різною поверхневою енергією, призводить до зменшення швидкості реакції перетворення епоксидних груп в обох випадках за рахунок їх блокування [12, 13], а це призводить у результаті до зниження ступеня перетворення їх загалом.

Особливості термоокиснювальної деструкції полімерних епоксидних композитів, сформованих за наявності аеросилу А-300 та модифікованого аеросилу АМ-300, досліджували методом термогравіметричного аналізу. Рис. 2



**Рис. 5.** Криві ДТГ отвердненої ЕД-20 (1) та епоксидних композитів, що містять: по 0,5 % мас. А-300 (2) та АМ-300 (3); по 5,0 % мас. А-300 (4) та АМ-300 (5)

ілюструє типові криві ТГА (ТГ, ДТГ і диференціального термічного аналізу) досліджених епоксидних композицій. На рис. 3 наведено криві втрати ваги отвердненої ЕД-20 і композиту, що містить 0,5 % мас. аеросилу АМ-300. На рис. 4 наведено криві ТГ епоксидних композитів із різним вмістом неорганічного наповнювача. Диференціальні криві втрати ваги для всіх досліджених епоксидних систем показані на рис. 5.

Згідно з отриманими даними, термоокиснювальна деструкція отвердненої епоксидної смоли і досліджених композитів на її основі відбувається за кілька стадій. З кривих ДТГ можна виділити такі чітко розділені стадії втрати ваги:

- низькотемпературна стадія повільної втрати ваги в області температур від 40 до 100 °С, яка, згідно з кривими ДТА, не супроводжується тепловиділенням і може бути пов'язана з видаленням летких низькомолекулярних домішок

**Таблиця 2. Термічні характеристики епоксидних систем**

Система	Інтенсивна екзотермічна стадія		Δm, %			Коксовий залишок	
	T <sub>макс</sub> , °C	Δm, %	T=100 °C	T=200 °C	T=400 °C	T, °C	m, %
ЕД-20	320	26,2	1,5	5,3	42,3	720	0,5
0,5%А-300	315	25,2	1,2	3,5	40,8	740	0,8
0,5%АМ-300	320	26,3	1,5	5,4	46,4	720	2,3
5,0%А-300	315	22,4	1,7	5,6	51,4	760	3,4
5,0%АМ-300	315	22,5	2,1	6,1	53,3	690	7,4
	325	29,3					

і вологи в процесі нагрівання зразка. Втрата ваги на цій стадії не перевищує 0,3 % мас.;

– стадія повільної втрати ваги в температурному інтервалі 120–200 °С, якому на кривій ДТА відповідає ендотермічна область, може відповідати видаленню залишків реагентів або висококиплячих домішок. Втрата ваги на цій стадії становить від 3 до 6 % мас.;

– стадія швидкої втрати ваги супроводжується інтенсивним тепловиділенням, характерним для окиснювальних процесів, про що свідчить значний екзотермічний ефект на кривій ДТА. Максимальна швидкість втрати ваги на цій стадії та втрата ваги в середньому 25 % мас. досягається за температури від 315 до 325 °С;

– широка високотемпературна стадія, яку, згідно з літературними даними, пов'язують із окиснювальним розкладом вуглецевого скелета, супроводжується інтенсивним тепловиділенням, з максимальною швидкістю втрати ваги за температури від 500 до 600 °С і втрачає ваги понад 60 % мас. за цих температур.

Термічні характеристики досліджуваних епоксидних систем наведені в табл. 2.

З кривих ТГА, наведених на рис. 3 і 4, видно, що введення від 0,5 до 5,0 % мас. високодисперсного аеросилу А-300 і модифікованого АМ-300 в епоксидну матрицю не приводить до істотної зміни термічних властивостей композитів. Зокрема, термоокиснювальна деструкція отвердненої ЕД-20 практично не відрізняється від такого процесу для композиту, що містить 0,5 % мас. модифікованого аеросилу АМ-300 (рис. 3).

Термічна стійкість композиту покращується зі збільшенням вмісту неорганічного наповнювача. За температури нижче 320 °С вона найкраща для композиту, що містить 5 % мас. модифікованого АМ-300, а за температури вище 320 °С найбільш термостійким виявився композит, що містить 5 % мас. немодифікованого А-300 (рис. 4). Величина коксового залишку корелює з вмістом неорганічного наповнювача

Однак, слід зауважити, що диференціальні криві втрати ваги (рис. 5) для композитів із більшим вмістом наповнювача (як модифікованого, так і не модифікованого) характерні для нестабільного вигорання хімічно неоднорідних систем. Це може вказувати на значну фазову сегрегацію органічної і неорганічної складових у таких композитах та/або дефектність епоксидної сітки, що формувалась за

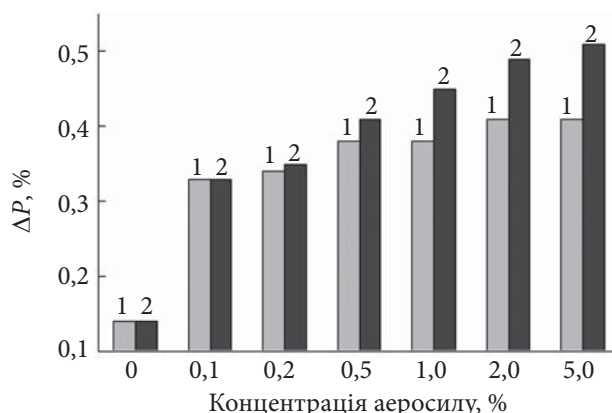


Рис. 6. Залежність сорбції води епоксидних композитів від концентрації АМ-300 (1) і А-300 (2)

наявності агрегатів дисперсного наповнювача, що корелює з отриманими нами раніше даними рентгенографічних досліджень і результатами фізико-механічних випробувань [9].

Сорбційні властивості композицій ГОНК вивчали за різного вмісту аеросилу. В гібридних композиціях величина сорбції ( $\Delta P$ ) досягає рівноважного значення за однаковий час експозиції – приблизно 90 год. Згідно з отриманими даними, при збільшенні вмісту нанонаповнювача до 5 % мас. спостерігається зростання показників  $\Delta P$  (рис. 6).

Слід зауважити, що особливості процесу сорбції води в досліджених ГОНК значною мірою визначаються властивостями використаної неорганічної складової, яка є сорбентом і міститься в жорсткій полімерній матриці.

При підвищенні концентрації аеросилу процес сегрегації неорганічного компонента внаслідок утворення агрегатів (масово-фрактальних агрегатів) нанонаповнювача [9] порушує просторову неперервність армуючої сітки. Це призводить до утворення більш дефектної полімерної матриці, зростання частки вільного об'єму, що і є можливою причиною зростання величини сорбції при збільшенні вмісту аеросилу в ГОНК [14].

Відомо [15], що енергія зв'язку молекул сорбату з сорбентом значно посилюється, якщо на поверхні сорбенту наявні специфічні центри сорбції, наприклад іони або карбоксильні, гідроксильні та інші функціональні групи. Наявність деякої кількості вільних гідроксильних груп на поверхні часточок не модифікованого аеросилу в композиціях найого основі підвищує

їхні гідрофільні властивості і сприяє тому, що процес сорбції відбувається швидше. Дійсно, з отриманих даних видно, що для всіх композицій на основі аеросилу А-300 сорбція води вища, ніж у випадку аеросилу АМ-300. Вона становить 0,51 і 0,41 % відповідно (за вмісту наповнювача 5 % мас.). Це можна пов'язати з тим, що прищеплення до поверхні аеросилу АМ-300 метильних груп сприяє деякому підвищенню гідрофобних властивостей поверхні часточок аеросилу, що веде до зниження показників сорбції води.

## Висновки

Із наведених результатів експериментальних досліджень властивостей нанокompозитів на основі епоксидного олігомеру ЕД-20, що містить як наповнювач аеросил А-300 та АМ-300, можна дійти висновку, що властивості досліджуваних композитів залежать від хімічної природи поверхні аеросилу, яка впливає на реалізацію молекулярної взаємодії між нанонаповнювачем і матрицею і, як наслідок, на їхні властивості. Також важливим фактором, що впливає на властивості композитів, є повнота диспергування частинок нанонаповнювача та відсутність їх агрегатів.

Методом ІЧ-спектроскопії досліджено кінетику процесу тверднення епоксидних

нанокompозитів. Встановлено, що залежно від хімічної природи поверхні аеросилу, швидкість перебігу реакції епоксидних груп знижується у випадку модифікованої поверхні аеросилу. Наявність гідроксильних груп на поверхні А-300 сприяє швидкості перетворення епоксидних груп більшою мірою, в порівнянні з аеросилом з модифікованою поверхнею, який містить на поверхні метильні групи, що здатні блокувати реакційноздатні групи.

Результати досліджень, отриманих методом термогравіметричного аналізу, показали, що введення 0,5 % мас. високодисперсного аеросилу А-300 і модифікованого АМ-300 в епоксидну матрицю не приводить до істотних змін термічних властивостей композитів. Термічна стійкість композитів покращується при введенні до складу полімерної матриці 5 % мас. неорганічного наповнювача. Найбільш термостійким виявився композит, що містить 5 % мас. модифікованого аеросилу (за температури, нижче 320 °С).

Дослідження сорбційних властивостей нанокompозитів показало, що модифікування поверхні аеросилу приводить до підвищення гідрофобних властивостей часточок нанонаповнювача, що спричиняє зниження показників сорбції води. Отримані дані результатів досліджень свідчать про вплив хімічної природи поверхні аеросилу на властивості композицій.

## REFERENCES

1. Nanotechnology v blizhayshe desyatiletii. Pod red. M.K. Roko, R.S. Williamsa. Moskva: Mir, 2002: 292. ISBN 5-03-003432-3.
2. Sergeev G.B. Nanochemistry. Moscow: MGU, 2003: 288. ISBN 5-2111-04852-0.
3. Shpak A.P., Kunitskiy Yu.A., Karbovskiy V.L. Cluster nanostructured materials. Kiev: Academperiodika, 2001: 587. ISBN 966-8002-06-07.
4. Potagaylo A.D. Hybrid polymer-inorganic nanocomposites. Uspekhi Khimii, 2000, **69**, no. 1: 60–89. <https://doi.org/10.1070/RC2000v069n01ABEH000506>.
5. Tjong S. C. Structural and mechanical properties of polymer nanocomposites. Materials science and engineering, 2006, **53**: 73–197. <https://doi.org/10.1016/j.mser.2006.06.001>.
6. Ivanchev S.S., Mesh A.M., Reichelt N., Hesse A., Haikin S.Ya., Meakin S.V. Obtaining nanocomposites of alkoxysilanes in a polypropylene matrix. High-molecules compounds. Part A, 2002, **44**, no. 6: 996–1001.
7. Voronkov A.G., Yartcev Ya.P. Epoxidnie polymerrastvory dlya remonta s zashchity stroitelnyh izdeliy i konsrtruktsiy. Tambov: TGTU, 2006: 92. ISBN 5-8265-0519-2.
8. Sigareva N.V., Gorelov B.M., Starokadomsky D.L. Thermal destruction of epoxy fumed silica nanocomposites. Surface, 2013, **20**, no. 5: 206–214.
9. Myshak V.D., Semynog V.V., Gomza Yu.P., Nesin S.D., Klepko V.V. Epoxy based nanocomposites. Structure and Properties. Polym. J. (Ukr.), 2008, **30**, no. 2: 146–153.
10. Shilova O.A., Shilov V.V. Nanocomposite oxide and hibrid organic- inorganic materials obtained the sol-gel metod. Syntesis. Properties. Application. Nanosystems, nanomaterials, nanotechnology, 2003, **1**, no. 1: 9–83.
11. Emanuel N.M., Knorre D.G. Kurs khimicheskoy kinetiki. Moskva: Vysshaya shkola, 1984: 463.

12. Bilogubka O.R., Malahova I.V., Shiychuk O.V. Effect of dispersed fillers on thermomechanical and thermal properties of the epoxy compound. Polym. J. (Ukr.), 2005, **27**, no. 4: 268–271.
13. Lebedev Ye.V., Ishchenko S.S., Pridatko A.B. Polymer organosilicate systems. Composite Polymer Materials, 1999, **21**, no. 1: 3–12.
14. Gamayunov N.I. Issledovanie svoystv sorbirovannoy vody v organicheskikh nabukhayushchikh materialakh. Kiev: Nauk. dumka, 1983: 286.
15. Haskov M.A. Water sorption by nanocomposites based on epoxy resin and carbon nanotubes above and below the glass transition temperature of the polymer matrix. Proceedings of VIAM, 2016, **42**, no. 6: 57–67.

Received 28.05.2021

V.D. Myshak,

Institute of Macromolecular Chemistry NAS of Ukraine, 48, Kharkovskoye Shausse, Kiev, 02160, Ukraine  
e-mail: Myshak.V.D@nas.gov.ua

V.V. Seminog,

Institute of Macromolecular Chemistry NAS of Ukraine, 48, Kharkovskoye Shausse, Kiev, 02160, Ukraine  
e-mail: seminogv@ukr.net

N.V. Kozak,

Institute of Macromolecular Chemistry NAS of Ukraine, 48, Kharkovskoye Shausse, Kiev, 02160, Ukraine  
e-mail: kozaksmalt@ukr.net

#### ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF THE NATURE OF THE FILLER SURFACE ON THE PROPERTIES OF HYBRID ORGANIC-INORGANIC NANOCOMPOSITES BASED ON EPOXY OLIGOMER

The aim of this work was to investigate the influence of the chemical nature of the filler surface on the properties of hybrid organo-inorganic nanocomposites based on epoxy oligomer ED-20 in the presence of nanoscale functional filler of inorganic origin - aerosil, with different surface nature. The influence of the chemical nature of the surface of highly dispersed aerosil on the thermal properties of nanocomposites based on epoxy oligomer ED-20 has been studied. The peculiarities of the process of thermooxidative destruction have been studied. It is shown that the introduction of highly dispersed aerosil in the amount of 0.5% in the epoxy matrix does not lead to changes in the thermal properties of composites, and the nanofiller in the amount of 5% improves thermal stability of composites. The kinetics of the curing process of epoxy nanocomposites was studied by IR-spectroscopy. The influence of the presence of functional groups on the nanofiller surface on rate and the degree of conversion of epoxy groups was determined. The presence of hydroxyl groups on the surface of A-300 contributes to the rate of conversion of epoxy groups to a greater extent, compared with aerosil with a modified surface, which contains on the surface methyl groups capable of blocking reactive groups. It is established that the rate of conversion of epoxy groups in the presence of aerosil decreases in the range of ED-20 > ED-20 + A-300 > ED-20 + AM-300. The sorption properties of epoxy nanocomposites have been studied. It is established that the sorption process proceeds at a higher rate when the matrix is filled with unmodified aerosil. The mechanism of influence of the chemical nature of the filler surface and content on formation and properties of epoxy nanocomposites is discussed.

**Key words:** nanocomposites, epoxy oligomer, aerosil, thermal oxidativ destruction, sorption.