

## Получение и исследование свойств металлсодержащих нанокompозитов на основе эпоксидиановой смолы

Н. И. Курбанова, С. К. Рагимова, Н. Я. Ищенко,  
С. Ф. Ахмедбекова, А. З. Чалабиева

Исследовано влияние добавок нанонаполнителей (НН), содержащих наночастицы оксидов меди и цинка, стабилизированные полимерной матрицей полиэтилена высокого давления, полученные механо-химическим методом, на особенности структуры и свойств металлсодержащих нанокompозитов на основе эпоксидиановой смолы (ЭД-20) методами дифференциально-термического (ДТА), ИК-спектрального (ИКС) и рентгенфазового (РФА) анализов. Показано, что введение металлсодержащих НН в композицию с ЭД-20 сдвигает температуру реакции "холодного" отверждения от 90 до 75 °С, а "горячего" отверждения — от 125 до 100 °С и способствует увеличению ее термостабильности, что подтверждается ростом энергии активации термоокислительной деструкции ( $E_{\text{акт}}$ ) от 210 до 225 кДж/моль. Показано, что наночастицы оксида меди повышают термические свойства ЭД-20 и являются катализаторами реакции отверждения, о чем свидетельствует высота пика на кривой отверждения. При этом наночастицы оксида цинка практически не влияют на термические свойства нанокompозитов на основе ЭД-20.

**Ключевые слова:** эпоксидиановая смола (ЭД-20); металлсодержащие нанонаполнители; наночастицы оксидов меди и цинка; термические свойства; ДТА, ИКС и РФА анализы.

DOI: 10.30791/1028-978X-2020-7-52-58

### Введение

Эпоксидные смолы по целому ряду своих свойств выделяются среди прочих полимерных материалов. Их широко используют в качестве электроизоляционных материалов, связующих для композиционных материалов, применяют для изготовления изделий различного функционального назначения. С развитием нанотехнологий было подтверждено, что более значительный эффект на эксплуатационные характеристики оказывают наноразмерные наполнители.

Добавление наночастиц наполнителя в эпоксидную смолу позволяет модифицировать и расширять области их практического применения. Широкое распространение в практике модификации эпоксидных смол получили углеродные наноструктуры, наноразмерные частицы металлов [1, 2].

В работе [3] сообщается, что наноразмерный наполнитель, в частности диоксид кремния оказывает значительное влияние на эксплуатационные характеристики эпоксидных композиций. Углеродные нанотрубки повышают термостойкость и механические параметры композита [4], тогда как введение в смолу окисленного графена приводит к резкому снижению термостабильности [5].

Наполнение ЭД-20 высокодисперсными наполнителями [6] показали возможность повышения термостойкости, а применение нанодисперсного кремнезема, модифицированного аминогруппами, в качестве наполнителя смолы повышает термостойкость эпоксиполимера более чем на 20 % [7].

Влияние нанопорошков на свойства эпоксидных полимеров изучено в работе [8]. Установлено, что введение в состав эпоксидной композиции порошков  $ZrO_2$ ,  $Al_2O_3$ , SiC снижает температуру сте-

клования, при этом природа порошка не оказывает влияния на прочностные свойства композиции.

Анализ литературных данных показал, что эпоксидные полимеры по целому ряду свойств выделяются из прочих полимерных материалов, играя важную роль в различных отраслях промышленности.

Цель работы — получение и исследование структуры и свойств нанокомпозитных полимерных материалов на основе эпоксиановой смолы (ЭД-20) с применением в качестве нанонаполнителей металлсодержащих наночастиц (НЧ), стабилизированных на полимерной матрице.

### Материалы и методы исследования

В работе использованы: эпоксидная смола ЭД-20 с эпоксидным числом 22, полиэтиленполиамин (ПЭПА), метилэндиковый ангидрид (МЭА), ускоритель горячего отверждения УП606/2.

В качестве НН использовали НЧ оксида меди I ( $\text{Cu}_2\text{O}$ ) и оксида цинка ( $\text{ZnO}$ ), стабилизированные полимерной матрицей промышленного полиэтилена высокого давления, полученные механо-химическим методом в расплаве полимера. Содержание наночастиц — 5 масс. %, размер —  $26 \pm 1,0$  нм, степень кристалличности — 35–45 % [9]. Соотношение компонентов композиции, в масс. %: ЭД-20/ПЭПА/НН = 100/12/(0,25; 0,5; 1,0) и ЭД-20/МЭА/НН = 100/100/(0,25; 0,5; 1,0)

Для исследования влияния наночастиц на термическую стойкость эпоксидных материалов были приготовлены композиции “холодного” и “горячего” отверждения при указанных выше соотношениях компонентов.

Наночастицы оксидов меди и цинка не растворяются в эпоксидной смоле, в связи с этим, их вводили в ЭД-20 при нагревании и перемешивании,

затем смесь охлаждали до комнатной температуры и добавляли расчетное количество ПЭПА или МЭА.

Отверждение изучали методом дифференциально-термического анализа (ДТА) на дериватографе марки Q-1500D фирмы MOM (Венгрия). Испытания проведены в атмосфере воздуха в динамическом режиме при нагреве образца 5 град·мин<sup>-1</sup> от 20 до 500 °С, навески 100 мг, чувствительности каналов ДТА — 250мкВ, ТГ — 100, ДТГ — 1 мВ.

Отверждение проводили в платиновых тиглях.

ИК-спектры образцов регистрировали на ИК-Фурье спектрометре ALPHA (фирма BRUKER, Германия) в диапазоне волновых чисел 400 – 4000 см<sup>-1</sup>.

Рентгенофазовый анализ (РФА) нанокомпозитов на основе ЭД-20 осуществляли на приборе D2 Phaser фирмы Bruker, Германия.

### Результаты и их обсуждение

Термостабильность исследуемых образцов эпоксидных композиций, содержащих НН с НЧ оксидов меди и цинка оценивали по энергии активации ( $E_a$ ) распада термоокислительной деструкции, рассчитанной методом двойного логарифмирования по кривой термогравиметрии (ТГ) по методике [10], по температуре 50 %-го распада ( $T_{1/2}$ ) исследуемых образцов ЭД-20, по времени их полураспада —  $\tau_{1/2}$ , а также по данным о сравнительной нагревостойкости по термогравиметрическому индексу (ТГИ), определенной по формуле:

$$\text{ТГИ} = \frac{A+B}{2K},$$

где ТГИ — термогравиметрический индекс; А — температура точки, в которой прямая, проходящая через 20 и 50 %-ую потерю массы, пересекаются с

Таблица 1

Термические показатели эпоксидной смолы ЭД-20, отвержденной ПЭПА

Thermal performance of epoxy resin ED-20, cured PEPA						
№ п.п.	Состав композиции, масс.ч.	$T_{1/2}$ , °С	$\tau_{1/2}$ , мин	$E_{акт}$ , кДж/моль	ТГИ, °С	Теплостойкость по Вика, °С
1	ЭД-20/ПЭПА (эталон)	335	60,8	210,51	125	130
2	ЭД-20/ПЭПА/НЧ $\text{Cu}_2\text{O}$ (1)	340	60,0	203,32	125	130
3	ЭД-20/ПЭПА/НЧ $\text{Cu}_2\text{O}$ (0,5)	350	66,4	225,64	130	140
4	ЭД-20/ПЭПА/НЧ $\text{Cu}_2\text{O}$ (0,25)	335	58,0	201,92	123	120
5	ЭД-20/ПЭПА/НЧ $\text{ZnO}$ (1)	335	61,6	212,45	120	120
6	ЭД-20/ПЭПА/НЧ $\text{ZnO}$ (0,5)	340	62,6	215,59	120	120
7	ЭД-20/ПЭПА/НЧ $\text{ZnO}$ (0,25)	335	56,0	200,13	118	115

Table 1

линией нулевых температур; В — температура точки 50 %-й потери массы; К — коэффициент установившейся, определенный из единичной термограммы материала, принятого за эталон.

Этот метод определения нагревостойкости достаточно прост и хорош для сравнительных характеристик, но не позволяет судить об истинных условиях эксплуатации, т.к. не учитывает все факторы, воздействующие на условия эксплуатации полимерных материалов. Сравнительные результаты по термической стойкости исследуемых композиций приведены в табл. 1.

Как следует из данных табл. 1, оптимальными свойствами обладают композиции, содержащие 0,5 масс.ч НН с наночастицами  $\text{Cu}_2\text{O}$  и  $\text{ZnO}$ .

Как видно из данных табл. 1, введение НН, содержащего НЧ оксида меди и цинка, в состав ЭД-20 способствует незначительному повышению температуры распада образцов:  $T_{1/2}$  на 5 – 15 °С; время полураспада  $\tau_{1/2}$  увеличивается от 60,8 до 66,4 мин для НЧ  $\text{Cu}_2\text{O}$  и от 60,8 до 62,6 мин для НЧ  $\text{ZnO}$ , энергия активации ( $E_a$ ) распада термоокислительной деструкции полученных нанокомпозитов повышается на 5 – 15 кДж/моль. Наличие в системе НЧ  $\text{Cu}_2\text{O}$  незначительно повышает величину показателя ТПИ от 125 до 130 °С и теплостойкости по Вика — от 130 до 140 °С, а использование НЧ  $\text{ZnO}$  способствует уменьшению указанных показателей на 5 – 10 °С.

Дериватографические исследования показали, что введение НН, содержащего НЧ оксида меди, в состав композиции “холодного” отверждения способствует улучшению термоокислительной стабильности полученных нанокомпозитов.

Аналогично были исследованы композиции “горячего” отверждения. В качестве отвердителя был взят метилэтилендициановый ангидрид и как ускоритель отверждения — УП606/2 (1,0 масс.ч.). Термические характеристики полученных композиций приведены в табл. 2.

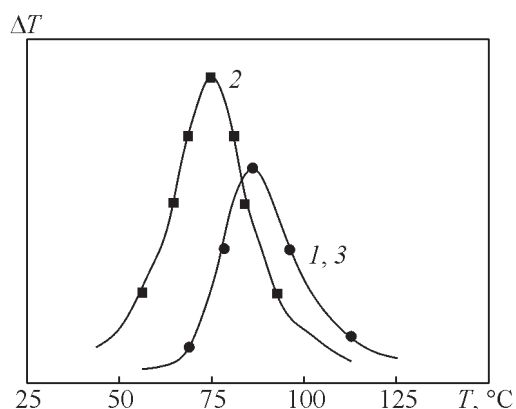


Рис. 1. Кривые отверждения смолы ЭД-20 с ПЭПА в присутствии НЧ оксида меди(I) и оксида цинка: 1 — ЭД-20/ПЭПА (эталон); 2 — ЭД-20/ПЭПА/НЧ  $\text{Cu}_2\text{O}$ ; 3 — ЭД-20/ПЭПА/НЧ  $\text{ZnO}$ .

Fig. 1. Cure curves for resin ED-20 with PEPA in the presence of copper (I) oxide NPs and zinc oxide NPs: 1 — ED-20/PEPA (reference); 2 — ED-20/PEPA/NPs  $\text{Cu}_2\text{O}$ ; 3 — ED-20/PEPA/NPs  $\text{ZnO}$ .

Как видно из данных табл. 2, наличие в системе НЧ  $\text{Cu}_2\text{O}$  незначительно повышает термическую стойкость эпоксидной композиции:  $E_{\text{акт}}$  увеличивается на 7 кДж/ моль, а  $\tau_{1/2}$  возрастает от 60,1 до 64,5 мин. Использование в композиции НЧ  $\text{ZnO}$  приводит к уменьшению термических показателей:  $T_{1/2}$  и теплостойкости по Вика на 5 – 10 °С при сохранении показателей  $E_{\text{акт}}$  и  $\tau_{1/2}$ .

На рис. 1 представлены кривые отверждения смолы ЭД-20 ПЭПА в присутствии НЧ оксида меди I ( $\text{Cu}_2\text{O}$ ) и оксида цинка ( $\text{ZnO}$ ), взятых в соотношении (масс.ч.): ЭД-20/ПЭПА/НЧ $\text{Cu}_2\text{O}$ (НЧ $\text{ZnO}$ ) = = 100/12/0.5

Как видно из кривых отверждения на рис. 1, наличие в композиции НЧ $\text{Cu}_2\text{O}$  несколько сдвигает температуру отверждения от 90 до 75 °С, реакция при этом проходит более интенсивно, о чем свиде-

Таблица 2

Термические показатели эпоксидной смолы ЭД-20, отвержденной МЭА

Состав композиции, масс.ч.	$T_{1/2}$ , °С	$\tau_{1/2}$ , мин	$E_{\text{акт}}$ , кДж/моль	Теплостойкость по Вика, °С
ЭД-20/МЭА/УП606/2= 100/100/ 1.0	285	60,1	119,5	120
ЭД-20/МЭА/УП606/2/ НЧ $\text{Cu}_2\text{O}$ =100/100/1.0/ 0.5	290	64,5	126,4	120
ЭД-20/МЭА/УП606/2/ НЧ $\text{ZnO}$ =100/100/1.0/ 0.5	275	61,0	119,3	115

Table 2

Thermal performance of epoxy resin ED-20, cured MEA

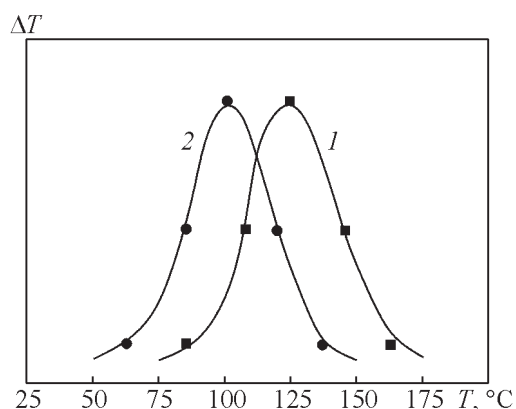


Рис. 2. Кривые отверждения ЭД-20 с МЭА: 1 — смола ЭД-20/МЭА/УП606/2/НЧZnO; 2 — смола ЭД-20/МЭА/УП606/2/ НЧCu<sub>2</sub>O.

Fig. 2. Curing curves for ED-20 with MEA: 1 — resin ED-20/MEA/UP606/2 /NPs ZnO; 2 — resin ED-20/MEA/UP606 /2/NPs Cu<sub>2</sub>O.

тельствует высота пика отверждения. Введение в состав композиции НЧ ZnO не оказывает каталитического действия на реакцию отверждения. Кривая отверждения ЭД-20/ПЭПА/НЧZnO (3) практически совпадает с эталоном отверждения.

На рис. 2 представлены кривые отверждения смолы ЭД-20 в присутствии МЭА, УП606/2 и НЧ оксида меди (Cu<sub>2</sub>O) и оксида цинка (ZnO), взятых в соотношении (масс.ч.): ЭД-20/МЭА/УП606/2/НЧZnO(НЧCu<sub>2</sub>O) = 100/100/1.0/0.5

Как видно из кривых отверждения, наличие в композиции НЧ Cu<sub>2</sub>O несколько сдвигает темпе-

ратуру отверждения от 125 до 100 °С. Введение в состав композиции НЧ ZnO не оказывает каталитического действия на реакцию отверждения. Наличие НЧ Cu<sub>2</sub>O в составе ангидридной композиции действует как катализатор отверждения, однако, наличие ускорителя отверждения УП606/2 обязательно во всех композициях горячего отверждения. Следует отметить, что композиция, содержащая в своем составе НЧ Cu<sub>2</sub>O, отверждается при комнатной температуре в течение 3 суток.

На рис. 3а, 3б представлены ИК-спектры образцов ЭД-20, отвержденных ПЭПА (рис. 3а) и МЭА (рис. 3б), содержащих НЧ Cu<sub>2</sub>O.

Как видно из рис. 3а, на ИК-спектрах наблюдаются полосы поглощения, соответствующие валентным колебаниям Cu – O связи: 420, 455, 509, 558, 619, 667 см<sup>-1</sup> [11]. Аналогично, на рис.4 также присутствуют полосы поглощения, соответствующие валентным колебаниям Cu – O связи: 419, 452, 480, 555 см<sup>-1</sup>.

По-видимому, НЧ Cu<sub>2</sub>O принимает участие в процессе отверждения, взаимодействуя как с ЭД-20, так и с отвердителем, при этом Cu<sup>+</sup> переходит в Cu<sup>2+</sup>.

На рис. 4 представлена дифрактограмма нанокомпозита на основе ЭД-20, содержащая наночастицы меди и показано, что действительно Cu<sup>+</sup> частично переходит в Cu<sup>2+</sup>. На дифрактограмме проявляются кристаллиты “Paramelaconite”, соответствующие формуле Cu<sub>4</sub>O<sub>3</sub>, которые представляют собой 2 CuO·Cu<sub>2</sub>O

Как показали проведенные исследования использование в композиции ЭД-20 НЧ ZnO не приводит к улучшению термических показателей.

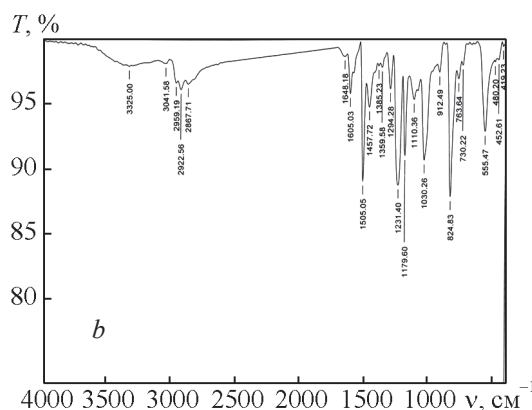
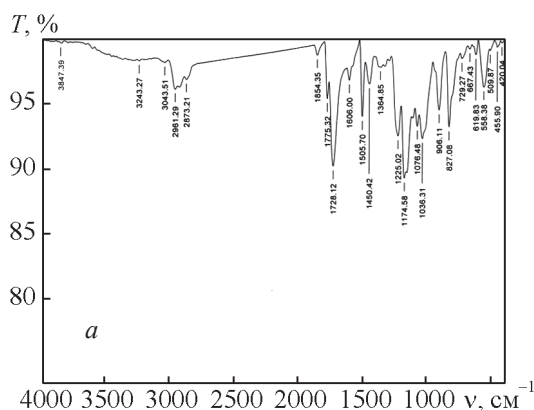


Рис. 3. ИК-спектры образцов ЭД-20, отвержденных: а — ПЭПА, содержащих НЧ Cu<sub>2</sub>O, б — МЭА, содержащих НЧ Cu<sub>2</sub>O.

Fig. 3. IR spectra of ED-20 samples, hardened by: а — PEPA, containing NPs Cu<sub>2</sub>O, б — MEA, containing NPs Cu<sub>2</sub>O.

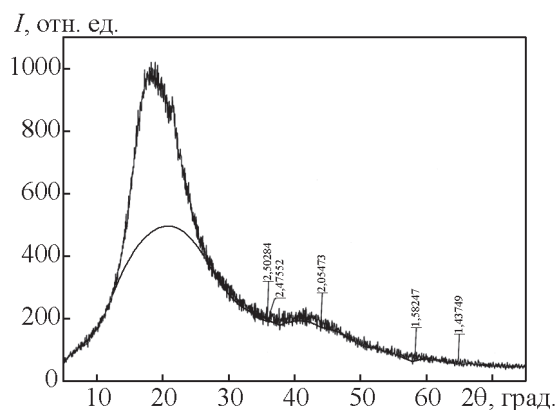


Рис. 4. Дифрактограмма нанокompозита на основе ЭД-20, содержащей наночастицы меди.

Fig. 4. Diffractogram of nanocomposite based on ED-20 containing copper nanoparticles.

По-видимому, НЧ ZnO не принимают участия в процессе отверждения и практически не влияют на термические свойства нанокompозитов на основе ЭД-20.

## Выводы

Исследовано влияние нанонаполнителей, содержащих наночастицы оксидов меди и цинка на особенности свойств эпоксициановой смолы, отвержденной полиэтиленполиамином (ПЭПА) и метилэндиковым ангидридом (МЭА).

Показано, что введение в композицию на основе ЭД-20 нанонаполнителя, содержащего наночастицы оксида меди сдвигает температуру реакции “холодного” отверждения от 90 до 75 °С, а “горячего” отверждения — от 125 до 100 °С и способствует увеличению ее термостабильности, что подтверждается ростом энергии активации термоокислительной деструкции ( $E_{\text{акт}}$ ) от 210 до 225 кДж/моль.

Показано, что наночастицы оксида меди повышают термические свойства ЭД-20 и являются катализаторами реакции отверждения, о чем свидетельствует высота пика на кривой отверждения. При этом наночастицы оксида цинка практически не влияют на термические свойства нанокompозитов на основе ЭД-20.

## Литература

1. Ястребимская А.В., Огрель Л.Ю. Разработка и применение композиционного материала на основе

эпоксициановой смолы для строительных конструкций и теплоэнергетики. Успехи современного естествознания, 2004, № 2, с. 173 – 174.

2. Кондрашов С.В., Меркулова Ю.И., Мараховский П.С., Шашкеев К.А., Попков О.В., Старцев О.В., Молоков М.В., Куршев Е.В., Дьячкова Т.П., Юрков Г.Ю. Ухудшение физико-механических свойств эпоксидных нанокompозитов с углеродными нанотрубками при тепловом и влажностном старении. Журнал прикладной химии, 2017, т. 90, № 5, с. 657 – 665.
3. Сигарева Н.В., Горелов Б.М., Старокадомский Д.Л. Термическая деструкция нанокompозитов эпоксидная смола – кремнезем. Поверхность, 2013, вып. 5(20), с. 206 – 214.
4. Чашкин М.А., Ляхович М.А., Кодолов В.И. Исследование структурных особенностей эпоксидных композиций холодного отверждения, модифицированных металл/углеродным нанокompозитом. Нанотехника, 2012, № 2, с. 19 – 23.
5. Qiu S.L., Wang C.S., Wang Y.T., Liu C.G., Chen X.Y., Xie H.F., Huang Y.A., Cheng R.S. Effects of graphene oxides on the cure behaviors of a tetrafunctional epoxy resin. Express polym. Lett., 2011, v. 5, no. 9, pp. 809 – 818.
6. Загордонский В.П., Гнатышин С.Я., Солтыс М.Н. Влияние высокодисперсных наполнителей на термическую стабильность эпоксидных полимеров ЖПХ, 1998, т. 71, № 9, с. 1480 – 1484
7. Малахова И.В., Тертых В.А., Большух Ю.М., Шийчук О.В. Нанодисперсный кремнезем с привитыми аминогруппами как наполнитель эпоксидного олигомера. Полимер (Украина), 2007, т. 29, № 2, с. 149 – 153
8. Пыриков А., Золотарева В. Наполненные нанопорошками эпоксидные полимеры. Наноиндустрия, 2013, № 6, с. 66 – 69.
9. Kurbanova N.I., Alimirzoeva N.A., Guseinova Z.N., Nurullayeva D.R. Ecological Method of Preparation of Metal-Containing Nanoparticles in Polyethylene Matrix ITWCCST 2017. Baku, Azerbaijan, 10-13 Sept. 2017. Book of Proceedings. pp. 24 – 26.
10. Di Gerbo P.M. Thermogravimetric analysis the need for standard procedures. Insulation. Circ., 1975, v. 21, no. 2, p. 21 – 23.
11. Тарасевич Б.Н. ИК-спектры основных классов органических соединений. Справочные материалы. М.: МГУ. 2012, 54 с.

## References

1. Yastrebinskaya A.V., Ogrel' L.Yu. Razrabotka i primeneniye kompozitsionnogo materiala na osnove epoksidanovoy smoly dlya stroitel'nykh konstruksiy i teploenergetiki [Development and use of a composite material based on epoxy-diane resin for building structures and heat-and-power engineering]. *Uspekhi sovremennogo yestestvoznaniya — Successes of modern science*, 2004, no. 2, pp. 173 – 174.

- Kondrashov S.V., Merkulova Y.I., Marakhovskii P.S., Shashkeev K.A., Popkov O.V., Startsev O.V., Molokov M.V., Kurshev E.V., Dyachkova T.P., Yurkov G.Y. Degradation of physicochemical properties of epoxy nanocomposites with carbon nanotubes upon heat and humidity aging. *Russian Journal of Applied Chemistry*. 2017, vol. 90, no. 5, pp. 788 – 796.
- Sigareva N.V., Gorelov B.M., Starokadomskiy D.L. Termicheskaya destruksiya nanokompозитов epoksidnaya smola – kremnezem [Thermal destruction of nanocomposites epoxy resin – silica]. *Poverkhnost' — Journal of Surface Investigation. X-ray, Synchrotron and Neutron Techniques*, 2013, iss. 5 (20), pp. 206 – 214.
- Chashkin M.A., Lyakhovich M.A., Kodolov V.I. Issledovaniye strukturnykh osobennostey epoksidnykh kompozitsiy kholodnogo otverzhdeniya, modifikatsirovannykh metall/uglerodnym nanokompозитом [Investigation of the structural features of cold-cured epoxy compositions modified with a metal/carbon nanocomposite]. *Nanotekhnika — Nanotechnics*, 2012, no. 2, pp. 19 – 23.
- Qiu S.L., Wang C.S., Wang Y.T., Liu C.G., Chen X.Y., Xie H.F., Huang Y.A., Cheng R.S. Effects of graphene oxides on the cure behaviors of a tetrafunctional epoxy resin. *Express polym. Lett.*, 2011, vol. 5, no 9, pp. 809 – 818.
- Zakordonskiy V.P., Gnatyshin S.YA., Soltys M.N. Vliyaniye vysokodispersnykh napolniteley na termicheskuyu stabil'nost' epoksidnykh polimerov [The effect of highly dispersed fillers on the thermal stability of epoxy polymers]. *Zhurnal Prikladnoj Khimii — Russian Journal of Applied Chemistry*, 1998, vol.71, no. 9, pp. 1480 – 1484
- Malakhova I.V., Tertykh V.A., Bol'bukh Yu.M., Shiychuk O.V. Nanodispersnyy kremnezem s privityimi aminogruppami kak napolnitel' epoksidnogo oligomera. [Nanodispersed silica grafted with amino groups as a filler for epoxy oligomer]. *Polimer (Ukraina) – Polymer (Ukraine)*, 2007, vol. 29, no.2, pp. 149 – 153.
- Pyrikov A., Zolotareva V. Napolnennyye nanoporoshkami epoksidnyye polimery. [Epoxy polymers filled with nanopowders]. *Nanoindustrialiya – Nanoindustry*, 2013, no. 6, pp. 66 – 69.
- Kurbanova N.I., Alimirzoeva N.A., Guseinova Z.N., Nurullayeva D.R., Ecological method of preparation of metal-containing nanoparticles in polyethylene matrix. *Proceedings ITWCCST*, 2017, Baku, Azerbaijan, 10 – 13 Sept., pp. 24 – 26.
- Di Gerbo P.M. Thermogravimetric analysis the need for standard procedures. *Insulation. Circ.*, 1975, vol. 21, no. 2, pp. 21 – 23.
- Tarasevich B.N. IK-spektry osnovnykh klassov organicheskikh soyedineniy. Spravochnyye materialy [IR spectra of the main classes of organic compounds. Reference book]. Moscow, MSU Publ., 2012, 54 p.

Статья поступила в редакцию — 7.03.2019 г.  
после доработки — 13.09.2019 г.  
принята к публикации — 16.09.2019 г.

**Курбанова Нушаба Исмаил кызы** — Институт полимерных материалов Национальной АН Азербайджана (Az5004, Азербайджан, г. Сумгайыт, ул. С.Вургуна, 124), доктор химических наук, заведующая лабораторией, специалист в области разработки композиционных материалов, а также нанокompозитов, на основе эластомеров и термопластов и их бинарных смесей. E-mail: ipoma@science.az; kurbanova.nushaba@mail.ru.

**Рагимова Севиндж Кязым кызы** — Институт полимерных материалов Национальной АН Азербайджана (Az5004, Азербайджан, г. Сумгайыт, ул. С.Вургуна, 124), диссертант, специалист в области разработки композиционных материалов. E-mail: ipoma@science.az

**Ищенко Нелли Яковлевна** — Институт полимерных материалов Национальной АН Азербайджана (Az5004, Азербайджан, г. Сумгайыт, ул. С.Вургуна, 124), кандидат химических наук, заведующая лабораторией, специалист в области разработки композиционных материалов. E-mail: ipoma@science.az

**Ахмедбекова Саида Фуад кызы** — Институт полимерных материалов Национальной АН Азербайджана (Az5004, Азербайджан, г. Сумгайыт, ул. С.Вургуна, 124), вед.науч.сотр., специалист в области ИК-спектроскопии. E-mail: ipoma@science.az

*Чалабиева Алмаз Зулфугар кызы — Институт полимерных материалов Национальной АН Азербайджана (Az5004, Азербайджан, г. Сумгайыт, ул. С.Вургун, 124), кандидат химических наук, специалист в области разработки композиционных материалов. E-mail: ipoma@science.az.*

---

## Preparation and investigation of properties of metal-containing nanocomposites on the basis of epoxy diene resin

N. I. Kurbanova, S. K. Ragimova, N. Ya. Ishenko, S. F. Akhmedbekova, A. Z. Chalabiyeva

The influence of additions of nanofillers (NF) containing nanoparticles of copper and zinc oxides, stabilized by polymer matrix of high pressure polyethylene, prepared by mechano-chemical method on peculiarities of structure and properties of the metal-containing nanocomposites on the basis of epoxy diene resin (ED-20) by the methods of differential-thermal (DTA) and IR-spectral (IRS) and X-ray diffraction (XRD) has been investigated. It has been shown that an introduction of the metal-containing NF in composition with ED-20 shifts the cold curing reaction temperature from 90 to 75 °C, and hot curing from 125 to 100 °C and favors increase of its thermal stability, which is confirmed by growth of activation energy of thermal-oxidative destruction ( $E_{act}$ ) from 210 to 225 kJ/mol. It has been shown that the nanoparticles of copper oxide increase the thermal properties of ED-20 and are the catalysts of curing reaction as evidenced by peak height on curing curve. In this case, the nanoparticles of zinc oxide practically don't influence on thermal properties of nanocomposites on the basis of ED-20.

**Keywords:** epoxy diene resin (ED-20); metal-containing nanofillers; nanoparticles of copper and zinc oxide; thermal properties; DTA, and IRS and XRD.

---

*Kurbanova Nushaba Ismail gizi — Institute of Polymer Materials of Azerbaijan National Academy of Sciences (Sumgait, Azerbaijan, Az5004, S.Vurgun Str, 124), Dr Sci (Chem), head of laboratory, specialist in the field of development of composition materials and also nanocomposites on the basis of elastomers and thermoplasts and their binary mixtures. E-mail: ipoma@science.az; kurbanova.nushaba@mail.ru.*

*Ragimova Sevinj Kazim gizi — Institute of Polymer Materials of Azerbaijan National Academy of Sciences (Sumgait, Azerbaijan, Az5004, S.Vurgun Str, 124), dissertant, specialist in the field of development of composition materials. E-mail: ipoma@science.az.*

*Ishenko Nelli Yakovlevna — Institute of Polymer Materials of Azerbaijan National Academy of Sciences (Sumgait, Azerbaijan, Az5004, S.Vurgun Str, 124), PhD (Chem), head of laboratory, specialist in the field of development of composition materials. E-mail: ipoma@science.az.*

*Akhmedbekova Saida Fuad gizi — Institute of Polymer Materials of Azerbaijan National Academy of Sciences (Sumgait, Azerbaijan, Az5004, S.Vurgun Str, 124), PhD (Chem), leading researcher, specialist in the field of IR – spektroskopy. E-mail: ipoma@science.az.*

*Chalabiyeva Almaz Zulfugar gizi — Institute of Polymer Materials of Azerbaijan National Academy of Sciences (Sumgait, Azerbaijan, Az5004, S.Vurgun Str, 124), PhD (Chem), leading researcher, specialist in the field of development of composition materials. E-mail: ipoma@science.az.*