

## Термомеханические и адгезионные свойства полимерных материалов, полученных отверждением модифицированной эпоксидной смолы

М. С. Федосеев, Л. Ф. Державинская, Р. В. Цветков

---

При отверждении модифицированной бис-(4-малеимидофенил)метаном эпоксидной смолы жидкими отвердителями различной химической природы получены терmostойкие полимерные материалы с высокими термомеханическими, физико-механическими характеристиками, обладающие хорошей адгезией к алюминию.

**Ключевые слова:** бисмалеимиды, модификация, эпоксидные смолы, терmostойкость, термомеханические свойства, адгезия к алюминию.

---

Heat-resistant polymeric materials featured by high thermomechanical, physic-mechanical characteristics, and with good adhesion to aluminum were produced from epoxy resin modified with bis-(4-maleimidophenyl)methane and cured using hardeners of various chemical nature.

**Key words:** bismaleimides, modification, epoxy resins, heat-resistance, thermomechanical properties, adhesion to aluminum.

---

### Введение

Эпоксидные связующие на основе диановых смол, применяемые для изготовления полимерных композиционных материалов, например, профильных стеклопластиков, обладают достаточно высокими физико-механическими, адгезионными характеристиками и хорошими технологическими свойствами. Однако полимеры на их основе имеют невысокую температуру стеклования и соответственно терmostойкость, что ограничивает их использование при высоких температурах [1]. Для повышения терmostойкости эпоксидных полимеров и композитов предложены различные способы химической и структурной модификации эпоксидных смол и связующих в процессе их отверждения. К ним относится получивший наибольшее распространение способ введения в полимерную матрицу циклических соединений [2], различных малеимидов и бисмалеимидов [3 – 7]. Применение малеимидов в качестве модификаторов эпоксидных смол позволяет создавать полимерные композиции со структурой

взаимопроникающих сеток (ВПС). Определенный успех был достигнут при использовании бисмалеимидных (БМИ) и эпоксидных смол [8, 9], которые образуют индивидуальные сетки при отверждении эпоксидной смолы по поликонденсационному механизму, а БМИ — по радикальному механизму. Полученные таким образом эпоксибисмалеимидные системы должны сочетать высокие физико-механические, электрические свойства, тепло-, терmostойкость, водостойкость свойственные полиимидам с хорошей технологичностью, присущей эпоксидным смолам. Поэтому неслучайно появилось в последнее время достаточно много публикаций по модификации эпоксидных композиций малеимидами и бисмалеимидами. Полимерные покрытия на основе эпоксиимидных олигомеров обладают более высокой температурой стеклования по сравнению с немодифицированными [10].

При введении N,N'-бисмалеимид-4,4'-дифенилметана в композиты наблюдается повышение термической стойкости, механической прочности и снижение водопоглощения [11 – 13].

В [14] методом Фурье-спектроскопии детально исследована диффузия воды в эпоксидные композиты, содержащие 4,4'-бис(малеимидофенил)метан и полученные отверждением эпоксидной смолы 4,4'-диаминодифенилсульфоном и 4,4'-диаминодифенилметаном. Результаты моделирования позволили оценить соотношение свободной и связанной воды в композитах.

Термическая стабильность и стойкость к водопоглощению эпоксидных композитов была показана в [15] за счет введения в них цианатов и бисмалеимидов.

В [5] было разработано теплостойкое эпоксидимидное связующее, на основе смеси эпоксидных смол и отвердителя 4,4'-диаминодифенилсульфона, содержащее 40% гексаметиленбисмалеимида.

Следует отметить, что в приведенных работах в качестве отвердителей эпоксидных смол, модифицированных бисмалеимидами, применяли твердые высокоплавкие отвердители — 4,4'-диаминодифенилсульфон и 4,4'-диаминодифенилметан, что ограничивает их применение в изготовлении низковязких литевых композитов.

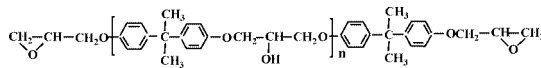
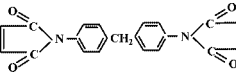


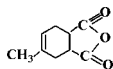
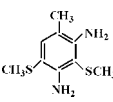

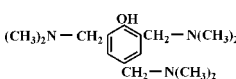
Цель настоящей работы — создание теплостойких полимерных материалов с улучшенными термомеханическими, физико-механическими и термическими свойствами на основе модифицированной бис-(4-малеимидофенил)метаном эпоксидной смолы и жидких отвердителей различной химической природы и обладающих адгезией к алюминию в процессе их формирования.

### Методика эксперимента

В качестве объекта исследования выбраны полимерные материалы, получаемые отверждением модифицированной 15% бис-(4-малеимидофенил)метаном эпоксидной смолы ЭД-22 различными жидкими отвердителями. Формулы модификатора и используемых отвердителей приведены в табл. 1. Модификатор вводили в смолу и перемешивали до полного растворения при температуре 150°C в вакууме.

Кинетику отверждения смолы изучали методом дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК) на калориметре DSC 822° фирмы METTLER-TOLEDO (Швейцария) в динамическом режиме в диапазоне температур 20 – 250 °C со скоростями нагрева 5, 10 и 15 град./мин. На термограммах фиксировали температуру начала реакции ( $T_{НАЧ}$ ), температура максимума ( $T_{ПИК}$ ) и тепловой эффект реакции ( $Q$ ). Для вычисления энергии активации применяли метод кратных скоростей нагрева по Киссинджеру [16].

Таблица 1

Объекты исследования	
Используемые реагенты	Формула
эпоксидная смола ЭД-22	
	
бис-(4-малеимидофенил)метан (модификатор)	
2-этил-4-метилимидазол (отвердитель)	
метилэндиковый ангидрид МЭА (отвердитель)	
изометилтетрагидрофталевый ангидрид ИМТГФА (отвердитель)	
3,5-диметилтиотолуилендиамин (отвердитель)	
1-метилимидазол (катализатор)	
2,4,6-трис(диметиламино-метил)фенол (катализатор)	

Исследование термомеханических свойств полимеров проводили на установке NETZSCH DMA 242С, которая позволяет определять такие характеристики материала как динамический модуль упругости, тангенс угла механических потерь, температуру стеклования. Эксперимент проводили при частоте 0,50 Гц в диапазоне температур 100 – 250 °C со скоростью нагрева 2 град./мин. В качестве образцов были использованы балки с размерами ~ 40 × 6 × 4 мм. Режим нагружения — трёхточечный изгиб. Перемещение заданной величины прикладывали к среднему сечению балки.

Исследования термических свойств полимерных связующих проведены на дериватографе Q-1500D фирмы “МОМ” системы Паулик – Паулик – Эрдей. Программированный нагрев образцов (100 мг) осуществляли со скоростью 10 град./мин до температуры 1000 °C в воздушной среде. В качестве эталона использовали прокаленный оксид алюминия с удельной поверхностью 3,4 м<sup>2</sup>/г.

Деформационно-прочностные характеристики полимеров (прочность  $\sigma$ , относительную критическую деформацию  $\epsilon$  и модуль упругости при 2% удлинении  $E_{2\%}$ ) определяли при сжатии образцов в виде цилиндров (диаметр 14 мм, высота 20 мм) на

универсальной электро-механической испытательной машине FS-100СТ фирмы “Testometric Company LTD” (Великобритания) с климатической камерой T48-150E по ГОСТ 4651-82 при скорости испытаний 1 мм/мин в широком диапазоне температур.

Вязкость реакционных композиций после смешения оценивали на ротационном вискозиметре “Rheotest-2” (Германия) с узлом конус-плита при постоянной скорости сдвига  $180 \text{ с}^{-1}$  при температуре  $20 \pm 0,5 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Адгезионные свойства эпоксидных композиций к алюминию марки Д16АТ изучали следующим образом. Оксидный слой с поверхности алюминия снимали наждачной шкуркой, после чего алюминиевые пластины размером  $105 \times 28 \times 4 \text{ мм}$  обезжиривали ацетоном и наносили тонким слоем специально приготовленный клеевой состав. Клеевые соединения в специальных формах отверждали в термощкафу при температурах, установленных при изучении кинетики отверждения смолы методом ДСК. Адгезионные свойства клеевых соединений определяли на сдвиг по ГОСТ 14760-69 через 24 ч после отверждения при скорости 10 мм/мин на разрывной машине Instron 3565 (Великобритания). Испытания при температуре проводили в термокамере после выдерживания образца при  $150 \text{ }^\circ\text{C}$  в течение 10 минут.

### Обсуждение результатов

При исследовании кинетики отверждения эпоксидной смолы, модифицированной бисмалеимидом, отвердителями различной химической природы выявлены следующие особенности. Термограммы ДСК (рис. 1) наглядно показывают температурные области реакций взаимодействия смолы с отвердителями. По реакционной активности их можно расположить в ряд: 2-этил-4-метилимидазол > метилэндиковый ангидрид > 3,5-диметилтиотолуилендиамин. Расчетные кинетические параметры соответствуют этому ряду (табл. 2). 2-этил-4-метилимидазол отверждает эпоксидную смолу при повышенной температуре с достаточно большой ско-

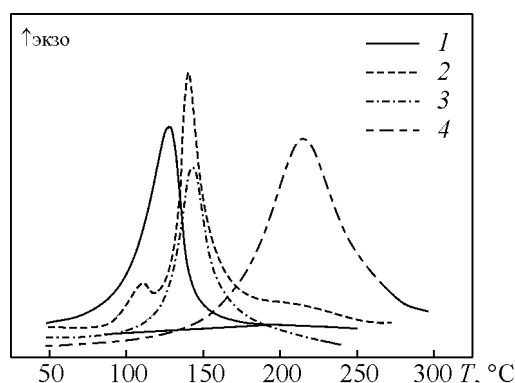


Рис. 1. Термограммы ДСК реакции отверждения для системы модифицированная бисмалеимидом смола – отвердитель: 1 – МЭА – 1-метилимидазол; 2 – 2-этил-4-метилимидазол; 3 – МЭА – 2,4,6-трис(диметиламинометил)фенол; 4 – 3,5-диметилтиотолуилендиамин.

ростью по анионному механизму. При комнатной температуре данная композиция сохраняет жизнеспособность длительное время (24 – 36 ч), что позволяет отнести её к одноупаковочной композиции с латентной системой отверждения. Аналогичный вывод был сделан в [17] при исследовании анионной полимеризации эпоксидной немодифицированной смолы ЭД-20 под действием имидазолов. Метилэндиковый ангидрид и 3,5-диметилтиотолуилендиамин взаимодействуют со смолой по механизму полиприсоединения с меньшей скоростью. Однако при использовании активных катализаторов в этой реакции ряд активности отвердителей может изменяться. Например, при замене катализатора 2,4,6-трис(диметиламинометил)фенола на 1-метилимидазол скорость реакции полиприсоединения ангидрида к эпоксидной смоле становится сопоставима со скоростью реакции анионной полимеризации этой смолы в присутствии 2-этил-4-метилимидазола. На основании этого можно сделать вывод о том, что 1-метилимидазол, является не только катализатором в ангидридной системе, но и инициатором радикальной полимеризации бисмалеимида по двойной связи. Вероятно таким же свойством обладает и

Таблица 2

Кинетика отверждения модифицированной бисмалеимидом эпоксидной смолы ЭД-22 (ДСК)

Система отверждения	Температура, $^\circ\text{C}$		Тепловой эффект, $Q$ , Дж·г $^{-1}$	Энергия активации, $E$ , кДж·моль $^{-1}$
	$T_{\text{нач}}$	$T_{\text{пик}}$		
МЭА – 2,4,6-трис(диметиламинометил)фенол	85	143	227	93
МЭА – 1-метилимидазол	75	128	268	65
2-этил-4-метилимидазол	80	140	357	66
3,5-диметилтиотолуилендиамин	128	214	238	115

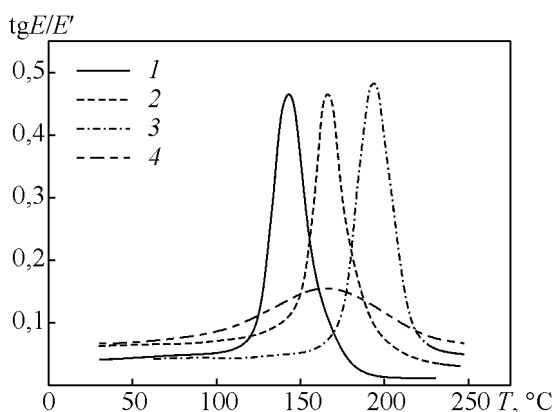


Рис. 2. Зависимость тангенсов углов механических потерь от температуры для полимеров на основе модифицированной бисмалеимидом смолы и отвердителей: 1 – ИМТГФА – 2,4,6-трис(диметиламинометил)фенол; 2 – МЭА – 1-метилимидазол; 3 – 3,5-диметилтиотолуилендиамин; 4 – 2-этил-4-метилимидазол.

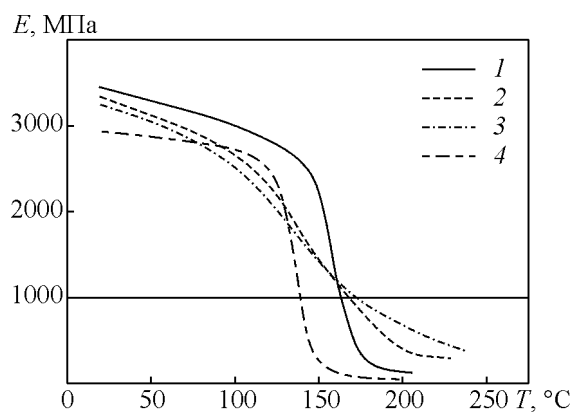


Рис. 3. Зависимость динамического модуля упругости от температуры для полимеров на основе модифицированной бисмалеимидом смолы и отвердителей: 1 – МЭА – 1-метилимидазол; 2 – 3,5-диметилтиотолуилендиамин; 3 – 2-этил-4-метилимидазол; 4 – ИМТГФА – 2,4,6-трис(диметиламинометил)фенол.

2-этил-4-метилимидазол, показавший наибольшую реакционную активность по отношению к модифицированной бисмалеимидом эпоксидной смоле. Вычислить скорости отдельных реакций полимеризации эпоксидной смолы по изменению концентрации эпоксидных групп в смоле и двойных связей в модификаторе бисмалеимиде по термограммам ДСК на данном этапе работы не представляется возможным. Данная задача может быть решена при проведении специальных исследований реакций полимеризации каждой составляющей модифицированной эпоксидной смолы другими физическими методами (ИК-спектроскопия, ЯМР, метод импедансных измерений [18]).

Определенные методом ДСК температурные области отверждения модифицированной смолы были использованы при изготовлении образцов полимеров для проведения физико-механических и термомеханических испытаний. На рис. 2 и 3 приведены температурные зависимости динамического модуля упругости и тангенса угла механических потерь. Как и следовало ожидать, наличие в смоле модификатора с имидными группами привело к

повышению температуры стеклования полимеров, полученных по анионному механизму отверждения под действием 2-этил-4-метилимидазола на 15°, по поликонденсационному механизму отверждения аминным отвердителем на 26°, ангидридами кислот на 15 – 20° [19]. Одновременно установлено повышение модуля упругости, что вполне закономерно (табл. 3). Как известно модуль упругости полимера определяет его жесткость, формоустойчивость, которые напрямую связаны с плотностью упаковки молекул при отверждении и температурой стеклования. Все полимеры, полученные при отверждении модифицированной смолы отвердителями различной химической природы имели высокие значения модуля упругости (2850–3420 МПа). Значение модуля упругости  $E = 1000$  МПа сохраняется при более высоких температурах ( $T_{1000}$ ), чем у немодифицированных смол, что свидетельствует о высокой термостойкости полученных полимеров.

Физико-механические характеристики полимеров при сжатии, определенные в широком диапазоне температур, подтверждают высокую термостойкость полимеров на основе модифи-

Таблица 3

Термомеханические характеристики эпоксидных полимеров

Система отверждения	Температура стеклования, °С	Модуль упругости, E, МПа при 30 °С	$T_{1000}$ , °С	Тангенс угла механических потерь при E = 1000 МПа
3,5-диметилтиотолуилендиамин	193	3310	175	0,160
2-этил-4-метилимидазол	175	3250	172	0,165
МЭА — 1-метилимидазол	160	3420	158	0,370
ИМТГФА — 2,4,6-трис(диметиламинометил)фенол	141	2850	137	0,350

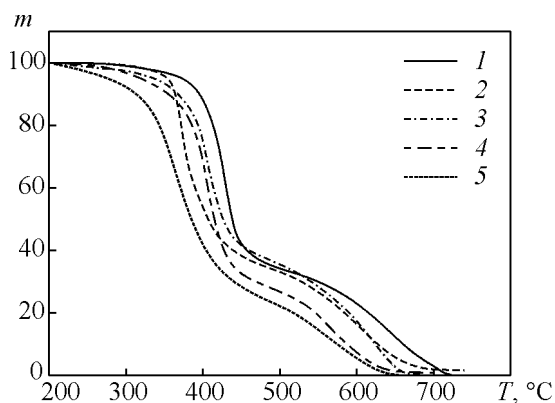


Рис. 4. Термограммы разложения полимеров на основе модифицированной бисмалеимидом смолы с отвердителями: 1 – 2-этил-4-метилимидазол; 2 – 3,5-диметилтио-толуилендиамин; 3 – МЭА – 1-метилимидазол; 4 – ИМТГФА – 2,4,6-трис(диметиламинометил)фенол; 5 – система ЭД-22 – ИМТГФА – 2,4,6-трис(диметиламинометил)фенол.

цированной бисмалеимидом эпоксидной смолы (табл. 4). Коэффициент теплостойкости  $K$ , полученный из отношения прочностей при 150 и 25 °С составляет 0,75–0,95.

На рис. 4 и в табл. 5 приведены результаты изучения термостойкости полимеров. По данным термического анализа более термостойким является полимер, полученный анионной полимеризацией смолы в присутствии 2-этил-4-метилимидазола. Это связано с тем, что в результате анионной полиме-

ризации образуется простой полиэфир, в котором связь  $C - O - C$  наиболее термостабильна [17]. Полимеры ангидридного и аминного отверждения несколько уступают в термостойкости полимерам анионной полимеризации, однако по термическим свойствам заметно превосходят полимеры на основе немодифицированной смолы (кривая 5 на рис. 4 приведена для сравнения). Кривые термогравиметрического анализа полимеров на основе модифицированной смолы показали 5% потерю массы в диапазоне температур 325–382 °С в зависимости от природы отвердителя, полимеров на основе немодифицированной смолы — при температуре 300 °С.

Целесообразно было оценить адгезионные свойства исследуемых полимерных композиций к алюминию. Выбранные для отверждения достаточно вязкой модифицированной смолы жидкие отвердители позволили снизить вязкость клеевых составов и тем самым улучшить их литьевые и технологические свойства при изготовлении и нанесении на подложку (табл. 6). Вязкость составов с твердыми отвердителями приведена для сравнения. При проектировании большинства клеевых соединений рассматривают в первую очередь способность клеевого слоя выдерживать сдвиговые нагрузки. Результаты испытаний клеевых соединений приведены в табл. 7. По адгезионным свойствам все три исследованных состава находятся примерно на одном уровне. Наибольшей прочностью адгезионного шва и термоустойчивостью обладает клеевой состав с

Таблица 4

Физико-механические свойства полимеров при сжатии

Система отверждения	Физико-механические свойства при температурах испытаний						$K$
	25 °С			150 °С			
	$\sigma$ , МПа	$E$ , МПа	$\epsilon$ , %	$\sigma$ , МПа	$E$ , МПа	$\epsilon$ , %	
2-этил-4-метилимидазол	165	1775	24	125	400	30	0,75
МЭА — 1-метилимидазол	140	2020	22	105	1400	40	0,75
ИМТГФА — 2,4,6-трис(диметиламинометил)фенол	135	1940	33	108	1020	51	0,80
3,5-диметил-тио-толуилендиамин	143	1950	30	130	770	48	0,90

$\sigma$  — предел прочности, МПа;  $E$  — модуль упругости, МПа;  $\epsilon$  — относительная критическая деформация, %,  $K$  — коэффициент теплостойкости.

Таблица 5

Термические свойства полимеров

Система отверждения	Потеря массы (%) при температурах			Масса остатка (%) при 650 °С
	5 °С	10 °С	50 °С	
2-этил-4-метилимидазол	382	400	440	14
3,5-диметилтио-толуилендиамин	358	368	408	6
МЭА — 1-метилимидазол	343	375	427	3
ИМТГФА — 2,4,6-трис(диметиламинометил)фенол	325	363	422	1
Смола ЭД-22 — ИМТГФА — 2,4,6-трис(диметиламинометил)фенол	300	320	395	1

Таблица 6

Динамическая вязкость модифицированной смолы и составов на её основе с отвердителями

Смола и системы отверждения	Вязкость при 20°C, Па·с
Модифицированная смола	3,5
Составы с жидкими отвердителями	
3,5-диметилтиотолуилендиамин	8
МЭА	0,1
ИМТГФА	0,08
Составы с твердыми отвердителями	
4,4'-диаминодифенилметан	20
4,4'-диаминодифенилсульфон	25

Таблица 7

Прочность клеевых соединений алюминия на сдвиг (МПа)

Система отверждения	Прочность на сдвиг (МПа) при температурах испытаний	
	25°C	150°C
2-этил-4-метилимидазол	13	8
МЭА –1-метилимидазол	15	12
3,5-диметил-тиотолуилен-диамин	16	15

аминным отвердителем 3,5-диметилтиотолуилендиамином, его прочность при 150 °С практически не изменяется. Клеевой состав, полученный анионной полимеризацией модифицированной смолы 2-этил-4-метилимидазолом, по адгезионным характеристикам сопоставим с клеевым составом на основе немодифицированной эпоксидной смолы [18].

Таким образом, при отверждении модифицированной бисмалеимидом эпоксидной смолы отвердителями различной химической природы получены терmostойкие, термоустойчивые полимеры с высокими термомеханическими, физико-механическими и адгезионными характеристиками в широком диапазоне температур. Они могут быть использованы для получения терmostойких полимерных композиционных материалов различного назначения.

## Выводы

1. Методом ДСК изучена кинетика отверждения модифицированной бисмалеимидом эпоксидной смолы отвердителями различной химической природы – 3,5-диметилтиотолуилендиамином, 2-этил-4-метилимидазолом, метилэндиковым, изометилтетрагидрофталевым ангидридами. Установлены температурные области реакций отверждения, тепловые эффекты, вычислена энергия активации.

2. Определены термомеханические, физико-механические свойства отвержденных полимеров в широком диапазоне температур. Установлено, что введенный в эпоксидную смолу модификатор бис-(4-малеиминофенил)метан приводит к повышению температуры стеклования, терmostойкости, модуля упругости при изгибе и физико-механических характеристик при сжатии.

3. Изучены адгезионные свойства полимерных композиций на основе модифицированной бисмалеимидом эпоксидной смолы по отношению к алюминию. По результатам определения прочности на сдвиг установлено, что они обладают достаточно высокой адгезией к алюминию, сопоставимой с клеевыми составами на основе немодифицированной эпоксидной смолы.

*Работа выполнена при финансовой поддержке УрО РАН (проект ОФИ №13-3-001-НО).*

## Литература

1. Петько О.И., Петько И.П. Эпоксидные связующие для изготовления профильных стеклопластиков и тел вращения. Пластмассы, 2008, № 10, с. 38 – 39.
2. Керимов А.Х., Джафарова Э.С., Оруджова А.Т. Функционально замещенные эфиры 3-циклогексен-1-карбоновых кислот в качестве пластификатора-модификатора эпоксидных смол. Пластмассы, 2011, № 3, с. 23 – 25.
3. Пилипенко Т.И., Артемова В.В. и др. Маленимиды — эффективные модификаторы эпоксидных полимеров. Пластмассы, 1988, № 9, с. 43 – 45.
4. Котухова А.М., Иваницкий А.М., Бойко Л.И., Томчани О.В., Долматов С.А. Терmostойкое эпоксидное связующее для композиционных материалов. Пластмассы, 2006, № 8, с. 9 – 12.
5. Котухова А.М., Ворвуль С.В., Бойко Л.И. и др. Электрические и механические свойства терmostойких связующих для композиционных материалов. Пластмассы, 2012, № 2, с. 11 – 16.
6. Асланов Т.А., Мамедалиева Ф.М., Ищенко Н.Я. Диамидосульфимид — отвердитель эпоксидной смолы для ЭД-20. Пластмассы, 2012, № 6, с. 35 – 36.
7. Liu F., Liu J., Zhao T. Synthesis of a novel series of propargyloxyphenyl maleimides and their characterization as thermal-resistance resins. J. of Appl. Polym. Sci., 2010, v. 115, no. 5, p. 3103 – 3109.
8. Musto P. Two-dimensional FTIR spectroscopy studies on the thermal-oxidative degradation of epoxy and epoxy-bis(maleimide) networks. Macromolecules, 2003, v. 36, no. 9, p. 3210 – 3221.
9. Kim D.S., Han M.J. Cure behavior and properties of an epoxy resin modified with a bismaleimide resin. Polymer Eng. and Sci., 1995, v. 35, no. 17, p. 1353 – 1358.

10. Асланов Т.А., Мамедли У.М., Ищенко Н.Я. и др. Эпоксимицидные олигомеры и термостойкие покрытия на их основе. Пластмассы, 2005, № 6, с. 25 – 27.
11. A.Ashok Kumar, M. Alagar, R.M.V.G.K. Rao Preparation and characterization of siliconised epoxy/bismaleimide (N,N' -bismaleimido-4,4'-diphenyl methane) intercross linked matrices for engineering applications. J. of Appl. Polymer Science, 2001, v. 81, no. 1, p. 38 – 46.
12. Dinakaran K., Alagar M. Preparation and characterization of bismaleimide (N,N'-bismaleimido-4,4'-diphenyl methane)-unsaturated polyester modified epoxy intercrosslinked matrices. J. of Appl. Polymer Science, 2002, v. 85, no. 14, p. 2853 – 2861.
13. Seo J., Jang W., Han H. Thermal properties and water sorption behaviors of epoxy and bismaleimide composites. Macromolecular research, 2007, v. 15, no. 1, p. 10 – 16.
14. Musto P., Ragosta G., Scarinzi G., Marcia L. Probing the molecular interaction in the diffusion of water through epoxy and epoxy-bismaleimide networks. Polymer Physics, 2002, part B, p. 922 – 938.
15. Dunakaran K., Suresh Kumar R., Alagar M. Bismaleimides (N,N'-dismaleimid-4,4'-diphenylsulphone) modified bisphenoldicyanate-epoxy matrices for engineering applications. Materials and Manufacturing Processes, 2005, v. 20, no. 2, p. 299 – 315.
16. Kissinger H.E. Reaction Kinetics in Differential Thermal Analysis. Anal. Chem., 1957, v. 29, no. 11, p. 1702 – 1706.
17. Федосеев М.С., Державинская Л.Ф. Синтез и свойства полимерных материалов, полученных анионной полимеризацией эпоксидных олигомеров. ЖПХ, 2012, т. 85, вып. 11, с. 1847 – 1852.
18. Москвичев А.Н., Москвичев А.А., Федосеев М.С. Метод импедансных измерений для исследования процесса отверждения эпоксидной смолы ЭД-20. ЖПХ, 2008, т. 81, вып. 2, с. 291 – 294.
19. Федосеев М.С., Шардаков И.Н., Державинская Л.Ф., Девятников Д.М., Цветков Р.М. Влияние природы эпоксидной матрицы, условий её формирования на термомеханические, термические и адгезионные характеристики полимерного материала. Перспективные материалы, 2013, № 8, с. 11 – 17.

*Статья поступила в редакцию 16.09.2013 г.*

**Федосеев Михаил Степанович** — Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт технической химии Уральского отделения Российской академии наук (г. Пермь), доктор технических наук, ведущий научный сотрудник, специалист в области химии высокомолекулярных соединений и полимерных материалов. E-mail: msfedoseev@mail.ru.

**Державинская Любовь Федоровна** — Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт технической химии Уральского отделения Российской академии наук (г. Пермь), инженер, специалист в области полимерных материалов. E-mail: lfderzhavinskaya@mail.ru.

**Цветков Роман Валерьевич** — Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт механики сплошных сред Уральского отделения Российской академии наук (г. Пермь), кандидат технических наук, научный сотрудник, специалист в области термомеханики полимеров. E-mail: flower@icmm.ru.