

## СИНТЕЗ ПОЛИМЕРОВ И ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

УДК 678.05

### ПОЛУЧЕНИЕ ТЕПЛОСТОЙКИХ ЭПОКСИАНГИДРИДНЫХ СВЯЗУЮЩИХ С ДЛИТЕЛЬНОЙ ЖИЗНЕСПОСОБНОСТЬЮ, ПОЛИМЕРОВ И КОМПОЗИТОВ

М.С. Федосеев<sup>1</sup>, В.Е. Антипин<sup>1</sup>, Л.Ф. Державинская<sup>1</sup>,  
М.Г. Щербань<sup>2</sup>, Г.И. Шайдурова<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Институт технической химии Уральского отделения РАН, г. Пермь

<sup>2</sup>Пермский государственный научно-исследовательский университет, г. Пермь

<sup>3</sup>ПАО НПО «Искра», г.Пермь

Методом ДСК исследована кинетика отверждения эпоксиноволачной смолы УП-643 изометилтетрагидрофталевым ангидридом под действием различных катализаторов. Определены кинетические параметры, тепловой эффект реакции. Изучено адгезионное взаимодействие на границе эпоксидное связующее–органоволокно. Изготовлены и испытаны теплостойкие пластики и композит с высокомолекулярным органонаполнителем. Установлены высокие значения физико-механических характеристик и теплостойкость.

**Ключевые слова:** эпоксидные олигомеры, ангидридное отверждение, катализаторы, латентность, адгезия, полимерные материалы, теплостойкость, физико-механические свойства.

Полимерные композиционные материалы (ПКМ) получили широкое применение в авиа- и ракетостроении, судостроении, электронной технике. Большинство ПКМ ответственного назначения представляют собой эпоксидное связующее, армированное высокопрочными наполнителями – угле-, стекло-, органотканями и жгутами [1–4]. Использование эпоксидных связующих обусловлено совокупностью их уникальных характеристик: низкая усадка, высокая реакционная способность, водо- и химстойкость, термостойкость, технологичность и пр. Широко известные полимерные материалы на основе двухфункциональной эпоксидной смолы ЭД-20 ангидридного отверждения обладают хорошими технологическими и физико-механическими характеристиками и находят применение в производстве стеклопластиков [5]. Однако они имеют невысокую температуру стеклования (110 – 130 °С) и соответственно теплостойкость, что ограничивает их применение при высоких температурах [6].

В настоящее время для изготовления высоконагруженных деталей из ПКМ применяется большое количество связующих, среди которых УП-2217, ЭДТ-10П, ЭП-5122, ЭХД, ЭДН-1У. Существенным ограничением для применения связующих в конструкции является его теплостойкость (табл. 1). Температура стеклования эпоксидного связующего определяет теплостойкость ПКМ и ограничивает температурный диапазон его использования [23]. Необходимость обеспечения работы перспективных изделий в экстремальных условиях по температуре и нагрузке требует разработки новых связующих, обладающих повышенной теплостойкостью при сохранении достигнутого уровня прочностных свойств и технологических характеристик (вязкость, температура отверждения, пропитывающая способность и пр.).

Таблица 1  
Температуры стеклования связующих

Связующее	Температура стеклования, °С
ЭДТ-10	100
ЭДТ-69М	125
УП-318	70
УП-2217	135-150
ЭХД-МК	160
ЭХД-МД	150
УП-352	160
УП-2130	130
ЭНФБ	160

Основными отвердителями для эпоксидных смол чаще всего являются амины и ангидриды кислот [1]. Следует отметить, что реакция взаимодействия эпоксидной смолы с ангидридом с существенной скоростью идет только в присутствии катализатора [7]. В качестве катализаторов отверждения эпоксидангидридных композиций наибольшее применение нашли третичные амины, имидазолы, комплексы борфтористоводородной кислоты с аминами [5; 8–12]. Использование указанных катализаторов приводит к быстрому нарастанию вязкости композиций и при отверждении – к дефектной топологии полимерных сеток, что не позволяет полностью реализовывать возможности, заложенные структурой сетчатого полимера. Проблемы можно избежать, используя в системе отверждения латентные отвердители и катализаторы, которые позволяют создавать одноупаковочные эпоксидные связующие с большой жизнеспособностью при умеренных температурах (20 – 60 °С) и быстро отверждающиеся до сетчатых полимеров при высоких

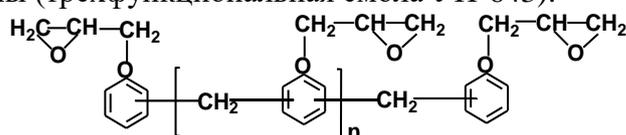
температурах. В качестве латентных отвердителей известны дициандиамида, комплексы фторида бора с кислород- и азотсодержащими соединениями, цинкосодежащие комплексы кислот Льюиса с трис(галоген)алкилфосфатами и капролактамом [13–15]. Из латентных катализаторов отверждения эпоксиангидридных композиций известны комплексные соединения галогенидов металлов, бутилтретфенилфосфоний бромид [9; 16–17]. В литературе отсутствуют сведения об одноупаковочных эпоксиангидридных связующих и теплостойких полимерных материалах на их основе.

Данная работа посвящена созданию новых теплостойких эпоксиангидридных связующих с длительной жизнеспособностью и полимерных материалов имеющих высокие физико-механические и термомеханические характеристики.

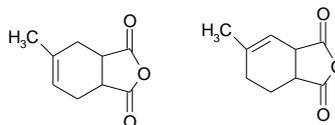
### Экспериментальная часть

Описание и формулы исходных объектов исследования:

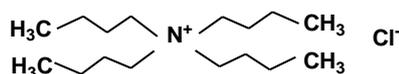
1. Основа связующего – полиглицидиловый эфир новолачной эпоксидной смолы (трехфункциональная смола УП-643):



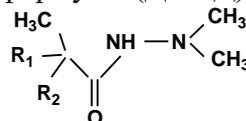
2. Отвердитель – ангидрид изометилтетрагидрофталевый (ИМТГФА):



3. Катализатор отверждения тетрабутиламмоний хлористый (ТБАХ):

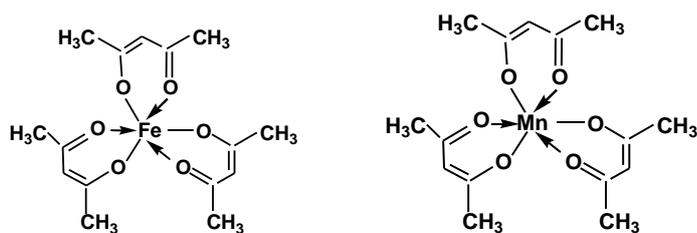


4. Катализатор отверждения N',N'-диметилгидразид неodeкановой кислоты общей формулы (ДМГД):

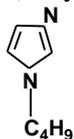


где R<sub>1</sub> и R<sub>2</sub> – алифатические радикалы

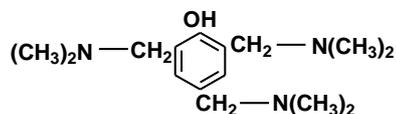
5 и 6. Катализаторы отверждения ацетилацетонат железа (III) и ацетилацетонат марганца (III):



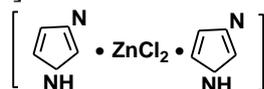
7. Катализатор отверждения 1-(n-бутил)имидазол:



8. Катализатор отверждения 2,4,6- трис(диметиламинометил)- фенол (УП606/2):



9. Катализатор отверждения комплекс хлорида цинка с имидазолом [ZnCl<sub>2</sub>·2Имидазол]:



Кинетику реакции отверждения смолы УП-643 ИМТГФА под действием различных катализаторов изучали методом дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК) на калориметре DSC 822<sup>е</sup> фирмы METTLER-TOLEDO (Швейцария) в изотермическом и динамическом режимах при скорости нагрева 5, 10 и 15 °С/мин в диапазоне температур 25–300 °С. На термограммах фиксировали температурный диапазон реакций, мощность тепловыделения  $Q$  от времени.

Реологические свойства эпоксидных композиций и их жизнеспособность  $t^*$  (индукционный эффект) оценивали по изменению вязкости на ротационном вискозиметре «Rheotest-2» (Германия) с узлом конус–плита при постоянной скорости сдвига 180 с<sup>-1</sup> при температуре 25±0.5 °С.

Физико-механические характеристики отвержденных полимеров при растяжении – условную прочность  $\sigma$  (максимальное напряжение отнесенное к площади начального сечения образца) и относительную критическую деформацию  $\varepsilon$  определяли на образцах виде лопаток при заданной температуре и скорости растяжения образцов 100 мм/мин на

разрывной машине Instron 3565 (Великобритания) по ГОСТ 11262-80. Характеристики при сжатии определяли на образцах в виде цилиндров при заданной температуре на универсальной электромеханической машине FS-100СТ фирмы «Testometric Company LTD» (Великобритания) с климатической камерой T48-150E по ГОСТ 4651-82 при скорости испытаний 1 мм/мин.

Исследование термомеханических свойств полимеров проводили на установке NETZSCH DMA 242C, которая позволяет определять такие характеристики материала, как динамический модуль упругости, тангенс угла потерь. Эксперимент проводили при частоте 0.50 Гц и в диапазоне температур от 100–250 °С со скоростью нагрева 2 °С/мин. В качестве образцов были использованы балки с размерами ~ 40×6×4 мм. Размеры каждого образца определялись с точностью до 0.05 мм. Режим нагружения – трёхточечный изгиб. Перемещение заданной величины прикладывали к среднему сечению балки. Амплитуда изгиба балки составляла 50–60 мкм. Такой режим внешнего воздействия реализовывал в поверхностных слоях балки скорость деформации, равную  $\sim 5 \cdot 10^{-3} \text{ 1/с}^{-1}$ .

Химическое взаимодействие компонентов эпоксидных композиций изучали методом ИК-спектроскопии на вакуумном инфракрасном Фурье-спектрометре Vertex 80v (Bruker, Германия). Спектры образцов в виде давленной капли, помещенной между фторопластовыми пленками, снимали при спектральном разрешении  $2 \text{ см}^{-1}$  в диапазоне  $4000\text{--}400 \text{ см}^{-1}$ . Обработку спектров проводили с помощью компьютерной программы OPUS. Нормирование проводили по полосе эпоксидной группы  $914 \text{ см}^{-1}$ .

Определение адгезии проводилось модифицированным pull-out методом в соответствии с методикой [24]. Измерение площади адгезионного контакта проводилось методом оптической микроскопии на микроскопе Carl Zeiss Axiovert 200 MAT.

Измерение краевого угла смачивания измерялось методом лежащей капли на приборе DSA-25 фирмы KRüSS.

### **Обсуждение результатов**

Свойства полимерных материалов зависят от химического строения и реакционной способности исходных реагентов, прочности образующихся при отверждении связей, плотности сшивки и упаковки макромолекул [18; 19]. Выбранная нами полимерная матрица на основе трехфункциональной смолы позволяет формировать в процессе каталитического отверждения сетчатый полимер, свойства которого в значительной степени зависят от активности катализатора и, как следствие, от скорости и степени отверждения. Исследованные в данной

работе различные по химической природе катализаторы отличаются друг от друга каталитической активностью (рис. 1).

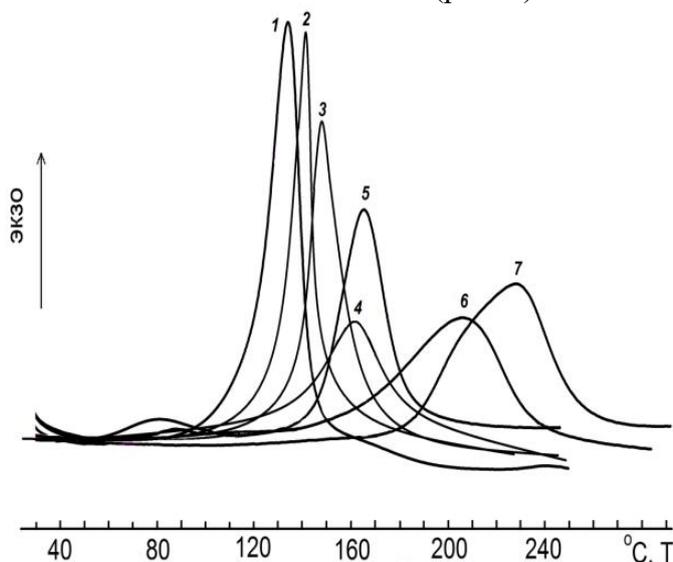


Рис 1. Кривые ДСК реакции отверждения эпоксидной смолы УП-643 ИМТГФА в присутствии катализаторов (0,5мас%): 1 – УП-606/2; 2 – 1-(*n*-бутил)имидазол; 3 – [ZnCl<sub>2</sub>·2Имидазол]; 4 – ТБАХ; 5 – ДМГД; 6 – железа (III) ацетилацетонат; 7 – марганца (III) ацетилацетонат

Результаты изучения кинетики отверждения смолы УП-643 под действием катализаторов приведены в табл. 2. Наибольшей активностью в данной реакции обладают 2,4,6-трис-(диметиламинометил)фенол и 1-(*n*-бутил)имидазол, температура максимума тепловыделения  $T_{\text{пик}}$  которых равна 134 °С и 140 °С соответственно.  $T_{\text{пик}}$  других катализаторов находится в области более высоких температур – 165–228 °С.

Действие катализаторов 2,4,6-трис(диметиламинометил)фенола, 1-(*n*-бутил)имидазола и ТБАХ в реакциях отверждения связующего изучено в изотермическом режиме при нескольких температурах, составлены кинетические уравнения реакций отверждения:

катализатор 1-(*n*-бутил) имидазол :

$$\frac{d\alpha}{dt} = 5,160067 \cdot 10^6 e^{-8219,2/T} \cdot (0,33 + \alpha(1 - \alpha)), \text{ c}^{-1}$$

катализатор УП 606/2:  $\frac{d\alpha}{dt} = 9,169255 \cdot 10^8 e^{-9910,2/T} \cdot (0,1 + \alpha)(1 - \alpha), \text{ c}^{-1}$

катализатор ТБАХ:  $\frac{d\alpha}{dt} = 1,954480 \cdot 10^6 e^{-8419,6/T} \cdot (0,34 + \alpha)(1 - \alpha), \text{ c}^{-1}$

Основное внимание нами было обращено на влияние катализаторов на реологические свойства связующего после смешения компонентов с течением времени при температуре 25 °С, и на физико-механические, термомеханические и термические свойства отвержденных полимеров и композиционных материалов на их основе.

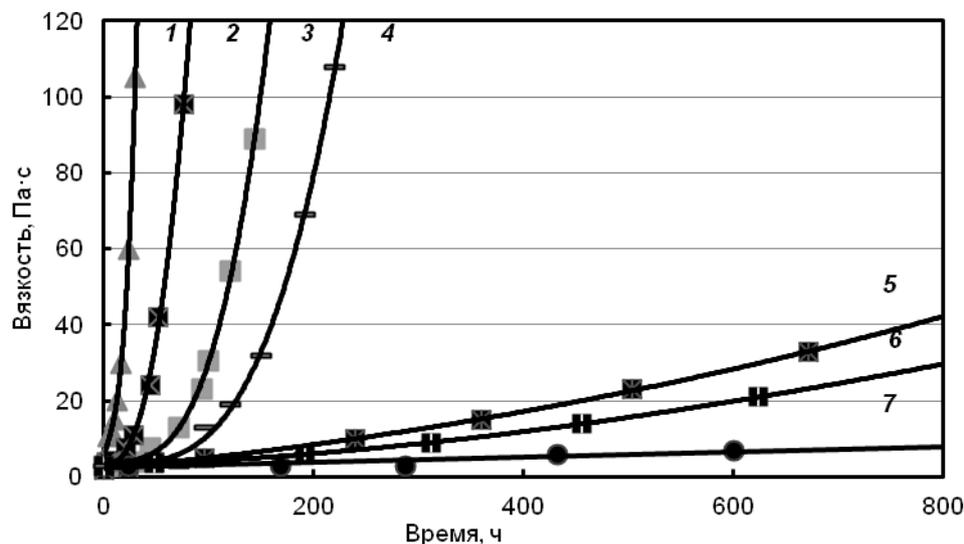


Рис. 2. Изменение динамической вязкости эпоксиангидридных композиций на основе смолы УП-643 при T=25 °С от времени в присутствии катализаторов (0,5 мас.%): 1 - УП-606/2; 2 - 1-(*n*-бутил)имидазол; 3 - [ZnCl<sub>2</sub>·2Имидазол]; 4 - ТБАХ; 5 - ДМГД; 6 - железа (III) ацетилацетонат; 7 - марганца (III) ацетилацетонат

По изменению вязкости с течением времени при температуре 25 °С (рис. 2) можно оценить жизнеспособность эпоксиангидридного связующего с каждым катализатором. За величину жизнеспособности нами принято время достижения условной вязкости 50 Па·с, допускающей возможность переработки состава по существующим технологиям. Длительная жизнеспособность (до 60 суток) достигнута при использовании латентных катализаторов – ацетилацетонатов железа, марганца, N',N'-диметилгидразида неодакановой кислоты. При этом эпоксиангидридные связующие под действием этих катализаторов при высоких температурах (120 – 180 °С) превращаются в сетчатый полимер с хорошими физико-механическими и термомеханическими характеристиками.

Таблица 2

Кинетические параметры отверждения эпоксиангидридного связующего под действием катализаторов

Катализатор	$T_{\text{пик}}, ^\circ\text{C}$	$Q, \text{Дж/г}$	$E, \text{кДж/моль}$
2,4,6- трис(диметиламинометил)фенол (УП-606/2)	134	240	82
1-( <i>n</i> -бутил)имидазол	140	280	68
[ZnCl <sub>2</sub> ·2Имидазол]	147	262	88
Тетрабутиламмоний хлористый (ТБАХ)	163	285	70
N',N'-диметилгидразид неodeкановой кислоты (ДМГД)	165	222	102
Железа (III) ацетилацетонат	206	310	129
Марганца (III) ацетилацетонат	228	201	135

Таблица 3

Физико-механические свойства эпоксиангидридных полимеров каталитического отверждения

Катализатор	Режим отверждения	Свойства при растяжении				Свойства при сжатии			
		25 $^\circ\text{C}$		150 $^\circ\text{C}$		25 $^\circ\text{C}$		150 $^\circ\text{C}$	
		$\sigma, \text{МПа}$	$\epsilon, \%$	$\sigma, \text{МПа}$	$\epsilon, \%$	$\sigma, \text{МПа}$	$\epsilon, \%$	$\sigma, \text{МПа}$	$\epsilon, \%$
УП-606/2	120 $^\circ\text{C}$ –2ч 160 $^\circ\text{C}$ –4ч	30	10	29	15	135	33	123	46
ТБАХ	120 $^\circ\text{C}$ –2ч 160 $^\circ\text{C}$ –4ч	33	9	32	10	140	30	130	27
ТБАХ после хранения 5 суток	120 $^\circ\text{C}$ –2ч 160 $^\circ\text{C}$ –4ч	34	9	32	10	145	28	138	26
1-( <i>n</i> -бутил)имидазол	120 $^\circ\text{C}$ –2ч 160 $^\circ\text{C}$ –4ч	29	7	32	10	146	25	145	26
[ZnCl <sub>2</sub> ·2Имидазол]	120 $^\circ\text{C}$ –2ч 160 $^\circ\text{C}$ –4ч	28	6	31	12	142	31	140	30
ДМГД	160 $^\circ\text{C}$ –2ч 180 $^\circ\text{C}$ –6ч	36	10	37	14	144	26	142	28
ДМГД после хранения 30 суток	160 $^\circ\text{C}$ –2ч 180 $^\circ\text{C}$ –6ч	37	9	36	12	145	27	140	31
Железа (III) ацетилацетонат	160 $^\circ\text{C}$ –2ч 180 $^\circ\text{C}$ –6ч	35	8	35	14	150	28	142	29
Железа (III) ацетилацетонат после хранения 30 суток	160 $^\circ\text{C}$ –2ч 180 $^\circ\text{C}$ –6ч	33	9	33	12	146	26	142	27
Марганца (III) ацетилацетонат	160 $^\circ\text{C}$ –2ч 180 $^\circ\text{C}$ –6ч	34	10	34	12	154	36	152	35
Марганца (III) ацетилацетонат после хранения 30 суток	160 $^\circ\text{C}$ –2ч 180 $^\circ\text{C}$ –6ч	31	8	32	11	152	30	148	32

В табл. 3 приведены свойства полимеров, полученных под действием различных катализаторов, в т.ч. после хранения готовой композиции. Режимы изготовления полимеров были установлены с учетом кинетических параметров отверждения связующего. Вязкость композиций с ацетилацетонатами железа, марганца, N',N'-диметилгидразидом неодакановой кислоты при температуре 25 °С в течение 5 – 30 суток изменяется в допустимых пределах, а физико-механические свойства материалов на основе этих связующих практически не изменяются. Это позволяет отнести эпоксиангидридные связующие с данными катализаторами к одноупаковочным. Свойства ПКМ, как известно, зависят и от величины адгезии на границе матрица–наполнитель. Общеизвестным является факт взаимосвязи между величиной адгезии и поверхностным натяжением. Необходимым условием для формирования адгезионного контакта на границе раздела полимер/наполнитель является хорошее смачивание, т.е. когда контактный угол смачивания приближается к нулю. Оценена величина поверхностного натяжения полученных связующих к стеклотканям (табл. 4), в качестве контрольного образца изучено штатное эпоксиаминное связующее, используемое при изготовлении композитов. Нами определены углы смачивания связующих, поверхностное натяжение и величина работы адгезии. Величина работы адгезии, рассчитанная по уравнению Дюпре–Юнга, приведена в табл. 5. По методике [24] определена адгезия полученных связующих к органолокно «Армос» (табл. 6). Таким образом, величина адгезии разработанных эпоксиангидридных связующих ЭС-3 лежит на уровне штатных связующих аминного отверждения. Одно из разработанных одноупаковочных связующих было использовано для изготовления композиционного материала органопластика на основе арамидного жгута методом мокрой намотки. Результаты испытаний на разрыв образцов в виде колец показывают, что полученный материал является высокомодульным и по уровню физико-механических свойств сопоставим с ПКМ, используемым в настоящее время (табл. 7).

Особый интерес представляют результаты термомеханических испытаний полимеров в широком температурном диапазоне (табл. 8).

Таблица 4

Величина поверхностного натяжения и угла смачивания связующих

Связующее	Угол смачивания, $\theta$	Поверхностное натяжение $\sigma$ , мН/м
Эпоксиаминное связующее (штатное)	24,7	46
ЭС-2	27,2	27
ЭС-3	22,5	43

Таблица 5

Величина работы адгезии для связующих

Связующее	Работа адгезии, мН/м <sup>2</sup>
Эпоксисаминное связующее (штатное)	88,2
ЭС-2	51,0
ЭС-3	86,0

Таблица 6

Адгезионная прочность на границе «связующее–органоволокно»

Связующее	Величина адгезии, МПа
Эпоксисаминное связующее (штатное)	48,4
ЭС-2	50,0
ЭС-3	46,2

Таблица 7

Физико-механические свойства композита органопластика на разрыв

Композит	Модуль упругости, кгс/мм <sup>2</sup>	Разрушающее напряжение, кгс/мм <sup>2</sup>
Армос + эпоксиангидридное связующее	12748	266
Армос + эпоксиаминное связующее	13409	265
Армос + штатное связующее аминного отверждения	12545	270

Таблица 8

Термомеханические свойства эпоксиангидридных полимеров каталитического отверждения при частоте  $f = 0,5$  Гц

Катализатор отверждения	Модуль упругости при изгибе $E$ при 30°C, МПа	Температура стеклования, °C	Тангенс угла механических потерь при $E=1000$ Мпа
2,4,6- трис(диметиламинометил)-фенол (УП-606/2)	3020	162	0,37
1-( <i>n</i> -бутил)имидазол	2800	175	0,32
Тетрабутиламмоний хлористый	3020	165	0,38
N',N'-диметилгидразид неодакановой кислоты	3050	164	0,37
[ZnCl <sub>2</sub> ·2Имидазол]	3210	172	0,35
Железа (III) ацетилацетонат	3270	167	0,31
Марганца (III) ацетилацетонат	3350	167	0,32

Численные значения динамического модуля упругости и тангенса угла механических потерь характеризуют вязкоупругие свойства полимеров и теплостойкость, которую оценивали по

максимуму тангенса угла механических потерь при соответствующей частоте (рис. 3).

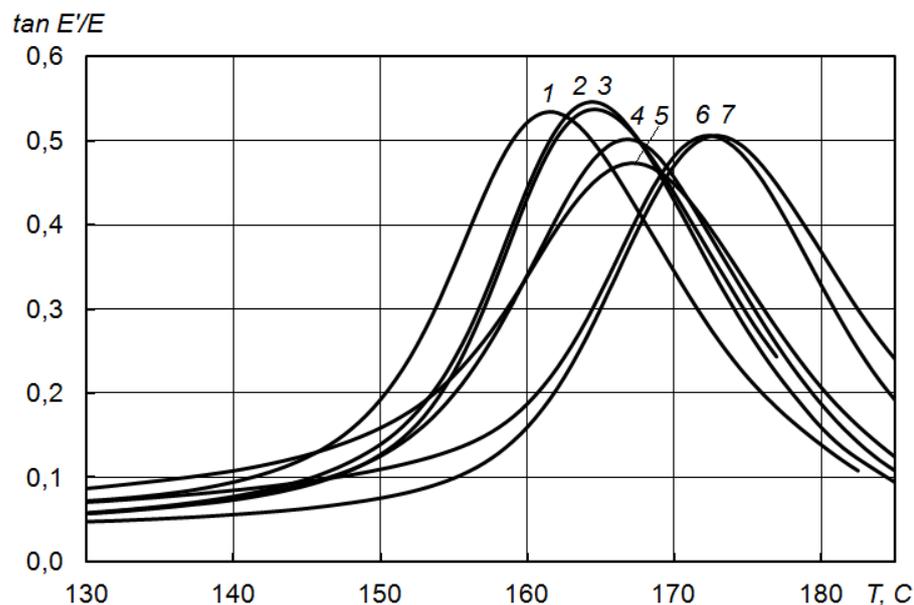


Рис. 3. Зависимость тангенса угла механических потерь от температуры для эпоксиангидридных полимеров, полученных под действием: 1 – УП 606/2; 2 – ДМГД; 3 – ТБАХ; 4 – железа (III) ацетилацетоната; 5 – марганца (III) ацетилацетоната; 6 –  $[\text{ZnCl}_2 \cdot 2\text{Имидазол}]$ ; 7 – 1-(*n*-бутил)имидазола

### Выводы

1. Методом ДСК изучена кинетика отверждения эпоксиангидридного связующего под действием катализаторов различной химической природы. Определены кинетические параметры и тепловой эффект реакции. Из числа исследованных катализаторов выявлены латентные, что позволяет создавать одноупаковочные связующие с большой жизнеспособностью (до 60 суток) при комнатной температуре и отверждающиеся под действием этих катализаторов при повышенной температуре до теплостойких полимеров с хорошими физико-механическими и термомеханическими характеристиками.

2. По установленным режимам синтезированы полимеры на основе эпоксиангидридных связующих и латентных катализаторов. Они имеют высокие значения модуля упругости (3000 – 3250 МПа) и температуры стеклования (165 – 175 °C). Их можно отнести к теплостойким.

3. По существующей технологии методом мокрой намотки на основе эпоксиангидридного связующего и высокомодульного арамидного волокна Армос изготовлены и испытаны кольцевые образцы органопластиков. Полученные значения модуля упругости и разрывной прочности сопоставимы с существующими материалами этого класса.

### Список литературы

1. Мошинский Л. Эпоксидные смолы и отвердители (структура, свойства, химия и топология отверждения). Тель-Авив: Аркадия пресс Лтд, 1995. 370 с.
2. Любин Д. Справочник по композиционным материалам. М.: Машиностроение, 1988. Кн. 2. 554 с.
3. Федосеев В.И. Основы техники ракетного полета. М.: Наука, 1981. 494 с.
4. Петько О.И., Петько И.П. // Пластмассы. 2008. № 10. С. 38–39.
5. Швед Е.М., Синельникова Е.А. и др. // Пластмассы. 2011. № 10. С. 8–10.
6. Федосеев М.С., Терешатов В.В., Державинская Л.Ф. // Перспективные материалы. 2010. Спец.выпуск 9А. С. 247–253.
7. Steinmann B. // J. Appl. Polym. Sci. 1989. V. 37, № 7. P. 1753–1776.
8. Федосеев М.С., Девятериков Д.М., Шелудяков В.Д., Абрамкин А.М. // Химическая технология. 2013. № 12. С. 739–744.
9. Fedoseev M.S., Gruzdev M.S., Derzhavinskaya L. F. // Int. J. Polym. Sci. 2014. Article ID 607341, 8 pages. <http://dx.doi.org/10.1155/2014/607341>.
10. Федосеев М.С., Державинская Л.Ф., Стрельников В.Н. // Журнал прикладной химии. 2010. Т. 83, № 8. С. 1303–1307.
11. Федосеев М.С., Зверева И.В. // Журнал прикладной химии. 2008. Т. 81, № 5. С. 799–802.
12. Томильчук А.Я., Евтушенко Ю.М. // Пластмассы. 2010. № 10. С. 12–19.
13. Поциус А. Клеи, адгезия, технологии склеивания / под ред. Г.В. Комарова. СПб.: Профессия, 2007. 376с.
14. Зиновьев Е.Г., Ефимов В.А., Кольцов Н.И. // Пластмассы. 2008. № 2. С. 32–33.
15. Лукашова В.И., Лобачева Д.Н. // Пластмассы. 1987. № 9. С. 46–48.
16. Гадыева И.И., Залялова Г.М., Хамидуллин О.Л., Амирова Л.Р. Связующие на основе эпоксидных олигомеров и ангидридных отвердителей. // Сб. тез. Докл. V междунар. Конф.-школы по химии и физико-химии олигомеров «Олигомеры 2015». Волгоград. С. 130.
17. Лю Ден Лян, Сорокин М.Ф., Шодэ Л.Г. // Лакокрасочные материалы и их применение. 1986. № 5. С. 74–76.
18. Коршак В.В. Разнозвенность полимеров. М.: Наука, 1977. 302с.

19. Бюллер К.У. Тепло- и термостойкие полимеры / Под ред. Я.С. Выгодского. М.: Химия, 1984. 1056 с.
20. Евтушенко Ю.М. // Химическая технология. 2003. № 1. С. 16–20.
21. Lee H., Nevill K. Handbook of Epoxy Resins. New York: MC Graw-Hill, 1967. 922 p.
22. Родченко М.Б., Николаев А.Ф., Каркозов В.Г., Авдоница Е.Д., Андреева Е.Д. Об отверждении изометилтетрагидрофталевым ангидридом в присутствии ацетилацетонатов металлов. Препринт, ЛТИ им. Ленсовета, 1989, №561, XII 89, НИИТЭХИМ, 257136, г. Черкассы.
23. Федосеев М.С., Терешатов В.В., Державинская Л.Ф., Москвичев А.Н. // Материалы XLVII Междунар. Конф. «Актуальные проблемы прочности». Н. Новгород, 2008. Ч. 2. С. 99–101
24. Горбаткина А.Ю. Адгезионная прочность в системах полимер-волокно. М.: Химия, 1987. 192 с.

**PREPARATION OF HEAT-RESISTANT EPOXY ANHYDRIDE  
COMPOUNDS FEATURED BY LONG-TERM VIABILITY, OF POLYMERS  
AND COMPOSITES**

**M.S. Fedoseev<sup>1</sup>, V.E. Antipin<sup>1</sup>, L.F. Derzhavinskaya<sup>1</sup>, M.G. Sherban<sup>2</sup>,  
G.I. Shaidurova<sup>3</sup>**

*1 – Institute of Technical Chemistry of Ural Branch of the RAS, Perm*

*2 – Perm State University, Perm*

*3 – The ISKRA Research-and-Production Association, Perm*

*Curing kinetics of epoxy novolac resin UP-643 with isomethyl tetrahydrophthalic anhydride under action of various catalysts is studied by the DSC method. Kinetic parameters and the heat effect are determined. Adhesive interaction at the epoxy binder-organofiber interface is studied. Heat-resistant plastics and composites containing a high-modulus organofiller are produced and tested. High values of physic-mechanical characteristics and heat resistance are ascertained.*

*Об авторах:*

ФЕДОСЕЕВ Михаил Степанович – доктор технических наук, ведущий научный сотрудник ИТХ УрО РАН, e-mail: msfedoseev@mail.ru

АНТИПИН Вячеслав Евгеньевич – аспирант, ИТХ УрО РАН, e-mail: anteeprin@rambler.ru

ДЕРЖАВИНСКАЯ Любовь Федоровна – старший инженер ИТХ УрО РАН,  
e-mail: lfderzhavinskaya@mail.ru

ЩЕРБАНЬ Марина Григорьевна – кандидат химических наук, доцент,  
ПГНИУ, e-mail: ma-she74@mail.ru

ШАЙДУРОВА Галина Ивановна – доктор технических наук, профессор,  
Главный химик ПАО НПО «Искра», e-mail: sgi615@iskra.perm.ru