

На правах рукописи

Ахматова Оксана Владимировна

**КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА  
ОСНОВЕ МОДИФИЦИРОВАННОГО  
ЭПОКСИДНОГО ОЛИГОМЕРА И  
НАНОПОЛНИТЕЛЕЙ**

05.17.06 - Технология и переработка полимеров и композитов

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

**Москва 2011**

Работа выполнена в Российском химико-технологическом университете им.  
Д.И. Менделеева

Научный руководитель доктор химических наук, профессор  
Горбунова Ирина Юрьевна

Официальные оппоненты доктор технических наук  
Малышева Галина Владленовна  
(Московский государственный  
технический университет им. Н.Э.  
Баумана)

доктор технических наук, профессор  
Власов Станислав Васильевич  
(Московский государственный  
университет тонких химических  
технологий им. М.В. Ломоносова)

Ведущая организация Казанский национальный  
исследовательский технологический  
университет

Защита состоится 16 ноября 2011 г. в 14 часов на заседании  
диссертационного совета Д 212.204.01 в РХТУ им. Д.И. Менделеева (125047  
Москва, Миусская пл., д. 9) в конференц-зале.

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-библиотечном  
центре РХТУ им. Д.И. Менделеева.

Автореферат диссертации разослан «\_\_\_\_» октября 2011 г.

Ученый секретарь

диссертационного совета

Д 212.204.01

Ю.М. Будницкий

## **Общая характеристика работы.**

**Актуальность работы.** Развитие современной промышленности предполагает создание материалов с новыми улучшенными свойствами. Современные технологии позволяют разрабатывать композиционные материалы, содержащие нанонаполнители различной природы. Введение малых количеств наноразмерных наполнителей позволяет в значительной степени улучшить свойства конечного композиционного материала.

Модифицированные термопластами эпоксидные смолы в последнее время получили широкое применение. Модификация эпоксидных полимеров необходима в связи с тем, что ненаполненные материалы проявляют недостаточно высокую ударную вязкость и их теплостойкость не всегда удовлетворяет высоким требованиям промышленности. Совместное введение термопластичных и наномодификаторов позволит повысить ударные характеристики и теплостойкость эпоксидных полимеров.

**Цель работы.** Разработка композиционных материалов на основе эпоксидного олигомера и силикатных нанонаполнителей – монтмориллонита и нанотрубок; и полиариленэфиркетона с улучшенными теплостойкостью, физико-механическими и адгезионными характеристиками.

**Научная новизна.** Установлено, что совместное введение в эпоксидный полимер термопластичного модификатора и силикатных нанонаполнителей приводит к повышению механических характеристик и теплостойкости композиционных материалов на его основе. Способ совмещения нанонаполнителей и эпоксидного олигомера оказывает существенное влияние на комплекс свойств эпоксидных полимеров: адгезионную прочность, ударную вязкость, температуру стеклования.

Изучено влияние нанонаполнителей и полиариленэфиркетона на кинетику отверждения эпоксидного олигомера, установлена связь между

характеристиками процесса отверждения и свойствами отвержденной композиции.

В работе показано, что оценивать степень диспергирования нанонаполнителей в эпоксидном олигомере можно при использовании вискозиметрического метода.

**Практическая значимость.** Результаты данной работы показывают возможность получения нанокompозитов на основе эпоксидного олигомера ЭД-20, отвердителя – диаминодифенилсульфона и нанонаполнителей – различных глин и силикатных нанотрубок (СНТ), и полиариленэфиркетона.

Были разработаны композиции на основе наполненного эпоксидного олигомера ЭД-20 с улучшенными механическими показателями и адгезионными характеристиками, которые могут быть перспективны в использовании для широкого спектра отраслей промышленности.

Разработанные материалы отличаются высокой прочностью, теплостойкостью, ударной вязкостью и трещиностойкостью, что позволяет использовать их в качестве связующих для получения стеклопластиков.

**Апробация работы.** Основные результаты докладывались на 23 и 24 Международной конференции молодых ученых по химии и химической технологии «МКХТ – 2009» и «МКХТ – 2010», Пятой Всероссийской Каргинской конференции, Десятой международной конференции по химии и физикохимии олигомеров (Волгоград, 2009) и Всероссийской научно-инновационной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых (Тамбов, 2009).

**Публикации.** По материалам диссертации опубликовано 6 печатных работ, в том числе 2 статьи в журнале, рекомендованном ВАК, и тезисы к 4 докладам.

**Структура и объем работы.** Диссертация состоит из введения, обзора литературы, обсуждения результатов, экспериментальной части, выводов и списка использованной литературы. Работа изложена на 152 страницах

машинописного текста, иллюстрирована 64 рисунками и 12 таблицами. Список цитируемой литературы включает 129 наименований.

## **Содержание работы**

Во введении обоснована актуальность темы диссертации и ее практическая значимость.

Во второй главе представлен обзор работ, посвященных классификации и характеристикам связующих для композиционных материалов, структуре и свойствам эпоксидных полимеров. Представлен обзор работ о технологических аспектах получения полимерных композиционных материалов, о методах получения и модификации нанокomпозиционных материалов на основе полимеров и нанонаполнителей (глин, СНТ, термопластов). Рассмотрены вопросы образования адгезионных соединений. Обоснована постановка целей и задач исследования.

В третьей главе описаны объекты и методы исследования. В качестве объектов исследования были выбраны: эпоксидный олигомер ЭД-20, отвердитель – 4,4'-диаминдифенилсульфон (ДАДФС); наполнители: СНТ с диаметрами, меньшими, чем 100 нанометров, длиной в пределах от 500 нанометров до 1,2 микрон; различные виды глин (монтмориллонит  $\text{Na}^+$ , обработанный различными модификаторами). В качестве армирующего наполнителя применяли стекловолокно. Для модификации эпоксидного олигомера также использовали высокотермостойкий термопластичный полиариленэфиркетон (ПАЭК).

Композиции готовили путем механического смешения, с использованием высокоскоростной мешалки, также при применении ультразвука с погружным волноводом.

Изменение вязкости композиций на основе ЭД-20 и ДАДФС, содержащих различные количества наполнителя, изучали на ротационном вискозиметре «Реотест –2.1» с рабочим узлом конус – плоскость.

Изучение процесса отверждения, определение температуры стеклования осуществлялось с помощью крутильного маятника МК-3 методом свободно-затухающих колебаний с определением тангенса угла механических потерь и динамического модуля упругости.

Для определения температуры стеклования применяли также термомеханический метод с использованием консистометра Хепплера. Ударную вязкость отвержденных образцов оценивали по Динстату.

Для количественной оценки явлений, происходящих на границе раздела полимер-волокно, была определена прочность модельных адгезионных соединений в условиях низкоскоростного воздействия. Испытания проводились по методу «pull-out».

В данной работе армированные пластики получали мокрой намоткой по безрастворной технологии. У полученных композитов определяли механические характеристики при трехточечном изгибе и удельную вязкость расслоения  $G_{IR}$ . Также определяли объёмное содержание пор в стекловолокнистых композиционных материалах.

Микрофотографии были получены методом оптической микроскопии на микроскопе Полар-Р (увеличение 60 раз) и электронном микроскоп РЭМ (увеличение 10 000 раз).

## **Результаты и их обсуждение**

### **Глава 3.1. Влияние модификации монтмориллонита на реологические свойства эпоксидного олигомера.**

На первом этапе работы исследовали свойства композиций, содержащих 5м.ч. Cloisite Na<sup>+</sup>, силикатные нанотрубки и модифицированный различными соединениями монтмориллонит.

Изучали влияние способа введения наполнителя и времени совмещения олигомера и наполнителя на вязкость композиции. Было выбрано три способа

введения наполнителя: механическое смешение, смешение с использованием высокоскоростной мешалки, обработка ультразвуком.

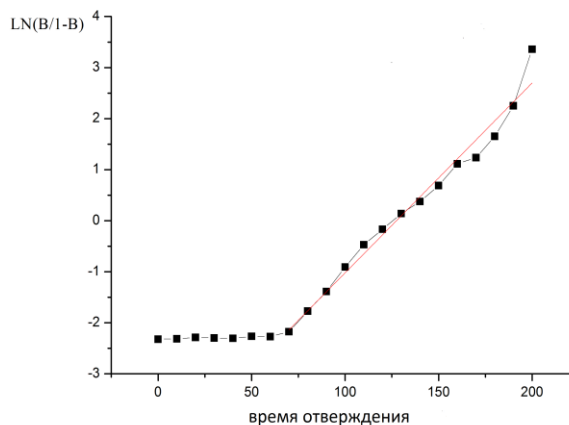
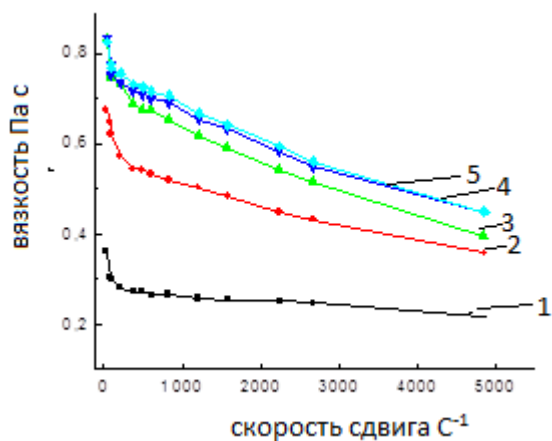


Рис.1. Кривые течения композиций ЭД-20 ненаполненной и содержащей 5 м.ч. Cloisite 30В, подвергшейся воздействию ультразвука.

- 1- ЭД-20;
- 2- ЭД-20 +5м.ч.30В(УЗ 2 мин.);
- 3- ЭД-20 +5м.ч.30В(УЗ 4 мин.);
- 4- ЭД-20 +5м.ч.30В(УЗ 8 мин.);
- 5- ЭД-20+5м.ч.30В(УЗ 12 мин.).

Рис.2. Определение константы скорости реакции для ненаполненной композиции.

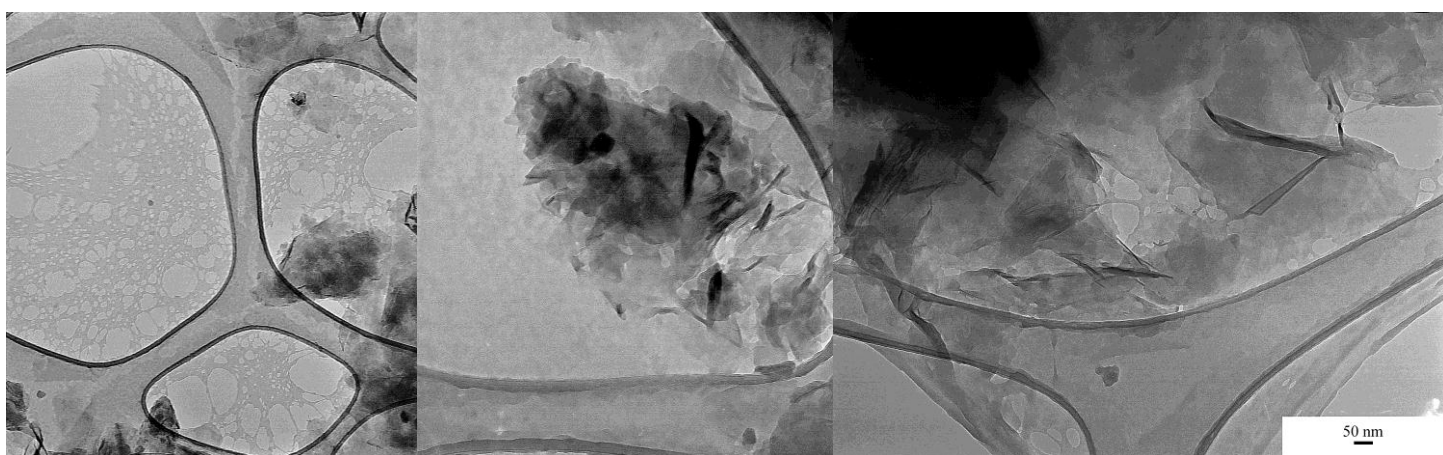
Equation	y = a + b*x		
Weight	No Weighting		
Residual Sum of	0,7533		
Adj. R-Squ	0,97469		
		Value	Standard E
20	Intercept	-4,741	0,23404
	Slope	0,0372	0,00166

Механическое смешение не дает удовлетворительного результата по распределению частиц в композиции, поэтому для получения нанокompозитов использовалась ультразвуковая обработка материалов и высокоскоростная мешалка. Обработка ультразвуком проводилась в течение от 2 до 12 минут, показано, что воздействие УЗ более 8 мин не приводит к увеличению вязкости, что свидетельствует о достижении максимально возможного диспергирования частиц.

Можно предположить, что при обработке ультразвуком происходит изменение структуры наполнителя (так как меняется цвет композиции), а именно, происходит разрушение агрегатов частиц глины, при этом их размеры уменьшаются, возрастает их число и удельная поверхность, что обуславливает более высокую степень взаимодействия между олигомером и частицами. Это

приводит к большим значениям вязкости смесей, приготовленных с применением ультразвука, и к резкому возрастанию вязкости в области низких скоростей сдвига

Методом электронной микроскопии были получены фотографии эпоксидного олигомера, модифицированного наноглиной. Как видно из микрофотографий, оптимальным является смешение при воздействии ультразвука.



Механическое смешение

Смешение на высокоскоростной мешалке в течение 20 мин.

Смешение при воздействии ультразвука в течение 12 мин.

Рис.3. Микрофотографии ЭД-20, содержащей 5м.ч. Cloisite 30В.

### **Глава 3.2. Кинетика отверждения исследуемых композиций.**

Были проведены исследования влияния наполнителя на процесс отверждения композиций; исследования проводились методом динамического механического анализа.

Введение модифицированной глины любой марки приводит к ускорению стеклования композиции. Это объясняется более ранней потерей сегментальной подвижности вследствие взаимодействия на границе раздела фаз частиц модифицированной глины и молекул полимера. Кроме того, с уменьшением размеров агломератов наполнителя в композиции и, соответственно, с увеличением количества частиц



происходит повышение модуля упругости, что объясняется возрастанием поверхности взаимодействия частиц наполнителя и матрицы и образованием более жестких граничных слоев.

Отверждение эпоксидных олигомеров аминами обычно описывается уравнением первого порядка, учитывающим эффект автоускорения:

$$\frac{d\beta}{dt} = k(1-\beta) \cdot (1+c\beta) \quad (1)$$

С помощью представления экспериментальных данных в координатах  $\ln\left(\frac{\beta}{1-\beta}\right) - t$ , можно определить значения констант  $k$  и  $c$  в уравнении 1.

**Таблица 1**

Значения константы скорости отверждения для исследуемых композиций.

Состав композиции	ЭД-20 + 30 м.ч. ДАДФС	ЭД-20 + 30 м.ч. ДАДФС + Cloisite 15А	ЭД-20 + 30 м.ч. ДАДФС + Cloisite 20А	ЭД-20 + 30 м.ч. ДАДФС + Cloisite 30В	ЭД-20 + 30 м.ч. ДАДФС + Cloisite 30В	ЭД-20 + 30 м.ч. ДАДФС + СНТ
К, мин <sup>-1</sup>	0,37	0,34	0,037	0,040	0,044	0,038
Содержание модификатора	0мЭКВ /100Г	125мЭКВ/ 100Г	95мЭКВ/10 0Г	90мЭКВ/ 100Г	90мЭКВ/ 100Г	0мЭКВ /100Г

Как видно из рис. 2, на зависимостях  $\ln\left(\frac{\beta}{1-\beta}\right) - t$  при достаточно больших степенях превращения наблюдается явно выраженный линейный участок. Отклонение от линейности при малых  $t$  очевидно связано с тем, что на начальной стадии не выполняется условие  $c\beta \gg 1$ , необходимое для спрямления экспериментальных данных в координатах уравнения (1).

Из таблицы 1 видно, что скорость реакции обратно пропорциональна содержанию органического модификатора в наполнителе; скорость также уменьшается при увеличении количества и снижении размеров агломератов, что вызвано увеличением поверхности граничных слоёв.

### **Глава 3.3. Изучение влияние полиарилэфиркетона на свойства эпоксидного связующего.**

Для повышения ударной вязкости эпоксидные полимеры в последнее время модифицируют термопластами. Термопласт должен быть тепло- и термостойким, а также характеризоваться высокой ударной вязкостью, и совместимостью с эпоксидной смолой; в настоящей работе в качестве термопластичного модификатора был выбран ПАЭК. В работе было изучено влияние ПАЭК на свойства связующего, определены такие характеристики, как прочность при изгибе и ударная вязкость в зависимости от количества введенного модификатора. Полученные данные приведены в табл. 2.

**Таблица 2.**

Значения прочности при изгибе и ударной вязкости исследуемой композиции, содержащей ПАЭК.

Температура отверждения, °С	Содержание модификатора, %	$\sigma_{\text{изг.}}$ МПа	A, кДж/м <sup>2</sup>
180	0	27	5,4
	5	35	13,6
	10	49	27,0
	20	56	36,0
	30	63	46,0

Как видно из табл. 2, введение ПАЭК в систему приводит к увеличению прочности при изгибе и ударной вязкости в несколько раз, что свидетельствует о положительном влиянии модификации на ударные характеристики системы. Однако, повышение концентрации ПАЭК приводит к значительному росту вязкости системы, а, значит, к снижению ее технологичности.

### Глава 3.4. Ударная вязкость.

Одним из основных недостатков эпоксидных полимеров является их низкая ударная вязкость, поэтому в работе исследовали влияние нанонаполнителей и условий смешения на стойкость к удару композиции на основе ЭД-20/ДАДФС/глина. В некоторые композиции дополнительно вводили ПАЭК.

**Таблица 3**

**Ударная вязкость модифицированных композиций**

<b>Композиция</b>	<b>A, кДж/м<sup>2</sup></b>
ЭД-20 70 м.ч. + ДАДФС 30м.ч.	5,4
ЭД-20 70 м.ч. + ДАДФС 30 м.ч. + Cloisite 30В 1 м.ч. 40 мин в.м.	12,9
ЭД-20 70 м.ч. + ДАДФС 30 м.ч. + СНТ 1 м.ч. 40 мин в.м.	12,3
ЭД-20 70 м.ч. + ДАДФС 30 м.ч. + Cloisite 30В 1 м.ч. УЗ	7,9
ЭД-20 70 м.ч. + ДАДФС 30 м.ч.+ СНТ 1 м.ч. УЗ	8
ЭД-20 70 м.ч. + ДАДФС 30 м.ч. + Cloisite 30В 0,5 м.ч. УЗ	12,8
ЭД-20 70 м.ч. + ДАДФС 30 м.ч. + СНТ 0,5 м.ч. УЗ	11,4
ЭД-20 70 м.ч. + ДАДФС 30 м.ч + СНТ 1 м.ч УЗ + ПАЭК 5 м.ч	14,7
ЭД-20 70 м.ч. + ДАДФС 30 м.ч + Cloisite 30В 1 м.ч УЗ + ПАЭК 5 м.ч	14,2

\* в.м.- смешение с использованием высокоскоростной мешалки, УЗ-ультразвука.

Введение наполнителя приводит к существенному возрастанию ударной вязкости; наибольшее увеличение наблюдается для композиций, содержащих Cloisite 30В и СНТ, полученных с использованием ультразвука.

## Глава 3.5. Температура стеклования и модуль упругости.

Методом динамического механического анализа были получены зависимости модуля упругости  $G'$  и тангенса угла механических потерь  $\text{tg}\delta$  от температуры для исходных и наполненных систем.

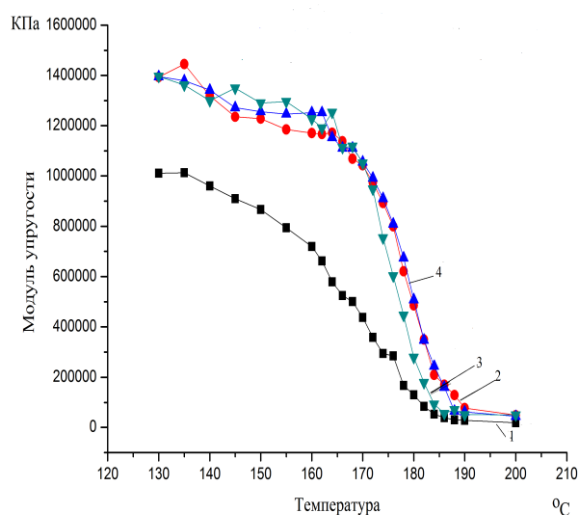


Рис. 4 Зависимость модуля упругости от температуры для композиций содержащих ПАЭК-21.  
1-ЭД-20+30 м.ч. ДАДФС;  
2-ЭД-20+30 м.ч. ДАДФС+5 м.ч. ПАЭК (УЗ);  
3-ЭД-20+30 м.ч. ДАДФС+5 м.ч. ПАЭК+1 м.ч. Cloisite 30В (12 мин. УЗ);  
4-ЭД-20+30 м.ч. ДАДФС+5 м.ч. ПАЭК+1 м.ч. силикатные нанотрубки (12 мин. УЗ)

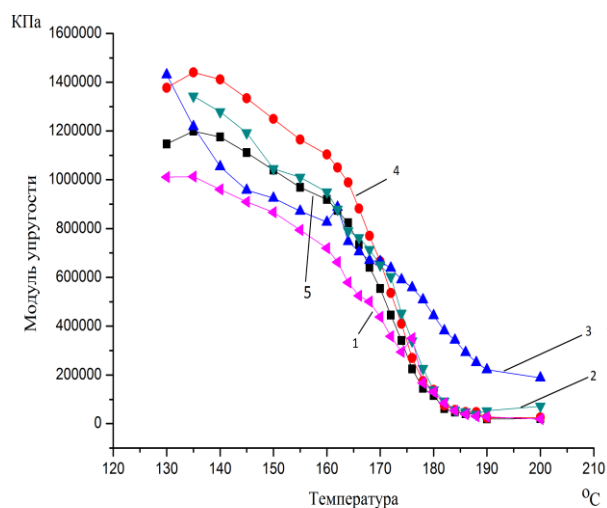


Рис. 5. Зависимость модуля упругости от температуры для композиций, содержащих Cloisite 30В, полученных различными методами.  
1-ЭД-20+30 м.ч. ДАДФС;  
2-ЭД-20+30 м.ч. ДАДФС+0,5 м.ч. Cloisite 30В (12 мин. УЗ);  
3-ЭД-20+30 м.ч. ДАДФС+1 м.ч. Cloisite 30В (12 мин. УЗ);  
4-ЭД-20+30 м.ч. ДАДФС+1 м.ч. Cloisite 30В (40 мин. смешение на высокоскоростной мешалке);  
5-ЭД-20+30 м.ч. ДАДФС+1 м.ч. Cloisite 30В (10 мин. смешение на высокоскоростной мешалке)

Из представленных выше результатов можно сделать вывод, что введение термопласта (ПАЭК), приводит к увеличению как ударной вязкости, так и температуры стеклования и модуля упругости.

Из рис. 5. видно, что для композиции ЭД-20 70 м.ч. + ДАДФС 30 м.ч. + Cloisite 30В 1 м.ч., полученной с использованием ультразвука, заметно

повышение модуля в области высокоэластичности, что свидетельствует об образовании частицами наполнителя структуры и сохранении ее при 200 С<sup>0</sup>.

### Глава 3.6. Адгезионная прочность.

Прочность композиционного материала в значительной степени определяется адгезионной прочностью на границе раздела матрица-наполнитель. Поэтому одной из целей настоящей работы являлось изучение влияния модификаторов на адгезию связующего к волокну, используемому в качестве модельной системы. Были получены значения адгезионной прочности при различных способах совмещения олигомера и нанонаполнителя; как видно из графика (рис.6) при воздействии ультразвука адгезионная прочность при введении Cloisite 30В возрастает примерно на 15%. Ранее было показано, что совместное введение в систему нанонаполнителей и ПАЭК позволяет существенно улучшить характеристики связующего.

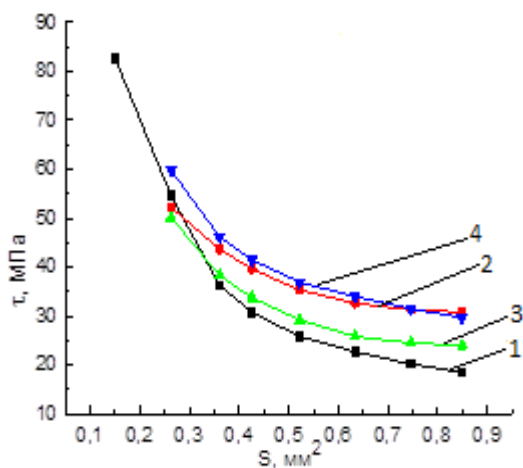


Рис.6. Зависимость адгезионной прочности  $\tau$  от площади соединения  $S$ .  
 1-ЭД-20+30 м.ч. ДАДФС;  
 2-ЭД-20+30 м.ч. ДАДФС+0,5 м.ч. Cloisite 30В (механическое смешение);  
 3-ЭД-20+30 м.ч. ДАДФС+0,5 м.ч. Cloisite 30В (смешение на высокоскоростной мешалке);  
 4-ЭД-20+30 м.ч. ДАДФС+0,5 м.ч. Cloisite 30В(12 мин.УЗ)

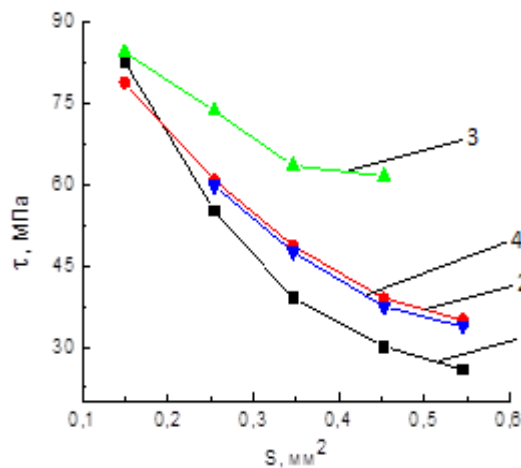


Рис.7. Зависимость адгезионной прочности  $\tau$  от площади соединения  $S$ .  
 1-ЭД-20+30 м.ч. ДАДФС;  
 2-ЭД-20+30 м.ч. ДАДФС+5 м.ч.ПАЭК (12 мин.УЗ);  
 3-ЭД-20+30м.ч. ДАДФС+5 м.ч.ПАЭК+0,5 м.ч. Cloisite 30В (12 мин.УЗ);  
 4-ЭД-20+30 м.ч. ДАДФС+0,5 м.ч. Cloisite 30В(12 мин.УЗ)

Поэтому в данной работе исследовали адгезию связующего, модифицированного совместно ПАЭК и Cloisite 30В, введенного при воздействии ультразвука. Как видно из графика (рис.7), совместное введение ПАЭК и Cloisite 30В позволяет повысить адгезионную прочность примерно на 35 %.

### **Глава 3.7. Свойства намоточных однонаправленных композитов на основе модифицированных матриц.**

В данном разделе представлены результаты исследования свойств стеклопластиков, полученных методом безрастворной намотки.

На рис. 8. представлены типичные диаграммы нагружения  $F-t$ , полученные на образцах стеклопластиков на основе эпоксидных матриц с разным количеством модификатора при различных скоростях нагружения (от квазистатических до динамических). Видно, что для всех исследованных стеклопластиков характер изменения нагрузки во времени и при квазистатическом, и при динамическом нагружении до момента образования первой трещины практически не меняется и не зависит от количества модификатора.

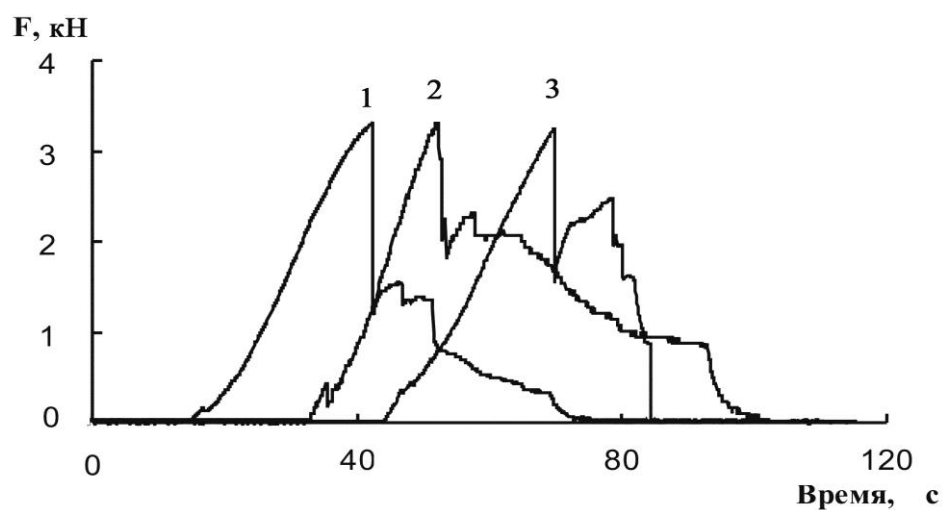


Рис. 8. Типичная диаграмма нагружения однонаправленных стеклопластиков на основе эпоксидных матриц, содержащих разное количество ПАЭК. Скорость нагружения – 11 мм/мин. Содержание модификатора в матрице: 1 – 0 м.ч., 2 – 10 м.ч., 3 – 20 м.ч.

Этому моменту соответствует первый пик на диаграмме. Из ранее полученных результатов и литературных данных можно предположить, что перспективный способ увеличения трещиностойкости реактопластичных матриц — их модифицирование теплостойкими термопластами. При этом достигается повышение энергии разрушения реактопласта без уменьшения температуры стеклования и модуля упругости.

**Таблица 4**

Значения трещиностойкости стеклопластиков

Состав	ЭД-20+30 м.ч. ДАДФС	ЭД-20+30 м.ч. ДАДФС+5 м.ч. ПАЭК-21	ЭД-20+30 м.ч. ДАДФС+0,5 м.ч. Cloisite 30В	ЭД-20+30 м.ч. ДАДФС+0,5 м.ч. Cloisite 30В+5 м.ч. ПАЭК-21
$G_{IR}$ , кДж/м <sup>2</sup>	0,82 ± 0,08	1,25 ± 0,06	0,98 ± 0,08	1,29 ± 0,12

Из таблицы 4 видно, что для стеклопластиков на основе матриц, модифицированных ПАЭК-21 и глиной 30В характерна большая трещиностойкость, чем при модификации ими по отдельности. Увеличение трещиностойкости, вероятно, связано с фазовым расслоением эпоксидной смолы, содержащей модификаторы ПАЭК и с изменением характера разрушения композита при введении нанонаполнителя.

### **Практическая значимость работы**

Результаты данной работы показывают возможность получения композиционных материалов с повышенными характеристиками на основе эпоксидного олигомера ЭД-20 и отвердителя – диаминодифенилсульфона. Установлено, что совместное воздействие на глину полярного модификатора и ультразвука позволяет получить материалы с улучшенной теплостойкостью, повышенной ударной вязкостью. Это дает возможность рекомендовать

разработанные материалы в качестве связующих для стеклопластиков. Использование таких связующих позволит существенно повысить трещиностойкость и ударные характеристики композиционных материалов.

Испытания на ОАО «КазХимНИИ» показали, что введение модифицированной глины Cloisite 30В при воздействии ультразвука приводит к повышению ударной вязкости связующего на основе ЭД-20 и ДАДФС в 2 раза и к повышению трещиностойкости композиционного материала на основе данного связующего на 20%. Введение силикатных нанотрубок при воздействии ультразвука приводит к повышению ударной вязкости связующего на основе ЭД-20 и ДАДФС на 80% и к повышению трещиностойкости композиционного материала на основе данного связующего на 25%. Данные результаты позволяют рекомендовать разработанную композицию для внедрения в производство в качестве связующего для стеклопластиков.

## **Выводы**

1. Разработаны связующие для стеклопластиков на основе эпоксидного олигомера ЭД-20, диаминодифенилсульфона, термопластичного модификатора полиариленэфиркетона и нанонаполнителей с повышенной ударной вязкостью, трещиностойкостью, адгезией к армирующему наполнителю.
2. Установлено, что эксфолиация глины приводит к существенному повышению вязкости эпоксидного олигомера при низких скоростях сдвига; при этом по изменению вязкости можно судить о дисперсности нанонаполнителя.
3. Показано, что добавление оптимальных количеств модификаторов приводит к повышению температуры стеклования композиционного материала.



4. Установлено, что модификация эпоксидного связующего нанонаполнителями и полиарилэфиркетона приводит к существенному повышению ударной вязкости связующего.
5. Изучено влияние наномодификаторов и полиарилэфиркетона на адгезию в системе эпоксидное связующее – волокно. Показано, что наиболее высокой адгезионной прочностью обладает композиция, содержащая Cloisite 30B.
6. Испытания ОАО «КазХимНИИ» показали, что введение силикатных нанотрубок при воздействии ультразвука приводит к повышению ударной вязкости связующего на основе ЭД-20 и ДАДФС на 80% и к повышению трещиностойкости композиционного материала на основе данного связующего на 25%. Данные результаты позволяют рекомендовать разработанную композицию для внедрения в производство в качестве связующего для стеклопластиков.

### **По материалам диссертации опубликованы следующие работы:**

1. Ахматова О.В., Зюкин С.В., Хейн Вэй Ян, Смотрова С.А., Кербер М.Л., Осипчик В.С., Горбунова И.Ю. Влияние монтмориллонита на вязкость эпоксидного олигомера // Пластические массы.- 2010. - №10 – С. 55-58.
2. Тренисова А.Л., Ахматова О.В., Смотрова С.А., Горбунова И.Ю., Кербер М.Л., Осипчик В.С., Плотникова Е.П. Изучение влияния монтмориллонита на процесс отверждения эпоксидного олигомера диаминдифинилсульфоном // Пластические массы.- 2011. - №4 – С. 45-48.
3. Ахматова О.В., Зюкин С.В., Ильин С.О., Горбунова И.Ю., Кербер М.Л., Изучение влияния различных наполнителей на вязкость эпоксидного

связующего // Успехи химии и химической технологии. - М., 2009. - Т. XXIII. - № 5. - С.19-24.

4. Горбунова И.Ю., Кербер М.Л., Казаков С.И., Волков А.С., Ахматова О.В. Влияние термопластов различного химического строения на изменение вязкости в процессе отверждения эпоксиаминных связующих и клеев // Десятая международная конференция по химии и физикохимии олигомеров. – Волгоград, 2009. - С. 3.4.
5. Горбунова И.Ю., Кербер М.Л., Ахматова О.В., Зюкин С.В. Изучение влияния режимов получения на свойства эпоксидного полимера, модифицированного монтмориллонитом // Пятая Всероссийская Каргинская конференция. – М., 2010. - С.5-72.
6. Ахматова О.В., Тренисова А.Л., Горбунова И.Ю., Кербер М.Л. Изучение влияния нанонаполнителей на свойства материалов основе эпоксидного олигомера // Всероссийская научно-инновационная конференция студентов, аспирантов и молодых ученых. – Тамбов, 2009. - С.219.220.