



Страхов Дмитрий Евгеньевич

**РАЗРАБОТКА ЭПОКСИДНЫХ КОМПОЗИЦИЙ, ТЕХНОЛОГИЙ  
ПОЛУЧЕНИЯ ТЕРМОУСАЖИВАЮЩИХСЯ МУФТ, МУФТО-КЛЕЕВЫХ  
СОЕДИНЕНИЙ ТРУБОПРОВОДОВ НА ИХ ОСНОВЕ**

05.23.05 - Строительные материалы и изделия

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Работа выполнена на кафедре технологом строительных материалов, изделий и конструкций в Казанской государственной архитектурно-строительной академии

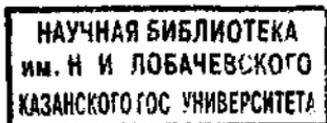
- Научный руководитель - доктор химических наук, профессор  
Строганов Виктор Федорович
- Официальные оппоненты - доктор технических наук, профессор,  
академик РААСН,  
заслуженный деятель науки РФ  
Соколова Ю.А.
- доктор химических наук, профессор  
Ланцов В.М.
- Ведущая организация - ГУП "ГОСНИИХП"

Защита состоится «16» февраля 2004 года в 14 часов на заседании диссертационного совета К 212.077.01 в Казанской государственной архитектурно-строительной академии по адресу: 420043, г. Казань, ул. Зеленая, 1, КГАСА, ауд. В-209.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Казанской государственной архитектурно-строительной академии.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенных печатью, просим направлять по адресу: 420043, г.Казань, ул.Зеленая, 1, диссертационный совет.

Автореферат разослан « » \_\_\_\_\_ 2004 г.



Ученый секретарь  
диссертационного совета,  
кандидат технических наук, доцент

Сулейманов А.М.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность **работы**. Одним из важнейших факторов в обеспечении экономического и социального развития стран является наличие и эффективное использование энергоносителей. К основным задачам, обуславливающим реализацию этих требований, прежде всего относятся вопросы организации учета их расхода, транспортировки, эксплуатации инженерных и энергетических систем, а также использование ресурсосберегающих технологий.

В процессе эксплуатации трубопроводов (ТП) весьма актуальной является задача соединения и восстановления (ремонта) поврежденных участков. Для полиэтиленовых, полипропиленовых ТП широко применяются термоусаживающиеся муфты и фитинги из термопластов. Однако они не могут применяться в случае использования труб из реактопластов и других материалов, что обуславливает необходимость применения других надежных и эффективных технологий соединения ТП.

Из ряда известных технологических решений для соединения чугунных, пластмассовых, керамических, стеклянных и разнородных ТП наиболее целесообразно и актуально применение клеевых технологий.

Широкое использование конструкционных клеев в авиа-, ракето-, судо- и приборостроении, нефтегазовой отрасли, строительстве и других областях техники объясняется рядом существенных преимуществ использования клеевых технологий перед традиционными способами соединения. Главное из них - возможность создания надежных, длительно и эффективно работающих в сложных условиях эксплуатации силовых соединений современных конструкций. Однако весьма сложны в техническом исполнении соединения труб из разнородных материалов, поэтому их разработка весьма актуальна. Одним из наиболее технологичных и конструкционно простых решений этой проблемы является использование термоусаживающихся муфт (ТУМ) из реактопластов в сочетании с эпоксиадгезивами. Это обусловлено уникальным комплексом ценных технологических и эксплуатационных свойств эпоксидных реагентов: высокая адгезия ко многим материалам, малая усадка в процессе отверждения, хорошие электроизоляционные свойства, химическая стойкость, высокая прочность и малая ползучесть под нагрузкой.

**Цель работы.** Разработка эффективных способов соединений ТП из разнородных материалов.

Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие **задачи**:

- Осуществить подбор компонентов для создания композиций и получения ТУМ на основе модифицированных эпоксидных композиций с использованием сырьевой базы республики Татарстан.
- Исследовать и определить наиболее эффективные рецептуры эпоксидных полимеров и клеев для соединения ТП.
- Усовершенствовать оснастку для изготовления ТУМ.
- Разработать устройства и оснастку для испытания ТУМ.

- Провести комплекс исследований по определению прочностных и деформационных показателей ТУМ.
- Выполнить расчеты соединений с использованием ТУМ, определить оптимальные геометрические размеры ТУМ, в том числе из условия равнопрочности соединения труба-муфта.

Научная новизна работы заключается в следующем:

Разработаны и исследованы новые эпоксикаучуковые композиции для получения термоусаживающихся муфт с эффектом "памяти формы" и оптимизированы их составы.

Исследовано влияние дорнирования на свойства полимерных материалов, проведена оценка напряженно-деформированного состояния муфт, а также получены зависимости геометрических параметров (толщина и длина) муфты из условия равнопрочности муфто-клеевого соединения.

Разработан новый способ и технология получения неразъемных соединений труб: термоусаживающаяся муфта с центрирующей стеклопластиковой втулкой.

Практическая значимость работы:

- Разработана клеевая технология соединения разнородных ТП с применением ТУМ из реактопластов.
- Разработана методика испытания полимерных муфт.
- Разработана Инструкция по применению созданных материалов и их апробирование в производственных условиях.

Апробация работы: Результаты работы обсуждались на шестых академических чтениях РААСН/ ИвГАСА г. Иваново, (2000); на Седьмой международной конференции по химии и физикохимии олигомеров.- Москва-Пермь-Черноголовка, (2000); на Пятьдесят третьей республиканской научной конференции/ Казань, (2001); на Четвертой научно-практической конференции молодых ученых и специалистов республики Татарстан, Казань, (2001); на XXII межд. н-практ. конф. "Композиционные материалы в промышленности", Украина, Ялта, (2002); на Всероссийской межвузовской научно-технической конференции "Внутрикамерные процессы в энергетических установках, акустика, диагностика, экология", Казань, (2002); на Пятьдесят четвертой республиканской научной конференции, Казань, (2002); на Восьмой межд. конф. по хим. и физикохим. олигомеров. "Олигомеры-2002", Москва - Черноголовка, (2002); на Пятьдесят пятой республиканской научной конференции, Казань, (2003); на Международной конф. "Наука и практика. Диалоги нового века", Н.Челны, (2003); на Международном конгрессе "Современные технологии в промышленности строительных материалов и стройиндустрии", Белгород, (2003); на Всероссийской науч. конф. "Структура и динамика молекулярных систем", Казань - Москва - Йошкар-Ола - Уфа, (2003).

Публикации: По материалам диссертации имеется 18 публикаций, в том числе 10 статей, патент РФ, заявка на патент РФ, 6 тезисов докладов на конференциях.

**Структура и объем работы:** Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, общих выводов, библиографии - 112 наименований. Изложена на 127 стр. текста, 15 таблиц, 30 рис.

Автор выражает признательность научным консультантам проф. Каюмову Р.А., с.н.с. Строганову И.В. за помощь в экспериментах и теоретических исследованиях и доц. Алексееву К.П., Амировой Л.М. за помощь в проведении испытаний полимерных образцов.

## **КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы цель и задачи исследования, научная новизна и практическая ценность результатов.

**В первой главе** изложен анализ литературных данных о традициях и тенденциях развития технологий соединения ТП, начиная с рассмотрения материалов, типов соединяемых ТП и завершая способами соединения ТП.

Рассмотрены достижения отечественных и зарубежных авторов в области соединения ТП: Фрейдина А.С., Агапчева В.И., Строганова В.Ф., Белошенко В.А., Шелудченко В.И., Васильева Ю.С., Вострова В.М., Позднышева В.С., Шашкина Г.Ф., Ехлакова С.В., Шапиро Г.И., Кершенбаума Я.М., Кагана Д.Ф. и др., в т.ч. с использованием клеевых технологий.

Проанализированы работы Николаёва А.Ф., Сорокина М.Ф., Фрейдина А.С., Соколовой Ю.А., Хозина В.Г., Строганова В.Ф., Кочергина Ю.С., Зайцева Ю.С., Бобрышева А.Н. и др. авторов, что позволило сформулировать предпосылки к созданию материалов с широким спектром упруго-деформационных свойств и обосновать возможность постановки задачи по разработке ТУМ для соединения ТП.

Установлено, что вопрос соединения ТП из разнородных материалов изучен недостаточно. Рассмотрены вопросы модификации эпоксидных полимеров, в том числе пути регулирования деформационных и прочностных показателей ЭП.

Изучен вопрос соединения ТП из разнородных материалов, показано, что наиболее простым и технологичным соединением ТП является способ с применением термоусаживающихся муфт (ТУМ) из реактопластов. Ранее исследования по соединению ТП с использованием ТУМ выполнялись только применительно к полиэтиленовым ТП. Следует отметить, что разработанный состав (аналог) достаточно сложен, а компоненты для изготовления ТУМ производятся на Украине (т.е. за рубежом).

Исходя из анализа литературных данных, сформулирована цель исследования: разработка эффективных способов соединений ТП из разнородных материалов.

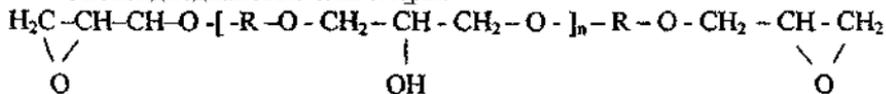
**Во второй главе** приведены характеристики исследуемых объектов, методы исследований и испытаний.

Для получения ТУМ в качестве модификатора эпоксидиановых олигомеров выбраны эпоксикаучуки. Выбор обусловлен как возможностью

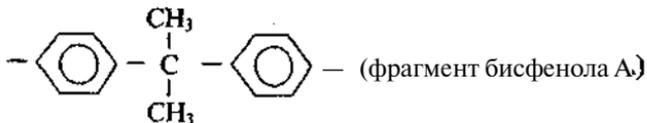
регулирования в широком диапазоне упруго-деформационных свойств, так и богатой сырьевой базой эпоксикаучуков в республике Татарстан и, в частности, в Казани на ПО "Завод СК": ПДИ-1К, ПДИ-3А и ПЭФ-3АГ, которые отличаются химическим строением и содержанием эпокси групп.

**Объекты исследования:**

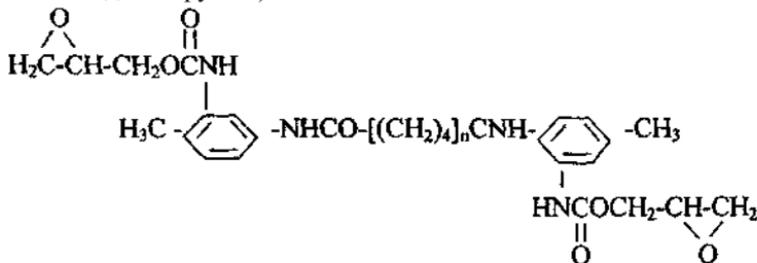
- Эпоксиднодиановые олигомеры:



ЭД-22, эпоксидное число (ЭЧ)-23%, ЭД-20 (21.50%) - ГОСТ 10587-84, n=0,08(для ЭД22), n=0,2(для ЭД20), где: R-

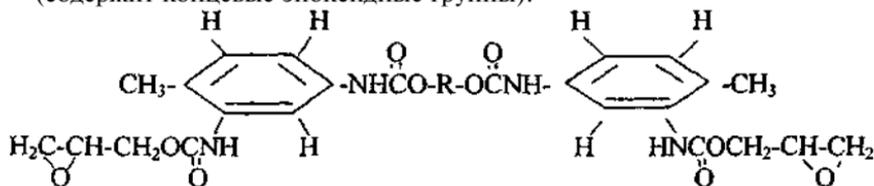


- Эпоксикаучуки (ЭК)
- Олигоэпоксиуретан ПЭФ-3АГ -ТУ 38.50302-89 (содержит концевые эпоксидные группы)



где n=12-17, содержание ЭЧ 9-12%.

- Низкомолекулярный каучук: олигодиепепоксид ПДИ-3А -ТУ38.103410-85 (содержит концевые эпоксидные группы).



где: R-

- (C<sub>4</sub>H<sub>6</sub>)<sub>p</sub>- (C<sub>3</sub>H<sub>5</sub>)<sub>m</sub>- (C<sub>4</sub>H<sub>5</sub>)<sub>p</sub> (бутадиенизопреновый блок-сополимер) (ш = 11-17, p = 24-26)

-Низкомолекулярный каучук ПДИ-1К- ТУ38.103342-88 (содержит концевые гидроксильные группы, его получают сополимеризацией дивинила и изопрена),(содержание ЭЧ 0.7-1.1%).

- Отверждающие системы

Для отверждения реакционноспособных олигомеров применяли отвердители и инициаторы отверждения. Наибольшее применение в практике переработки эпоксидных композиций имеют аминные ("холодного" отверждения) и ангидридные ("горячего" отверждения) отвердители.

- Отвердитель "холодного" отверждения- диэтилентриаминометилфенол (УП-583Д), сочетающий в строении алифатические и ароматические фрагменты, является продуктом конденсации диэтилентриамина с фенолом и формальдегидом, ТУ 6-05-241-331-82.
- Отвердители "горячего" отверждения: триэтаноламинотитанат (ТЭАТ), линейного алифатического строения, является продуктом переэтерификации тетрабутоксититана триэтаноломином, МРТУ 6-09-74-62 и изо-метилтетрагидрофталевый ангидрид (изо-МТГФА), циклоалифатического строения, ТУ 6-09-3321-73.
- Отвердитель-ускоритель: трис(диметиламинотетил)фенол (УП-606/2) - ТУ6-0020. 9365.18-95.

Методы исследований:

- Термомеханический анализ (ТМА) полимеров осуществляли на автоматической установке в условиях одноосного сжатия при напряжении 6 МПа и скорости подъема температуры 1К/мин. Из данных ТМА находили температуру стеклования ( $T_g$ ) и характеристики технологичности полимера при изготовлении муфт: температуру перехода в высокоэластичное состояние ( $T_{вэ}$ ), температуру деформирования ( $T_d$ ), деформацию в высокоэластичном состоянии ( $\epsilon_{вэ}$ ), эффективную плотность узлов полимерной сетки ( $\nu_1$ ).
- Золь-гель анализ проводили экстрагированием растворимых в ацетоне и хлороформе соединений, в аппарате Сокслета.
- Динамическую вязкость определяли на реовискозиметре Гепплера при 20°C, согласно инструкции прибора.
- Время гелеобразования (по обрыву нити).
- Методом ЯМР релаксации определяли подвижность элементов сетчатых ЭП при частоте резонанса на протонах 19 МГц.
- Испытания клеевых соединений на сдвиг ( $\tau$ , ) выполняли по ГОСТ 14759-69, на равномерный отрыв ( $\sigma_r$ , ) по ГОСТ 14760-69.
- Для определения жесткостных и прочностных характеристик полимерных муфт изготовлено устройство для испытания трубчатых образцов внутренним радиальным давлением и осевой сжимающей силой (рис.1). На изготовленном устройстве индикаторы часового типа устанавливались в продольном и радиальном направлениях, а в качестве несжимаемой среды использовали резиновые кольца.

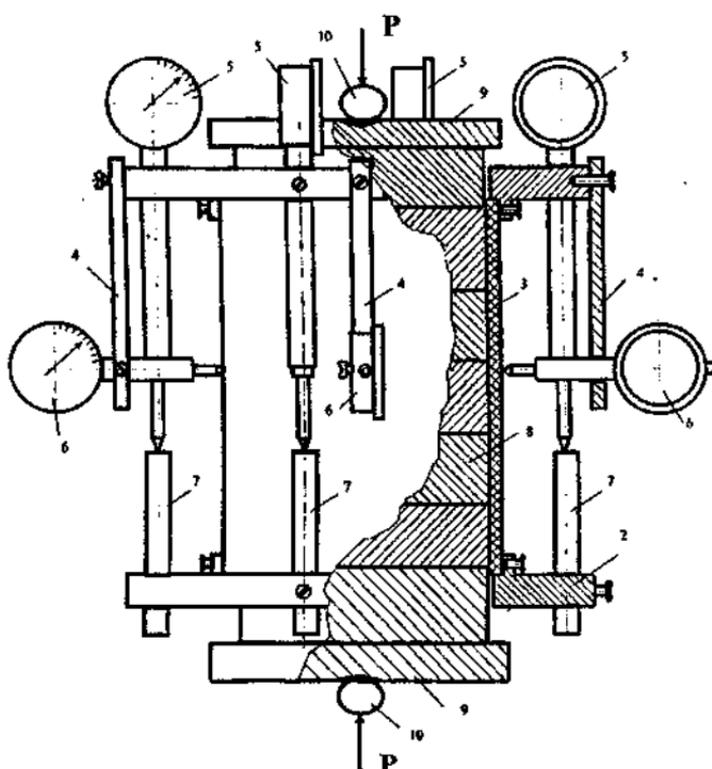


Рис.1. Устройство для испытания трубчатых образцов внутренним радиальным давлением и осевой сжимающей силой:

1 - верхний фланец, 2 - нижний фланец, 3 - полимерная муфта, 4 - кронштейн, 5-индикатор часового типа (измерение продольных деформаций), 6 - индикатор часового типа (измерение окружных деформаций), 7 - упор, 8 - несжимаемая среда (резиновые кольца), 9 - цилиндрические поршни, 10-металлический шарик.

Данные физико-механических испытаний обрабатывали с использованием программного комплекса Statgrafica.

**В третьей главе** изложены результаты разработки и исследования рецептур для изготовления ТУМ, условий их изготовления на стадиях заливки и лорнирования.

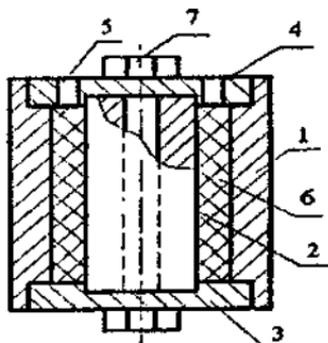
При разработке полимерных композиций исследовано более 80 вариантов составов на основе эпоксидиановых олигомеров, эпоксикаучуков и отвердителей различного строения. В рассмотренных композициях содержание ЭК изменяли от 10 до 70%, что позволило модифицировать свойства полученных ЭП, изменять молекулярную массу сегмента ( $M_c$ ) от 800 до 8200 кг/к моль.

Установлено, что стабильный эффект термоусадки обеспечивается при содержании в жесткой матрице 15-25% ЭК, при значениях молекулярных масс эпоксиполимеров в интервале 1200-1900кг/к моль.

Для получения качественных полимерных муфт усовершенствована конструкция и изготовлена полностью разборная пресс-форма, в которой

муфта отверждается в кольцевом зазоре по заданному технологическому режиму (рис.2).

После отверждения композиции и охлаждения полимерной муфты ниже температуры стеклования ( $T_c$ ) форму разбирали и муфту снимали с сердечника при помощи гидравлического пресса и специальной трубчатой оправки (втулки).



- 1-стакан
- 2-сердечник
- 3-нижняя крышка
- 4-верхняя крышка
- 5-отверстие для заливки
- 6-полимерная композиция
- 7-крепежный винт

Рис.2. Разборная пресс-форма

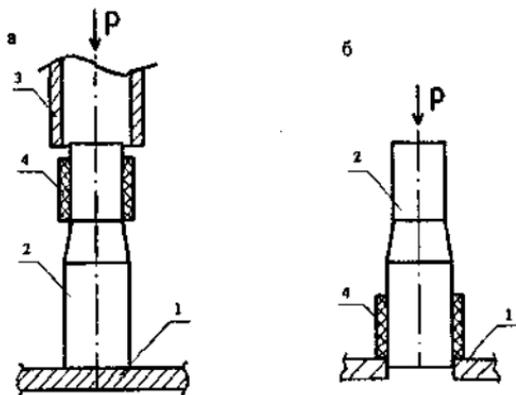


Рис. 3. Оснастка для придания муфте эффекта "памяти формы":

- 1-опорная плита, 2-дорн, 3-втулка, 4-полимерная муфта

Для придания муфте эффекта "памяти формы" использовали оснастку (рис.3а), позволяющую осуществить процесс ее деформирования (раздачи) с увеличением диаметра ( $D_0 < D_1$ , где  $D_0$ -внутренний диаметр заготовки до деформирования,  $D_1$ -после деформирования). Деформирование выполняли следующим образом: нагретую до температуры  $>T_c$  муфту одевали на уголку дорна, а сдем деформированной муфты, после снижения температуры  $<T_c$ , производили путем перемещения дорна относительно опорной плиты (рис.3б).

В результате имели возможность задавать процент деформации, что достигалось варьированием диаметров дорнов.

Для определения возможности эксплуатации соединения в зависимости от температуры окружающей и транспортируемой среды, были определены значения  $T_c$  в зависимости от содержания ЭК и видов отвердителей (рис.4а). Как видно, с увеличением содержания каучука  $T_c$  монотонно убывает. Максимальные значения  $T_c$  получены в ряду каучуков ПДИ-1К, ПДИ-3А и ПЭФ-3АГ. В ряду отвердителей наибольшее значение  $T_c$  получено на изо-МТГФА. Применение выбранных ЭК и отвердителей позволяет варьировать  $T_c$  полимеров в достаточно широком температурном интервале от 60 до 125°C.

Для определения упруго-деформационных свойств, необходимых для реализации технологии дорнирования, определяли степень деформации муфт в высокоэластическом состоянии (рис.4б).

Оптимальные значения деформаций, при которых наиболее надежно осуществляется процесс изготовления ТУМ, имеют значения 15-25%. На представленных кривых наглядно прослежена зависимость % деформации от содержания ЭК.

Для отвердителя изо-МТГФА характерны большие значения деформации, чем для 2-х других отвердителей (при равных количествах ЭК). Максимальное значение % деформации обеспечивается применением ПДИ-3А.

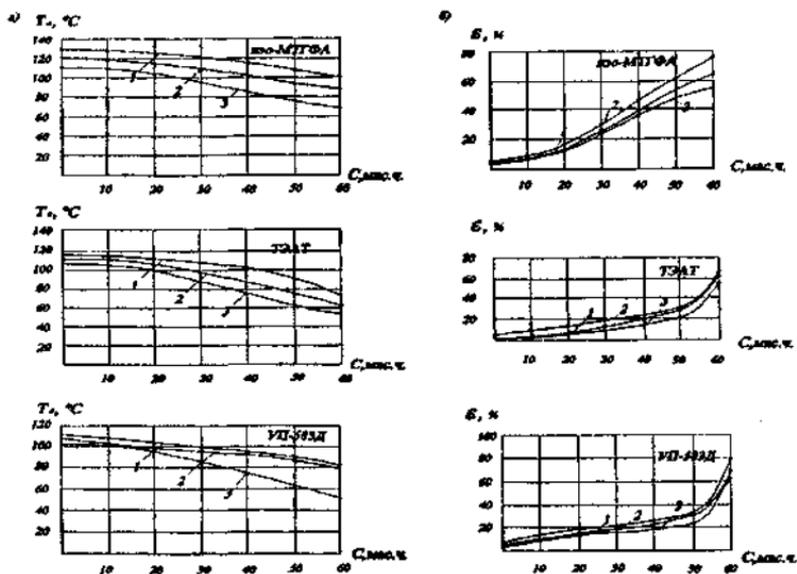
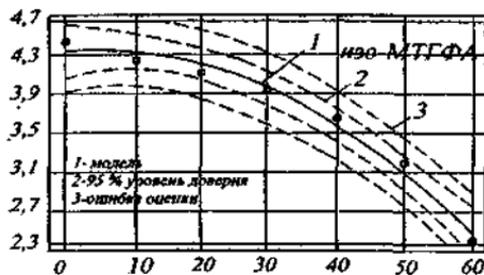


Рис.4. Зависимости  $T_c$ ,  $\epsilon$  от содержания каучука и видов отвердителей:  
1 - ПДИ-1К, 2 - ПДИ-3А, 3 - ПЭФ-3АГ

На основе экспериментальных данных получены зависимости (рис.5) и уравнения регрессии для расчета модулей упругости (табл.1).

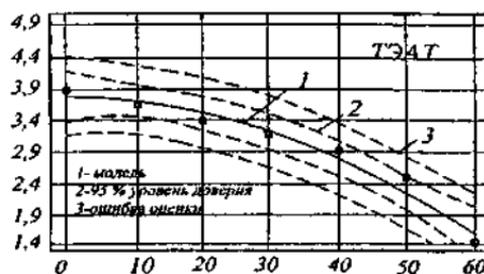
Как видно, с увеличением содержания ЭК значения  $E_y$  монотонно убывают. Наибольшие значения  $E_y$  получены на отвердителе изо-МТГФА.

$E_y$ , ГПа



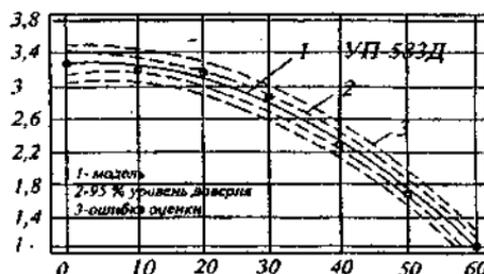
$C$ , мас. ч.

$E_y$ , ГПа



$C$ , мас. ч.

$E_y$ , ГПа



$C$ , мас. ч.

Рис.5. Зависимости  $E_y$  от содержания ПЭФ-3АГ и вида отвердителя:  
1-модель, 2-95% уровень доверия, 3- ошибка оценки

Таблица 1

Уравнения регрессии полимерных муфт

№	Вид отвердителя	Уравнение, описывающее зависимость	Адекватность модели, %
		$E_y$ от количества каучука (К)	
1	Изо-МТГФА	$E_y = 4,3865 + 0,00456 * K - 0,0006248 K^2$	98,35
2	ТЭАТ	$E_y = 3,817 + 0,00132 * K - 0,0005931 * K^2$	97,02
3	УП583Д	$E_y = 3,31 + 0,00677 * K - 0,000759 * K^2$	99,60

К-содержание ЭК в композиции (м.ч.).

Учитывая характер нагружения изучаемых конструкций ТП, определены разрушающие напряжения полимерных муфт (ПМ) при нагружении их внутренним радиальным давлением (табл.2).

Зависимость разрушающего напряжения полимерных муфт от состава композиций (каучук и отвердитель)

№ образца	Содержание каучука ПЭФ-ЗАГ, С,мас.ч.	Тип отвердителя		
		Изо-МТГФА	ТЭАТ	УП-583Д
		разрушающее напряжение $\sigma_{\text{р}}$ , МПа		
1	0	91.8	82.2	73.6
2	10	87.9	79.5	65.7
3	20	80.1	77.3	55.3
4	30	71.1	68.0	45.7
5	40	58.3	49.9	30.7
6	50	47.9	33.3	20.9
7	60	25.0	16.5	15.9
8	70	.	.	13.7

\* - для отвердителей изо-МТГФА и ТЭАТ при содержании каучука  $\geq 70$ м.ч. происходит потеря формоустойчивости.

Видно, что для всех видов рассмотренных отвердителей изменение  $\sigma_{\text{р}}$  происходит монотонно с увеличением содержания каучука.

На основании экспериментальных данных (табл.2) получены зависимости  $\sigma_{\text{р}}$  от содержания каучука, описываемые уравнениями регрессии (табл.3).

Таблица 3

Уравнения регрессии для полимерных муфт на различных отвердителях

№	Вид отвердителя	Уравнение, описывающее зависимость $\bar{\sigma}_{\text{р}}$ от количества каучука (К)	Адекватность модели, %
1	Изо-МТГФА	$\bar{\sigma}_{\text{р}} = 91,499 - 0,252 * K - 0,0137 * K^2$	98,13
2	ТЭАТ	$\bar{\sigma}_{\text{р}} = 82,479 + 0,016 * K - 0,019 * K^2$	99,35
3	УП583-Д	$\bar{\sigma}_{\text{р}} = 76,38 - 1,278 * K + 0,0048 * K^2$	99,18

Для сравнения уровня прочности при осевом сжатии испытаны муфты-аналоги (Украина) и разработанные ЭК муфты, содержащие 80м.ч. эпоксидной смолы, 20м.ч. эпоксикаучука и 15м.ч. отвердителя ТЭАТ, для которых определено среднее разрушающее напряжение:

$\sigma_{\text{р}} = (103.36 \pm 0.08)$  МПа, что превышает значения  $\sigma_{\text{р}}$  для муфт-аналогов  $\approx$  на 20%.

Для исследования процесса термоусадки на основе экспериментальных данных построена зависимость относительного увеличения внутреннего диаметра заготовки  $\Delta d/d_0$  ( $\Delta d = d_i - d_0$ ) где  $d_0$ -внутренний диаметр заготовки до деформирования,  $d_i$ -после деформирования) от внутреннего диаметра муфты D (рис.6).

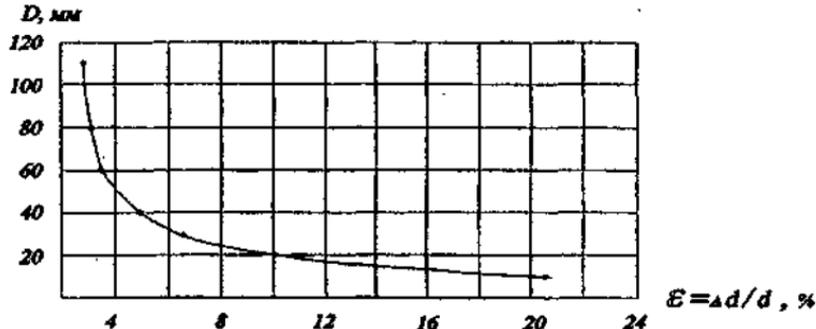


Рис.6. Зависимость относительного увеличения внутреннего диаметра заготовки  $\Delta d/d_0$  от внутреннего диаметра муфты  $D$

При задаваемом технологическом зазоре  $\leq 2$  мм по диаметру изготовление муфт дорнированием возможно осуществить до диаметра 100-110 мм. Таким образом, эксплуатационные характеристики термоусаживающихся муфт из ЭП зависят не только от состава выбранной композиции, но и от размера муфты, т.е. имеет место масштабный фактор.

Проведены исследования по определению продолжительности усадки полимерных муфт при температуре 100 и 110°C (рис.7). По результатам экспериментов установлено, что время усадки муфты составляет 18 - 20 мин. (в зависимости от  $T_c$  муфты).

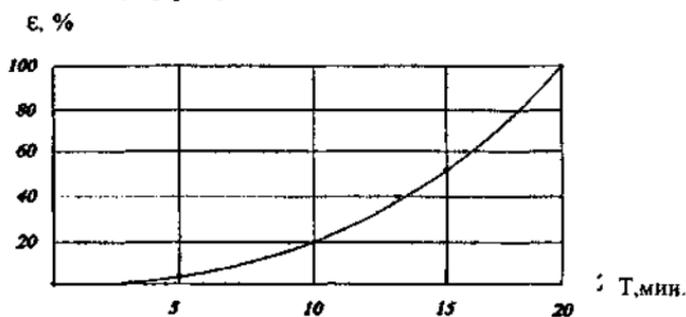


Рис.7. Зависимость усадки  $\epsilon$  (%) от времени термообработки

Для исследования влияния дорнирования на свойства полимерных муфт проведена оценка напряженно-деформированного состояния (НДС) муфт, определены  $E_x$  и  $E_y$  полимерных муфт.

#### Прочностные характеристики полимерных муфт \*

Таблица 4

до лорнирования				после лорнирования				после усадки			
$E_x$ , ГПа	$\nu_x$	$E_y$ , ГПа	$\nu_y$	$E_x$ , ГПа	$\nu_x$	$E_y$ , ГПа	$\nu_y$	$E_{\cdot}$ , ГПа	$\nu_x$	$E_y$ , ГПа	$\nu_y$
2,8	0,26	3,1	0,3	3,04	0,28	3,21	0,31	2,8	0,26	3,1	0,3

\* - композиция ПЭФ-3АГ - 20м.ч., ЭД-20 - 80м.ч., ТЭАТ - 15м.ч.

Полученные экспериментальные данные (табл.4) свидетельствуют о том, что муфты после дорнирования находятся в НДС, которое полностью исчезает после усадки.

В результате исследований выбран состав на основе ПЭФ-ЗАГ (табл.5). Выбор данного эпоксикаучука обусловлен тем, что при близких технических характеристиках с ПДИ-ЗА, ПДИ-1К он регулярно выпускается в промышленных масштабах (ПО "Завод СК", г.Казань). Установлено, что наиболее надежно и качественно (без разрушения муфт) процесс дорнирования протекает при содержаниях ЭК от 15 до 25м.ч. в зависимости от вида отвердителя. С учетом меньшей стоимости исходных материалов (ЭД-20 и ЭК), затрат на изготовление муфт, удалось сократить их себестоимость в 1,5-1,75 раза (в зависимости от вида используемого отвердителя). Характеристики оптимальных составов представлены в табл.5.

Состав КОМПОЗИЦИЙ и свойства полиимеиных МУФТ Таблица 5

пример композиций	Состав композиций					Режим отверждения °С, час	Свойств						разрушение заготовок, %
	ЭД-20	УП-583Д	ТЭАГ	Изо-МТНФА	ПЭФ-ЗАГ		Р кг/м <sup>3</sup>	Ект Мпа	Мс н/см <sup>2</sup>	Тс С	Ту мин.	Ту С	
1	85	25,13			15	18°С, 24ч.	1038,89	8,51	1398,14	95	18	100-105	25
2	80	24,68			20	18°С, 24ч.	1038,34	8,42	1466,73	94	18	100-105	15
3*	75	23,14			25	18°С, 24ч.	1038,16	7,91	1597,64	92	18	100	не разрушалась
4	90		15		10	120°С, 3ч.	1142,13	833	1470,5	101	20	100	50
5	85		15		15	120°С, 3ч.	1141,64	7,94	1548,12	100	20	100	15
6*	80		15		20	120°С, 3ч.	1141,02	7,82	1601,88	99	20	100	не разрушалась
7	95			65	5	80°С, 1ч. + 120°С 3ч.	1049,84	8,92	1518,40	110	20	107	50
8	90			65	10		1048,34	8,3	1564,92	107	20	105	15
9*	85			65	15		1047,71	8,04	1618,42	105	20	105	не разрушалась

\* - оптимальные составы композиций

Таким образом, результаты выполненных исследований позволили определить зависимости и получить уравнения регрессии  $E_y$ ,  $\sigma_y$  от химического состава композиции, определить условия, при которых возможно осуществление дорнирования, определить время усадки и влияние дорнирования на свойства ПМ муфт. На основании проведенных исследований определены оптимальные составы для изготовления ТУМ.

В четвертой главе выполнены экспериментальные исследования прочности муфто-клеевых соединений.

Для оценки прочностных характеристик клеевого шва в муфто-клеевом соединении (МКС) из различных материалов изготовлены образцы (рис.8) из стали, чугуна, дюралюминия и бронзы, в которых концы трубных заготовок выполняли на 1/3 длины с закрытыми полостями (глухими).

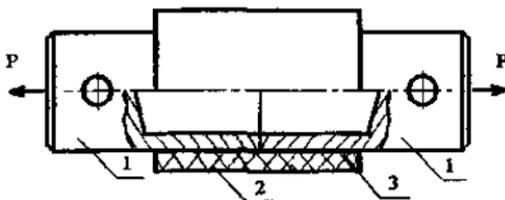


Рис.8. Схема муфто-клевого соединения в сборе:  
1 - трубчатые оправки, 2 - ТУМ, 3 - клеевая прослойка

Для выяснения влияния материалов труб (субстратов), способов обработки их поверхностей и типов используемых клеев определены средние значения разрушающих напряжений при сдвиге ( $\tau_g$ ).

Рассмотрено два варианта клея: выбранный нами серийно выпускаемый одноупаковочный клей УП16-06 и опытный Украинский клей с муфтами (патент РФ №2141600, БИ №32, 1999г.) и новые разработанные - ЭК муфты. Как видно, в зависимости от склеиваемых субстратов (рис.9) разрушающие напряжения различны:  $\tau_g$  разработанных муфт на клею (пат. РФ №2141600, БИ №32, 1999г.) превышают значения муфт и клея аналога. На клею УП16-06 значения разрушающих напряжений превышают значения клея-аналога для всех рассмотренных субстратов.

Таким образом, у разработанных ЭП муфт уровень разрушающих напряжений не уступает аналогу и достигнут на серийно выпускаемом одноупаковочном клею.

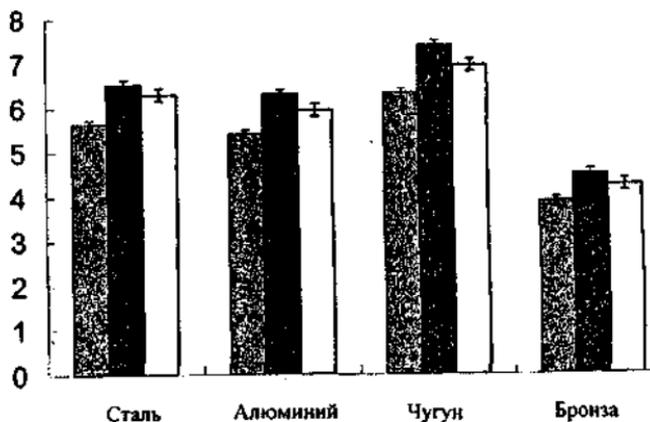


Рис.9. Зависимости разрушающих напряжений при сдвиге ( $\tau_g$ ) от вида муфт, клеев и склеиваемых материалов

- - Муфта (опытный образец клея по пат. РФ №2141600, БИ №32, 1999г.)
- - Муфта ЭК (клей УП16.06)
- - Муфта ЭК (клей по пат. РФ №2141600, БИ №32, 1999г.)

С целью повышения прочности МКС, надежности в процессе эксплуатации, обеспечения технологических удобств соединения (наличие зазоров между соединяемыми трубами, предупреждения выдавливания клея в рабочее пространство трубы и пр.) предложен и запатентован способ неразъемного соединения труб (рис.10).

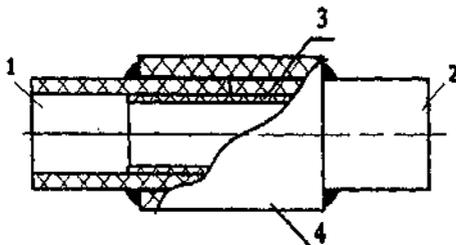


Рис. 10. Схема неразъемного соединения труб:  
1,2 - концы соединяемых труб, 3 - стеклопластиковая втулка, 4 - полимерная муфта

Особенностью данного соединения является то, что внутри труб, в месте их соединения, устанавливается центрирующая втулка длиной 1,1-1,5 длины ТУМ, изготовленная навивкой псевдоленты в виде жгута стекловолкна при угле 5-10° между жгутом и образующей втулки.

По результатам гидравлических испытаний, данный способ позволил увеличить прочность «38% (13 МПа против 8 МПа у контрольной серии).

Таким образом, проведенные исследования показали возможность увеличения прочности МКС при использовании центрирующей втулки.

**В пятой главе** на основе известных подходов проведены расчеты МКС (решение задачи проводилось в упругой постановке и по теории предельного равновесия).

На основании численных расчетов получены зависимости геометрических параметров соединения из условия его равнопрочности (рис. 11). Определены оптимальные геометрические размеры ТУМ в зависимости от толщин и механических характеристик труб и различных клеев (рис. 12).

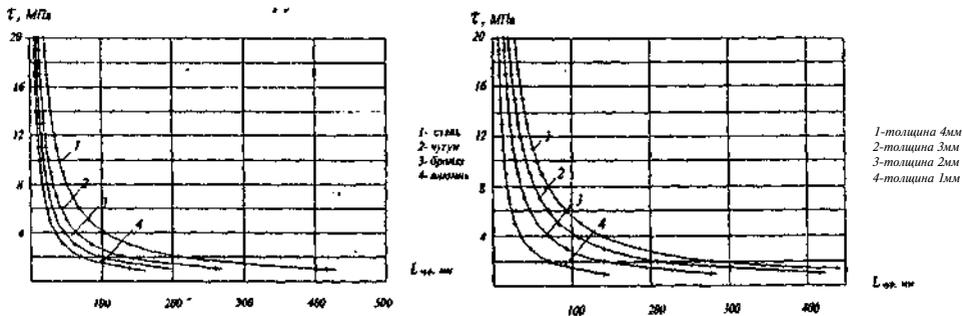


Рис.11.Зависимости геометрических размеров ТУМ от видов клеев

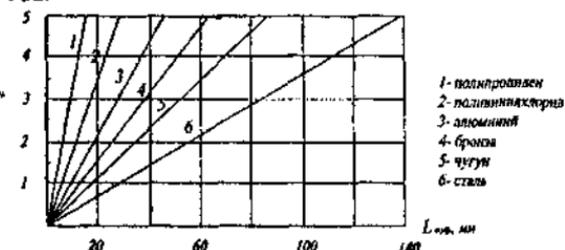
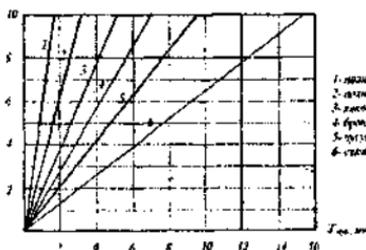


Рис.12. Зависимости геометрических размеров ТУМ от толщины и механических характеристик труб

Результаты работы апробированы на предприятиях: ЭПЗ "ВКНИИВОТ", ООО "КОНЕСКО", показано, что технология соединения (ремонта) может применяться для локального ремонта металлических ТП, полиэтиленовых, полипропиленовых, металлопластиковых и разнородных ТП.

### Общие выводы

1. На основе термомеханических, физико-механических исследований композиций эпоксикаучуковых олигомеров, отверждаемых аминными и ангидридными отвердителями, показана возможность получения полимерных эпоксидных материалов с широким спектром упруго-деформационных свойств ( $\epsilon_p$  от 5 до 60%,  $M_c$  от 800 до 8200 кг/к моль,  $T_c$  от 60 до 125°C), позволяющая осуществить разработку термоусаживающихся муфт.
2. С целью выбора состава композиции для ТУМ исследованы зависимости модулей упругости ( $E_y$ ) и разрушающих напряжений ( $\sigma_y$ ) от содержания каучука и вида отвердителя, получены уравнения регрессии, показано, что наиболее оптимальным является соотношение эпоксидиановых олигомеров к эпоксикаучукам 75-85 : 25-15м.ч. в зависимости от выбранных отвердителей.
3. Установлено, что стабильный эффект термоусадки обеспечивается при содержании в жесткой матрице 15-25% эпоксикаучуков, при значениях молекулярных масс ( $M_c$ ) эпоксиполимеров в интервале 1200-1900кг/к моль.
4. Исследован процесс термоусадки и установлена зависимость относительного увеличения внутреннего диаметра заготовки  $\Delta d/d_0$  ( $\Delta d = d_1 - d_0$ , где  $d_0$ -внутренний диаметр заготовки до деформирования,  $d_1$ -после деформирования) от внутреннего диаметра муфты, определена зависимость усадки  $\epsilon$  (%) от времени термообработки и установлено, что в течение 18-20мин. происходит полная релаксация (термоусадка) муфты.
5. Проведены экспериментальные исследования по оценке влияния деформирования на жесткостные показатели ( $E_x, E_y$ ) на стадии изготовления ТУМ: до и после дорнирования, а также после усадки

- (релаксации). Полученные данные свидетельствуют о том, что муфты после дорнирования переходят в напряженно-деформируемое состояние, которое полностью исчезает после усадки.
6. Выполнены исследования прочности разрушающих напряжений при сдвиге ( $\tau_{\text{с}}$ ) муфто-клеевых соединений, определено влияние материалов труб, способов обработки их поверхностей и типов используемых клеев, разработан и запатентован способ неразъемного соединения труб, позволивший увеличить прочность соединения  $\approx$  на 38%.
  7. Разработана конструкция полностью разборной формы для получения литых муфт, отверждаемых ЭК композиций в заданном кольцевом зазоре и определена технология изготовления литых муфт, их деформирования - "дорнирования" для придания эффекта "памяти формы".
  8. Выполнены расчеты по теории предельного равновесия. На основании исследований получены зависимости геометрических параметров соединения из условия его равнопрочности. Определены оптимальные геометрические размеры ТУМ в зависимости от видов и геометрических размеров склеиваемых материалов, видов клеев.
  9. Результаты работы апробированы на предприятиях: ЭПЗ "ВКНИИВОТ" и ООО "КОНЕСКО" и показано, что технология соединения (ремонта) перспективна и может применяться на предприятиях для локального ремонта трубопроводов.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах:

1. Страхов Д.Е. Технологическая оснастка для изготовления и испытания муфто-клеевых соединений труб из полимерных и разнородных материалов./ Материалы пятьдесят третьей республиканской научной конференции. Сборник научных трудов студентов и аспирантов.-Казань.-2001.-С.81-85.
2. Страхов Д.Е. Совершенствование технологической оснастки для изготовления и испытания муфто-клеевых соединений труб из полимерных и разнородных материалов./ Материалы пятьдесят четвертой республиканской научной конференции. Сборник научных трудов студентов и аспирантов.-Казань.-2002.-С.81-84.
3. Страхов Д.Е. Исследование механических характеристик полимерных муфт./ Материалы пятьдесят пятой республиканской научной конференции. Сборник научных трудов студентов и аспирантов.-Казань.-2003.-С.220-223.
4. Строганов В.Ф., Белошенко В.А., Строганов И.В., Страхов Д.Е. Нетрадиционные строительные технологии при соединении труб и ремонте трубопроводов./ Материалы шестых академических чтений РААСН. Современные проблемы строительного материаловедения. - Иваново.-2000.-С.505-510.
5. Строганов В.Ф., Белошенко В.А., Строганов И.В., Страхов Д.Е. Влияние строения эпоксидных олигомеров на способность отвержденных

- полимеров к усадке./Тез. докл. Седьмая международная конференция по химии и физикохимии олигомеров.- Москва-Пермь-Черноголовка, 2000.- С.235.
6. Алексеев К.П., Страхов Д.Е., Строганов И.В. Напряжения в муфто-клеевых соединениях./ Материалы пятьдесят второй республиканской научной конференции. - Казань. - 2000. -С.93-98.
  7. Страхов Д.Е., Строганов И.В., Строганов В.Ф., Алексеев К.П. Композиционные материалы для соединения труб методом термоусадки./ Тез. докл. Синтез, исследование свойств, модификация и переработка высокомолекулярных соединений. -Казань, 2001.-С.76.
  8. Страхов Д.Е., Строганов И.В. Разработка методик и устройств для испытаний муфто-клеевых композитных материалов./ Тез. докл. Четвертая научно-практическая конференция молодых ученых и специалистов республики Татарстан. - Казань. -2001г. С.178.
  9. Строганов В.Ф., Алексеев К.П., Строганов И.В., Страхов Д.Е. Муфто-клеевые соединения трубопроводов// Изв. ВУЗов «Строительство».2002.- №6.-С.135-140.
- Ю.Строганов В.Ф., Строганов И.В., Страхов Д.Е., Алексеев К.П. Композиционное соединение стеклопластиковых труб термоусаживающимися реактопластами./ Тез.докл. XXII межд. н-практ. конф. "Композиционные материалы в промышленности". - Украина, Ялта, Укр. Инф. центр. 2002 г. - С.114.
- П.Алексеев К.П., Строганов В.Ф., Страхов Д.Е., Строганов И.В. Установка для испытания муфтоклеевых соединений // Материалы XIV Всероссийской межвузовской научно-технической конференции/ Внутрикамерные процессы в энергетических установках, акустика, диагностика, экология. - Казань, Изд. "Унипресс", 2002.-С.212-214.
- 12.Строганов В.Ф., Страхов Д.Е., Строганов И.В., Алексеев К.П., Белошенко В.А. Термоусаживающиеся реактопласты на основе эпоксикаучуковых олигомеров. Тез. докл. Восьмой межд. конф. по хим. и физикохим. олигомеров. "Олигомеры-2002". - Москва - Черноголовка. 2002г. - С.276.
- П.Алексеев К.П., Строганов В.Ф., Страхов Д.Е. Экспериментальное исследование механических характеристик муфто-клеевых соединений трубопроводов термоусаживающимися муфтами из терморезистивных материалов //Проблемы прочности и пластичности.- Нижний Новгород, 2002.-Вып.64, С. 138-142.
- Н.Артюхин Ю.П., Алексеев К.П., Страхов Д.Е. Расчет и экспериментальное исследование клеевого соединения трубопроводов при сдвиге./ Наука и практика. Диалоги нового века. - Н.Челны.- 2003.-С.290-291.
- 15.Строганов В.Ф., Артюхин Ю.П., Алексеев К.П., Страхов Д.Е., Строганов И.В. Исследование свойств термоусаживающихся муфт в зависимости от вида отвердителей, режимов отверждения и расчет клеевых соединений металлических трубопроводов при сдвиге./ Международный конгресс. Современные технологии в промышленности строительных материалов и стройиндустрии. - Белгород.- 2003.-С.441-444.

- 16.Строганов В.Ф., Белошенко В.А., Страхов Д.Е., Строганов И.В., Алексеев К.П., Борзенко А.П., Рапопорт А.Ц., Шуматов С.А. Способ неразъемного соединения труб. Патент РФ БИ №32 от 20.11.2003г.
- П.Строганов В.Ф., Страхов Д.Е., Строганов И.В., Сундуков В.И., Хакимов А.М. Физико-механические характеристики и ядерная релаксация в эпоксидных полимерах./ Тез. докл. Структура и динамика молекулярных систем.- Казань - Москва - Йошкар-Ола - Уфа.-2003.- С.288.
- 18.Строганов В.Ф., Страхов Д.Е., Строганов И.В., Алексеев К.П. Композиция для изготовления термоусаживающихся муфт. Заявка на патент РФ №2003105761/04/от 27.02.2003г.

Корректурa автора

---

Подписано в печать	12.01.04	Формат 60 84/16
Заказ 22	Печать RISO	Объем 1.0 усл.-печл.
Тираж 100 экз.	Бумага тип. №1	

---

Печатно-множительный отдел КГАСА  
420043, Казань, Зеленая, 1