



ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ
“СЕВЕРГАЗПРОМ”

УХТИНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Романцов Сергей Викторович

**РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИЙ СТЕКЛОПЛАСТИКОВЫХ
МУФТ И МЕТОДОВ РАСЧЕТА ИХ
РАБОТОСПОСОБНОСТИ ПРИ РЕМОНТЕ ГАЗОПРОВОДОВ**

Научный руководитель:

доктор технических наук,
А.М. Шарыгин

СЕВЕРГАЗПРОМ

РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИЙ СТЕКЛОПЛАСТИКОВЫХ МУФТ И МЕТОДОВ РАСЧЕТА ИХ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ПРИ РЕМОНТЕ ГАЗОПРОВОДОВ

1

Цель:

разработка методов и экспериментально-аналитическое обоснование эффективности применения новых конструкций стеклопластиковых муфт для ремонта газопроводов.

Задачи:

- 1 разработка конструктивных и технологических схем изготовления стеклопластиковых муфт, обеспечивающих значительное упрочнение дефектных участков трубопроводов
- 2 создание методики расчета стеклопластиковых муфт с болтовой затяжкой при установке на трубу;
- 3 расчетный анализ эффективности применения стеклопластиковой оболочки для снижения коэффициента концентрации напряжений в трубах с трещиноподобными дефектами;
- 4 разработка методов экспериментальных исследований муфт, установленных на трубы с дефектами;
- 5 проведение лабораторных, полигонных и натурных испытаний стеклопластиковых муфт различных конструкций с целью оценки эффективности их применения;
- 6 разработка методов ремонта дефектных участков трубопроводов с помощью стеклопластиковых муфт;
- 7 создание нормативных документов по изготовлению и применению стеклопластиковых муфт.

1. Разработка конструкции высокопрочной стеклопластиковой муфты с использованием специальной технологии однонаправленной намотки стеклошнура на шаблон.
2. Методика расчета эффективности болтовой затяжки при установке муфты на трубу.
3. Методы экспериментальных исследований муфт в лабораторных условиях, на полигоне, на подземном участке действующего газопровода.
4. Оценка эффективности применения муфт по результатам исследований методов ремонта трещиноподобных и сквозных дефектов, а также определение их антикоррозионной защищенности.

МУФТОВЫЕ УСТРОЙСТВА

ГЕРМЕТИЗИРУЮЩИЕ

КОМБИНИРОВАННЫЕ

УПРОЧНЯЮЩИЕ

Спиральные муфты типа Clock Spring с клеевой композицией между слоями

Приварные оболочки с антикоррозионной жидкостью в кольцевом пространстве

Ленты из ткани с клеевой композицией, рукава с упрочняющим составом охватывающие дефектное место

Стальные оболочки с закачкой упрочняющего состава в кольцевое пространство

Стяжные муфты с эластичными прокладками

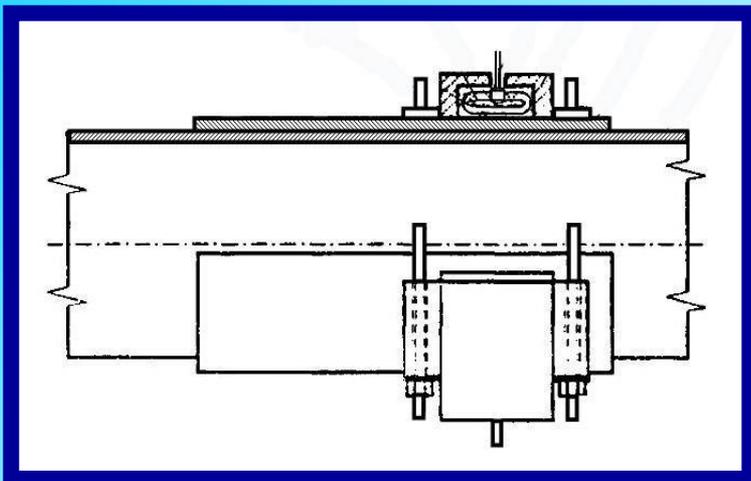
Приварные обжимные стальные муфты

Стальные обжимные муфты без приварки к трубопроводу

Проволочные силовые оболочки

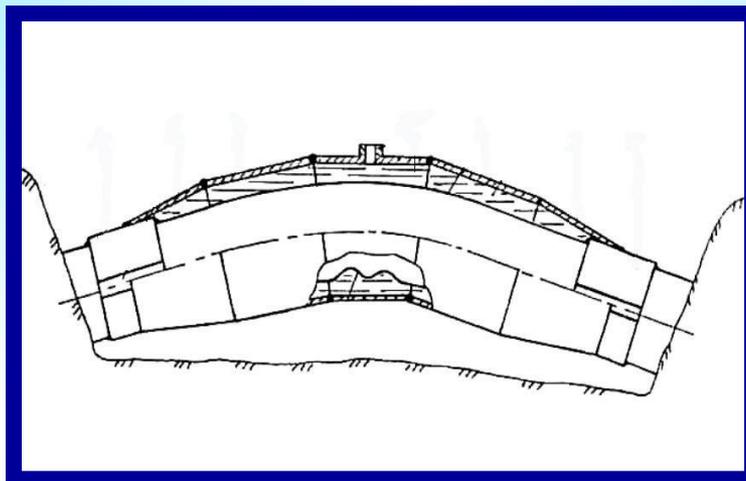
Стяжные стальные муфты (ленты) с локальным воздействием на дефекты

Упрочняющие муфты

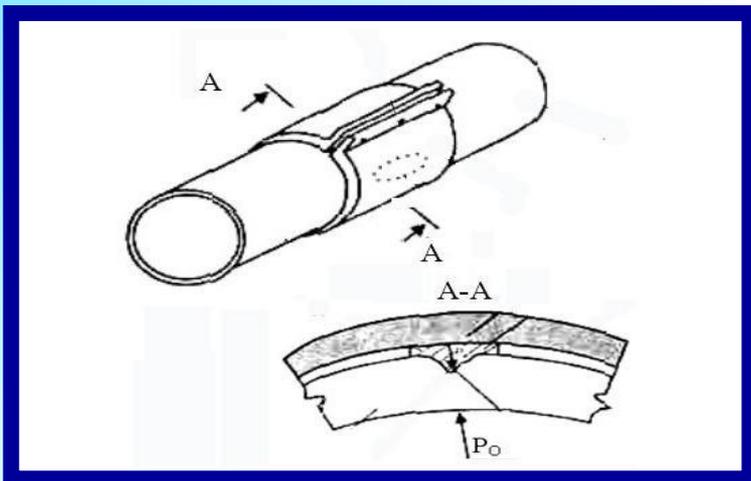


*Устройство для ремонта трубопровода
напряженными муфтами*

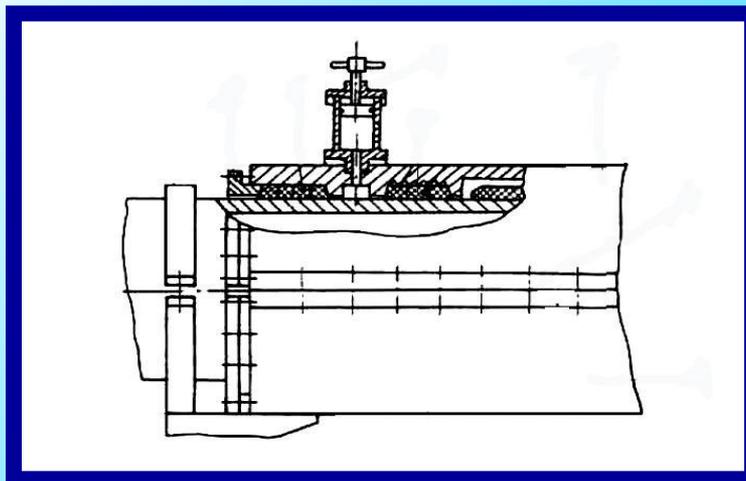
Герметизирующие муфты



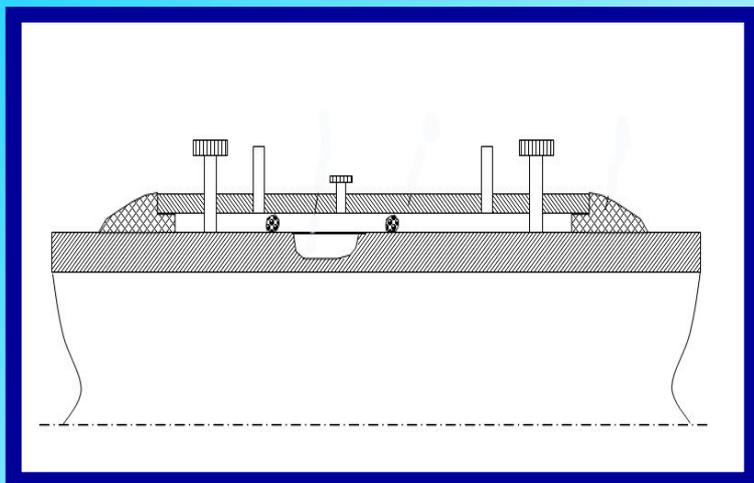
*Оболочечная муфта для
трубопроводов с искривленной осью*



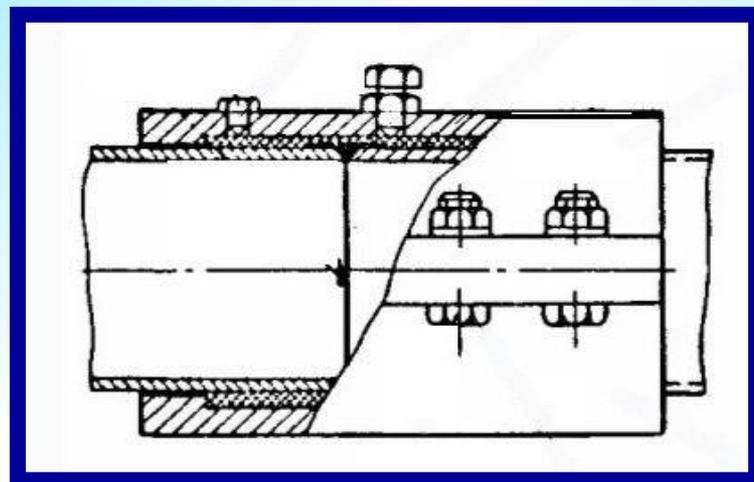
Хомут металлический с прокладкой



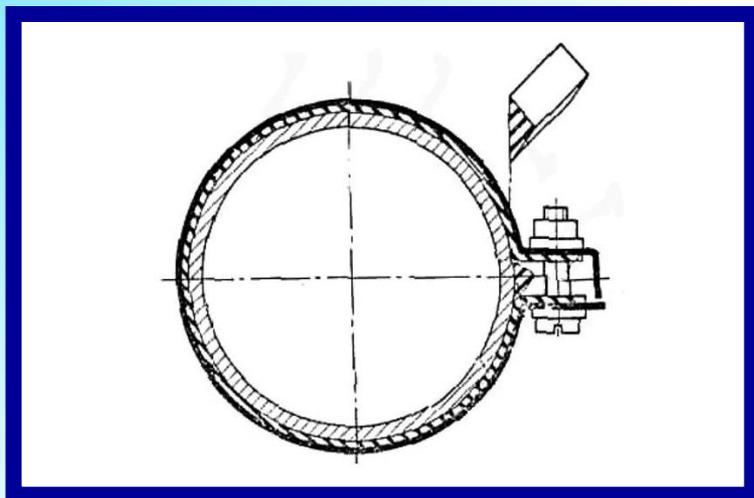
*Муфта для герметизации
поврежденного трубопровода*



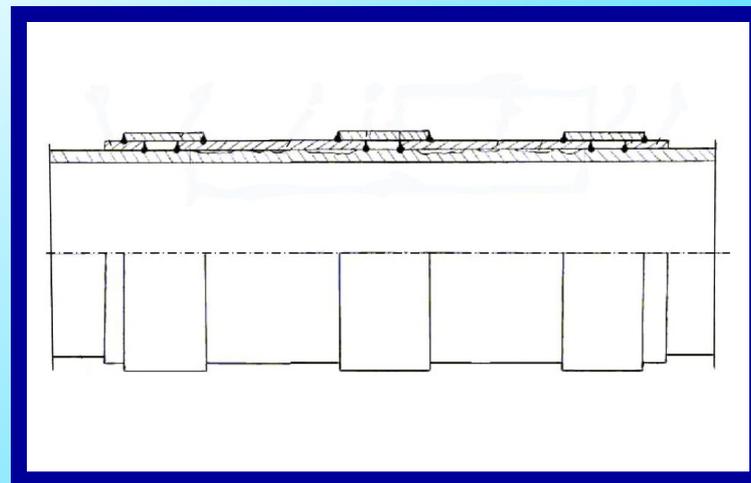
Стальная муфта с эпоксидным наполнителем



Муфта для подводного трубопровода

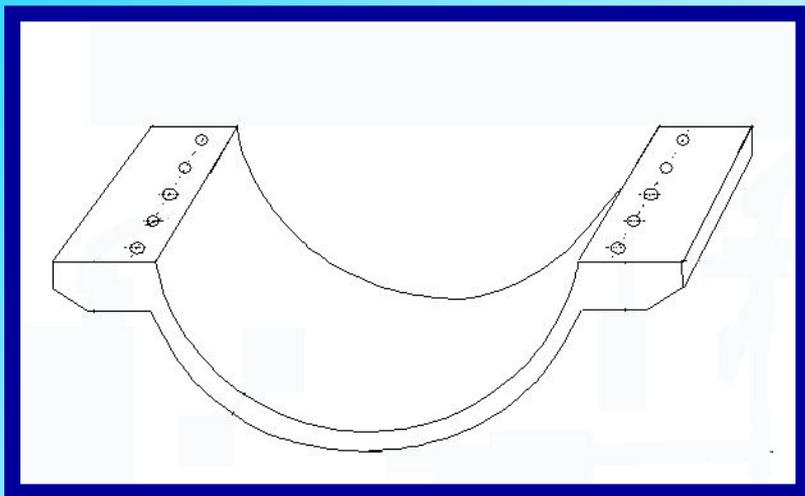


Хомут с резиновой прокладкой



Многохомутная система

Экспериментальная стеклопластиковая муфта ЭСМ-1220



**Конструктивная схема
полумуфты ЭСМ-1220**

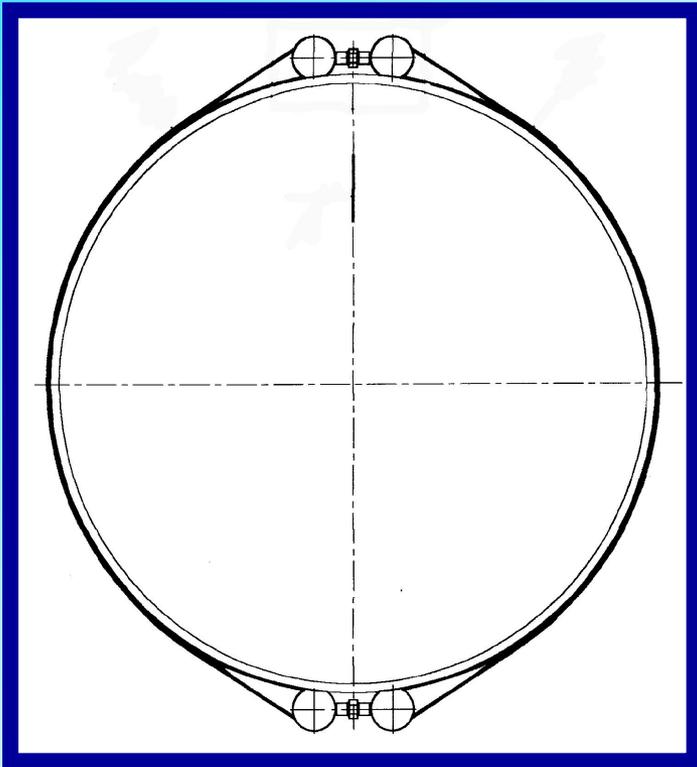
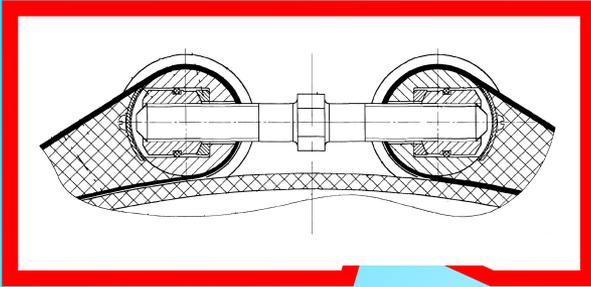
Полотно: - ширина **0,51 м**
 - толщина **22 мм**

Масса муфты в сборе **156 кг**
Момент затяжки **800 Нм**
Болты **M36**



Внешний вид муфты ЭСМ-1220

Конструкция муфты РСМ-1220



**Конструктивная схема
муфты РСМ-1220**

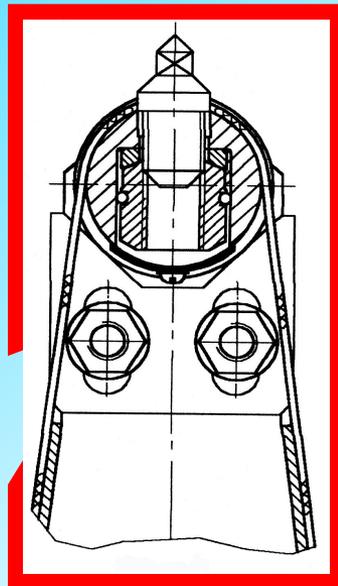
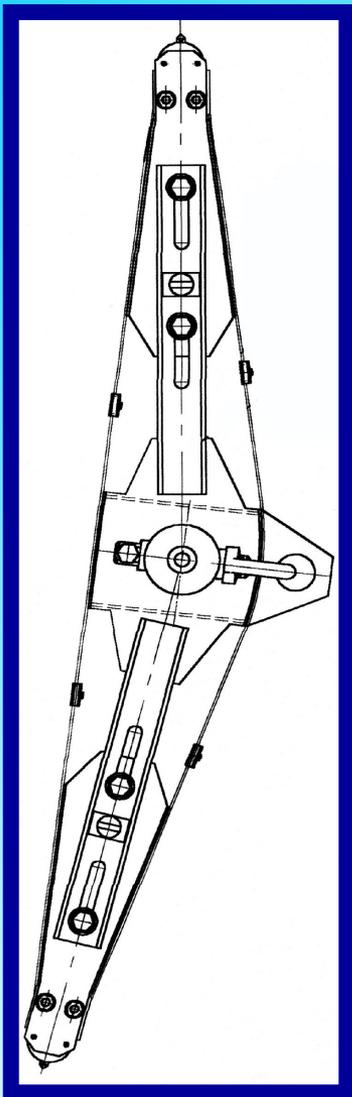


Внешний вид муфты РСМ-1220

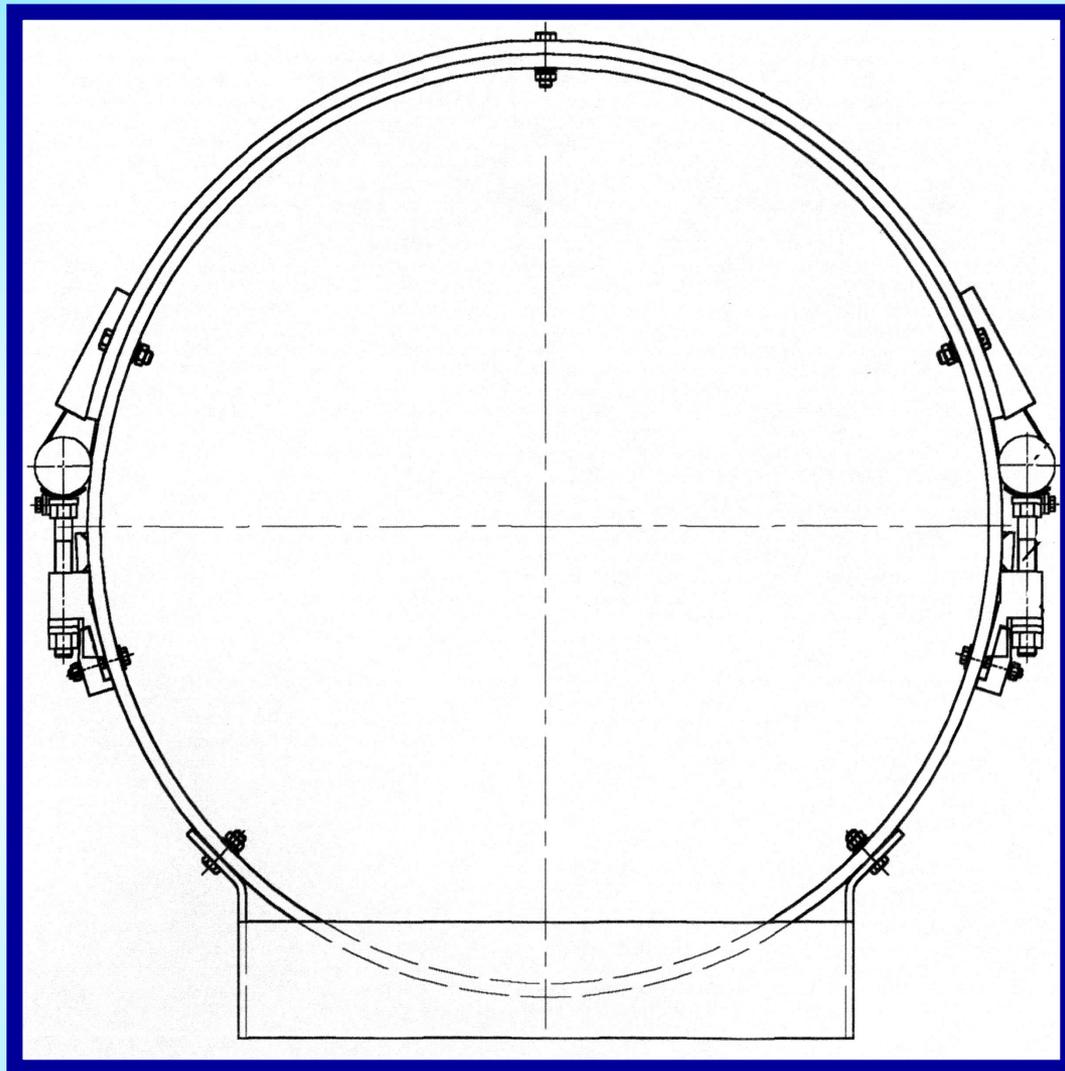
Полотно: - ширина 0,32 м
 - толщина 7 мм

Масса муфты в сборе 56 кг
Момент затяжки 450 - 600 Нм
Болты М24

Способ изготовления муфты РСМ-1220

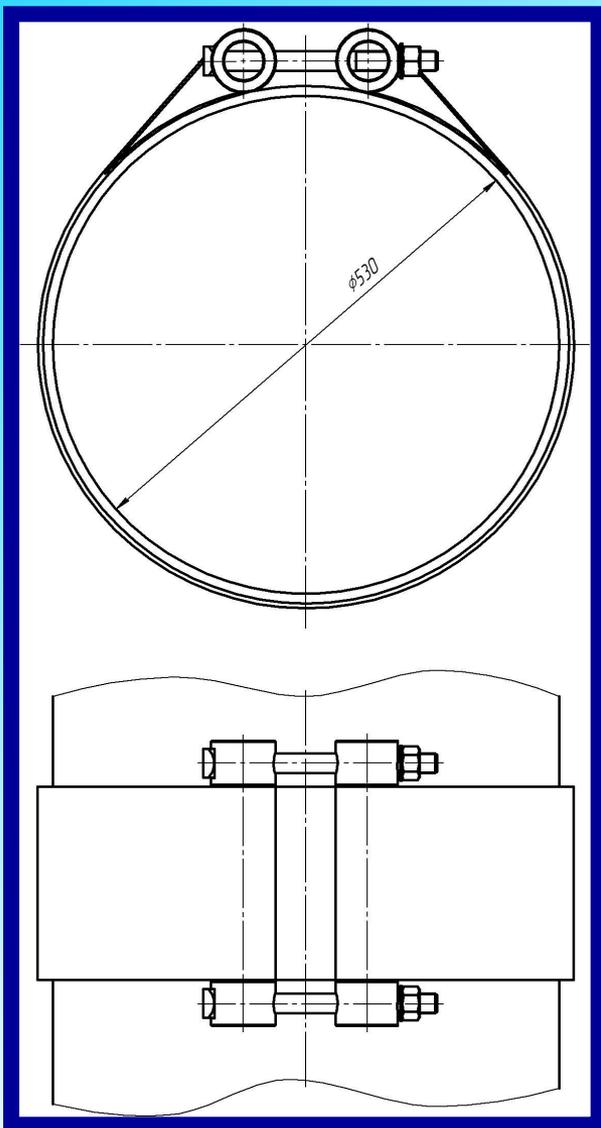


Намоточный станок

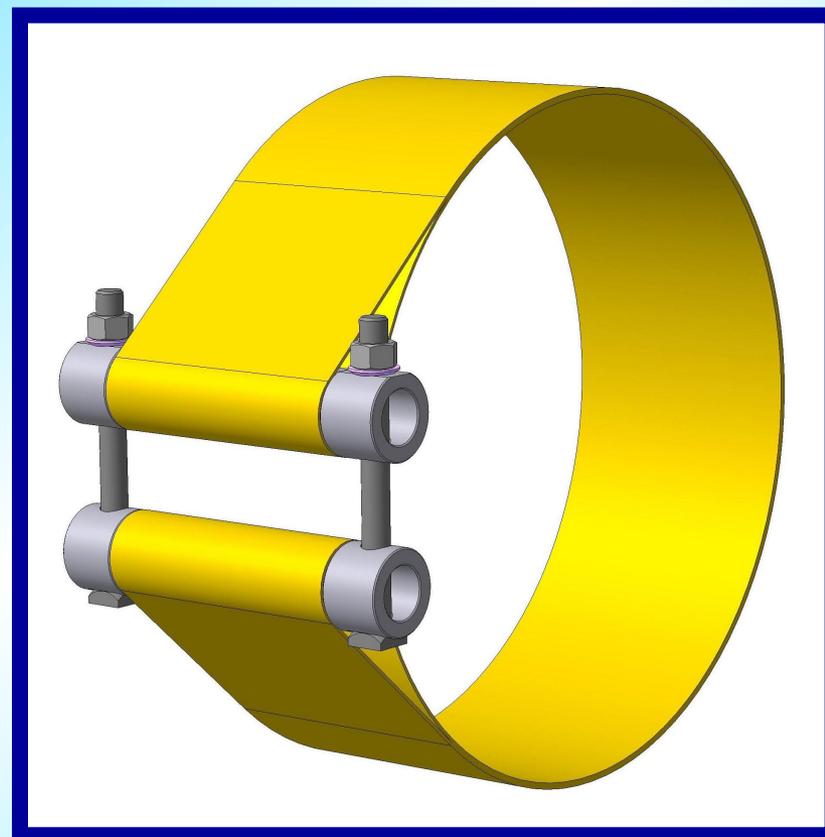


Устройство для натяжения полотна муфты

Конструкция муфты РСМ-530



**Конструктивная схема
муфты РСМ-530**



Внешний вид муфты РСМ-530

Полотно: - ширина **0,20 м**
 - толщина **3-5 мм**

Масса муфты в сборе **10 кг**
Момент затяжки **до 150 Нм**
Болты **М20**

n_B - количество болтов в разъеме

n - число разъемов муфты

ξ - коэффициент трения в резьбе

d - диаметр болта

l_M - длина муфты

f - коэффициент трения полотна муфты по трубе

$p_{раб}$ - рабочее давление среды в трубе

m - число оборотов гайки

h_T, h_M - толщина стенки трубы и муфты

E_T, E_M - модуль упругости материала трубы и муфты

F - коэффициент, зависящий от геометрических параметров муфты и коэффициента трения

E_B - модуль упругости материала болта

l_B - длина нагруженной части болта

$$Q = n \frac{M_{зам}}{\xi d} \quad \text{- усилие затяжки в разъеме}$$

$$p_K(\phi) = \frac{N_1}{R l_M} e^{f(\phi_1 - \phi)} \quad 12$$

$$N_1 = Q \cos \phi_0 [2 - f(\phi_1 - \phi_0)] / [1 + \cos(\phi_1 - \phi_0)] \quad \text{- усилие растяжения полотна}$$

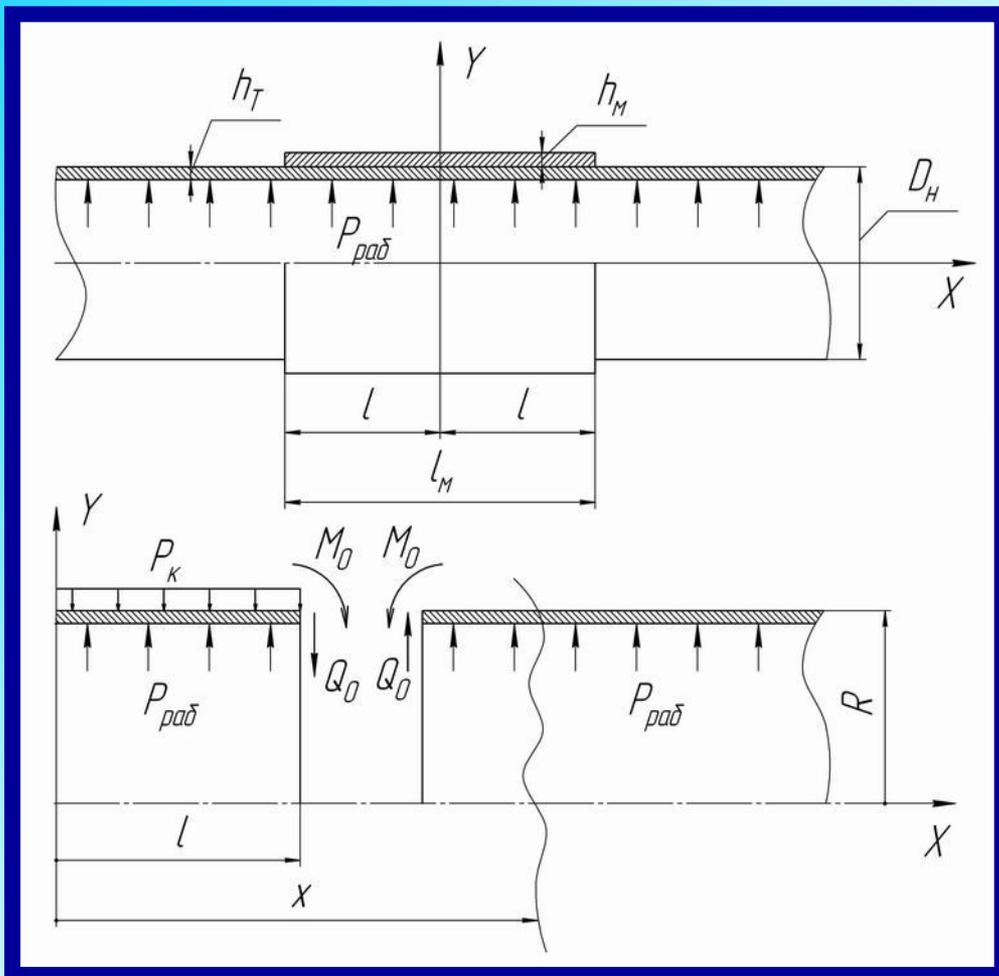
$$p_K = \frac{p_{раб} \cdot \gamma_1 \kappa_\beta + 2nQA_T(\chi_\Pi + 0,5\chi_B)}{\gamma \cdot \kappa_\beta + A_K} \quad \text{- контактное давление при заданном числе оборотов гаек}$$

$$\gamma_1 = 1 - 0,5 \quad \text{- коэффициент учета условий закрепления}$$

$$A_T = E_T h_T (2\pi R^2)^{-1}; \quad A_K = E_T h_T (E_M h_M)^{-1};$$

$$\chi_\Pi = \frac{RF}{E_M l_M h_M}; \quad \chi_B = \frac{l_B}{n_B \pi d^2 E_\delta} \quad \text{коэффициенты податливости полотна и болтов муфты}$$

Расчетная схема нагружения трубопровода муфтой



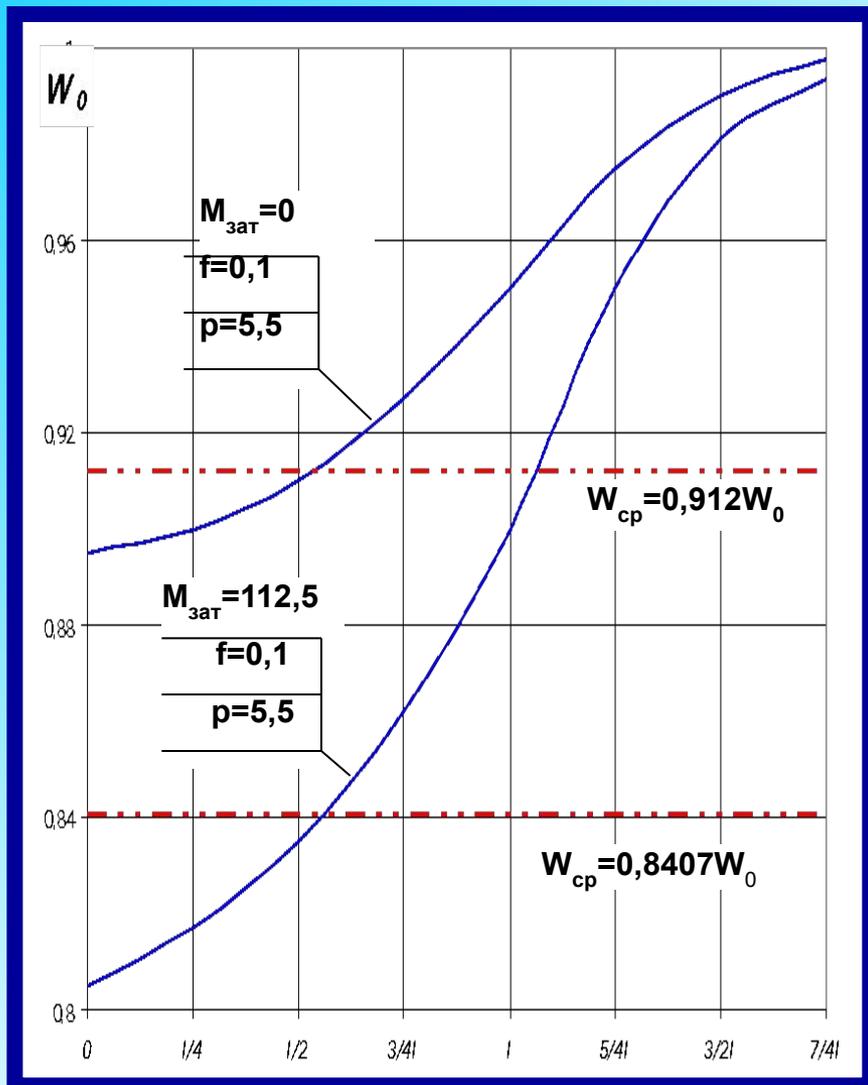
Среднее радиальное смещение на участке расположения муфты:

$$w_0 = \frac{pR^2}{E_T h_T} \left[1 + \frac{1}{2\beta l} \left[1 + e^{-\beta l} (\sin \beta l - \cos \beta l) \right] \right]$$

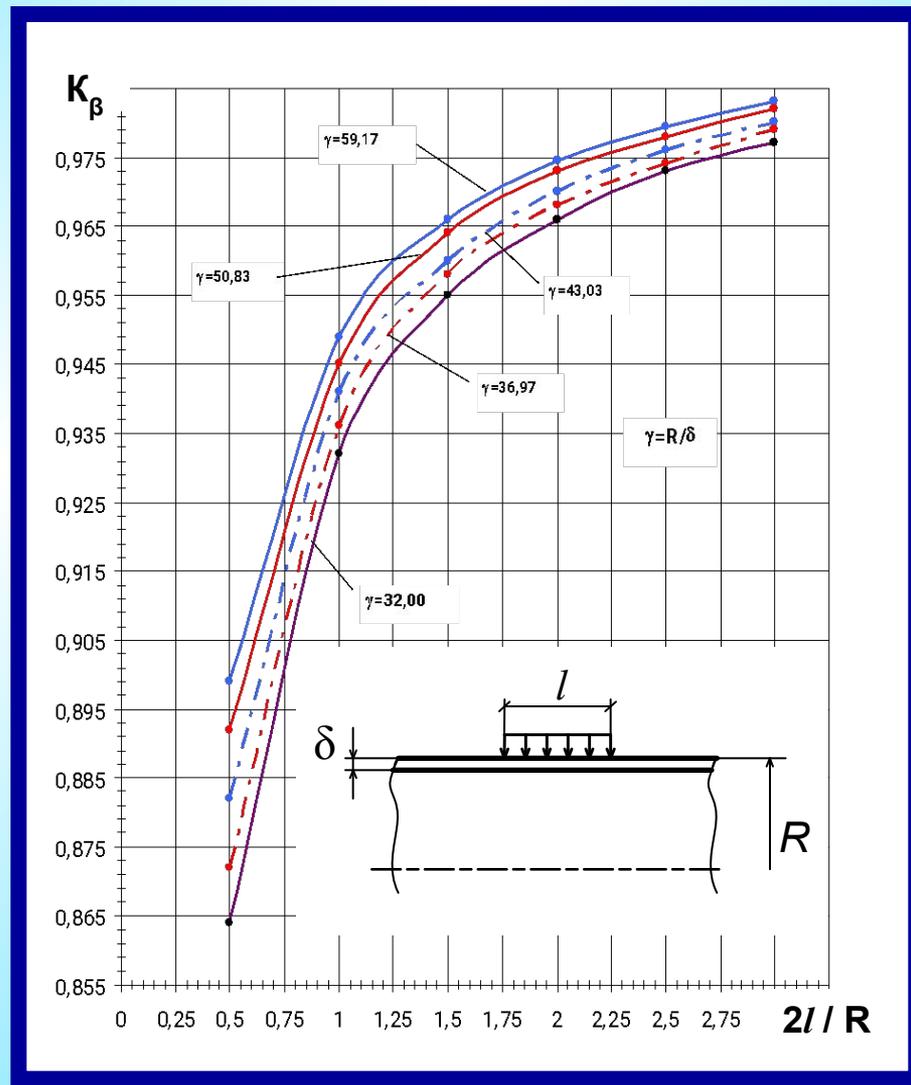
где $\beta = \left[3(1 - \mu^2)(R^2 h_T^2)^{-1} \right]^{0,25}$ - параметр оболочки

μ - коэффициент Пуассона

Радиальные перемещения трубы под нагрузкой от муфты



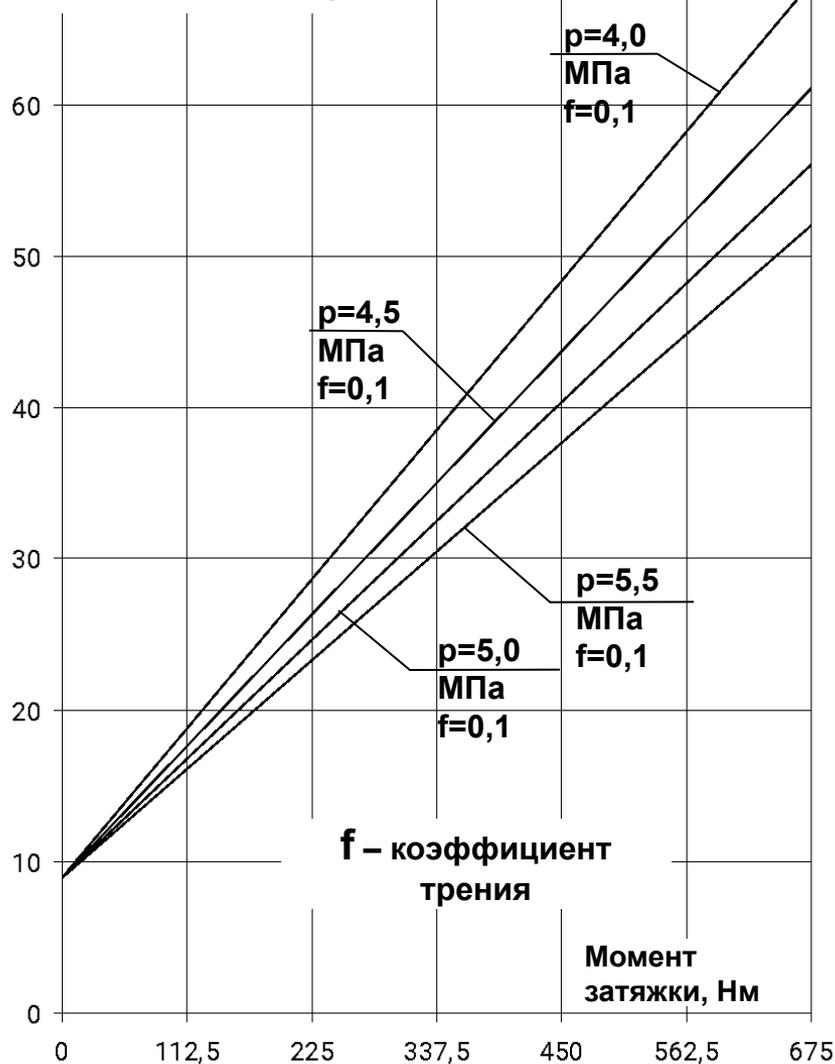
Влияние усилия затяжки на радиальные перемещения



Влияние длины участка с нагрузкой на относительные перемещения \bar{W}

Зависимость эффективности муфт РСМ от нагрузок

Процент снижения деформаций стенки трубы



Относительное контактное давление

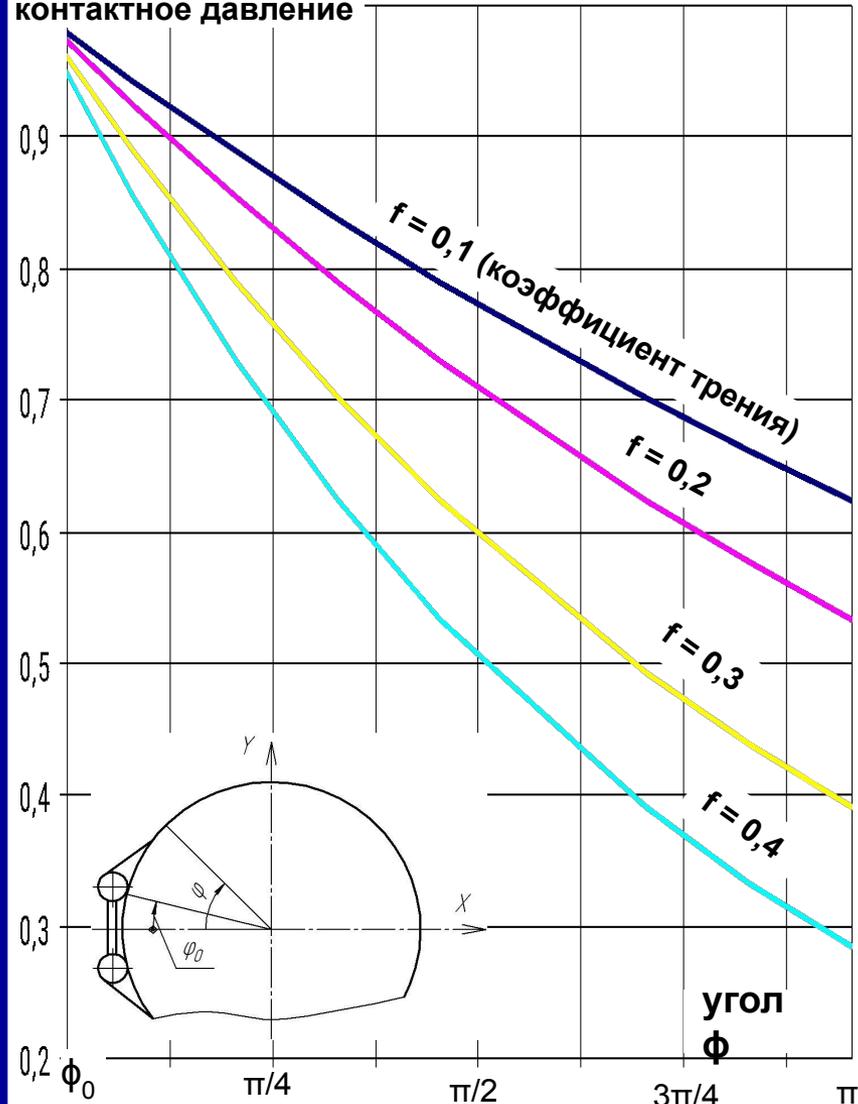


Схема испытательного стенда

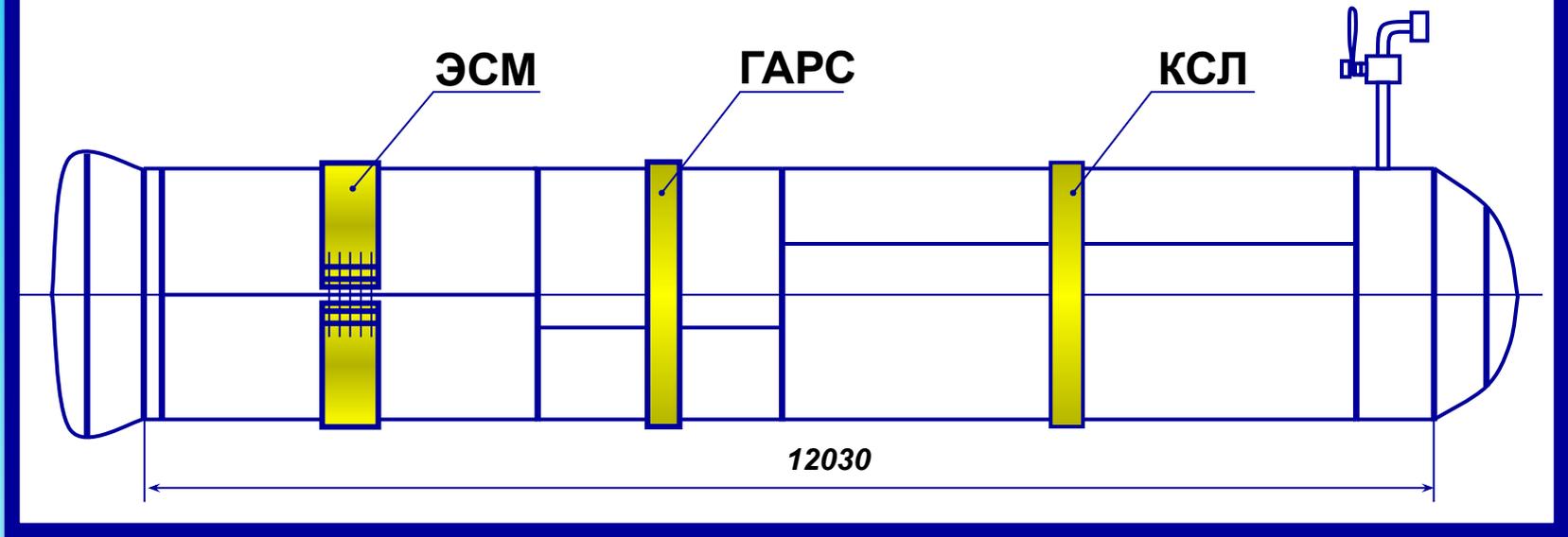


Таблица – исходные данные и результаты испытаний

Тип муфты	Длина дефекта, мм	Глубина дефекта, мм	Ост. прочность	Расчетное разр. давл. без муфты, МПа	Фактич. разруш. давление, МПа	Коэффициент эффективности	
						Разруш. давление	Эксплуатац. давление
ЭСМ	437	5,3	0,64	7,4	10,6	1,43	1,27 - 1,45
ГАРС	240	5,8	0,67	7,7	8,1	1,05	1,07 – 1,22
КСЛ	230	5,7	0,69	8,0	8,8	1,10	1,03 – 1,08



Внешний вид места разрыва трубы и муфты КСЛ



Внешний вид разрушенной муфты ЭСМ



Положение муфты КСЛ после разрыва



Разрушение стенки муфты ЭСМ в зоне болтового соединения

Полигонные испытания труб с муфтами РСМ-1220



Плеть трубы с муфтами РСМ-1220

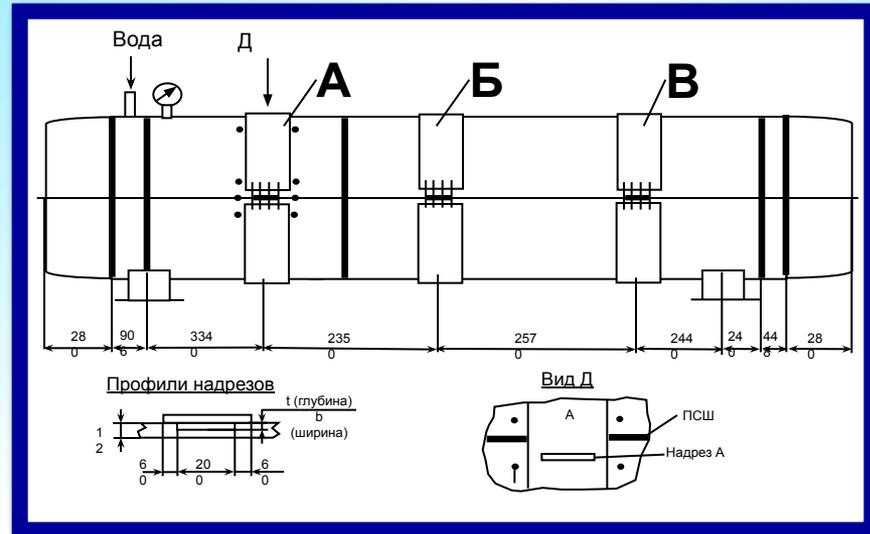


Схема плети

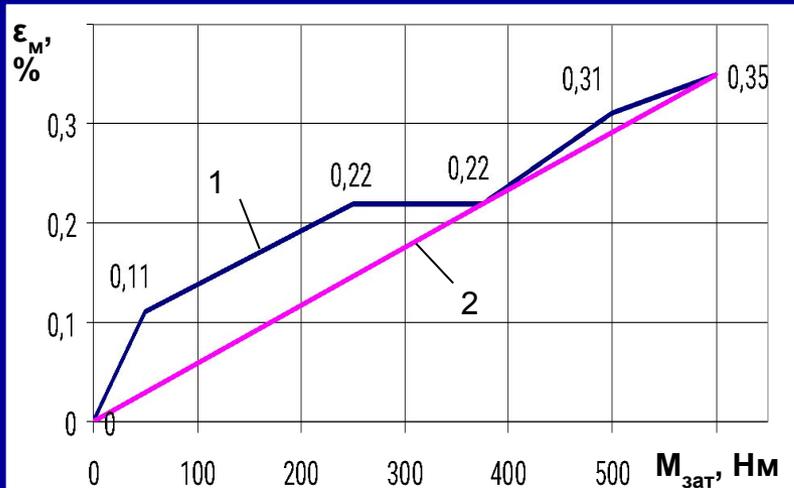
Данные по дефектам

Муфта	Длина, мм	Глубина, мм	Остаточная прочность, %
А	215	8,1	54,6
Б	200	6,7	63,7
В	293	4,6	81,9



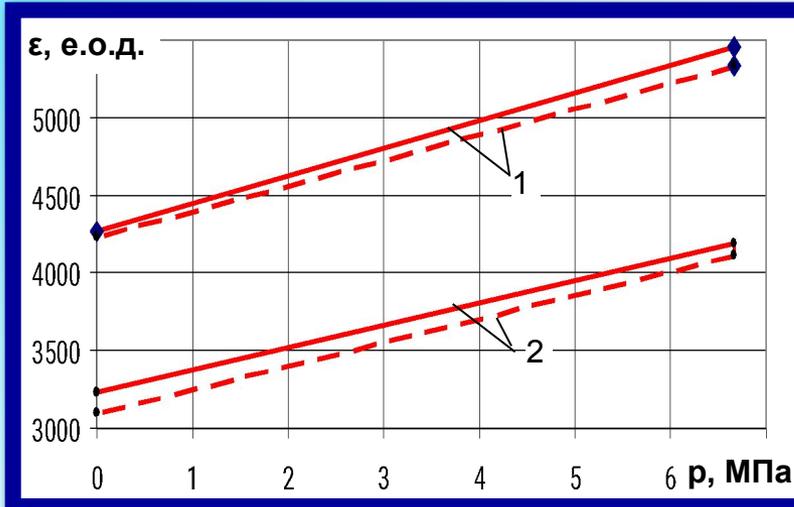
Тензометрическое обустройство муфты РСМ-1220 и прилегающей зоны

Ширина дефектов – 3,5 мм



Зависимость деформации (ϵ_M) муфты от момента затяжки болтов ($M_{зат}$)

1 - экспериментальный график, 2 - расчетный график



Зависимость окружной деформации (ϵ) трубы от внутреннего давления (p)

1 - вне зоны муфты; 2 - под муфтой РСМ-1220

Расчетное разрушающее давление без муфты $P_{разр} = 5,52$ МПа

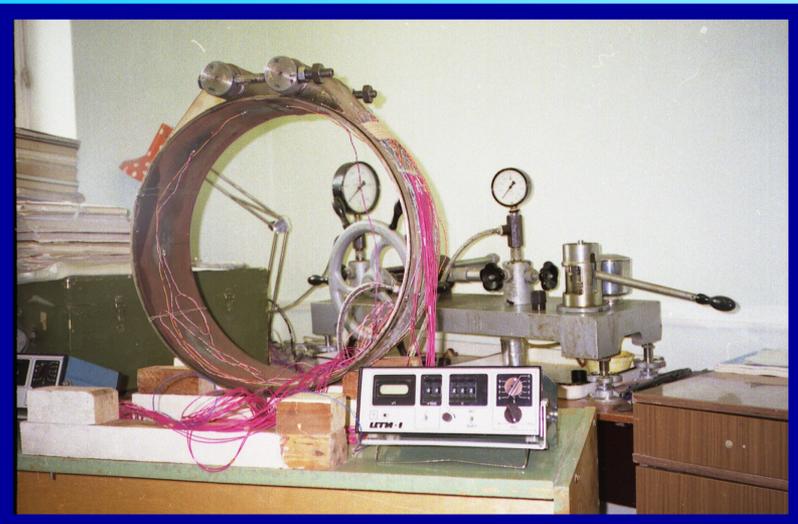
Фактическое разрушающее давление $P_{факт} = 7,65$ МПа

Коэффициент эффективности РСМ 1220 в режимах нагрузки:

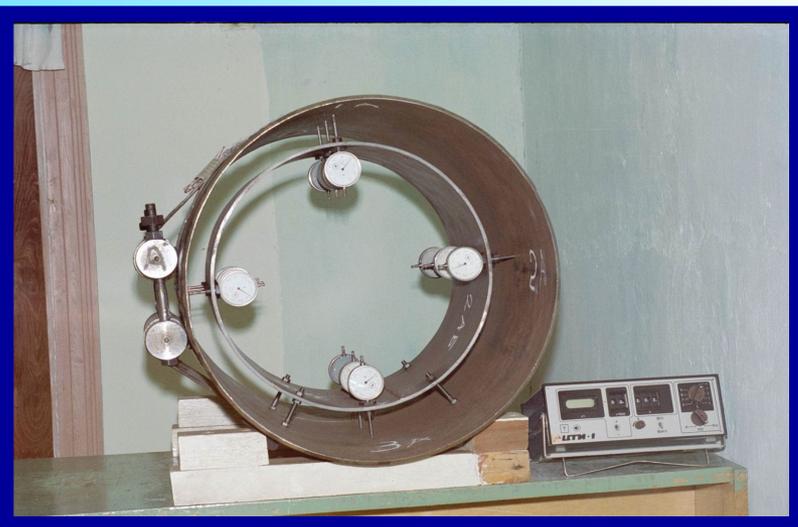
- разрушающей $K_{эфф} = 1,34$

- эксплуатационной $K_{эфф} = 1,74$

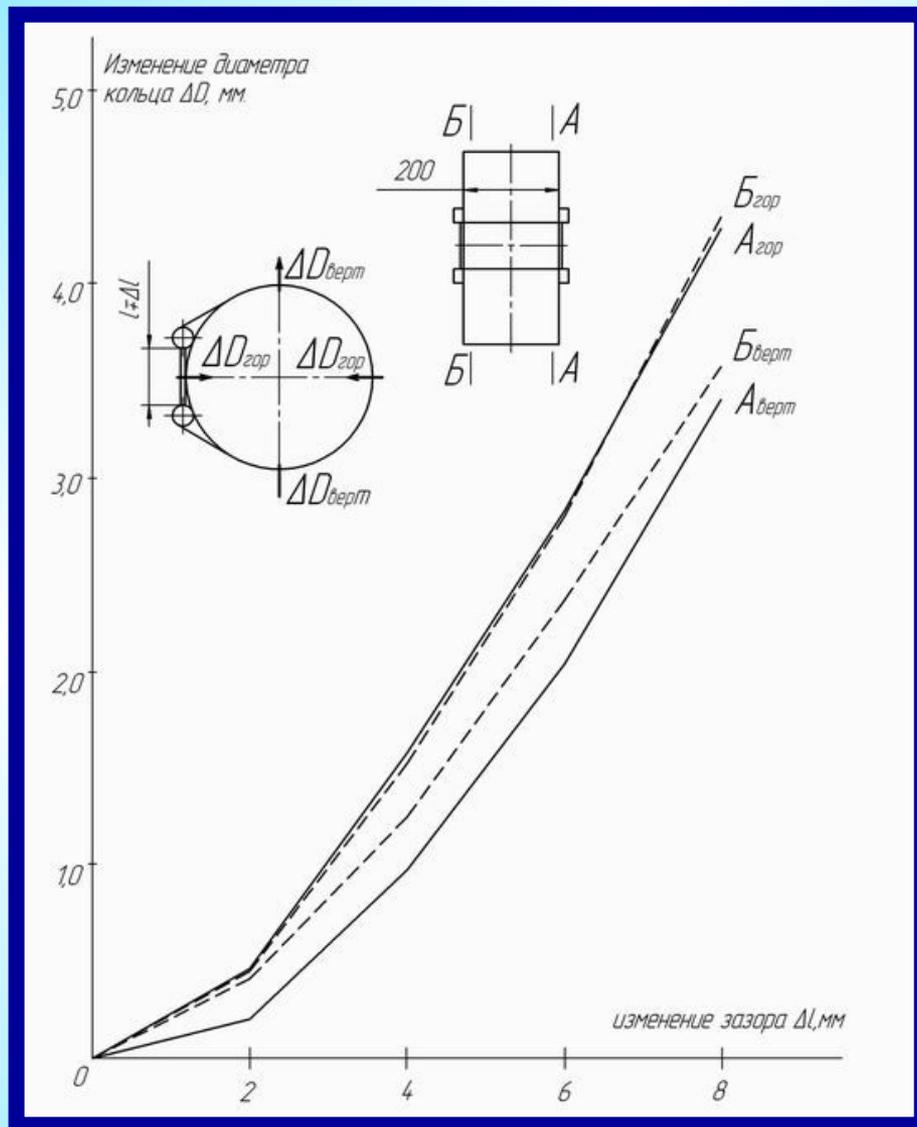
Среднее напряжение в полотне муфты при $P=5$ МПа $\sigma = 164$ МПа



Лабораторный стенд для испытаний муфты РСМ-530

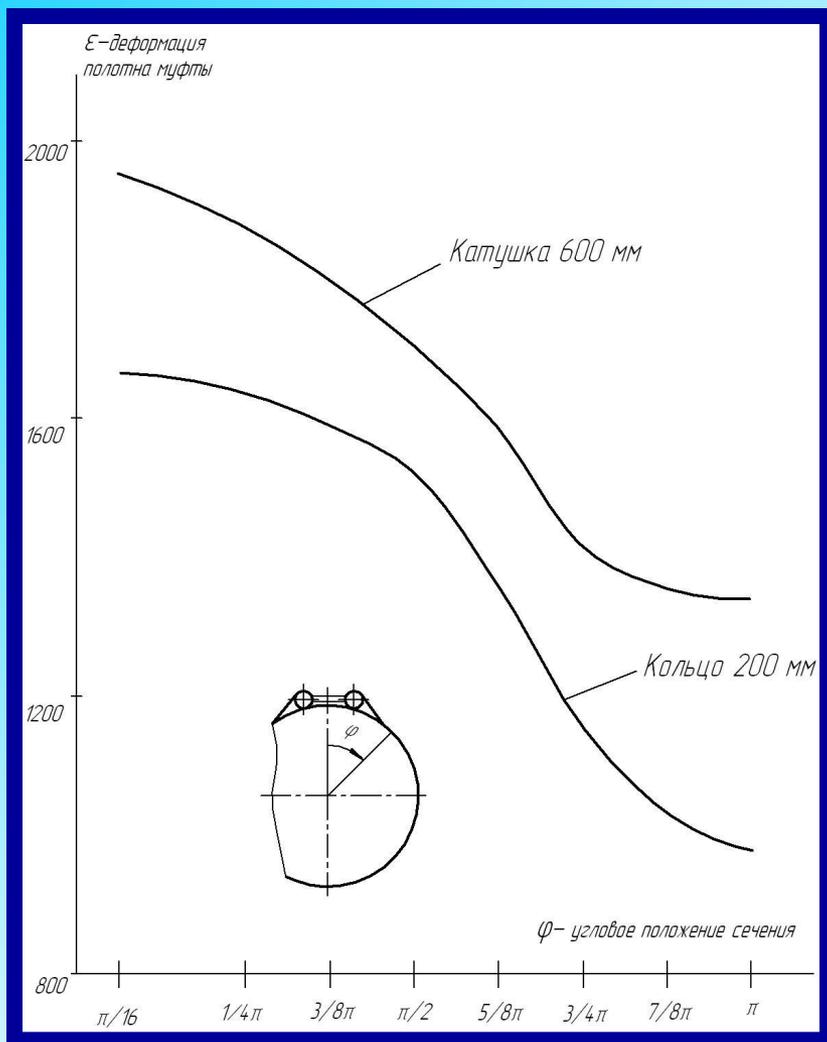


Устройство для измерений радиальных перемещений

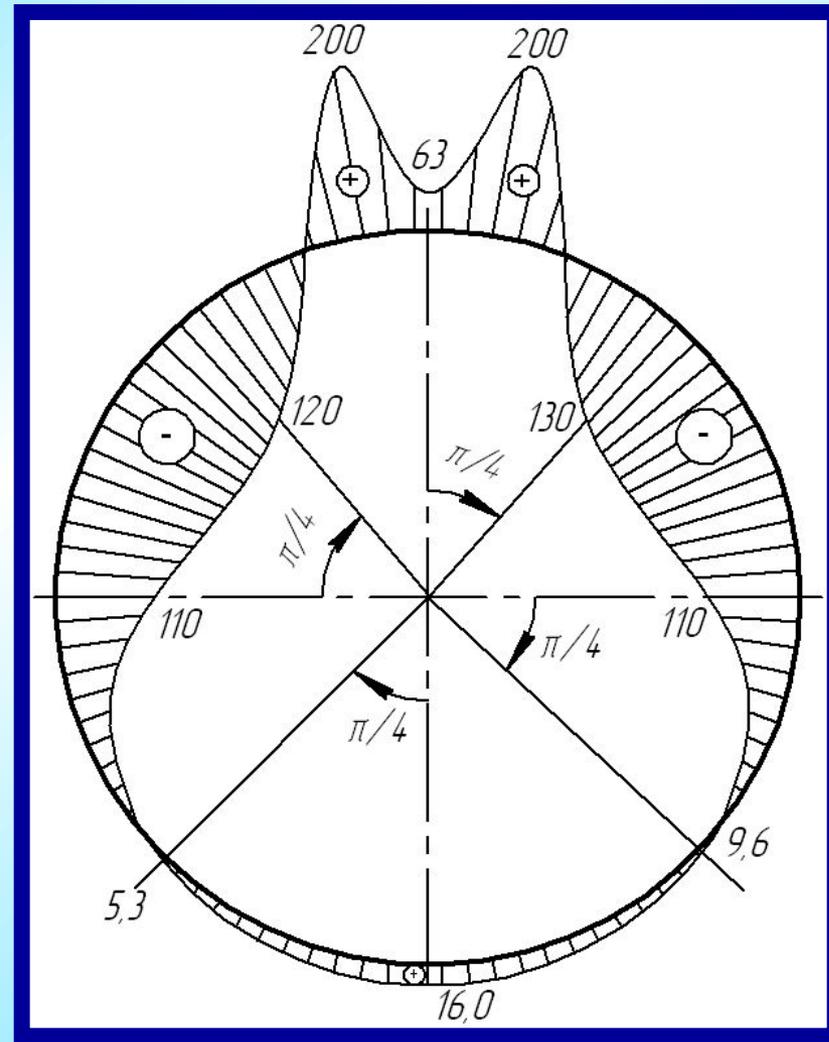


Зависимости изменения вертикального ($\Delta D_{верт}$) и горизонтального ($\Delta D_{гор}$) диаметров в двух сечениях А, Б от изменения зазора Δl

Деформации и напряжения в системе «труба – муфта 530»

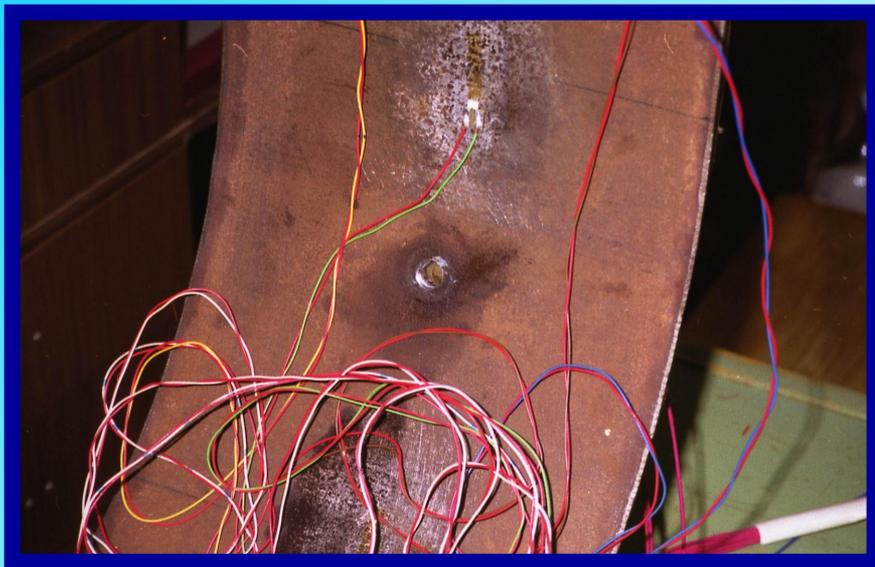


Распределение деформаций полотна по углу ϕ



Эпюра напряжений (МПа) в стенке кольца при затяжке муфты с изменением зазора Δl от 4 до 8 мм (третий и четвертый оборот гаек)

Испытания на герметичность муфты РСМ-530



Сквозное отверстие, имитирующее коррозионное повреждение трубопровода

Методика испытаний

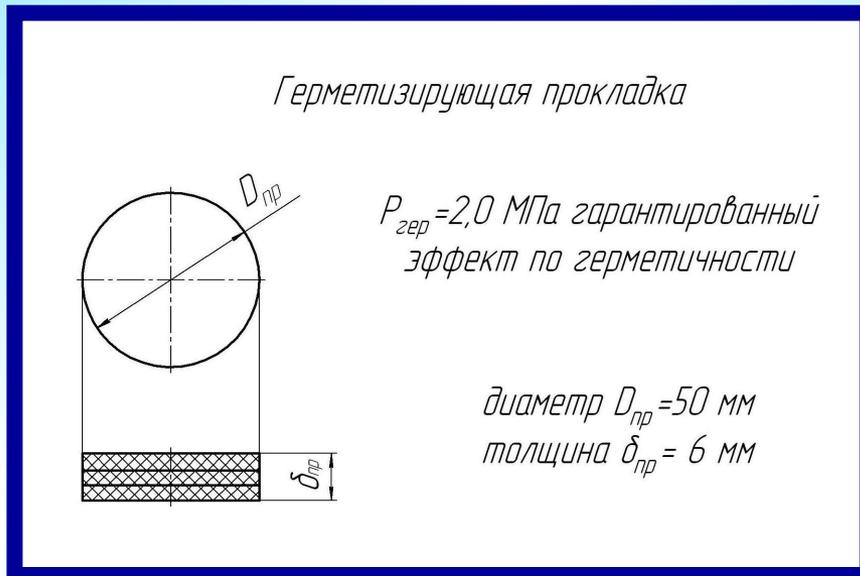
Оборудование: ручной гидропресс, гибкий шланг, соединительные элементы

Рабочая среда: жидкое промышленное масло

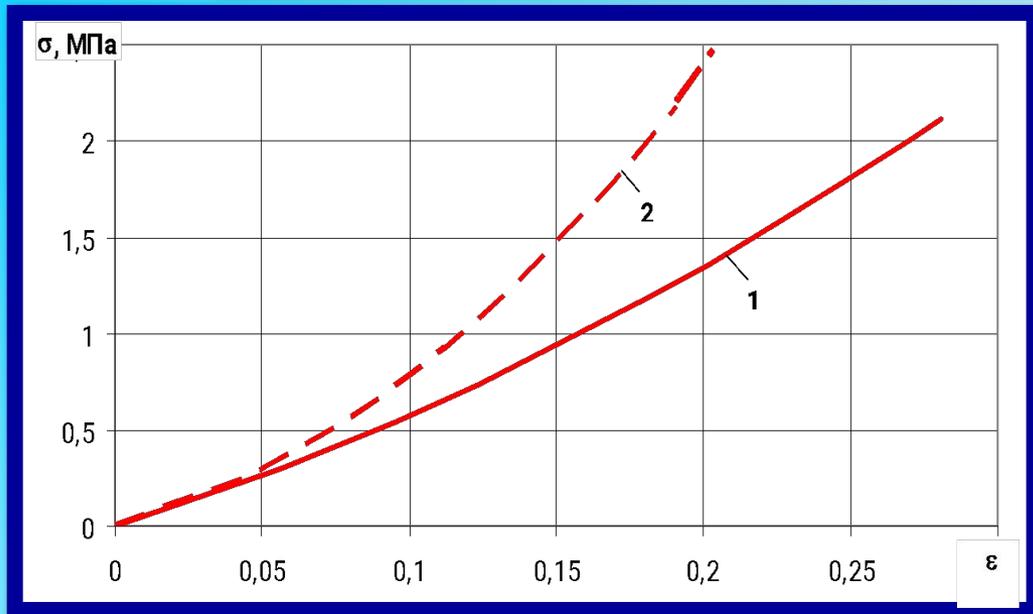
Режимы нагрузки:

а) кратковременное воздействие избыточного давления 0,6-2,0 МПа, выдержка 15-20 минут;

б) длительное воздействие давления 0,6 МПа в течение семи суток



Подводящий шланг, присоединенный к сквозному отверстию

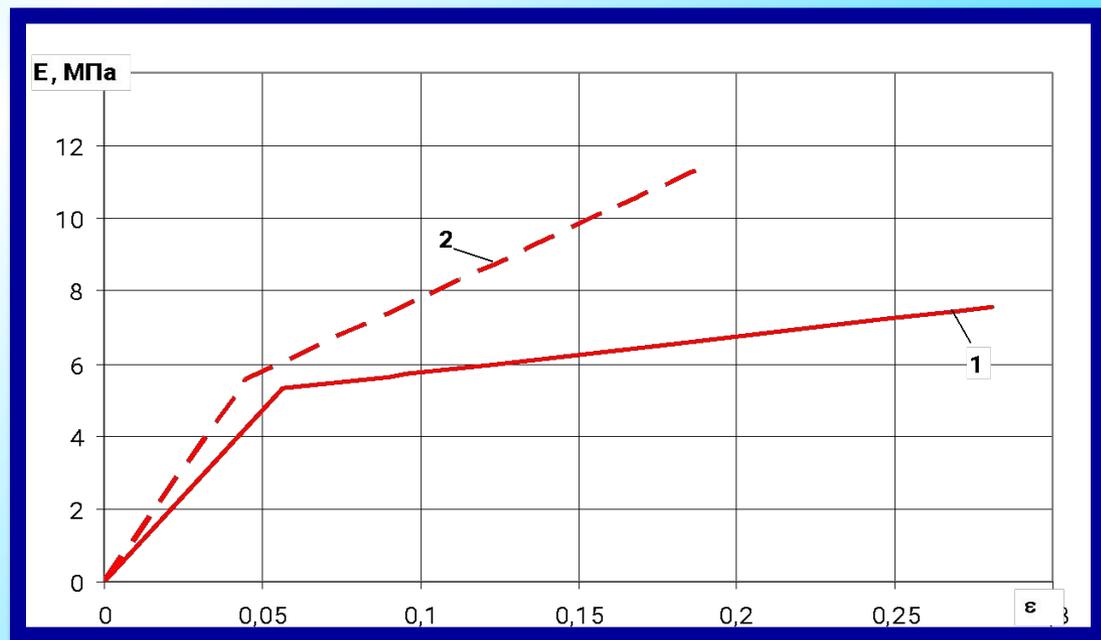


Зависимость напряжения сжатия σ от ϵ деформации резиновой прокладки (со смазкой)

*1 – первое нагружение;
2 – второе нагружение*

Зависимость модуля упругости E от деформации резиновой прокладки ϵ при нагрузке (со смазкой)

*1 – первое нагружение;
2 – второе нагружение*



Практические результаты диссертационной работы

Патенты на изобретения:

1. Патент 2250841 Трубная муфта и способ ее изготовления. Опубл. 20.07. 2005 г.
2. Патент 2224169 Способ ремонта трубопровода и муфта для его осуществления. Опубл. 20.02.04г.
3. Патент 56552 РФ (полезная модель). Муфта для ремонта трубопроводов
Опубл.10.09.2006.

Нормативные документы:

1. ТУ 2296-002-46774250-2003. Ремонтная стеклопластиковая муфта. – Введ.31.10.2003 г.
2. СТП 8828-168-04. Методы ремонта дефектных участков газопроводов диаметром 1020÷1420 мм стеклопластиковыми муфтами с резьбовой затяжкой. Технология установки, расчетное обоснование. – Введ. 20.02.2004 г.
3. Руководство по проведению ресурсных испытаний труб, отремонтированных с применением муфтовых и сварочных технологий.
Введ. 30.11.2005 г.

Практическое внедрение:

На магистральных газопроводах Ухта-Торжок-2, Пунга-Вуктыл-Ухта 1 (4н) диаметром 1220 мм установлено 33 муфты с экономическим эффектом 4,4 млн. руб

Общие выводы

- 1. На основе мирового и отечественного опыта использования муфтовых технологий ремонта дефектных участков газопроводов разработаны принципиально новые одно- двухразъемные конструкции стеклопластиковых муфт с болтовой затяжкой.*
- 2. Разработана и защищена патентом на изобретение технология изготовления стеклопластиковой муфты методом однонаправленной намотки преднапряженного стеклошнура на специальную оправку.*
- 3. Создана расчетная методика взаимодействия системы «стеклопластиковая муфта-труба» в режиме затяжки болтовых соединений и воздействия внутреннего давления среды .*
- 4. Разработана методика и выполнена серия полигонных испытаний труб с муфтами РСМ-1220. Получены экспериментальные данные по их силовой эффективности на примере глубоких (до 75 % толщины стенки) протяженных трещиноподобных дефектов.*
- 5. Разработана методика лабораторных и полигонных испытаний трубных катушек с муфтами РСМ-530. Выявлены особенности взаимодействия муфты с поверхностью трубы. Показана эффективность применения муфты для герметизации сквозных дефектов стенки трубы.*
- 6. Отработана технология установки муфт на дефектные участки действующих газопроводов.*
- 7. Разработаны технические условия и стандарт предприятия по муфте, а также руководство по ресурсным испытаниям муфт. Выполнено опытно-промышленное внедрение. Получен экономический эффект, равный 4, 4 млн. рублей.*