



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

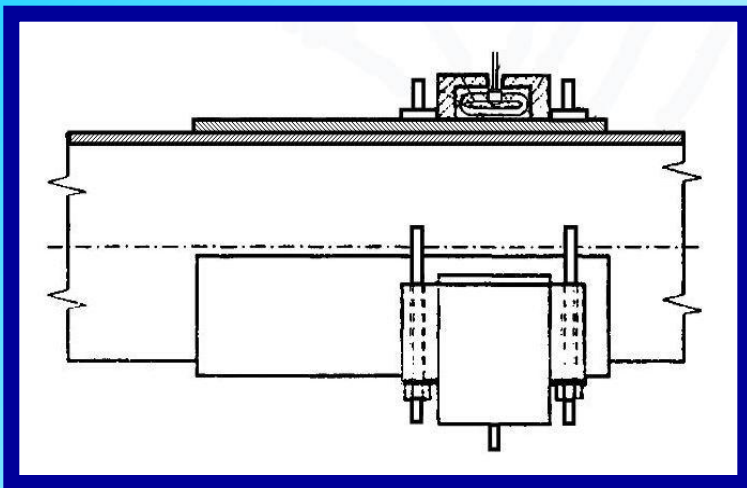
Приварные обжимные стальные муфты

Стальные обжимные муфты без приварки к трубопроводу

Проволочные силовые оболочки

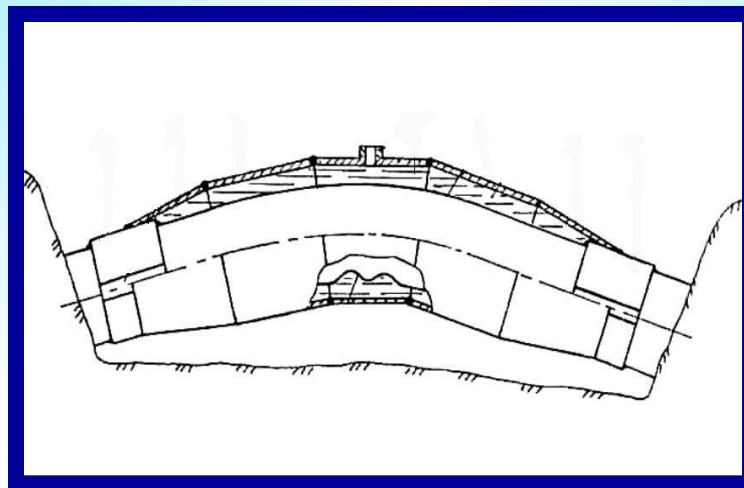
Стяжные стальные муфты (ленты) с локальным воздействием на дефекты

Упрочняющие муфты

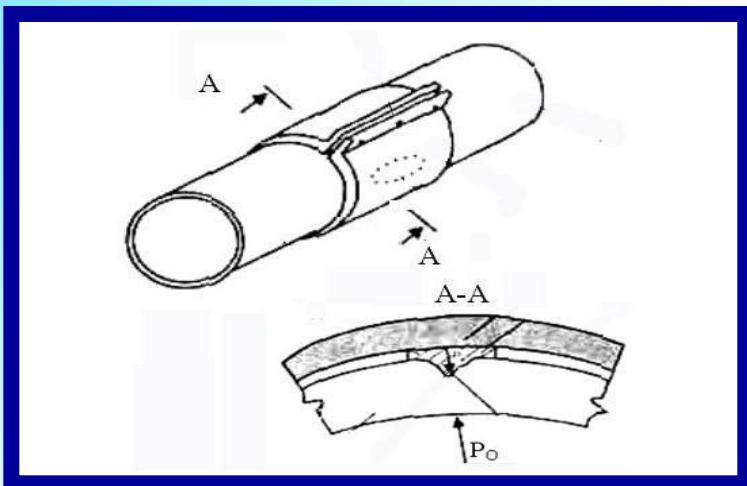


*Устройство для ремонта трубопровода
напряженными муфтами*

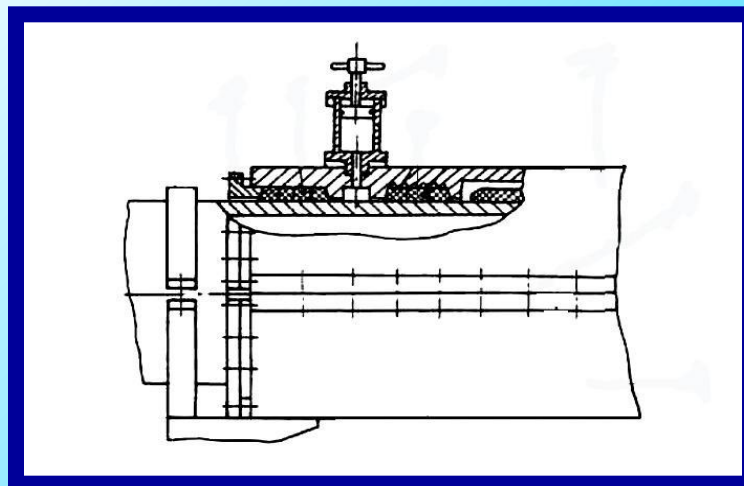
Герметизирующие муфты



*Оболочечная муфта для
трубопроводов с искривленной осью*

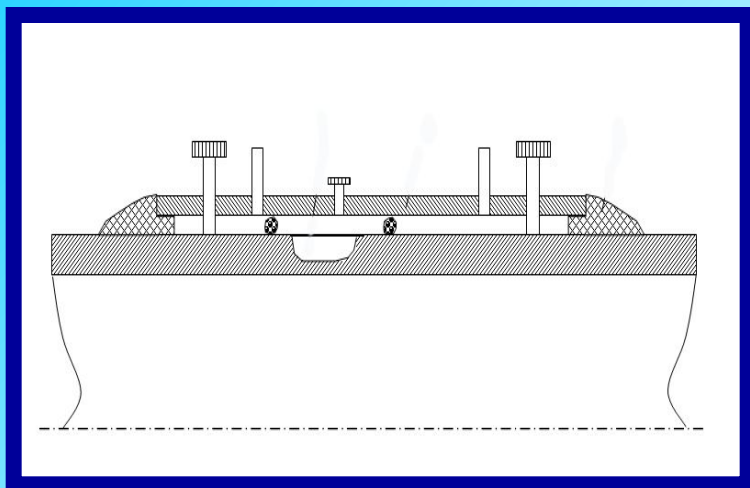


Хомут металлический с прокладкой

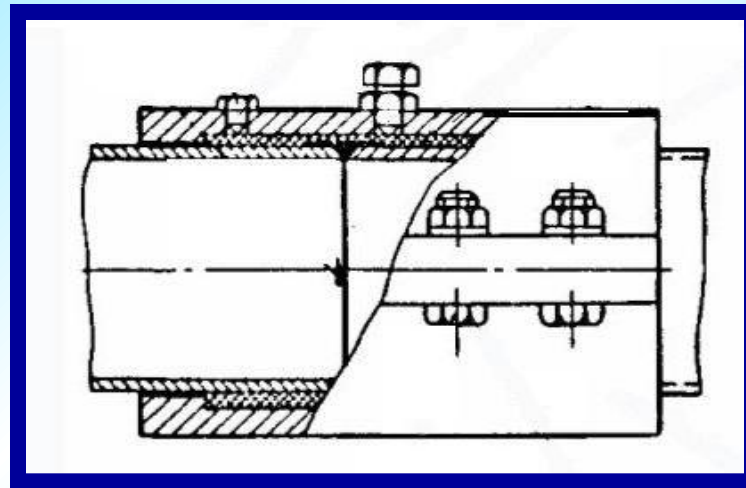


*Муфта для герметизации
поврежденного трубопровода*

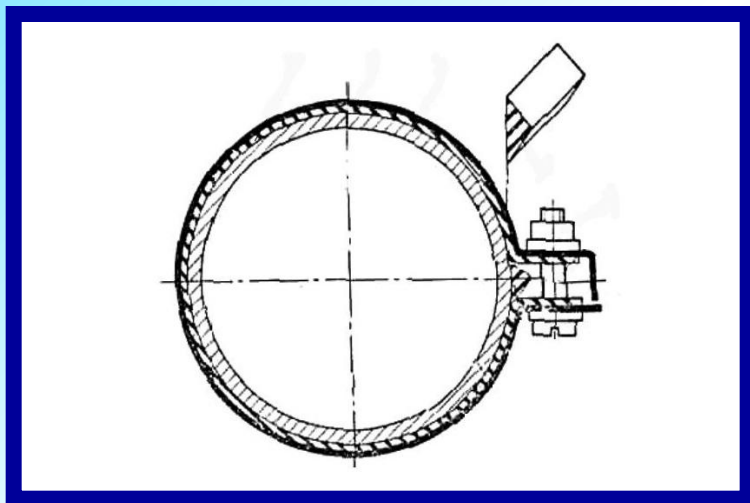
Комбинированные устройства



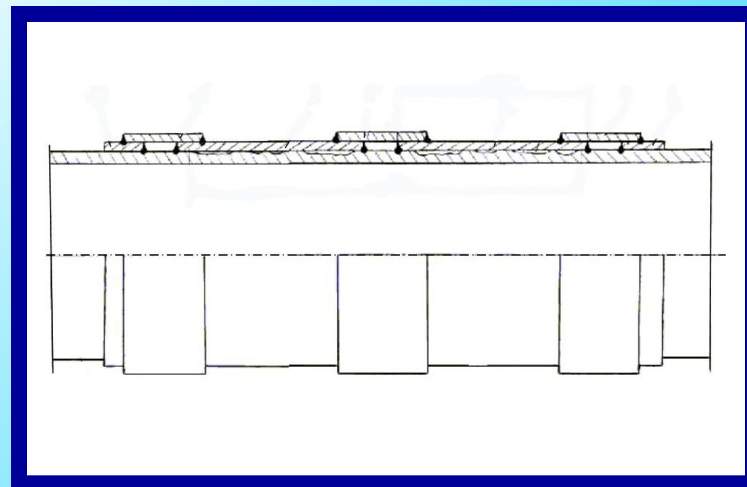
Стальная муфта с эпоксидным наполнителем



Муфта для подводного трубопровода

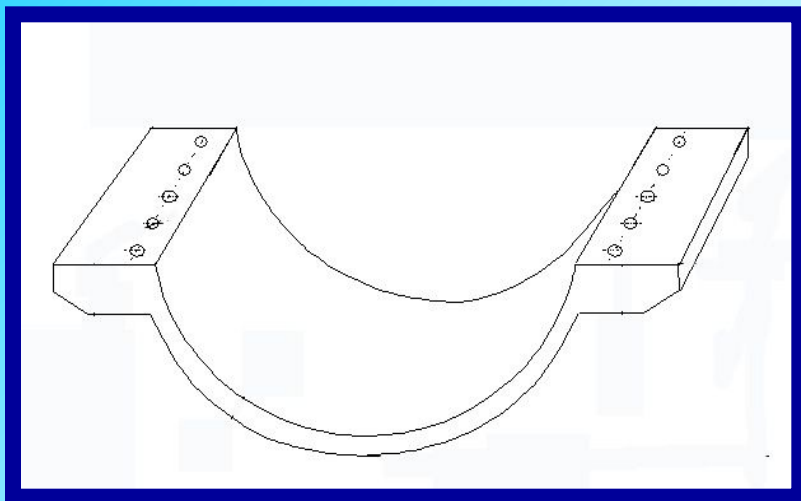


Хомут с резиновой прокладкой



Многохомутная система

Экспериментальная стеклопластиковая муфта ЭСМ-1220



**Конструктивная схема
полумуфты ЭСМ-1220**

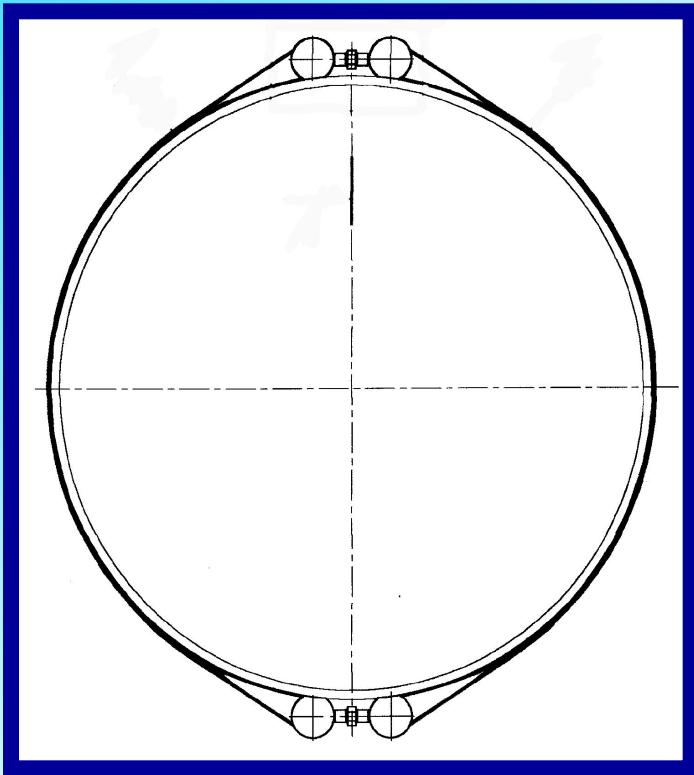
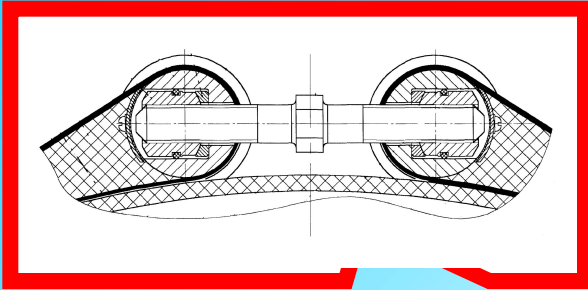
Полотно: - ширина **0,51 м**
 - толщина **22 мм**

Масса муфты в сборе **156 кг**
Момент затяжки **800 Нм**
Болты **М36**



Внешний вид муфты ЭСМ-1220

Конструкция муфты РСМ-1220



**Конструктивная схема
муфты РСМ-1220**

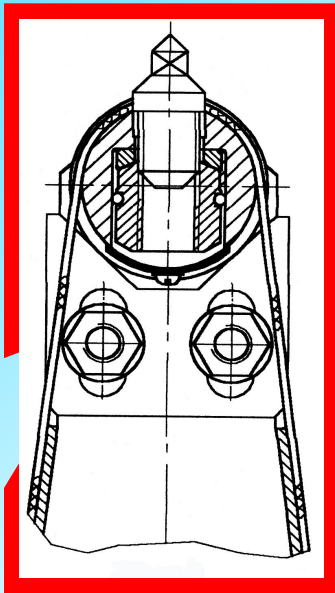
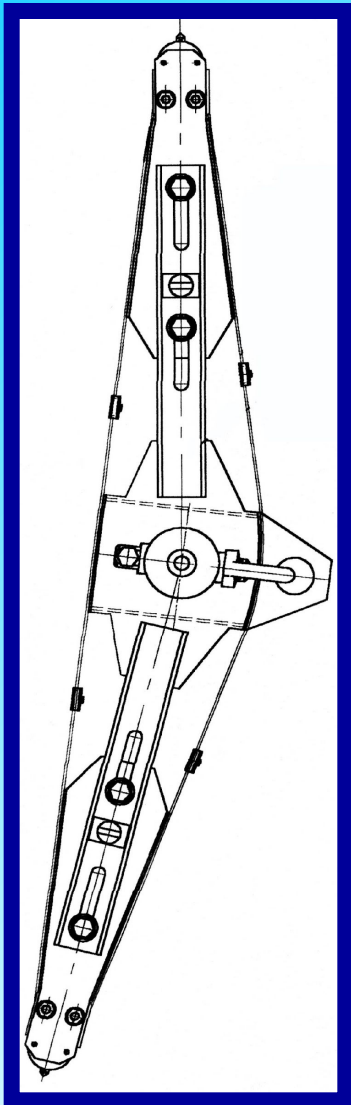


Внешний вид муфты РСМ-1220

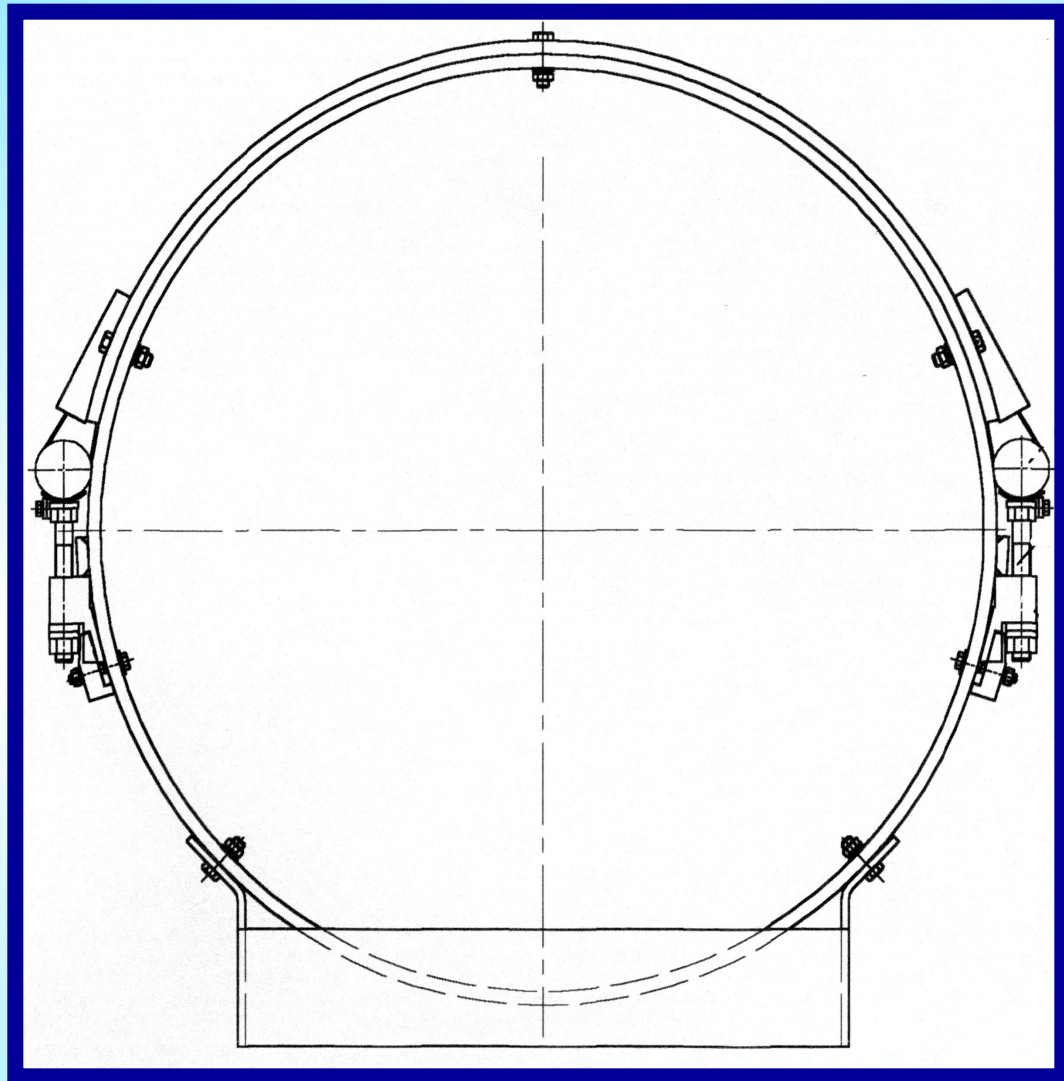
Полотно: - ширина 0,32 м
 - толщина 7 мм

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

Способ изготовления муфты РСМ-1220

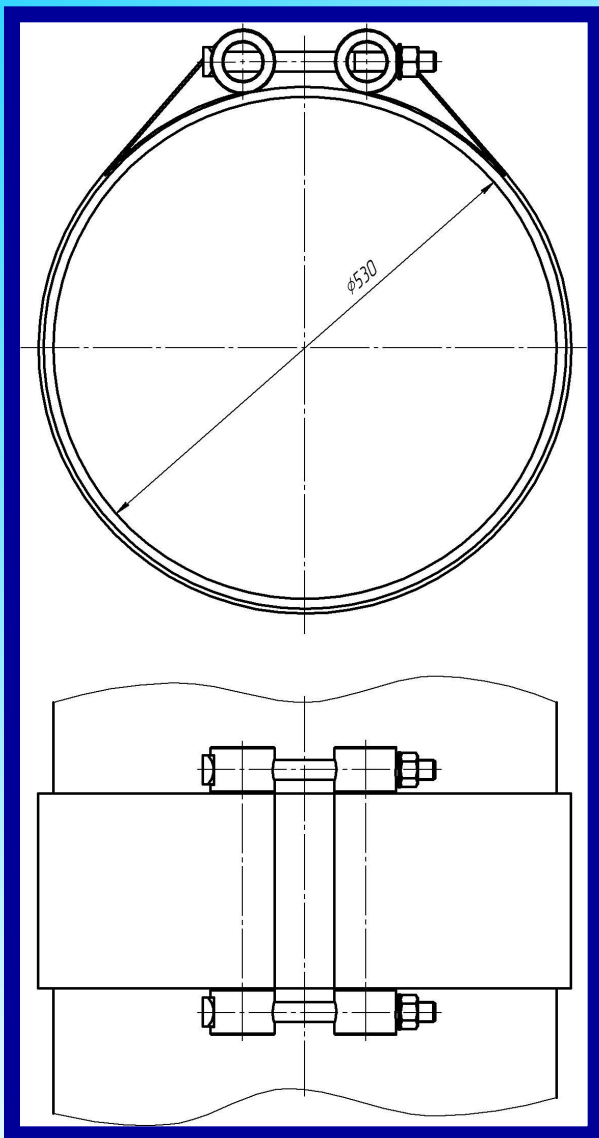


Намоточный станок

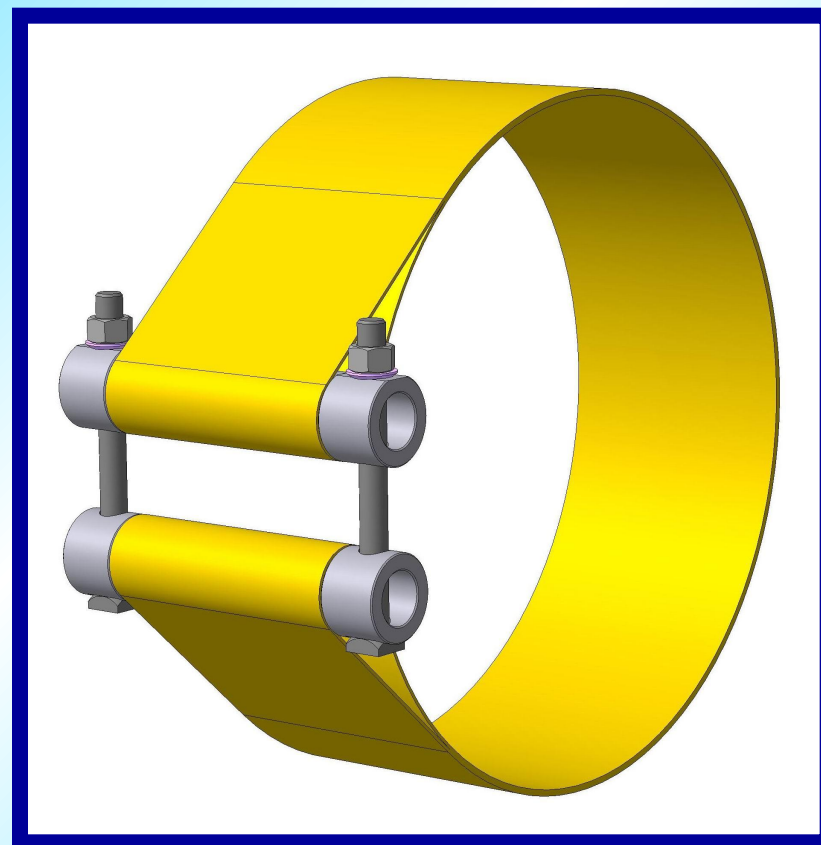


Устройство для натяжения полотна муфты

Конструкция муфты РСМ-530



Конструктивная схема
муфты РСМ-530

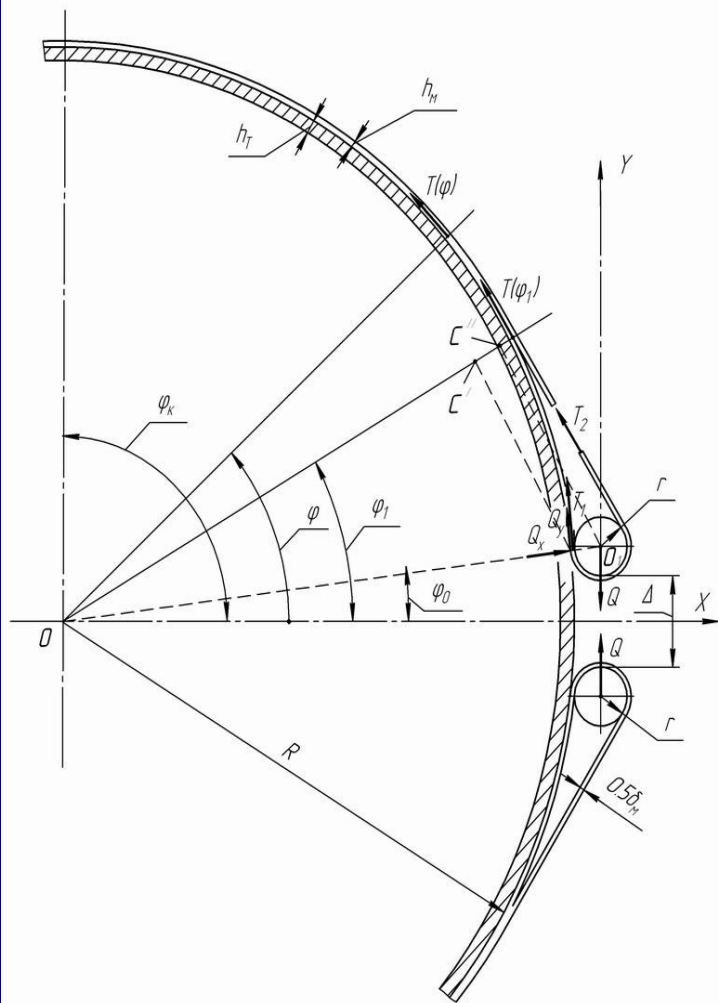


Внешний вид муфты РСМ-530

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

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

Расчетная схема, гипотезы



1 **Трубопровод** – правильная цилиндрическая оболочка, материал изотропный, линейно-упругий;

2 Полотно муфты постоянной ширины и толщины, стеклопластик ортотропно-упругий материал;

3 Силы трения прямопропорциональны контактному давлению

Нагрузка – усилие затяжки болтов и внутреннее давление среды

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

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

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

$$N_1 = Q \cos \phi_0 [2 - f(\phi_1 - \phi_0)] / [1 + \cos(\phi_1 - \phi_0)]$$

- усилие растяжения полотна

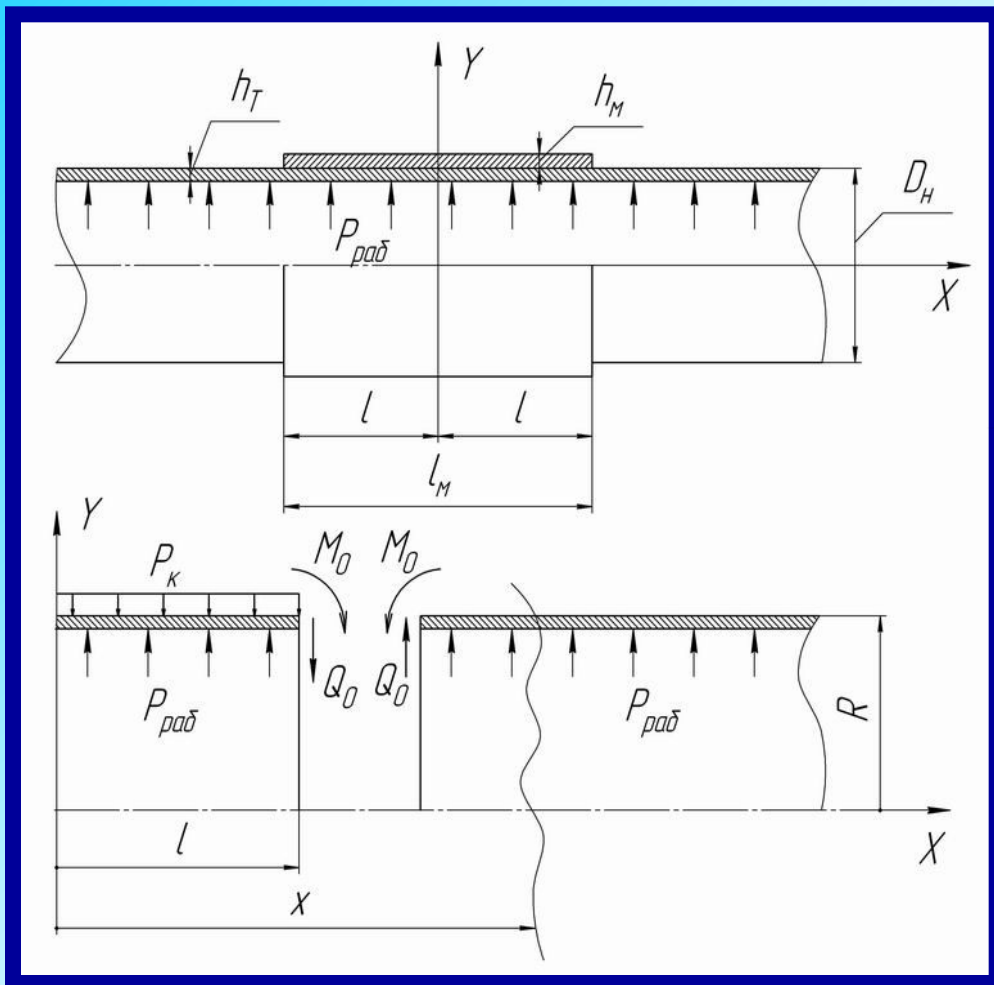
$$p_K = \frac{p_{раб} \cdot \gamma_1 \kappa_\beta + 2nQA_T(\chi_\Pi + 0,5\chi_B)}{\gamma \cdot \kappa_\beta + A_K} \quad \text{- контактное давление при заданном числе оборотов гаек}$$

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

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

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

Расчетная схема нагружения трубопровода муфтой



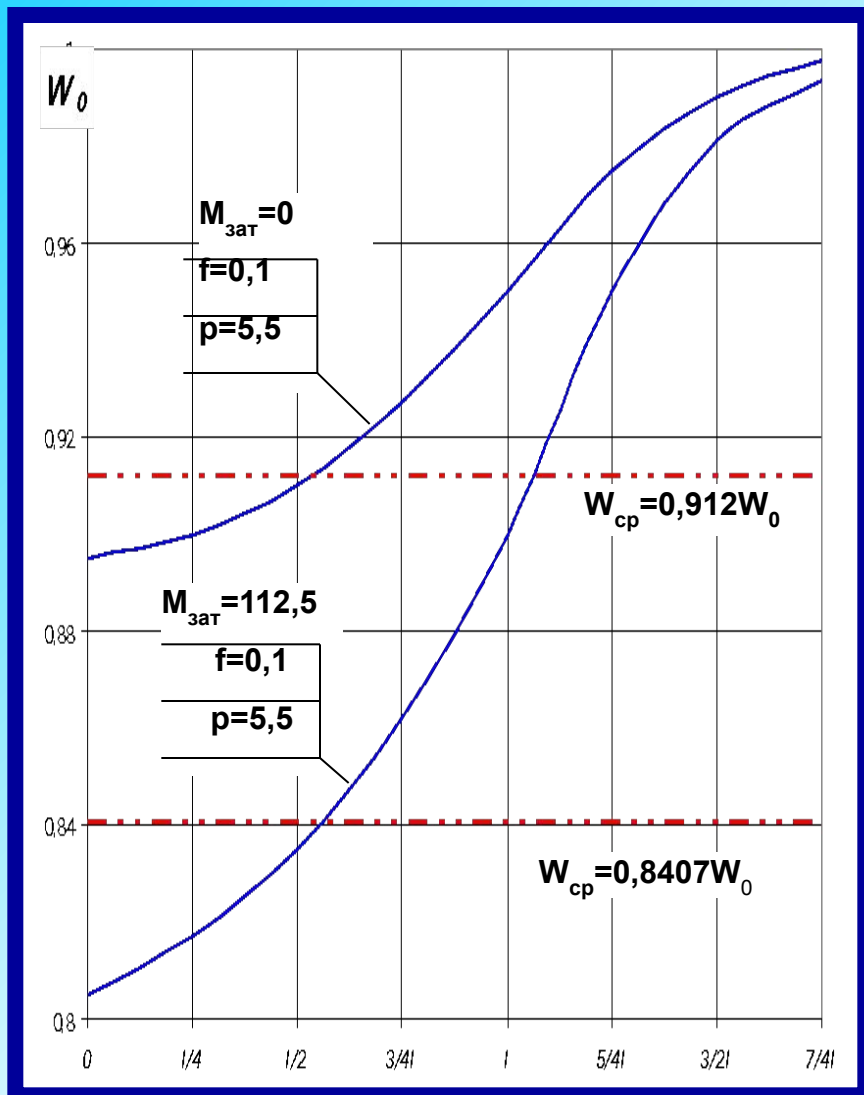
Среднее радиальное смещение на участке расположения муфты:

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

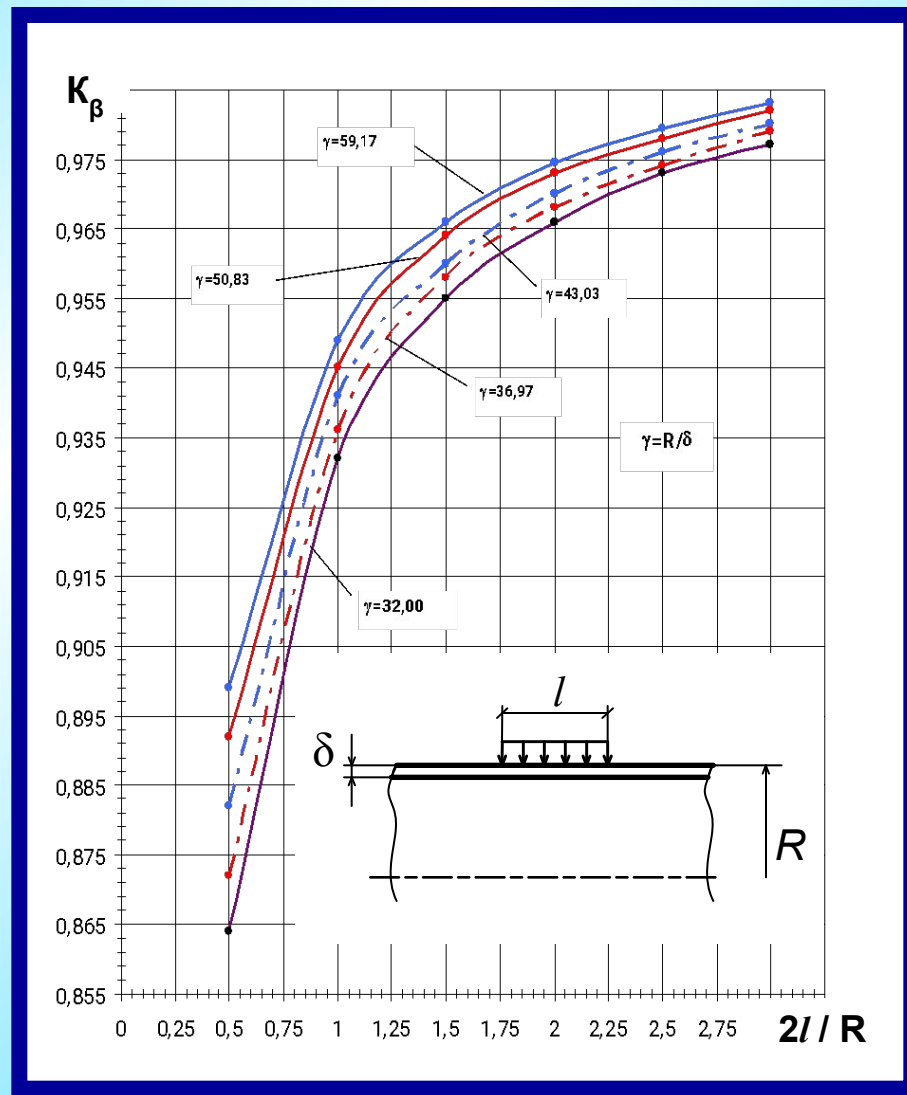
где $\beta = \left[3(1 - \mu^2)(R^2 h_T^2) \right]^{0,25}$ - параметр оболочки

μ - коэффициент Пуассона

Радиальные перемещения трубы под нагрузкой от муфты



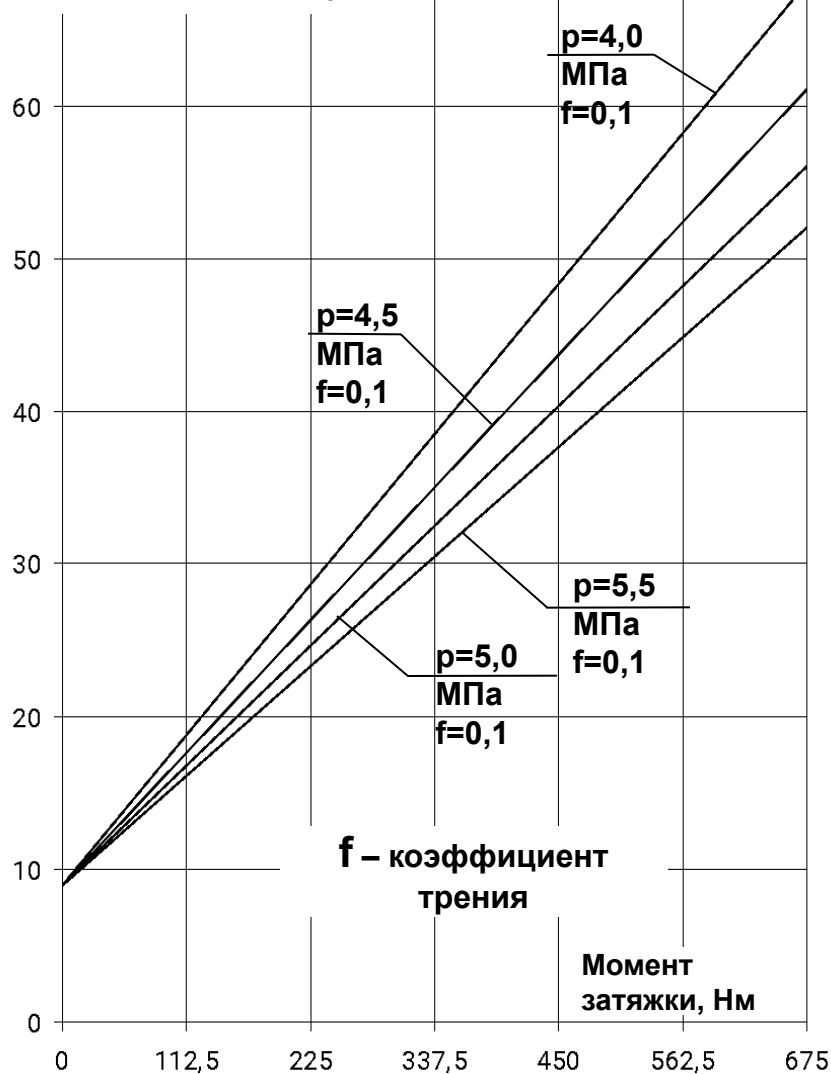
Влияние усилия затяжки на радиальные перемещения



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

Зависимость эффективности муфт РСМ от нагрузок

Процент снижения деформаций стенки трубы



Относительное контактное давление

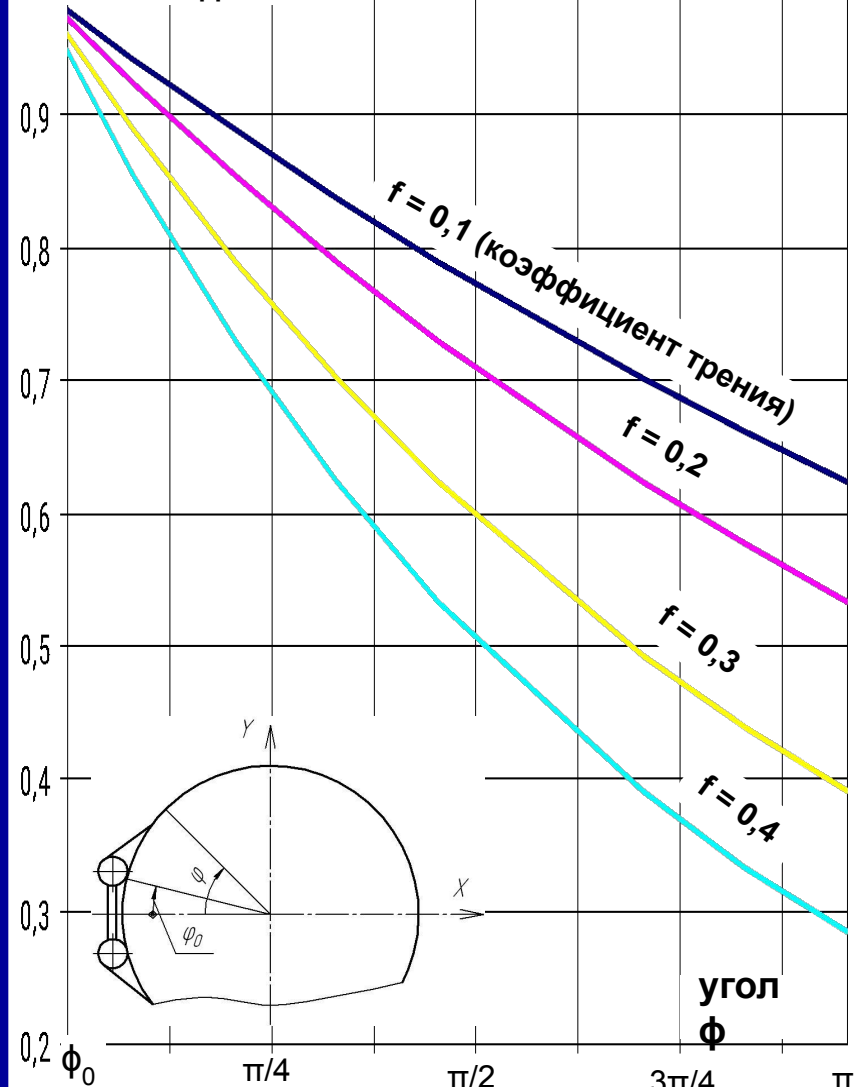


Схема испытательного стенда

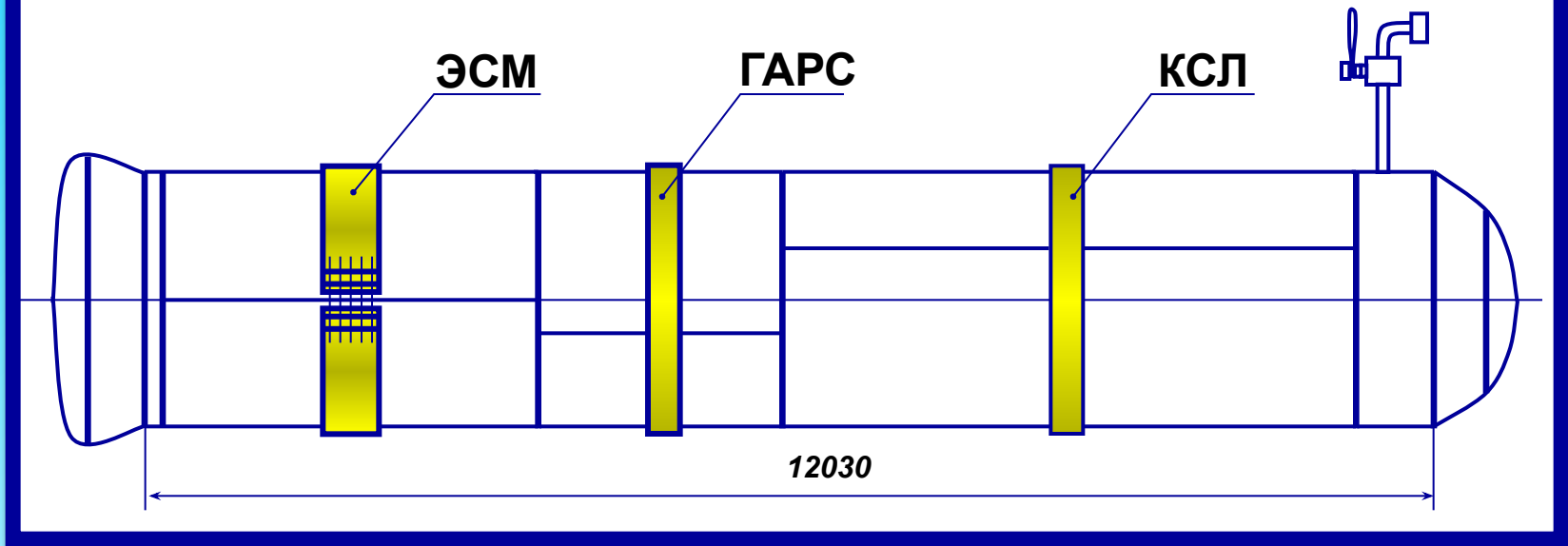


Таблица – исходные данные и результаты испытаний

| 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

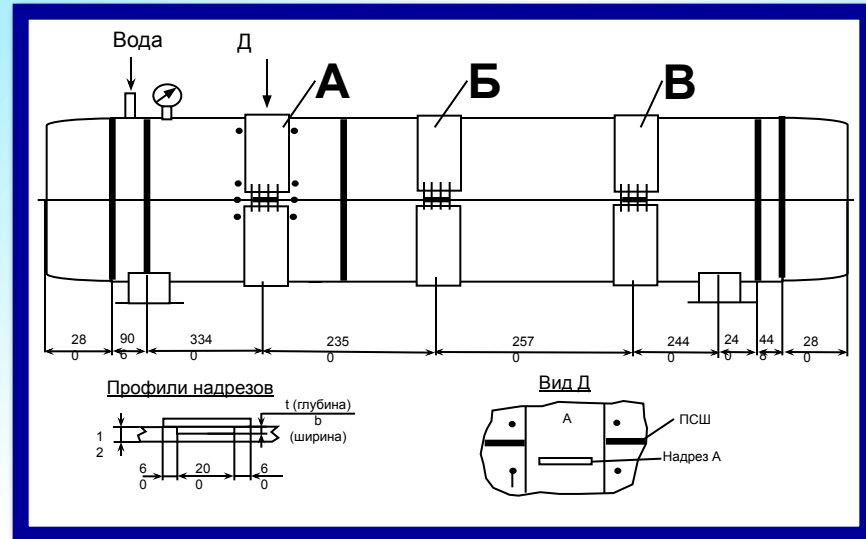


Схема плети

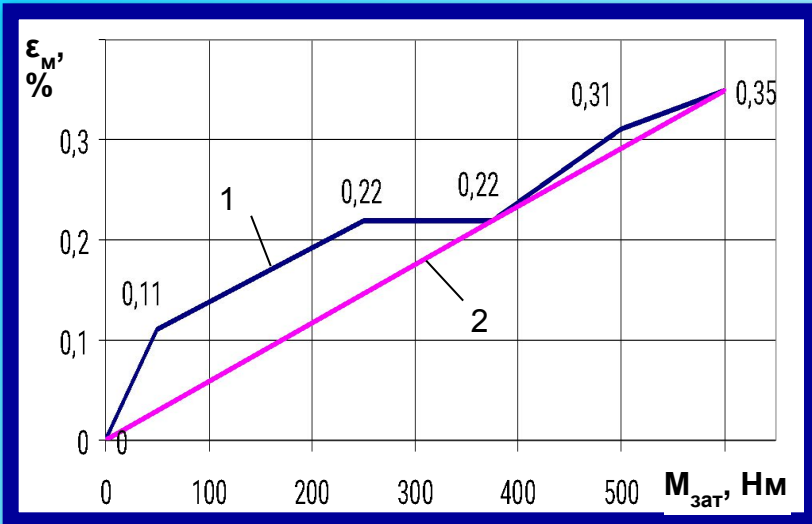


Тензометрическое обустройство муфты РСМ-1220 и прилегающей зоны

Данные по дефектам

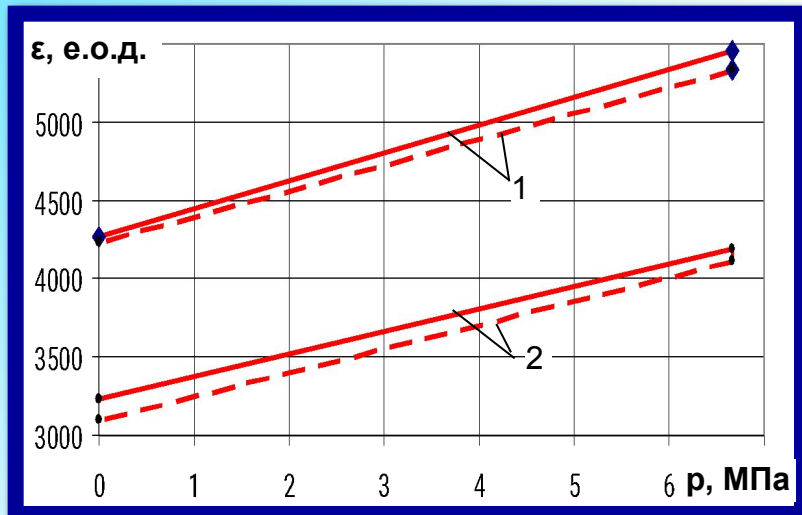
| Муфта | Длина, мм | Глубина, мм | Остаточная прочность, % |
|----------|------------|-------------|-------------------------|
| А | 215 | 8,1 | 54,6 |
| Б | 200 | 6,7 | 63,7 |
| В | 293 | 4,6 | 81,9 |

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

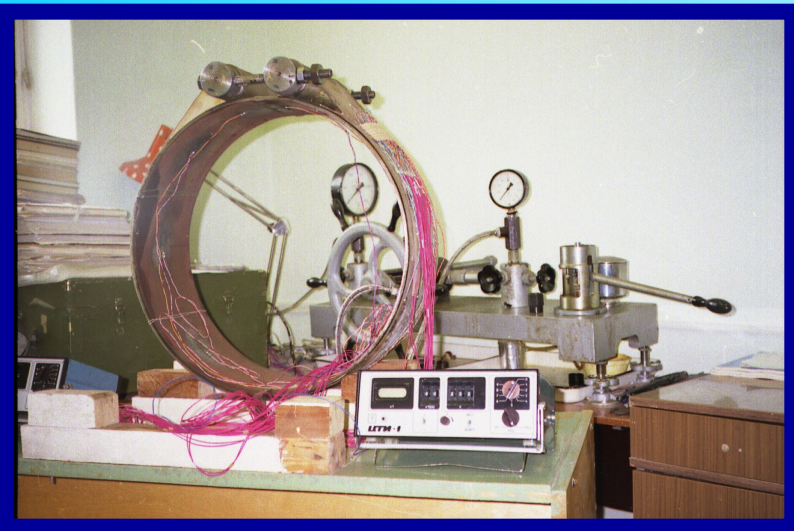
Фактическое разрушающее давление $P_{факт} = 7,65$ МПа

Коэффициент эффективности РСМ 1220 в режимах нагрузки:

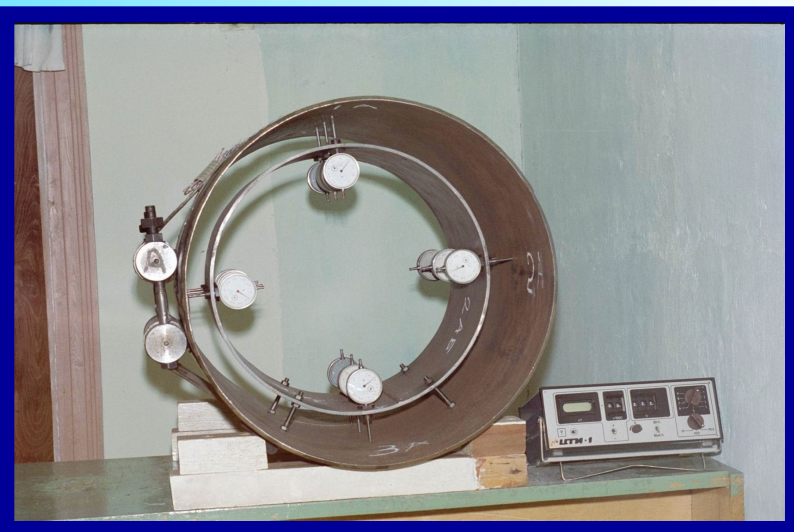
- разрушающей $K_{эфф} = 1,34$

- эксплуатационной $K_{эфф} = 1,74$

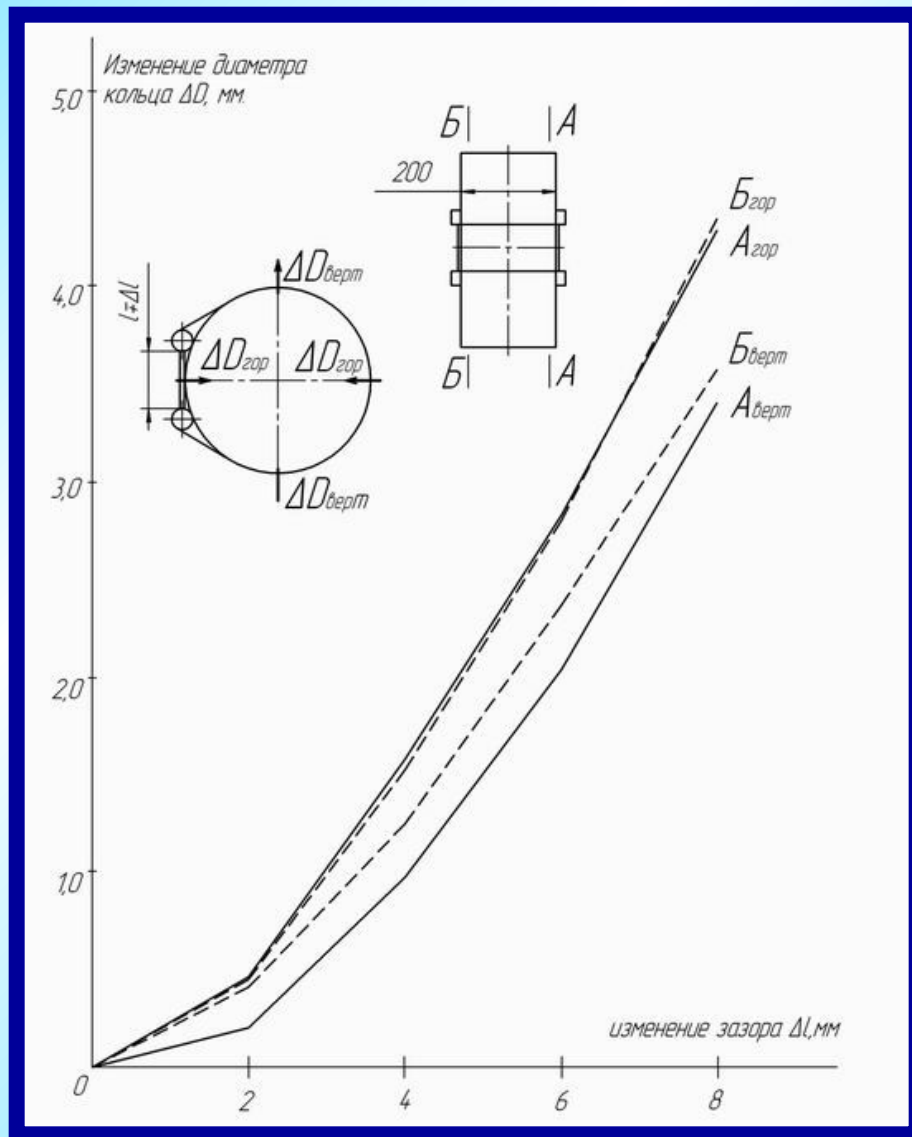
Среднее напряжение в полотне муфты при $P=5$ МПа $\sigma = 164$ МПа



Лабораторный стенд для испытаний муфты РСМ-530

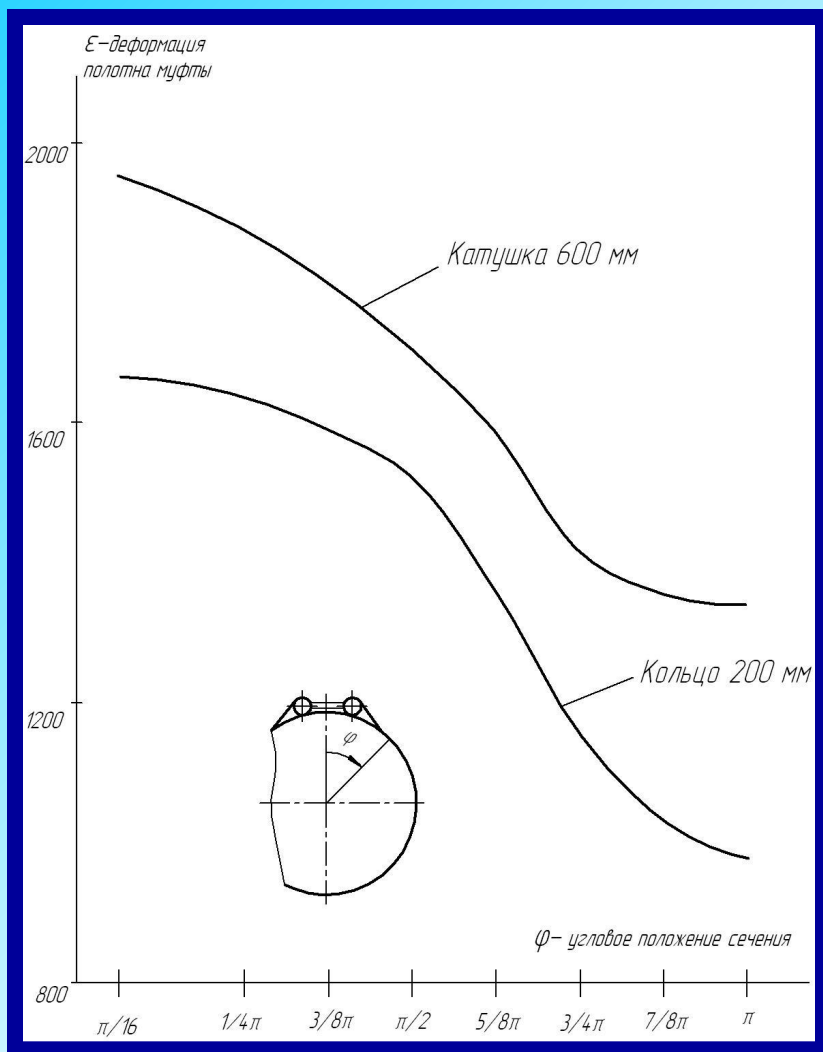


Устройство для измерений радиальных перемещений

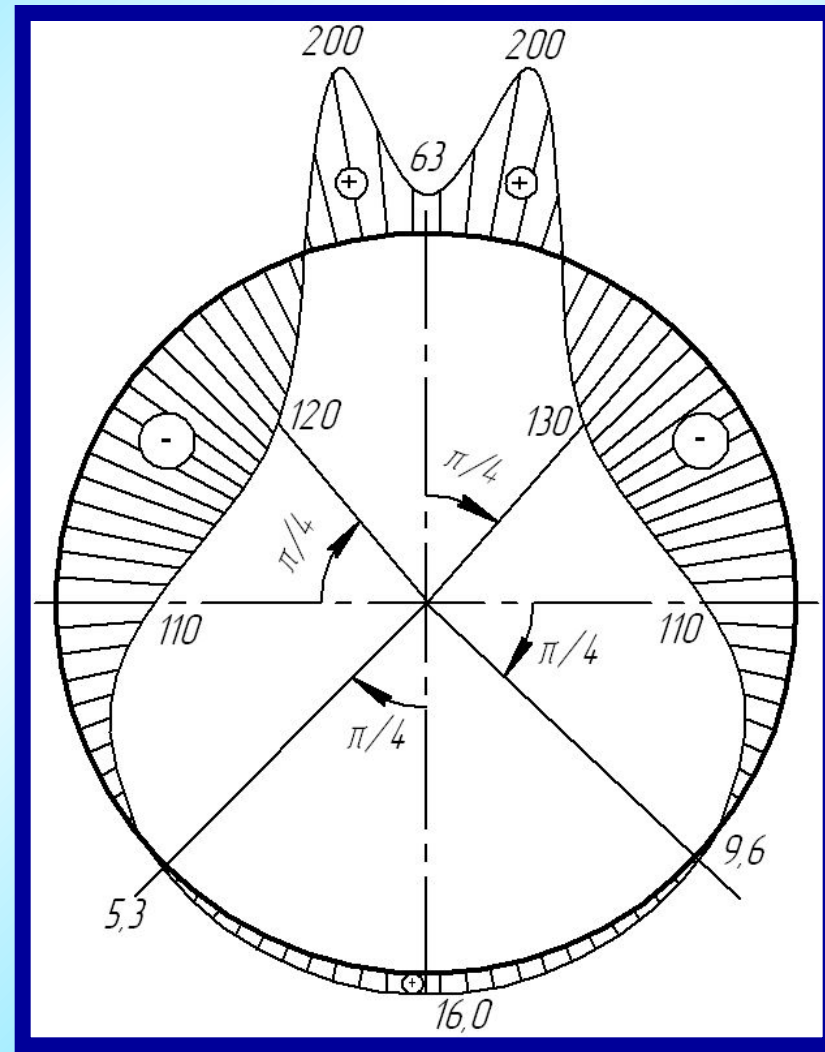


Зависимости изменения вертикального ($\Delta D_{верт}$) и горизонтального ($\Delta D_{гор}$) диаметров в двух сечениях А, Б от изменения зазора Δl

Деформации и напряжения в системе «труба – муфта 530»

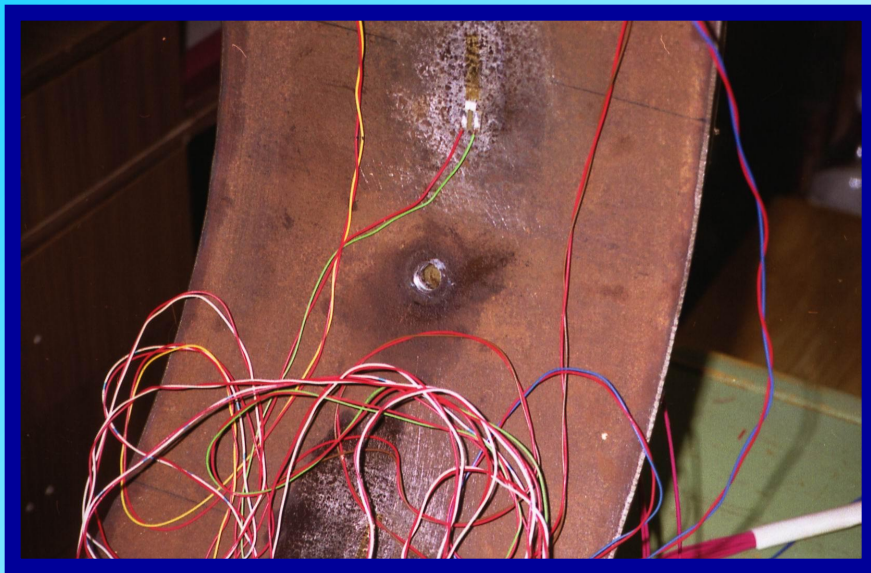


Распределение деформаций полотна по углу φ



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

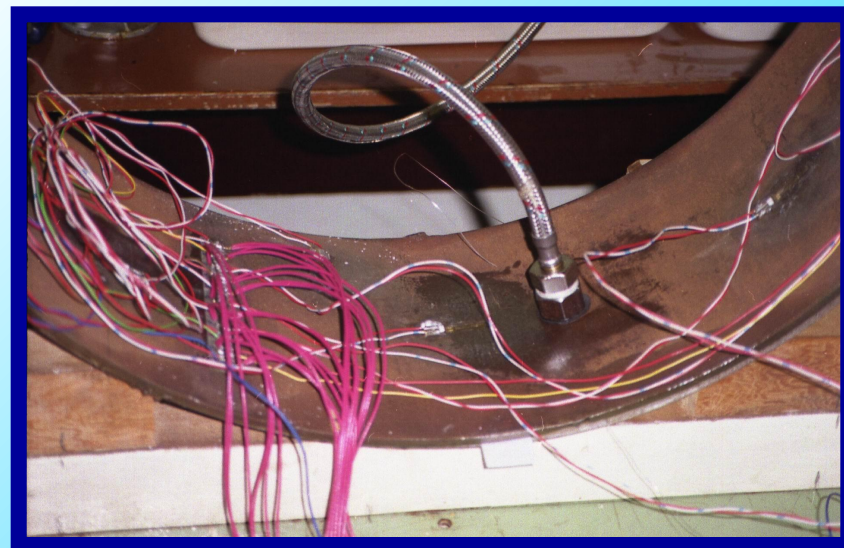
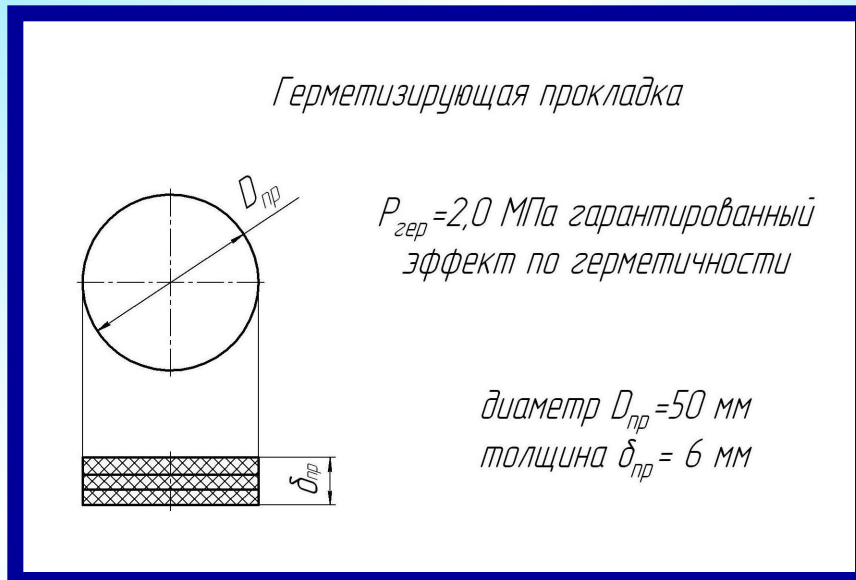
Оборудование: ручной гидропресс, гибкий шланг, соединительные элементы

Рабочая среда: жидкое промышленное масло

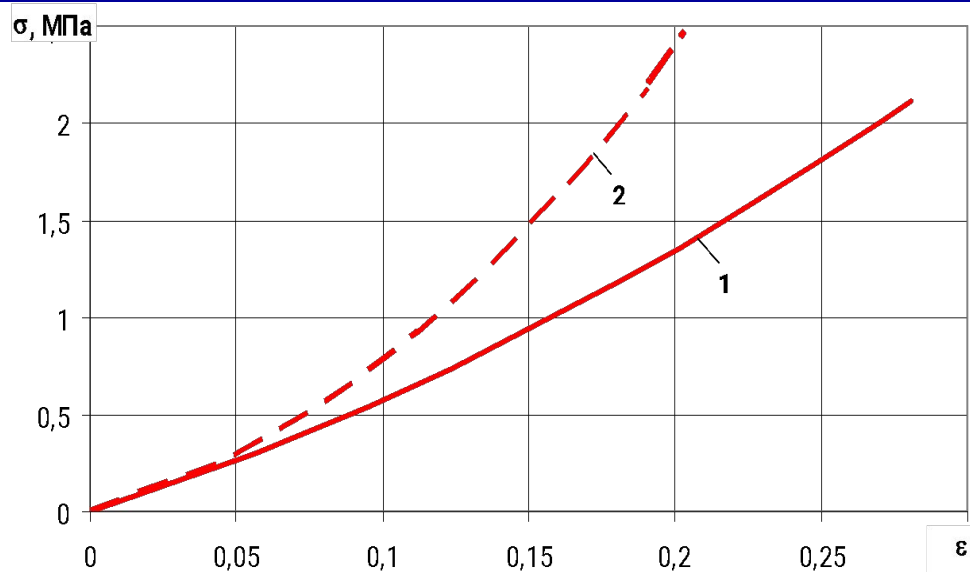
Режимы нагрузки:

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

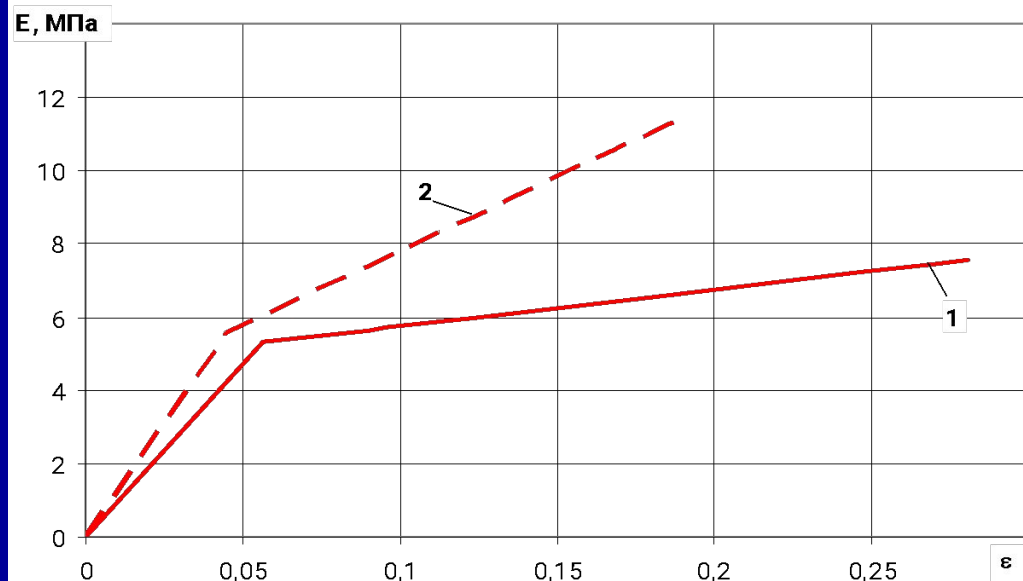


Зависимость напряжения сжатия σ от ϵ деформации резиновой прокладки (со смазкой)

*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.*