

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Южно-Уральский государственный университет  
(национальный исследовательский университет)»  
Филиал ФГАОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)» в г. Златоусте  
Факультет «Техники и технологии»  
Кафедра «Технология машиностроения, станки и инструменты»  
Направление 15.03.05 Конструкторско-технологическое обеспечение  
машиностроительных производств

ЛОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ

рой, проф.  
В. Козлов/  
\_\_\_\_\_ 2017 г.

«Совершенствование технологии и оборудования для холодной  
гибки труб. Часть 1.»

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА  
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ  
ЮУрГУ–15.03.05.2017.001.00 ПЗ ВКР

Консультанты  
Безопасность жизнедеятельности,

/А.В. Бобылев/  
\_\_\_\_\_ 2017 г.

Руководитель проекта,  
п

— А.В. Козлов/  
\_\_\_\_\_ 2017 г.

Автор работы  
студент группы ФТиТ – 401

— /Д.А. Алимкин/  
\_\_\_\_\_ 2017 г.

Нормоконтролер, доцент

/И.Н. Миронова/  
\_\_\_\_\_ 2017 г.

Златоуст 2017

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФГАОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)»  
Филиал ФГАОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)» в г. Златоусте  
Факультет техники и технологии

Направление 15.03.05 Конструкторско-технологическое обеспечение  
машиностроительных производств  
Кафедра технологии машиностроения, станков и инструментов

УТВЕРЖДАЮ

ЗАДАНИЕ

на выпускную квалификационную работу студента

Алимкин Данила Андреевич

Группа ФТТ-401

1. Тема работы Совершенствование технологии и оборудования для холодной  
гибки труб. Часть 1

утверждена приказом по университету от «15» апреля 2017 г. № 835

2. Срок сдачи студентом законченной работы 24 июня 2017 г.

3. Исходные данные к работе

3.1 Данные полученные в ходе эксперимента

3.2 Материал курсового проекта по дисциплине «Технология машиностроения»

3.3 Научно-техническая литература

4. Содержание расчетно-пояснительной записки (перечень подлежащих разработке вопросов)

Аннотация

Оглавление

Введение

4.1 Анализ исходных данных. Аналитический обзор методов гибки труб.

Обзор методов оценки деформации. Методы измерения температуры.

4.2 Исследовательский раздел. Оборудование для гибки труб. Методика проведения эксперимента. Графики изменения длин интервалов. Графики изменения температуры при разных натягах. Оценка овальности трубы.

4.3 Безопасность жизнедеятельности. Техника безопасности при работе на трубогибном станке. Оценка условий труда на установке «Трубогиб». Технические средства защиты от вибрации при эксплуатации оборудования. Технические средства защиты от шума при эксплуатации оборудования (ГОСТ 12.1.003–83 Система стандартов безопасности труда). Выводы.

4.4 Экономический раздел. Расчет затрат по эксплуатации оборудования. Затраты по эксплуатации оснастки. Расчет затрат на материал.

Заключение

Библиографический список

5. Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)

1 Методика проведения эксперимента	1,0 л
2 Оборудование для гибки труб	1,0 л
3 Методы оценки деформации и измерения температуры	1,0 л
4 Графики изменения длин интервалов(позиция 1-2)	1,0 л
5 Графики изменения длин интервалов(позиция 3-5)	1,0 л
6 Графики изменения температуры при различных натягах	1,0 л
7 Оценка овальности трубы	1,0 л

Всего 7,0 листов

6. Консультанты по проекту, с указанием относящихся к ним разделов проекта

Раздел	Консультант	Подпись, дата	
		Задание выдал (консультант)	Задание принял (студент)
Безопасность жизнедеятельности	Бобылев А.В.		

7. Дата выдачи задания 29.05.2017

Руководитель Козлов Александр Васильевич  
(ФИО)

Задание принял к исполнению 29.05.2017

Студент-дипломник Алимкин Данила Андреевич  
(ФИО)

## КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

Наименование этапов дипломного работы	Срок выполнения этапов проекта	Отметка о выполнении
Введение	02.06.2017	
Обзорный анализ		
Исследовательский раздел	07.06.2017	
Безопасность жизнедеятельности	13.06.2017	
Экономический раздел	20.06.2017	
Оформление проекта	22.06.2017	
Сдача ВКР на кафедру	24.06.2017	

Зав. кафедрой \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_ /А.В. Козлов/

Руководитель проекта \_

\_\_\_\_\_ / А.В. Козлов /

Студент-дипломник \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_ /Д.А. Алимкин/



## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	7
1 АНАЛИЗ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ.....	8
1.1 Обзор методов гибки труб.....	8
1.1.1 Холодная гибка труб с наполнителем.....	8
1.1.2 Холодная гибка труб наматыванием.....	10
1.1.3 Холодная гибка труб методом трех-роlikовой (вальцевой) гибки.....	16
1.1.4 Гибка труб методом индукционного нагрева ТВЧ.....	19
1.1.5 Холодная гибка труб с раскатыванием.....	21
1.2 Обзор методов оценки деформации.....	23
1.2.1 Оценка степени деформации материалов амд-методами.....	23
1.2.2 Визуальные методы оценки деформаций.....	24
1.2.2.1 Метод хрупких покрытий.....	25
1.2.2.2 Поляризационно-оптический метод (метод фотоупругости).....	30
1.3 Методы измерения температуры.....	31
2 ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ РАЗДЕЛ.....	34
2.1 Оборудование для гибки труб.....	34
2.2 Методика проведения эксперимента.....	37
2.3 Графики изменения длин интервалов.....	39
2.4 Графики изменения температуры при разных натягах.....	42
2.5 Оценка овальности трубы.....	43
3 БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ.....	50
3.1 Техника безопасности при работе на трубогибном станке.....	50
3.2 Оценка условий труда на установке «Трубогиб».....	51
3.2.1.1 Запыленность воздуха рабочей зоны.....	52
3.2.1.2 Вибрация.....	52
3.2.1.3 Шум.....	53
3.2.1.4 Электрический ток.....	53
3.2.1.5 Движущиеся части.....	54

					15.03.05.2017.001.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		13

3.2.2 Биологические и химические факторы.....	54
3.2.2.1 Смазочно – охлаждающие жидкости (СОЖ).....	54
3.2.3 Психофизиологические факторы.....	55
3.2.3.1 Статические нагрузки.....	55
3.3 Технические средства защиты от вибрации при эксплуатации оборудования.....	55
3.3.1 Вибрационная безопасность и общие требования (ГОСТ 12.1.012– Система стандартов безопасности труда).....	55
3.3.2 Требования по ограничению неблагоприятного воздействия вибрации на оператора.....	57
3.3.3 Требования к обеспечению вибробезопасности.....	58
3.4 Технические средства защиты от шума при эксплуатации оборудования (ГОСТ 12.1.003– 83 Система стандартов безопасности труда).....	58
3.4.1 Защита от шума .....	57
3.4.2 Требования к шумовым характеристикам машин .....	58
4 ЭКОНОМИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ.....	60
4.1 Расчет затрат по эксплуатации оборудования .....	60
4.2. Затраты по эксплуатации оснастки .....	63
4.3 Расчет затрат на материал.....	63
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	65
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	66



## ВВЕДЕНИЕ

### Актуальность темы

С каждым годом требования к качеству машиностроительной продукции, выпускаемой на предприятиях, неуклонно возрастает. Трубы с криволинейными участками имеют широкое распространение в промышленности и в быту в качестве элементов трубопроводов, транспортирующих жидкости и газы. Для широкого применения трубопроводов требуется максимальная механизация процессов изготовления большого числа их криволинейных участков, которые служат для рациональной компоновки трубопроводов.

Цель выпускной квалификационной работы – совершенствование технологии и оборудования для холодной гибки труб.

					15.03.05.2017.001.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		15

# 1 АНАЛИЗ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ

Гибка труб является одной из основных операций технологического процесса изготовления деталей трубопроводов. Она нашла весьма широкое и разностороннее применение в различных отраслях общего и специального машиностроения. Несмотря на это, в современных производственных условиях практически невозможно осуществить качественную гибку в холодном состоянии труб, поскольку она сопровождается нежелательными для последующей эксплуатации явлениями: утонением стенки на внешней частигиба, овализацией (сплющивание) поперечного сечения в гибке, образованием гофр и изломов на внутренней частигиба.

## 1.1 Обзор методов гибки труб

В обзоре приводятся основные методы гибки труб, схемы гибки, модели оборудования, принцип работы и технические характеристики.

### 1.1.1 Холодная гибка труб с наполнителем

Гибку труб производят ручным и механизированным способами в горячем и холодном состоянии, с наполнителями и без них в зависимости от диаметра трубы, материала и угла загиба. Схема гибки без наполнителя представлена на рисунке

1.2. Обработываемая заготовка – труба (или профильный прокат) устанавливается на роликовые опоры в том месте, где необходимо получить гиб, после этого поперечно подводится прижим и происходит, гибка трубы. Нужно отметить, что данный метод является одним из самых простых способов и применим только для профильного проката, а также труб, имеющих достаточную толщину стенки.

					15.03.05.2017.001.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		16

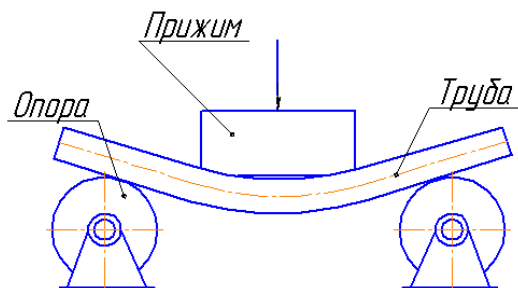


Рисунок 1.1 – Схема гибки методом выдавливания

При горячей гибке с наполнителем трубы отжигают, размечают, забивают один конец пробкой и, для предупреждения смятия, выпучивания и появления трещин при гибке, плотно заполняют мелким сухим песком. Слабая набивка приводит к сплющиванию трубы в местах изгиба, поэтому песок необходимо уплотнять, обстукивая трубу снизу доверху. В соответствии с рисунком 1.2 после заполнения песком другой конец трубы забивают пробкой с отверстиями для выхода газов, образующихся при нагреве.



Рисунок 1.2 – Гибка труб с наполнителем

Длина нагреваемого участка трубы

$$L = \frac{ad}{15} \quad (1.1)$$

где  $a$  — уголгиба трубы град.;  $d$  — наружный диаметр трубы мм.

Трубогибочный станок для трубы малого диаметра с песком показан на рисунке 1.3.

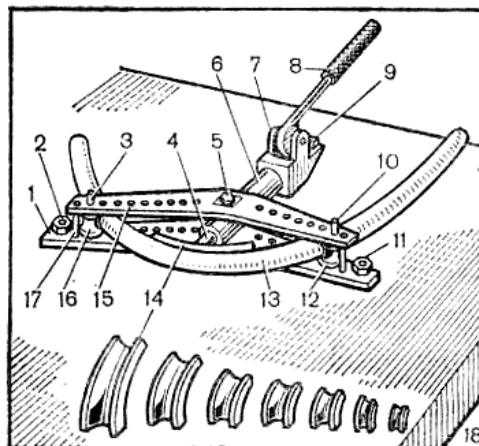


Рисунок 1.3 – Станок для гибки труб с наполнителем – песком

В зависимости от диаметра и материала трубы должен быть установлен минимально допустимый радиус гiba, который берется не меньше трех диаметров трубы.

Длина нагреваемой части трубы зависит от ее диаметра и угла гiba. Если трубу изгибают под углом  $60^\circ$ , то нагревают участок длиной, равной четырем диаметрам трубы; если изгибают под углом  $45^\circ$ , то длиной, равной трем диаметрам, и т. д.

При гибке труб диаметром 10 мм и больше необходимы специальные приспособления. Трубы диаметром 10—25 мм изгибают в приспособлениях типа рамки. Приспособление имеет стальные планки 1 и 15, соединенные между собой колонками 17. В отверстиях планок установлены пальцы 3 и 10 с роликами 12 и 16. В центре планок установлена труба 6, закрепленная винтом 5. Передний торец трубы запрессован в головку 7. Эксцентрик рукоятки 8 шарнирно соединен осями с проушинами головки и штоком 4.

### 1.1.2 Холодная гибка труб наматыванием

При данном методе гибки деталь – труба устанавливается на оправку и фиксируется прижимом и гибочным роликом. В начальном положении прижим и скользящий башмак соприкасаются по плоскости, при подаче труба захватывается

					15.03.05.2017.001.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		18

башмаком и совершает вместе с трубой обкат вокруг гибочного ролика. Гибка труб может быть, как в дорновом, указанном на рисунке 1.4 так и в бездорновом режиме (для профильного проката, толстостенных труб и др.). Конструкция дорнов обеспечивает их высокую жесткость под нагрузкой. Рабочие элементы дорнов, соприкасающиеся с трубой, покрыты полиуретаном. В процессе работы комплекса после установки трубы в трубогиб с помощью пневмоцилиндров происходит ввод дорна в трубу и затем разжатие дорна и непосредственно гибка.

В процессегиба за счет своей конструкции дорн находится в постоянно поджатом к трубе состоянии, что приводит к перераспределению усилий, возникающих при гйбе, и позволяет значительно снизить гофрообразование и остаточную овальность получаемого отвода.

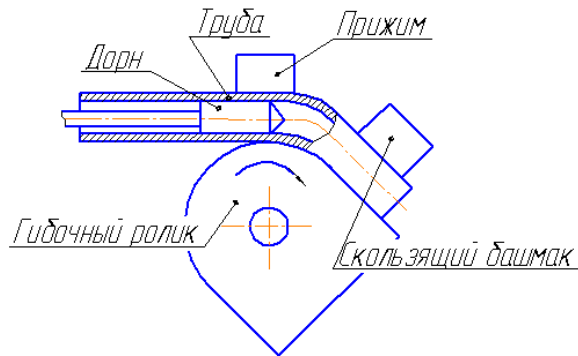


Рисунок 1.4 – Схема дорновой гибки методом наматывания

Возможности машины:

1. Обеспечивает гибку в 3-х координатах;
2. Программирование угла гйба, угла поворота в пространстве и линейного выдвйжения до очередного гйба;
3. Позволяет производить гйбы с нулевым линейным выдвйжением;
4. Высокая производительность, до 200 и более гйбов в час;
5. Машина может оснащаться устройством для безотходной технологии, что позволяет экономить до 70% материала;

Особенности:

- контроль трех координат (A, L, R);

					15.03.05.2017.001.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		19

- регулируемый параметр овальности (эллипсности);
- позволяет изменить плоскость гибки (поворот трубы в пространстве, ось Y) и точно фиксировать размер прямого участка между гибом (ось Z).



Рисунок 1.5 – Универсальная пневматическая трубогибочная машина БМК-

51

Таблица 1.1 – Технические характеристики модели станка БМК-51

Максимальный диаметр изгибаемой трубы, мм	
сталь	40
алюминий, латунь, медь	60
Радиус гибо мм	27-170
Радиус гибо, минимальный	1,5 D
Угол гибо град.	0-180

Максимальный диаметр изгибаемой трубы, мм	
угла гiba (A) град.	0,5
линейного выдвигения (L) мм	0,5
угол поворота в пространстве (R) град.	2,5
Вероятность повторения деталей при их изготовлении, %	99
Время одного гiba сек.	4-10
Поворот в пространстве (R)	Полуавтоматический
Выдвигение до очередного гiba (L)	Полуавтоматическое
Зажим	Автоматический
Синхронизация штанги в оси гiba	Автоматическая
Выдвигение, убирание дорна	Автоматическое
Возврат в точку начала гiba	Автоматический
Смазка дорна	Автоматическая
Программирование упорами (единовременный объем памяти) по координатам:	
A	6
L (на погонный метр)	10
R	6
Производительность гибов/ в час	
при работе с целой трубой	100-150
при работе с заготовкой	200 и более
Энергопитание - сжатый воздух кг/ см <sup>2</sup>	6-8
Габариты, LxHxB мм	1700x1100x760
Масса кг	450

Одним из частных случаев методов наматывания может являться метод обкатки показанный на рисунке 1.6. Основным отличием от предыдущего метода является то, что скользящий башмак в данном случае заменен на свободно вращающийся ролик, который в свою очередь является сателлитом для гибочного ролика. Обрабатываемая труба выставляется на окончательную длину, ролик обкатываясь по поверхности трубы прижимает ее к ролику постепенно приближая ее к форме ролика. Следовательно, радиус гибки в этом случае постоянен, и для получения нужного радиуса используют набор роликов с соответствующими диаметрами. Недостатками такого метода является достаточное большое усилиегиба, т.к. гиб происходит не в начале трубы, а в середине; значительная овальность ввиду односторонней и неравномерной нагрузки на трубу. К достоинствам можно отнести более равномерную и качественную гибку за счет того, что труба не наматывается на ролик, а прижимается к ней в каждой точке. Таким образом, труба копирует форму и размеры гибочного ролика.

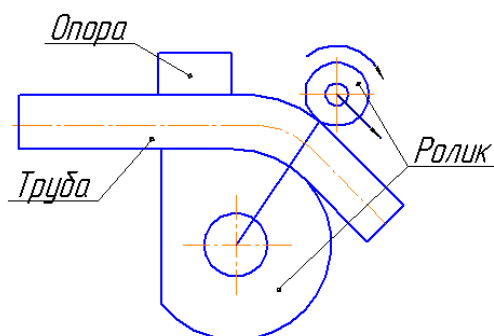


Рисунок 1.6 – Схема гибки методом обкатки

На рисунке 1.7 представлена модель станка, в основе работы которого использован такой метод.

					15.03.05.2017.001.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		22



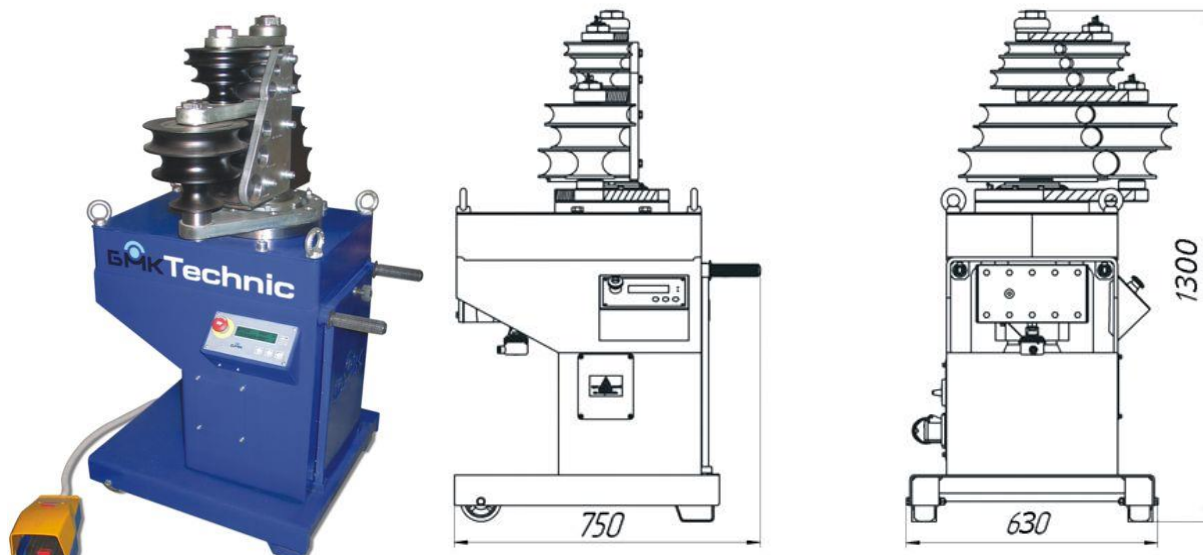


Рисунок 1.7 – Общий вид и схема модели станка RE-60

Станок предназначен для гибки дюймовых труб условным диаметром 21; 26; 33,5; 42,3; 48 и 60 мм с радиусомгиба соответственно 66, 84, 102, 129, 144 и 180 мм, при максимальном угле изгиба  $210^\circ$ . Применяется при мобильных работах: разводке и ремонте водогазопроводных сетей.

Трубы гнут обкатыванием их вокруг неподвижного ролика. Неподвижный и подвижный блоки роликов имеют по 6 ручьев, каждый из которых соответствует одному из наружных диаметров изгибаемых труб. При включении электродвигателя блок подвижных роликов поворачивается вокруг блока неподвижных роликов, при этом обкатывая трубу [1].

Возможности:

- имеет панель управление со встроенный интерфейс на русском языке, надежен и прост в эксплуатации;
- угол гибки и нулевая позиция легко программируются и запоминаются микропроцессором;
- оснащен выдвижными рукоятками и колесами для перемещения вручную и строповочными рамами для перемещения при помощи подъемных механизмов;
- угол гибки – до  $210$  градусов с учетом угла пружинения трубы.

					15.03.05.2017.001.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		23

В базовую комплектацию станка входят шесть роликов под основные дюймовые размеры труб с радиусом гибки в три диаметра трубы, обеспечивающие качественную гибку в бездорновом режиме:

- 1/2" (D=21,3 мм, R=66 мм);
- 3/4" (D=26,8 мм, R=84 мм);
- 1" (D=33,5 мм, R=102 мм);
- 1,25"(D=42,3 мм, R=129 мм);
- 1,5" (D=48 мм, R=144 мм);
- 2" (D=60 мм, R=180 мм).

Таблица 1.2 – Технические характеристики модели станка RE-60

Количество скоростей гибки	6
Энергопитание	220 В, 1,5 кВт, 50 Гц
Габариты, LxHxB мм	750x630x1300
Масса кг	250

### 1.1.3 Холодная гибка труб методом трех-роликовой (вальцевой) гибки

Данный метод предназначен для изготовления колец, сегментных дуг и спиралей с заданным шагом подъема витка методом холодной вальцовки труб различного профиля, а также профильного проката, указанного на рисунке 1.8. При данном методе обрабатываемая заготовка – труба устанавливается между вращающимися роликами (валками) и под воздействием осевой нагрузки на третий неподвижный ролик производится гибка. Настройка на радиус гибки производится перемещением в осевых направлениях подвижного и неподвижных роликов.

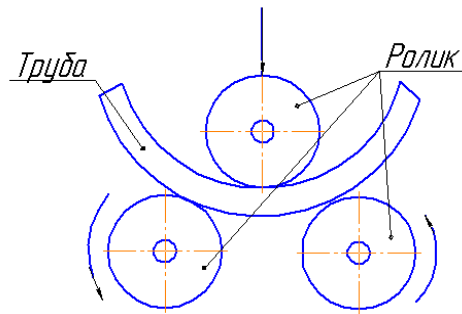


Рисунок 1.8 – Схема вальцевой гибки

Машины трех-роликовой (вальцевой) гибки труб и профильного проката – БМК-57 указанный на рисунке 1.9 и Spectrum 600 указанный на рисунке 1.10 предназначены для холодной вальцевой гибки труб и профильного проката из стали, нержавеющей стали, титана, алюминия и алюминиевых сплавов, меди и медных сплавов в кольцо, сегментные дуги, спирали с заданным шагом подъема витка.

Особенности:

- быстрое изменение положения гибочного модуля из вертикального в горизонтальное и обратно, в зависимости от рабочего пространства предприятия;
- постоянный привод на три ролика;
- не повреждает поверхность труб;
- оснастка для труб из различных материалов или покрытий;
- контроль радиусагиба;
- контроль шага подъема витка.

Комплект оснастки для вальцевой гибки состоит из трех роликов. Ролики могут быть стальными или капролоновыми для труб из различных материалов и покрытий.

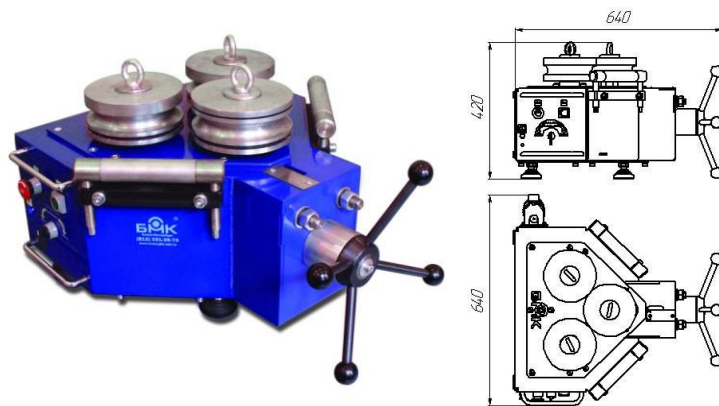


Рисунок 1.9 – Модель станка БМК-57

Таблица 1.3 – Технические характеристики станка модели БМК-57

Максимальный диаметр изгибаемой трубы мм	30
Радиусгиба минимальный град.	150
Радиусгиба максимальный	Не ограничено
Скорость подачи трубы м/мин	3
Количество ведущих роликов	2
Количество механизмов подъёма шага спирали	2
Энергопитание	0,75 кВт/ 50 Гц / 380 В
Габариты, LxHxB мм	640x500x420



Рисунок 1.10 – Модель станка Spectrum 600

					15.03.05.2017.001.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		26

#### 1.1.4 Гибка труб методом индукционного нагрева ТВЧ

Широкое распространение имеет, гибка труб, с их растяжением и индукционным нагревом токами высокой частоты (ТВЧ). Перед гибкой трубу подвергают растягивающим напряжениям, превышающим предел текучести металла. Гибку производят на гибочно-растяжных машинах с поворотным столом (головкой), в соответствии с рисунком 1.11.

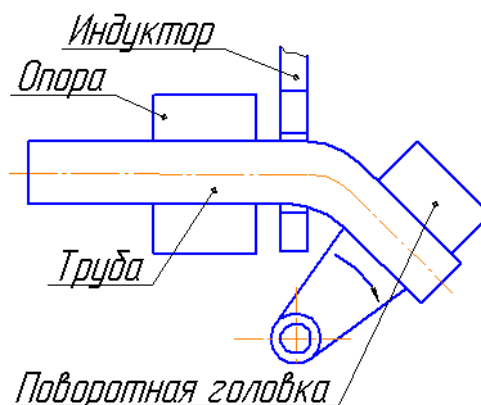


Рисунок 1.11 – Схема гибки методом нагрева ТВЧ

Детали, изготовленные этим способом, имеют высокую прочность. Нагрев ТВЧ, гибку и охлаждение производят, последовательно и непрерывно в высокочастотной установке, которая состоит из механической и электрической частей. Механическая часть представляет собой станок для гибки труб, а электрическая состоит из электрооборудования и индуктора. Установка допускает гибку труб диаметром от 95 до 300 мм.



Рисунок 1.12 – Гибка труб с ТВЧ

					15.03.05.2017.001.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		27

Указанный способ имеет ряд преимуществ: обеспечивает меньшую овальность труб в местах изгиба, высокую производительность (в 4—5 раз выше, чем других способов), механизацию процесса.

Брак при гибке металла чаще всего проявляется в виде скошенных загибов и механических повреждений обработанной поверхности и является результатом неправильной разметки или закрепления детали в тисках (выше или ниже разметочной линии), а также неправильного нанесения ударов. При правке основными причинами брака являются вмятины, следы от бойка молотка, забоины на обрабатываемой поверхности.

Недостатки данного метода:

- громоздкость оборудования, вследствие чего требуется большие производственные площади, для эксплуатации данного оборудования;
- необходимость в обслуживании оборудования несколькими рабочими;
- большая стоимость оборудования;
- небольшие углыгиба;
- большие энергозатраты.

Рассмотрим стан 1420 (рисунок 1.20) и следующие параметры:

- диаметры обрабатываемых труб от 426 до 1420 мм;
- толщина стенки до 35 мм на максимальном диаметре;
- радиусгиба от 5 до 10 Ду;
- производительность около 180° в сутки.



Рисунок 1.13 – Стан 1420 ТВЧ

### 1.1.5 Холодная гибка труб с раскатыванием

Гибка труб из стальных тонкостенных сварных и бесшовных труб широко применяются в химической, автотракторной, аэрокосмической отраслях, при строительстве нефте и газопроводов, в коммунальных сетях. Основные методы получения таких деталей (холодная гибка с дорном для труб малого диаметра, горячая гибка протягиванием через рогообразный сердечник и штамповка половинок криволинейных участков с их последующей сваркой) характеризуются высокой энергоемкостью, не исключают образования гофр, сплющивания и других дефектов. Схема гибки труб с раскатыванием на рисунке 1.14.

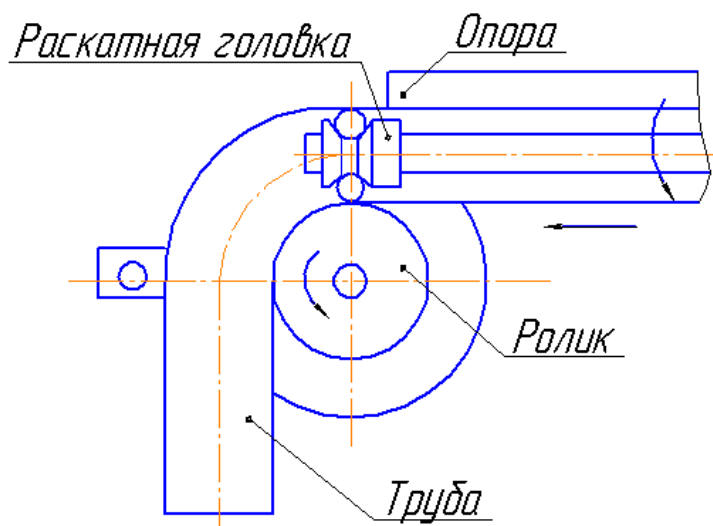


Рисунок 1.14 – Схема гибки методом раскатывания

Одним из наиболее простых способов такого воздействия на изгибаемую трубу является ее раскатывание вращающимся раскатником, заведенным в трубу с большим натягом [2].

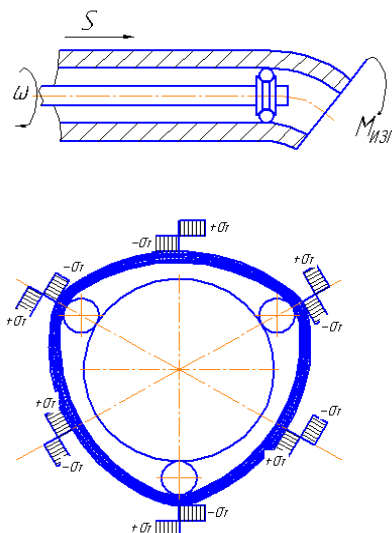


Рисунок 1.15 – Схема деформации трубы при раскатывании

Изгибающее усилие создается с помощью вращающегося ролика.

Применение этой технологии позволяет в 3...5 раз снизить усилиягиба и энергоемкость;

- полностью исключить сплющивание и гофрообразование;
- получить очень точное круглое сечение трубы на участкегиба, а также выполнить калибровку прямых участков на концах трубопроводных вставок для сварки стыков;

- не нарушить различные виды покрытий, нанесенные на поверхностях трубы;

- осуществлять широкий выбор базового оборудования (металлорежущие токарные станки, трубогибочные станки, привод от трактора в полевых условиях и др.);

- создать передвижные установки для гибки труб больших диаметров с применением различных силовых установок (электродвигатели, двигатели внутреннего сгорания и т.д.);

- гарантировать экологическую чистоту процесса.

Применение деталей, изготавливаемых по данной технологии, обеспечивает улучшение технологии сварки-сборки трубопроводов за счет получения прямых участков в зоне сварки и уменьшение в целом количества сварных участков,

						15.03.05.2017.001.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата			30



изготовление элементов теплообменников, компенсаторов, бойлеров без применения отводов по (ГОСТ 17375–83 Детали трубопроводов стальные бесшовные приварные на  $p_y \leq 10$  мпа) [5].

## 1.2 Обзор методов оценки деформации.

Оценка степени деформации материалов и определение параметров их разрушения – актуальные современные проблемы материаловедения. Прежде всего, важность деформации связана с ее влиянием на параметры разрушения. Поэтому в работе рассматривалась проблема анализа деформации именно с точки зрения прогнозирования разрушения или определения значений физических характеристик материалов.

### 1.2.1 Оценка степени деформации материалов амд-методами

Современные методы технической диагностики начальных стадий разрушения не оценивают степень или уровень критичности состояния материала и позволяют обнаруживать дефекты повреждаемости лишь при определенном масштабе их развитости. При этом прямое и косвенное наблюдение областей ЛР (зарождение и распространение микронесплошностей и микротрещин) чрезвычайно затруднено их субмикроскопическими размерами и вероятностным характером появления. Решить эту задачу, в т. ч. и при деформационных воздействиях, позволяют методы акусто-микроскопической дефектоскопии (АМД). Предельность состояния материала при внешнем воздействии отражает способность к релаксации внутренних пиковых напряжений посредством микропластической деформации. Контроль параметров подобных релаксационных процессов с помощью сканирующего акустического микроскопа (САМ) дает возможность наблюдать наступление ПС и начало ЛР. Работоспособность объекта обусловлена моментом появления и механизмом развития повреждений. Такой подход и был использован при формировании микроскопических критериев локального ПС материала. Обычно к формированию опасного (ПС) состояния

					15.03.05.2017.001.00 ПЗ	Лист
						31
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		

ведет развитие трещины до опасных размеров. При этом реальной информации из анализа макроскопических критериев предельности извлечь не удастся. Кроме того, большинство существующих методов неразрушающего контроля не способны выявить микроскопические трещины, возникающие на ранних стадиях разрушения. Методы металлографии требуют развитой поврежденности материалов. Отсюда возникает необходимость поиска и развития новых методик, позволяющих выявлять микродефекты и контролировать их критическую концентрацию. Целью настоящей работы была оценка степени деформации металлов, установление физико-механических закономерностей формирования предельного состояния и начала локального разрушения на основе изучения структуры материалов с помощью АМД- методов. В работе объектами изучения были стали, подвергнутые различным внешним воздействиям, прежде всего деформационным, и содержащие неоднородности типа включений, локальных упругих неоднородностей, микротрещин с коррозионным поражением. На первом этапе были проведены модельные эксперименты на монокристаллических материалах (Si и Ge) и чистых металлах (Cu, Ni, Al в отожженном состоянии), которые позволили рассчитать значения скорости ПАВ и оценить степень их совпадения со значениями, полученными др. методами. Она составляла не более 1–2%, что свидетельствует о высокой точности применяемых методов, их надежности.

### 1.2.2 Визуальные методы оценки деформаций

Перечисленные тензометрические методы позволяют осуществить только более ли менее точное исследование объекта измерения. Также и многопозиционная система измерения с применением тензорезисторов или розеток при сложной конфигурации испытуемой детали или при неясном распределении напряжений позволяет только приближенно определить топографию напряжений, так как плотность размещения тензометров ограничена. Поэтому целесообразно использовать визуальный метод для определения распределения деформаций и

					15.03.05.2017.001.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		32

обеспечения в первую очередь возможности локализовать критические места. Для решения этой задачи имеются два метода: метод хрупких покрытий и поляризационно-оптический метод. Возможность применения этих методов ограничена. В основном они применимы в тех случаях, когда необходимо предварительно выявить критические места с тем, чтобы провести дополнительные исследования методами, позволяющими получить количественные выводы.

### 1.2.2.1 Метод хрупких тензочувствительных покрытий

Метод хрупких тензочувствительных покрытий является простым и эффективным методом экспериментального исследования деформаций и напряжений на поверхности деталей, узлов конструкций и моделей при статическом и динамическом нагружении. С его помощью можно оценивать величину деформации, определять зоны концентрации напряжений и направления главных деформаций. Этот метод заключается в наблюдении трещин, образующихся при нагрузке или разгрузке детали в тонком слое хрупкого покрытия, предварительно нанесенного на исследуемую поверхность.

Было замечено, что в окалине на поверхности горячекатаных стальных профилей при их деформации развиваются тонкие трещины. Фактически, это наблюдение послужило основой дальнейшего развития метода.

Тонкое покрытие прочно связано с поверхностью детали, поэтому деформации в точках покрытия и соответствующих точках поверхности одинаковы. Трещина в хрупком покрытии возникает при некоторой величине относительного удлинения создаваемого в месте образования трещины при нагружении детали. Направление трещины перпендикулярно направлению главной деформации. Величина относительной деформации  $0 \varepsilon$ , при которой образуется трещина, называется постоянной покрытия. Она определяется путем тарировки с помощью стандартной балки в условиях одноосного растяжения. Чем стабильнее тензочувствительность покрытия, тем точнее можно произвести оценку

					15.03.05.2017.001.00 ПЗ	Лист
						33
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		

деформаций, возникающих в детали. Разработанные до настоящего времени хрупкие покрытия позволяют оценивать величины деформаций с точностью до 15-20%.

Трещины в покрытии возникают в зонах действия растягивающих напряжений. Вместе с тем, если нанести покрытие на поверхность деформированной детали и после полимеризации произвести разгрузку, то образовавшиеся трещины выявят области сжимающих напряжений. Зоны концентрации напряжений определяют по степени сгущенности сетки трещин. К настоящему времени известны хрупкие покрытия трех основных типов:

1. Канифольное покрытие. Сюда относится канифольное покрытие с растворителем, наносимое в жидком виде, как лак, а также канифольное покрытие без растворителя, которое наносится наплавлением или газоплазменным напылением.

2. Эмалевое покрытие. Оно используется для исследования деформаций при повышенных температурах.

3. Оксидное покрытие.

Величина тензочувствительности хрупких покрытий и точность оценки уровня напряжений зависят от типа и состояния покрытия, условий и способов его нанесения, условий формирования покрытия на поверхности детали и условий испытания.

Ранее, при испытаниях элементов конструкций в условиях не экстремальных температур применяли различные виды тензочувствительных покрытий с весьма малой стабильностью, с их помощью можно было получить лишь качественные выводы о характере напряженно-деформированного состояния поверхности детали. Усовершенствование метода было достигнуто с применением покрытий из обработанной канифоли (обработка окисью цинка или окисью бария), растворенной в сероуглероде.

Лаковое покрытие наносится на очищенную и обезжиренную поверхность детали мягкой кистью или пульверизатором. Толщина слоя составляет 0,05-0,1 мм. Покрытие наносится при комнатной температуре и сушится в течение суток. Для

					15.03.05.2017.001.00 ПЗ	Лист
						34
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		

удобства наблюдения трещин в покрытии на поверхность детали предварительно наносится под слойком, представляющая из себя двухпроцентный раствор нитроклетчатки в этилацетате с добавлением 0,4 % алюминиевой пудры. Для получения количественных результатов покрытие одновременно наносится на поверхность испытуемой детали и на поверхность тарировочного образца, представляющего из себя консольно закрепленную балочку, изготовленную из стали с высоким пределом пропорциональности. Нагружая тарировочный образец и отслеживая нагрузку, соответствующую появлению первых трещин, несложно определить величину деформации в данный момент, то есть постоянную покрытия  $\varepsilon_0$ . Для более строгой количественной оценки величин напряжений постоянная покрытия  $\varepsilon_0$  должна быть определена как можно более точно. Ввиду этого необходимо испытывать нескольких тарировочных образцов и по результатам находить среднее значение  $\varepsilon_0$ .

Хрупкие лаковые покрытия на канифольной основе с сероуглеродом в качестве растворителя, несмотря на токсичность и огнеопасность, нашли применение при исследовании напряженно-деформированного состояния и в качестве самостоятельного метода и в сочетании с методом электротензометрии. Получение хрупкого покрытия на канифольной основе на поверхности испытуемой детали возможно также методом наплавления или газоплазменного напыления. В первом случае деталь нагревается примерно до 140° С и затем по ее поверхности проводят палочкой из смолы. После охлаждения детали с покрытием до комнатной температуры возможно проведение испытаний. Однако, такое покрытие пригодно лишь для качественного исследования ввиду невысокой стабильности постоянной покрытия  $\varepsilon_0$ .

При газоплазменном нанесении материал покрытия (резинат бария) в виде мелкодисперсного порошка пропускается через пламя газовой горелки, расплавляется в нем и попадает на деталь, где затвердевает, образуя хрупкий слой. Качество покрытия при таком нанесении определяется составом дисперсного порошка, тепловым режимом, скоростью подачи порошка, температурой

					15.03.05.2017.001.00 ПЗ	Лист
						35
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		

поверхности детали и углом наклона струи порошка к поверхности детали. Способ газоплазменного нанесения хрупкого покрытия не связан с использованием токсичного растворителя и покрытие при этом не требует длительной сушки перед испытанием. Кроме того, обрабатываемая поверхность детали может иметь сложную форму и не требует значительного предварительного нагрева, все это обеспечивает преимущество метода газоплазменного напыления покрытия перед методом лакового нанесения и методом наплавления.

Хрупкие покрытия на канифольной основе имеют тензочувствительность  $\varepsilon_0 = 3 \times 10^{-4} - 20 \times 10^{-4}$  с отклонением порядка 15%, и позволяют проводить исследования при температуре не выше 50° С. При более высокой температуре такое покрытие размягчается. Подобного недостатка лишено эмалевое покрытие, которое перед нанесением представляет из себя взвесь мелкодисперсного порошка керамики. Покрытие наносится на исследуемую деталь пульверизатором или путем погружения детали. Нанесенный слой подсушивается, а затем деталь нагревается до температуры 500– 600° С. При этом происходит оплавление покрытия и обеспечивается его хорошая адгезия с поверхностью детали. Эмалевое покрытие допускает возможность испытаний при температурах до 300° С. На его свойства не влияют влажность и незначительные колебания температуры. К недостаткам относятся сложность приготовления и нанесения на поверхность детали. Кроме того, температурные условия их нанесения могут выдержать не все конструкционные материалы. Канифольные покрытия также не лишены недостатков. Они требуют стабильной температуры и влажности помещения, где проводится сушка покрытия. Им свойственна ползучесть. На их свойствах сказываются время и условия хранения.

Дальнейшие разработки в этой области в последние годы позволили получить покрытие со стабильными характеристиками путем оксидирования алюминиевой фольги, которая при испытании наклеивается на деформируемую деталь.

Анодное оксидирование деталей из алюминия и его сплавов в электролитах на основе серной, щавелевой, хромовой и других кислот используется в

					15.03.05.2017.001.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		36

промышленности для получения защитных, изоляционных и декоративных покрытий, а также для других целей.

Поскольку оксидный слой, получаемый при электрохимической обработке алюминия и его сплавов отвечает требованиям, предъявляемым к хрупким тензочувствительным покрытиям, данный вариант реализации метода оказался весьма удачным. Оксидное тензочувствительное покрытие можно получить непосредственно на поверхности детали, если она изготовлена из алюминия и его сплавов. Другой способ заключается в нанесении слоя алюминия на поверхность детали с последующим его оксидированием. Однако, наиболее универсальным является третий, упомянутый выше способ, в соответствии с которым на поверхность детали наклеивается предварительно оксидированная алюминиевая фольга. Тензочувствительность такого покрытия, полученного при соблюдении технологических условий оксидирования алюминия, равна  $\varepsilon_0 = 6 \times 10^{-4} - 8 \times 10^{-4}$ , что соответствует постоянной покрытия по напряжениям для стали.

Метод хрупких тензочувствительных покрытий может считаться одним из самых простых и наглядных методов исследования напряженно-деформированного состояния поверхности нагруженных деталей. Вместе с тем, простота реализации характерна лишь для покрытий на канифольной основе, а они хорошо демонстрируют только качественную картину распределения деформаций. Получение количественных характеристик напряженно-деформированного состояния требует очень тщательного нанесения слоя лака и последующей тарировки, либо использования покрытия из эмали или оксидного. В этом случае говорить о простоте метода уже нельзя.

Метод хрупких тензочувствительных покрытий, как правило, используется в сочетании с другими, более точными экспериментальными методами. Определяются лишь зоны концентрации напряжений и направления главных напряжений. Количественные характеристики напряженно-деформированного состояния могут быть определены другими методами, например, методом электротензометрии.

					15.03.05.2017.001.00 ПЗ	Лист
						37
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		

### 1.2.2.2 Поляризационно-оптический метод (метод фотоупругости)

Этот метод позволяет получить непрерывную картину распределения напряжения на поверхности испытываемой детали. Поэтому он особенно пригоден для нахождения слабых мест, концентраций напряжений или сложных эпюр напряжения в деталях со сложной конфигурацией, а также и для обнаружения бороздок или трещин и для наблюдения за процессами роста трещин или разрыва. Метод пригоден для исследования статических и периодических динамических процессов.

Наряду с хорошей видимостью распределения напряжений на больших поверхностях имеется также возможность проведения исследований на натуральных элементах конструкций, что часто обеспечивает особые преимущества. Испытуемый объект должен быть доступным наблюдателю, и его поверхность располагается перпендикулярно приборам наблюдения и освещения. Так как фотоупругость смол, начиная с 30°C, очень сильно меняется, то применение этого метода в основном ограничивается комнатной температурой.

Расшифровка результатов испытания проста, поскольку достаточно изучить главные касательные напряжения и направления главных напряжений. Главные напряжения могут быть определены только по точкам. Для наблюдения требуется отражательный полярископ. Обычно при очень слабых эффектах фотоупругости требуется применение компенсатора (компенсатора Бабинета). Однако и он при упругих деформациях в металлических деталях позволяет получить только умеренную точность. Возможна фотографическая регистрация эффекта фотоупругости. Наряду с этим можно найденные с помощью компенсатора Бабинета порядковые числа и их средние значения через связанный с компенсатором индикатор преобразовывать в цифровые величины и регистрировать с использованием печатающего устройства. Наблюдатель должен быть знаком с основами теории фотоупругости и иметь соответствующий опыт. Поэтому часто отказываются от количественной оценки результатов испытания и вместо этого ограничиваются обнаружением критических мест, которые затем

					15.03.05.2017.001.00 ПЗ	Лист
						38
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		



исследуются при помощи тензорезисторов. Это рекомендуется также, если требуется регистрация или накопление измеренных значений.

### 1.3 Методы измерения температуры

Выбор метода измерения температуры зависит от диапазона измеряемых температур, требуемой точности, быстродействия и допустимой величины входного теплового сопротивления измерительного устройства, т.е. его входной теплоемкости.

В диапазоне низких и средних температур используются в основном контактные методы измерения, при этом используются термометры сопротивления и термоэлектрические преобразователи (термопары). В терморезисторных преобразователях используется свойство проводников или полупроводников изменять свое сопротивление при изменении их температуры. В термометрах сопротивления обычно используют в качестве проводников медь или платину. Преимуществом медных термометров сопротивления является линейная зависимость их сопротивления от температуры:  $R=R_0(1+0,004\Delta T)$ , где  $R_0$  - сопротивление при  $293^\circ \text{K}$ . Чувствительность такого ПИП  $0,004R_0\text{K}^{-1}$ , а относительная чувствительность  $0,004\text{K}^{-1}$ . Недостатком медных термометров сопротивления является узкий температурный диапазон (220-400K). С целью расширения этого диапазона применяют платиновые термометры сопротивления. Их использование возможно до 1400K. Однако, зависимость их сопротивления от температуры имеет нелинейный характер, что является их недостатком.

Значительно более высокие температуры позволяют измерять термоэлектрические преобразователи – термопары. Верхняя граница их диапазона достигает 2300K. Недостатки – высокая инерционность и очень низкий коэффициент полезного действия.

Бесконтактные методы измерения температуры основаны на использовании энергии излучения нагретых тел. Приборы для измерения температуры, основанные на использовании энергии нагретых тел, называют пирометрами,

					15.03.05.2017.001.00 ПЗ	Лист
						39
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		

которые делятся на яркостные, радиационные и цветные. Яркостные пирометры основаны на измерении спектральной интенсивности излучения. Они измеряют не действительную температуру реальных тел, а яркостную, т.е. такую температуру, которую бы имело абсолютно черное тело при той же спектральной интенсивности излучения. В результате этого возникает погрешность измерения, которая может быть рассчитана по формуле:

Радиационные пирометры измеряют температуру по плотности интегрального излучения. Они измеряют не действительную температуру, а радиационную ТР. Погрешность измерения определяется по формуле:

Цветовые пирометры основаны на измерении так называемой цветовой температуры ТЦ определяемой по отношению интенсивности спектрального излучения абсолютно черного тела на двух каких-либо выбранных длинах волн.

В качестве приемников излучения при радиационных методах наибольшее распространение получили оптоэлектрические преобразователи.

При измерении низких температур применяются пироэлектрические преобразователи. Их особенность – реагирование не на излучение, а на его изменение.

Основным преимуществом фотоэлектрических и пироэлектрических преобразователей излучений является их малая инерционность ( $\tau=10^{-5}-10^{-3}$  с). Это позволило на их основе построить тепловизоры, дающая возможность на экране увидеть цветное изображение исследуемой поверхности, цвет которой характеризует ее температуру.

Рассмотренные методы не позволяют проводить измерения температур, близких к абсолютному нулю, а также температур внутри твердых тел, не нарушая их целостности. Такими возможностями располагает термошумовой метод, основанный на том, что во всяком теле вследствие флуктуаций электрических элементарных зарядов возникает разность потенциалов.

В качестве термопреобразователя используется проволочный резистор, на котором измеряют шумовое напряжение, мощность или ток, создаваемые им во внешней цепи.

					15.03.05.2017.001.00 ПЗ	Лист
						40
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		

Широкое применение находят в датчиках температуры термодиоды и термотранзисторы, работающие в диапазоне температур от  $-80$  до  $+150^{\circ}\text{C}$ . Их преимуществами являются малые габариты, возможность взаимозаменяемости, дешевизна.

В последнее время для измерения температур от  $-80$  до  $+250^{\circ}\text{C}$  все более широкое распространение находят кварцевые термопреобразователи, отличающиеся высокой разрешающей способностью и имеющие частотный выход. В кварцевом термопреобразователе используется зависимость собственной частоты кварцевого элемента от температуры. Высокая чувствительность (до  $103$  Гц/К), высокая временная стабильность ( $0,02\text{K}$  за год) и определяет перспективность их использования в цифровых термометрах.

Для того, чтобы измерять температуру с помощью термопреобразователя сопротивления, необходимо преобразовать сопротивление в электрический ток. С этой целью чаще всего используются логометры, шкала которых непосредственно отградуированная в  $^{\circ}\text{C}$ .

Для измерения температуры с помощью термоэлектрического преобразователя используется либо милливольтметр типа Щ 4500, либо автоматические электронные потенциометры типа КСП-4, а также тензоусилители типа "ТОПАЗ", различных модификаций.

					15.03.05.2017.001.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		41

## 2 ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ РАЗДЕЛ

Разработанная в ЮУрГУ технология гибки тонкостенных труб с раскатыванием устраняет перечисленные недостатки. Данный метод заключается в следующем. При вращении раскатника, заведённого в трубу с достаточно большим натягом, в каждой точке кольцевой зоны раскатывания возникает знакопеременный изгиб, при котором изгибные напряжения кратковременно достигают предела текучести  $\sigma_T$ . В результате при приложении относительно небольшого изгибающего усилия происходит гибка в перемещающейся кольцевой зоне раскатывания.

При гибке труб с раскатыванием происходит удлинение внешней стенки трубы, укорачивание внутренней стенки и изменение длины боковой стенки. Это приводит к изменению толщины трубы.

### 2.1 Оборудование для гибки труб

На рисунке 2.1 изображён станок для гибки коррозионностойких труб  $\phi 30 - 45$ мм, который использовался в ходе эксперимента.

Станок устроен следующим образом. На сварной корпус 1 станка в соответствии с рисунком 2.2 установлен шпиндельный узел 2 со шпинделем 6, ременной передачей 14 и борштангой 3. На конце борштанги 3 закреплён раскатник 4. В качестве привода главного движения использован электродвигатель М1 – 5. Вращение от электродвигателя М1 – 5 через ременную передачу 14 передается борштанге 3 и раскатнику 4. На борштангу 3 устанавливается изгибаемая труба, для захвата которой имеется прижимная планка 10. Изгибаемое усилие передается через двигатель М2 – 7 привода подачи, через ременную передачу 8, редуктор 11 для снижения частоты вращения привода подачи и муфту 12, при помощи червячной передачи, которая находится в коробке передач 13, вращение сообщается гибочному ролику 9, а по его шаблону происходит изгиб трубы.

					15.03.05.2017.001.00 ПЗ	Лист
						42
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		



Рисунок 2.1 – Установка для гибки мелкокоротких труб с раскатыванием

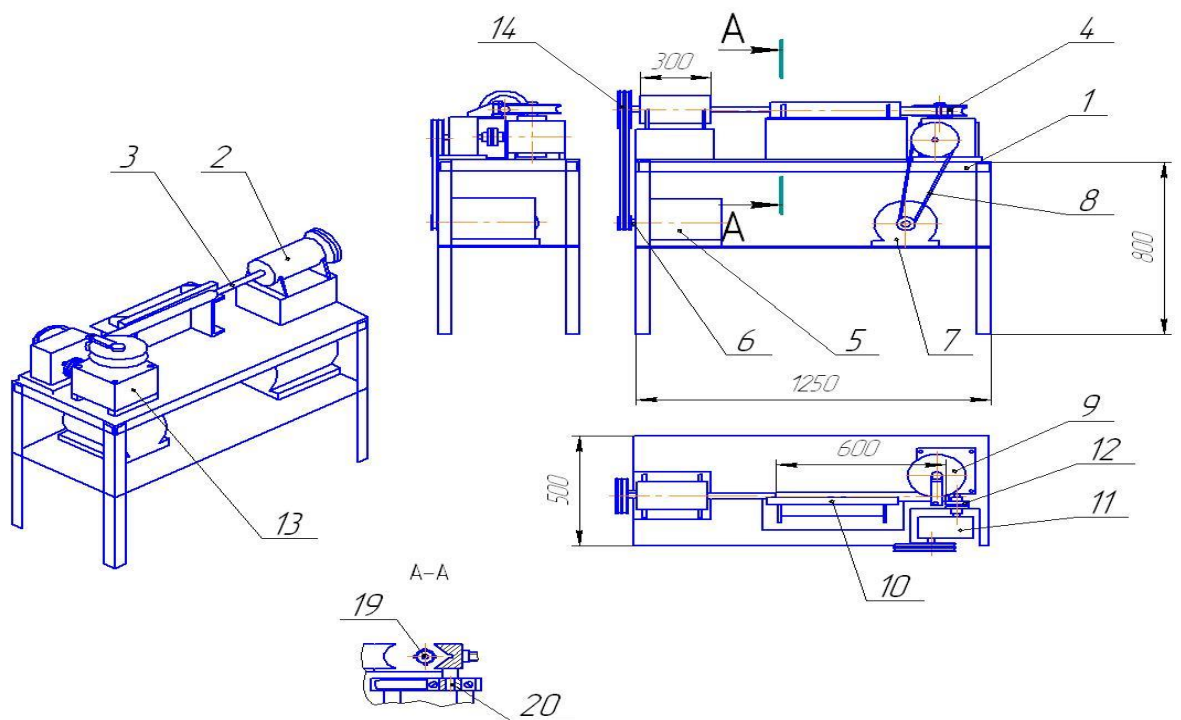


Рисунок 2.2 – Схема установки для гибки мелкокоротких труб с раскатыванием

Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата

15.03.05.2017.001.00 ПЗ

На рисунке 2.3 изображён раскатник 4, который содержит деформирующий элемент раскатки шарики 15. Для различных диаметров труб использовались шарики различных диаметров, шарики установлены в сепараторе 16, который ограничивает их перемещение в окружном направлении, сохраняя неизменным угловое расположение шариков друг относительно друга при вращении инструмента, опорой для шариков служат передний конус 17 и задний конус 18, установка раскатника на необходимый диаметр осуществляется поворотом винта 19, который закреплен с помощью штифта 20, в результате чего шарики перемещаются в радиальном направлении.

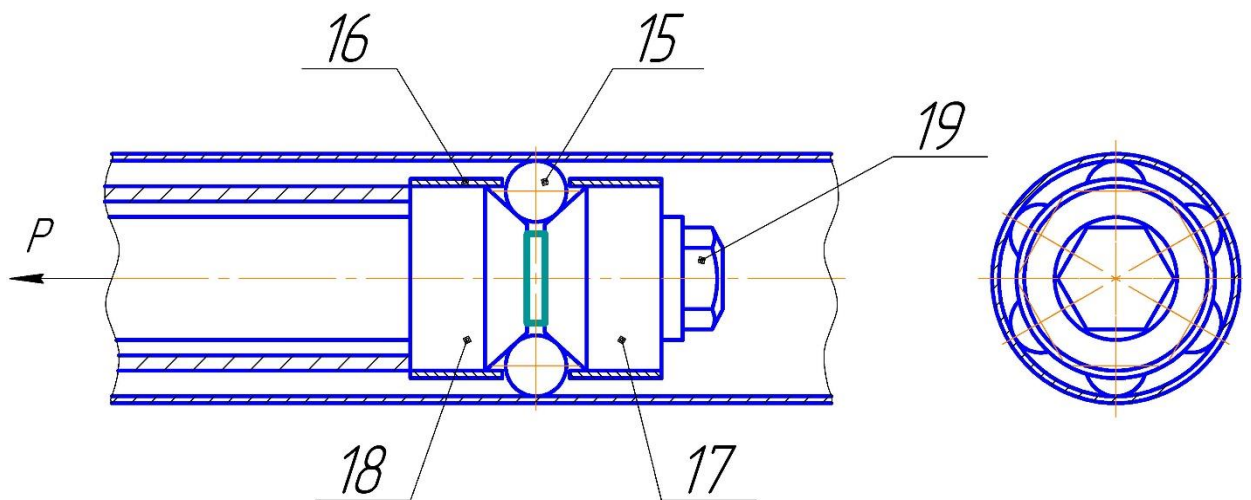


Рисунок 2.3 – Раскатной инструмент

					15.03.05.2017.001.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		44

## 2.2 Методика проведения эксперимента

1. Заготовка: труба 12Х18Н9 42,5×2,25×1400 ГОСТ 9941-81
2. Инструмент: шариковый раскатник с N-деформирующими элементами
3. Оборудование: станок для гибки коррозионностойких труб ф30 – 45
4. Угол изгиба трубы: 90°
5. Способ гибки: наматывание трубы на ролик-шаблон
6. Радиус гiba: 2Ду
7. Осевое расположение раскатного инструмента:  $\tau=9\text{мм}$
8. Режимы гибки: подача 100 мм/мин; натяг 1-2 мм; частота вращения раскатника: 300об/мин

Для экспериментальной оценки степени деформации стенок трубы была воспроизведена, гибка трубы из коррозионностойкой стали – 12Х19Н9 диаметром 42,5 мм и толщиной стенки 2,25 мм, в соответствии с рисунком 2.4 и рисунком 2.5. Гибка осуществлялась на угол 90°. В качестве привода главного движения использовалась электродвигатель мощностью 2,2 кВт с частотой вращения  $n = 940$  об/мин. Частота вращения раскатного инструмента – 490 об/мин. Величина натяга составляла 0,5, 1,0 и 1,5 мм. Частота вращения гибочного ролика: 0,05; 0,10; 0,15 об/мин, что при заданном радиусе гiba (60 мм) соответствовало подачам трубы: 40, 80, 120 мм/мин соответственно. В качестве деформирующего элемента использовались шарики раскатника диаметром 14,1 мм. Была осуществлена, гибка на угол 90°, с радиусом гiba 60 мм. Наблюдалось образование гофр, овальность – в пределах 8%.

На трубу перед гибкой была нанесена сетка с интервалом между рисками 5 мм. После гiba трубы в соответствии с рисунком 2.6 было подсчитано число интервалов между рисками, участвовавших вгibe. Измерения проводились электронным штангенциркулем с точностью до 0,05. Далее были измерены величины интервалов. В результате проведённых исследований были получены

					15.03.05.2017.001.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		45

графические зависимости, по которым можно судить о характере удлинения и укорачивания стенок трубы в различных местахгиба.

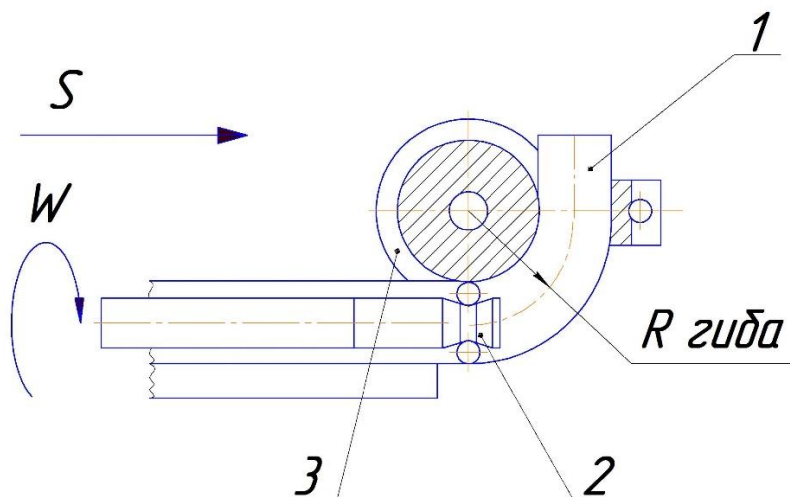


Рисунок 2.4 – Схема гибки труб с раскатыванием: 1 – труба; 2 – шариковый раскатник; 3 – гибочный ролик

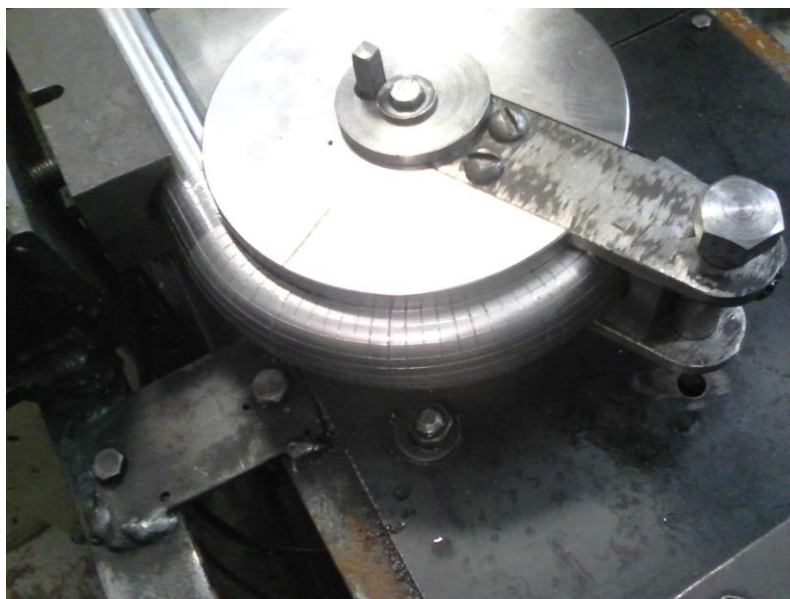


Рисунок 2.5 – Труба ввремя гибки



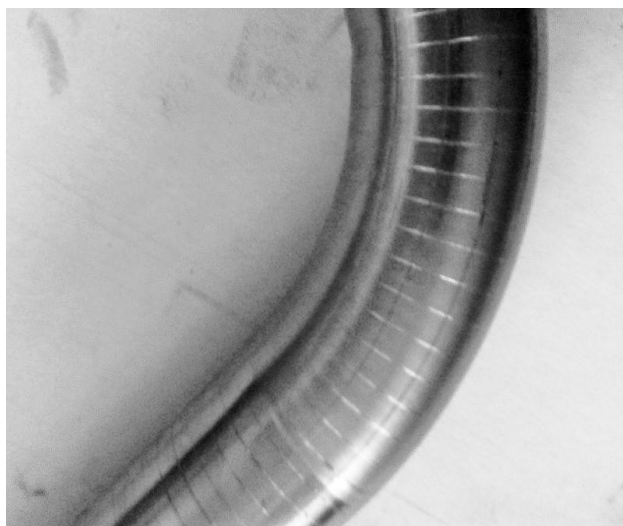


Рисунок 2.6 – Образец размеченной трубы послегиба

### 2.3 Графики изменения длин интервалов

В соответствии с рисунком 2.7 были проведены замеры изменений абсолютных величин длин интервалов в пяти позициях.

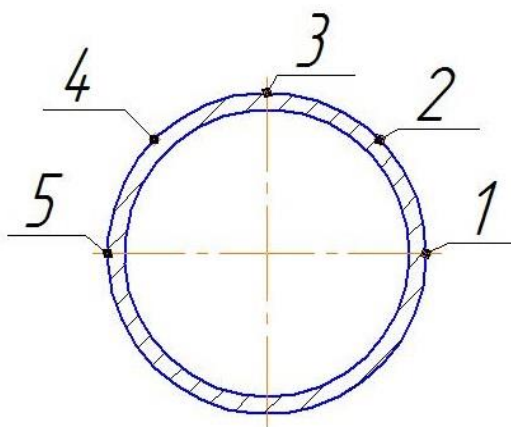


Рисунок 2.7 – Схема позиций

Для общей оценки деформаций при гибке труб с раскатыванием, в соответствии с рисунками 2.8 – 2.12, были построены графики изменения длин интервалов на разных участках трубы.

					15.03.05.2017.001.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		47

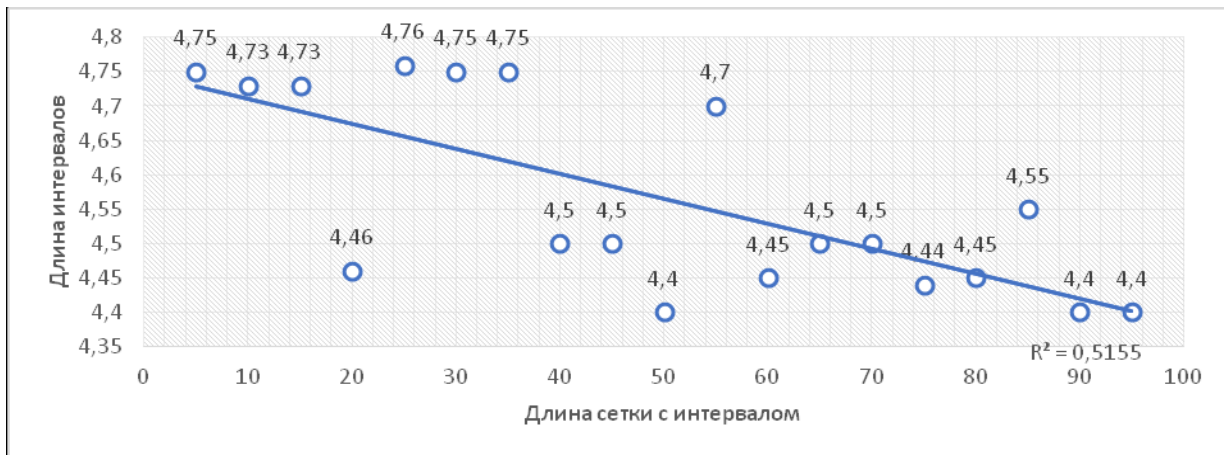


Рисунок 2.8 – График изменения длин интервалов (позиция 1)

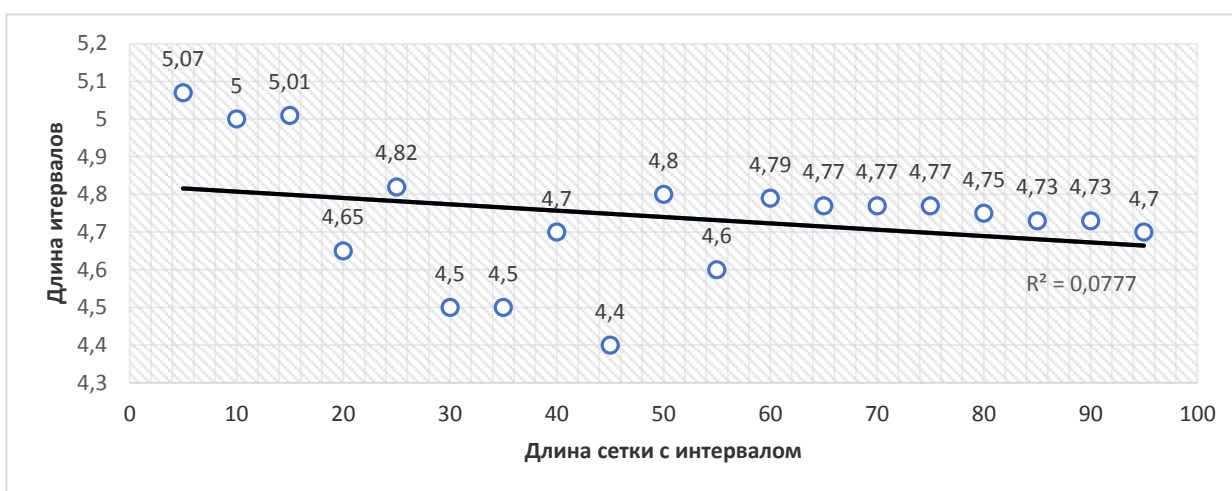


Рисунок 2.9 – График изменения длин интервалов (позиция 2)

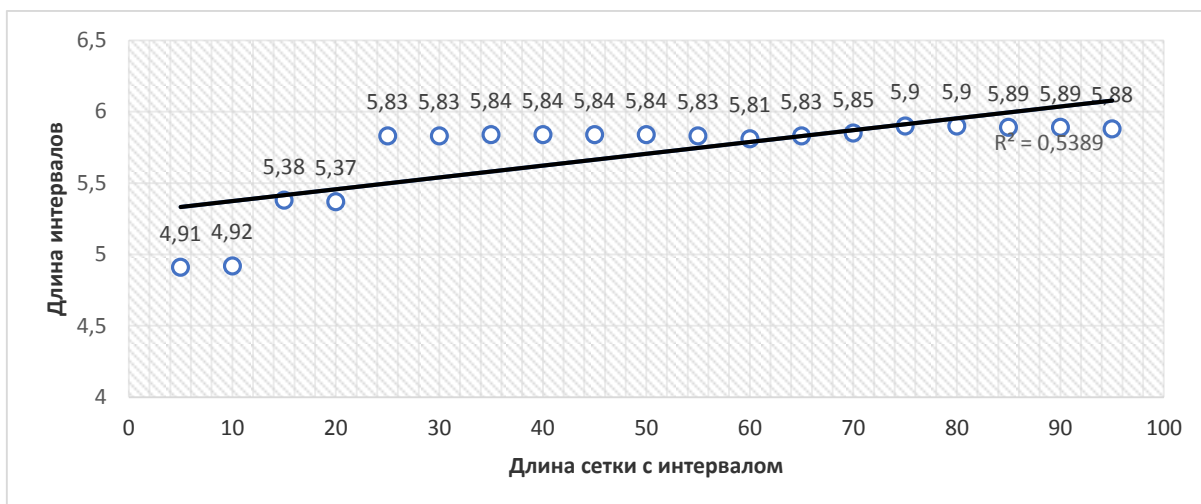


Рисунок 2.10 – График изменения длин интервалов (позиция 3)

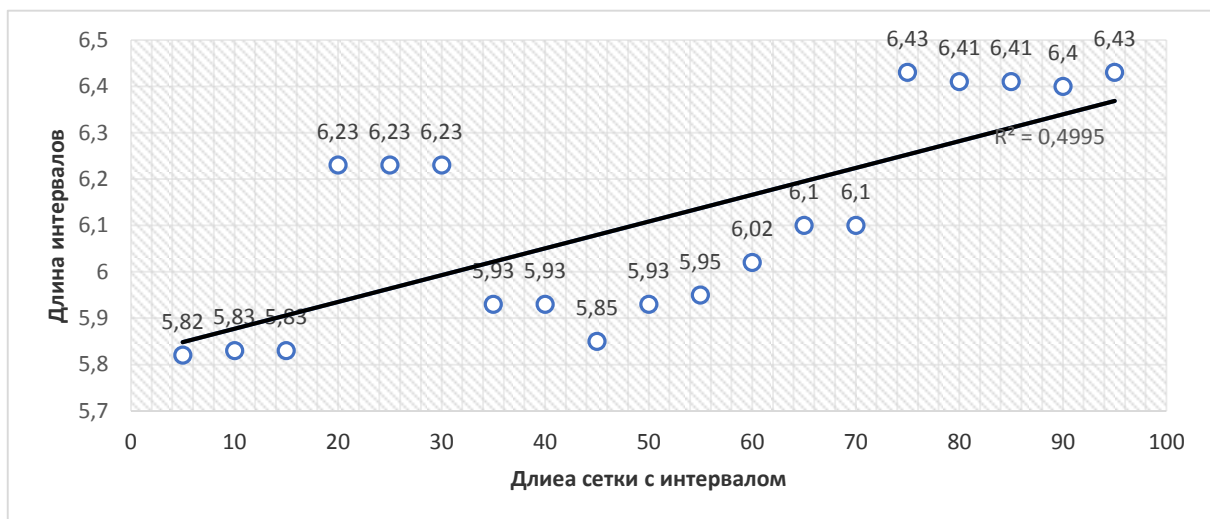


Рисунок 2.11 – График изменения длин интервалов (позиция 4)

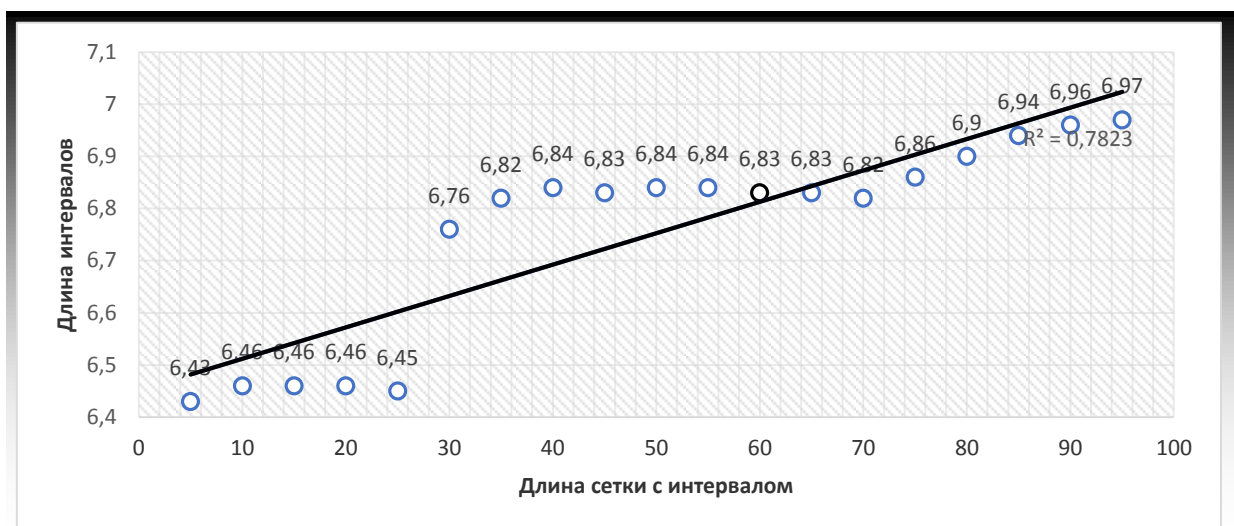


Рисунок 2.12– График изменения длин интервалов (позиция 5)

Из графиков видим, что по внешней линии трубы, в соответствии с рисунком 2.12, величины интервалов между рисками постепенно увеличиваются от начала до концагиба, где они являются максимальными. На боковой стенке в соответствии с рисунком 2.10, также происходит удлинение интервалов такого же характера, но оно менее выраженное. На внутренней же стенке в соответствии с рисунком 2.8, исследуемой трубы напротив происходит сужение интервалов между рисками от началагиба до середины, где они являются минимальными, а далее, до конца,гиба происходит постепенное увеличение интервалов.

## 2.4 Графики изменения температуры при разных натягах

На рисунках 2.13 – 2.15 изображены графики изменения температуры при натягах в 1мм, 1,25мм и 1,75мм соответственно.

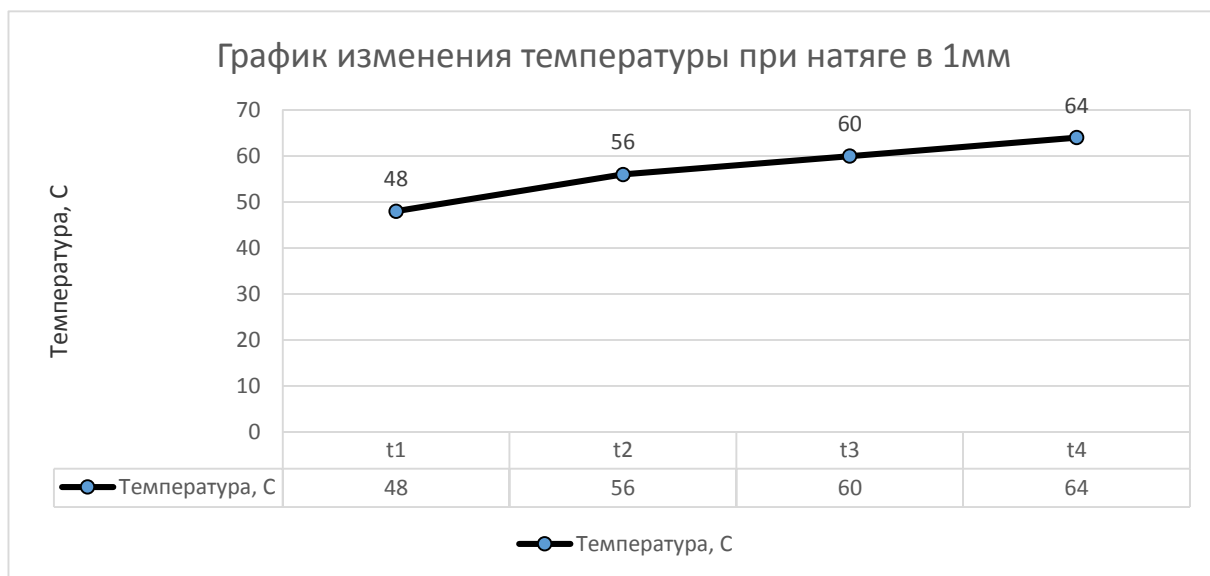


Рисунок 2.13 График изменения температуры при натяге в 1 мм

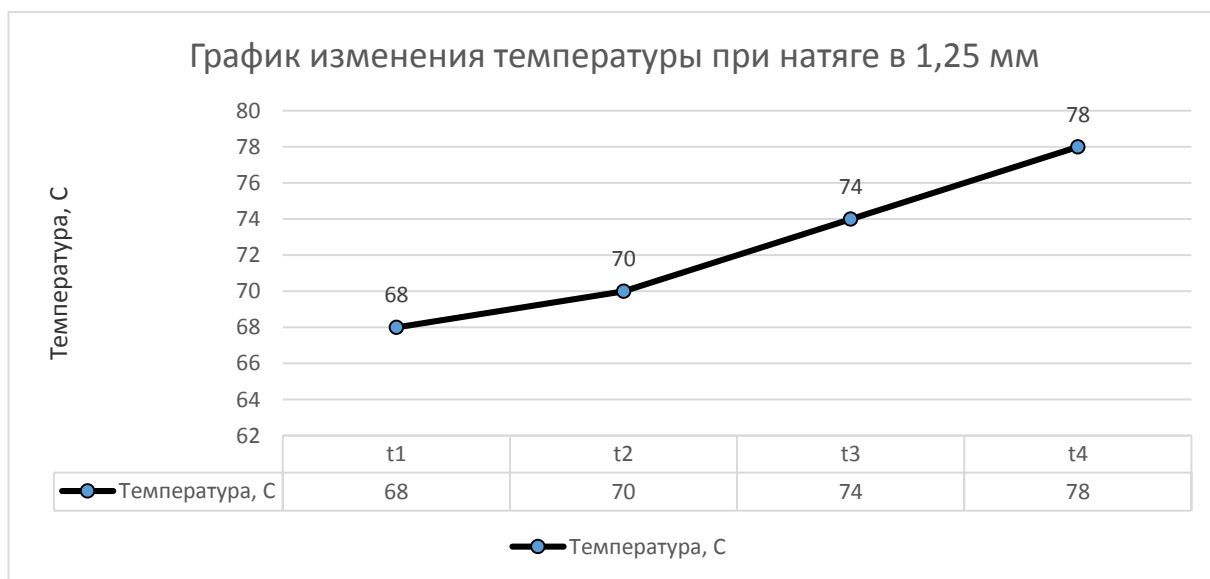


Рисунок 2.14 График изменения температуры при натяге в 1,25 мм

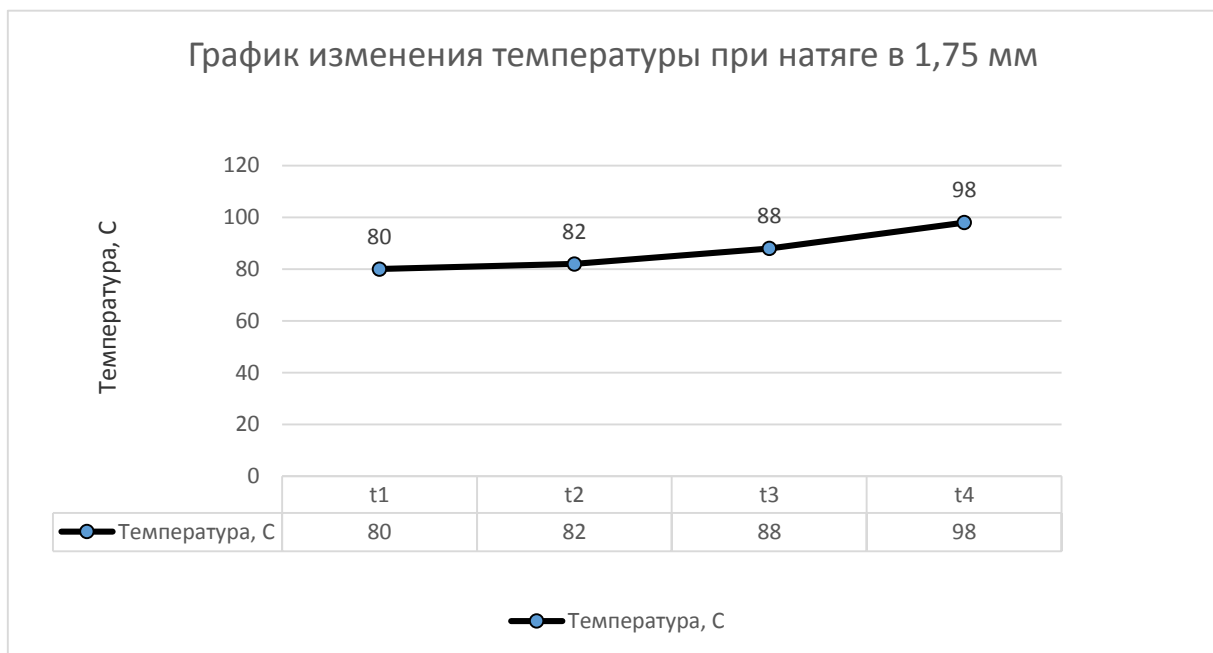


Рисунок 2.15 График изменения температуры при натяге в 1,75 мм

Из графиков видна зависимость изменения температуры от натяга. При увеличении натяга происходит увеличение температуры.

### 2.5 Оценка овальности трубы

В (ГОСТ 17380-72 — Детали трубопроводов из углеродистой стали бесшовные приварные от 0,1 до 10 МПа. Общие технические требования) установлены минимально допустимые радиусы изгиба стальных труб независимо от способа, но при соблюдении следующих условий овальность сечения в местегиба не должна превышать для труб диаметром 15—19 мм — 15%, для труб и отводов диаметром 200 мм и более — 12,5%.

Допускаемая овальность на трубах в местах изгибов не должна превышать 8%, а волнистость — 3% номинального диаметра трубы.

Овальность труб в местах изгиба допускается не больше чем на 10% от их диаметра.

Радиус изгиба труб для трубопроводов пара и горячей воды, подконтрольных Госгортехнадзору СССР, независимо от способа гибки должен

быть не менее 3,5 н. Допускаются меньшие радиусы изгиба (но не менее  $O_v$ ) при условии их изготовления на специализированном оборудовании, обеспечивающем в местах изгиба утонение стенки (по наружной образующей отвода), овальность и волнистость в пределах допускаемых отклонений, предусмотренных стандартами, нормами или техническими условиями на изготовление гнутых деталей трубопроводов.

Овальность в местах изгиба труб контролируется пропуском шара.

Предельная овальность в местах изгиба труб не должна превышать 15% номинального наружного диаметра. Допускаются плавные гофры в зоне радиуса изгиба. Минимальное расстояние от сварного шва до начала изгиба должно быть равно пятикратной толщине стенки трубы, но не менее 25 мм. Трубы, согнутые с применением наполнителя, должны быть тщательно очищены изнутри и продуты. Импульсные трубки после прокладки следует продувать для проверки их проходимости.

Окончательную сварку и пайку трубопровода следует проводить после подгонки его к местам присоединения. Трубопроводы не должны соприкасаться. Не допускается располагать опоры для крепления трубопроводов под сварными стыками. При соединении труб с аппаратами и арматурой необходимо исключить возможность попадания грязи, шлака, припоя внутрь аппаратов и арматуры.

Овальность трубы в месте ее изгиба вызывает повышение внутреннего напряжения металла, в результате которого образуются трещины.

При обвязке компрессоров приходится гнуть трубы высокого давления из легированных металлов. Отводы из легированных труб не поставляют в централизованном порядке — их изготавливают на месте в процессе монтажа. Размеры гнутых участков снимают на месте с помощью шаблонов из проволоки диаметром 2—3 мм. Трубы изгибают с помощью различных приспособлений и механизмов толстостенные трубы диаметром до 15 мм — ручными трубогибами, трубы диаметром до 127 мм — холодным способом на переносных трубогибочных станках с электрическим приводом, трубы диаметром до 159 мм и толщиной стенки до 10 мм — на стационарных трубогибах,

					15.03.05.2017.001.00 ПЗ	Лист
						52
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		

трубы до 377 мм — горячим способом с набивкой труб сухим песком и подогревом токами высокой частоты, в печи или горне с помощью специальных упоров, забетонированных в земле. После горячей гибки всех труб и холодной гибки труб диаметром более 89 мм проводят нормализацию гнутых участков. Допускаемый радиус гiba при холодном способе не менее  $4 O$ , при горячем способе не меньше  $3,5 O$ , где  $O$  — наружный диаметр трубы. Допускаемое сплющивание (овальность) труб при гибке не более 10%.

При гибке труб на трубогибочных станках, работающих по способу наматывания, для уменьшения овальности и предотвращения гофров применяют гибкие или ложкообразные дорны. Дорн крепится к дорнодержателю, который служит для удержания дорна в очаге деформации трубы в процессе ее изгиба и для удаления дорна из трубы по окончании гибки. Наличие гибкого или ложкообразного дорна в очаге деформации трубы приводит к значительному увеличению изгибающего момента так как, кроме усилия для пластического изгиба трубы, необходимо преодолевать силы трения трубы по дорну. В связи с этим требуются большие усилия для прижима изгибаемой трубы к гибочному ролику. Однако конструкции прижимных устройств трубогибочных станков не обеспечивают необходимого усилия прижима труб при изгибе их на малые радиусы. Как правило, изгибаемая на малый радиус труба проскальзывает в месте крепления ее к гибочному ролику.

Недопустимо большая овальность трубы в месте изгиба  
Мал радиус изгиба  
Оправка отодвинута назад  
Большой износ ручья гибочного сектора  
Заменить гибочный ролик  
Установить правильно справку  
Заменить ролик или наплавить канавку ролика и вновь ее обточить по требуемому диаметру.

При гнутье сварных труб с продольным швом шов должен располагаться по оси с минимальной деформацией. Овальность сечений в местах изгиба, определяемая как отношение разности между наибольшими и наименьшими наружными диаметрами, к номинальному наружному диаметру и должна быть менее 0,1.

					15.03.05.2017.001.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		53

Овальность сечения в месте изгиба не должна превышать для труб диаметром до 19 мм — 15%, диаметром 20 мм и более — 12,5%.

При любых методах гибки рекомендуется применять трубы с плюсовыми допусками по толщине стенок для компенсации утонения стенок (на затылке) при изгибе. Утонение стенок труб не должно превышать 15% фактической их толщины. Овальность труб в месте изгиба не должна быть более 10% и может быть определена из выражения.

Овальность трубы в местегиба и утонение ее стенки в значительной мере определяются радиусомгиба, а также применяемым способом изгиба. Утонение стенки приводит к ослаблению трубы, а из-за искажения формы поперечного сечения трубы в местегиба под действием внутреннего давления возникают дополнительные нагибные напряжения. Все это обуславливает необходимость при проектировании гибов трубопроводов принимать увеличенные прибавки к расчетной толщине стенки.

Гнутьем труб называется технологический процесс, в результате которого под действием внешних нагрузок изменяется наклон геометрической оси трубы. При этом в металле стенок трубы возникают упругие и упругопластические деформации.

На внешней части погиба возникают растягивающие напряжения, а на внутренней – сжимающие. В результате этих напряжений наружная по отношению к оси изгиба стенка трубы растягивается, а внутренняя сжимается. В трубы происходит формы поперечного сечения — начальный кольцевой профиль трубы переходит в овальный. Наибольшая овальность сечения наблюдается в центральной части погиба и уменьшается к началу и концу погиба. Это объясняется тем, что наибольшие растягивающие и сжимающие напряжения при гнутье, приходятся на часть погиба. Овальность сечения в месте изгиба не должна превышать для труб диаметром до 19 мм — 15%, для труб диаметром 20 мм более — 12,5%. Овальность сечения  $Q$  в процентах определяют по формуле.

Недостаток гибки труб в холодном состоянии — овальность сечения в месте изгиба, возможность образования складок, ограничение радиусов изгиба,

					15.03.05.2017.001.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		54



необходимость большого количества сменной оснастки и затраты значительного вспомогательного времени на переоснастку станков.

Уменьшение толщины стенки в изгибе трубы допускается не более 15%, а овальность — не более 12%. Места лишнего нагрева или места достаточного изгиба охлаждают водой. По окончании изгиба нагрева участок трубы сразу покрывают слоем мазута или масла для защиты его поверхности от коррозии.

Отводы, колена и двойники для изменения направления трубопровода выполняют из крутоизогнутых элементов, сварными из секторов или гладким гнутьем. Последний способ особенно легко осуществить при монтаже трубопровода диаметром менее 40 мм. Гладкогнутые отводы предусматриваются проектом в тех случаях, когда преследуется цель максимального сокращения местных гидравлических сопротивлений. Их изготавливают из бесшовных труб на трубогибочных станках различных типов. Трубы диаметром до 100 мм при гнутье не нагревают. Изготовление же отводов диаметром свыше 100 мм производят с нагревом токами высокой частоты или открытым пламенем. Изгибаемую трубу при этом предварительно плотно набивают песком, чтобы предотвратить образование в местах изгиба складок (гармошки) или овальности сечения (сплющивания).

Для гибки трубы необходимо предварительно плотно набить мелким чистым песком, нагретым до 60—70°C. В местах изгиба трубу следует нагреть на участке длиной, равной 4—5 диаметрам трубы. Радиусы гибов принимаются равными (3—5)n трубы, а овальность в местах гибов допускается не более 10% от труб. Нагретые трубы следует гнуть очень плавно и без рывков.

Независимо от способа гнутья места изгиба трубы должны быть тщательно очищены и осмотрены с помощью лупы с 5—10-кратным увеличением, а также проверены способом магнитной порошковой дефектоскопии. Внутреннюю поверхность в доступных местах проверяют прибором РВП-456. При радиусах изгиба труб менее 5 Ds овальность допускается в пределах 5%, а при радиусах более 5 n — в зависимости от диаметра, но не более 5%. Волнистость (гофры) в местах гнута не допускаются. Толщина стенки изогнутой трубы должна составлять

					15.03.05.2017.001.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		55

не менее 90% от номинальной толщины с учетом минусового отклонения. При обнаружении на поверхности трубы надрывов, мелких трещин и других дефектов трубы бракуют. Принятую после внешнего осмотра изогнутую трубу подвергают повторному гидравлическому испытанию по режиму для прямых труб. Изогнутые трубы, передаваемые для монтажа, должны быть снабжены соответствующей документацией.

Перед гибкой местагиба размечаются по шаблону мелом. Для предотвращения разрыва футерующего слоя минимальный радиус изгиба принимается равным не менее пяти наружных диаметров трубы. Овальность при изгибе не должна превышать 8% величины наружного диаметра трубы.

Величина натяжения раскатника внутри трубы, является основным параметром в данной технологии, от которого зависит качествогнутой трубы.

Была проведена оценка овальности трубы послегиба, которая приведена в таблице 1.

Таблица 2.1 – Оценка овальности

	Натяг 1мм	Натяг 1,5мм	Натяг 2мм
D1(0°)	42,5	44,42	41,45
D2(90°)	42,3	41,13	43
D3(45°)	43,2	43,5	43,2
D4(-45°)	42,2	44,2	42,8
a,%	2,34	7,69	4,12

На рисунке 2.16 изображён график изменения диаметра трубы. Из графика видим, что наибольшее изменение диаметра трубы происходит при натяге в 1,5 мм.

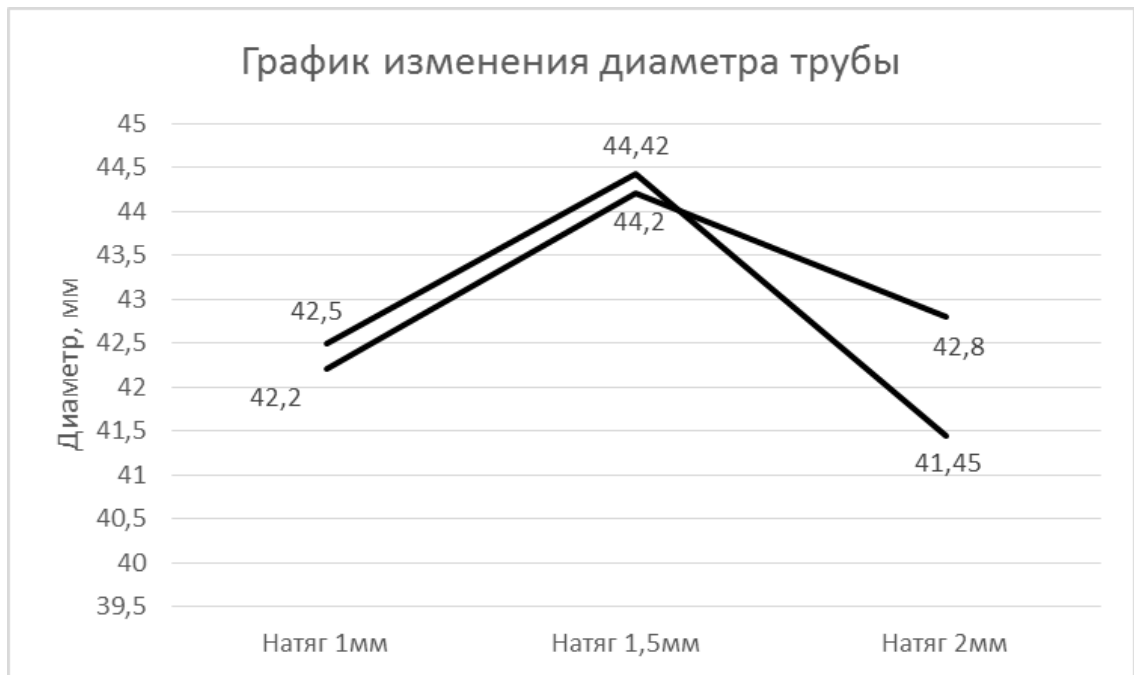


Рисунок 2.16 График изменения диаметра трубы

### 3 БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

#### 3.1 Техника безопасности при работе на трубогибном станке

Основными элементами лабораторной установки являются обкатная головка, изгибающий ролик, гидро- или пневмосистема, система подачи СОЖ и электродвигатель. Вращение обкатной головки от двигателя передает шпиндель через систему зубчатых передач. Изгибающий момент создается изгибающим роликом. Крутящий момент на ролик передается от электродвигателя через цилиндрический редуктор либо с помощью гидросистемы. Шпиндельный узел снабжен механизмом регулирования натяга и узлом подвода охлаждающей жидкости.

К выполнению работ следует приступать только после прохождения инструктажа на рабочем месте и после предварительной настройки станка: выставления нужного натяга, включение вращения обкатника и привода гибочного ролика, включения подачи охлаждающей жидкости [12].

Согласно (ГОСТ 12.2.009-80 Станки металлообрабатывающие. Общие требования безопасности) существуют определенные требования к станкам: подвижные сборочные единицы и ограждающие устройства должны быть окрашены в сигнальные цвета; органы управления должны быть снабжены надежными фиксаторами, исключающими самопроизвольное их перемещение и включение; необходимо также снабжение органов управления поясняющими символами и надписями.

Электронасыщенность лаборатории формирует электрическую опасность, источником которой могут быть электрические сети, электрифицированное оборудование и инструмент. В связи с этим для обеспечения электробезопасности в первую очередь необходимо проверить защитное заземление оборудования согласно ПУЭ (Правила устройства электроустановок) нормируемое сопротивление защитного заземления для контура с изолированной нейтралью должно составлять 4 Ом. Проверка заземляющей сети специалистами производится

					15.03.05.2017.001.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		58

периодически в соответствии с ПУЭ. Рабочий, обслуживающий установку, должен следить за тем, чтобы заземляющая шина всегда была присоединена к станку в предусмотренном для этого месте. При обнаружении случайного отрыва заземляющей шины станочник должен выключить станок и немедленно сообщить об этом зав. лабораториями. Исследования проводить только на исправном оборудовании, проверить наличие, исправность и прочность крепления ограждений для защиты от поражения током, предусмотреть наличие резиновых ковров, инструмента с изолирующими рукоятками. Немаловажную роль играет профессиональная подготовка работника и трудовая дисциплина.

Процесс гибки труб неизбежно связан с появлением в лаборатории шума, вибрации, пыли, разбрызгивание смазочно-охлаждающей жидкости и т.п., в связи с этим необходимо предусмотреть ряд мер.

Во избежание разбрызгивания и попадания на одежду СОЖ и масла необходимо наличие специальных ограждений.

Кроме того, должны быть предусмотрены технические средства защиты от вибрации, такие как вибропоглотители (вибродемпфирование) – процесс уменьшения вибрации путем превращения энергии механических колебаний в другие виды энергии (использование конструкционных материалов с большим коэффициентом трения (пластмасса для корпусов, резина для рукояток), нанесение на вибрирующие поверхности упруго-вязких поверхностей); виброгашение – осуществляется путем установки оборудования на фундамент (масса фундамента рассчитывается, чтобы амплитуда колебаний подошвы не повышала 0,1 – 0,2 мм).

### 3.2 Оценка условий труда на установке «Трубогиб»

Условия труда на установке «Трубогиб» относятся к допустимым условиям 2-го класса. Процесс гибки труб неизбежно связан с появлением в лаборатории шума, вибрации, пыли, разбрызгивание СОЖ и т.п., в связи с были предусмотрены различные меры.

					15.03.05.2017.001.00 ПЗ	Лист
						59
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		

### 3.2.1 Физические факторы

#### 3.2.1.1 Запыленность воздуха рабочей зоны

Средства индивидуальной защиты выбирают от вида загрязняющего вещества и концентрации. Для защиты органов дыхания – фильтрующие и изолирующие приборы: респираторы.

#### 3.2.1.2 Вибрация

Влияние вибрации на организм человека: общая вибрация воздействует на весь организм, приложена к опорным поверхностям тела человека в положении стоя или сидя; местная вибрация воздействует на отдельные части тела, работающего непосредственно соприкасаясь с источником вибрации – вызывает спазмы сосудов (пальцы, вся кисть, предплечье, сосуды сердца), одновременно воздействует на нервные окончания, мышечные и костные ткани, что приводит к деформации сустава, уменьшению чувствительности кожи.

Средства индивидуальной защиты от вибрации, выбираются в соответствии с (ГОСТ 12.4.002-97 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Средства защиты рук от вибрации. Технические требования и методы испытаний) общие технические требования к защите рук от вибрации: рукавицы с упругодемпфирующими вкладышами, с мягкими наладонниками; (ГОСТ 12.4.002-97 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Средства защиты рук от вибрации. Технические требования и методы испытаний). Требования на специальную виброзащитную обувь: обувь из кожи, синтетики, текстильных материалов с амортизирующей подошвой. Также предусматриваются резиновые коврики, инструмент с изолирующими рукоятками.

Кроме того, предусмотрены технические средства защиты от вибрации, такие как: вибропоглощение (вибродемпфирование) – процесс уменьшения вибрации

					15.03.05.2017.001.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		60

путем превращения энергии механических колебаний в другие виды энергии (использование конструкционных материалов с большим коэффициентом трения (пластмасса для корпусов, резина для рукояток), нанесение на вибрирующие поверхности упруго – вязких поверхностей); виброгашение – осуществляется путем установки оборудования на фундамент (масса фундамента рассчитана, чтобы амплитуда колебаний подошвы не превышала 0,1 – 0,2 мм).

### 3.2.1.3 Шум

Известно, что шумовое воздействие: угнетает центральную нервную систему; вызывает изменения скорости дыхания и пульса; способствует нарушению обмена веществ и возникновению сердечно – сосудистых заболеваний; значительно ослабляет внимание работающих, следовательно, увеличение ошибок и травм; замедляет скорость реакции (в том числе на принудительные сигналы); все это вызывает профессиональные заболевания: глухоту, тугоухость, шумовую болезнь. С целью снижения шума в лаборатории применили принудительное смазывание трущихся поверхностей, использовали звукопоглощающие облицовки. При работе на установке по гибке труб, уровни шума по ГОСТ должны составлять от 65- 80 дБ.

### 3.2.1.4 Электрический ток

Электронасыщенность лаборатории формирует электрическую опасность, источником которой могут быть электрические сети, электрифицированное оборудование и инструмент. В связи с этим для обеспечения электробезопасности в первую очередь необходимо проверить защитное заземление оборудования (согласно ПУЭ (Правила устройства электроустановок) нормируемое сопротивление защитного заземления для контура с изолированной нейтралью должно составлять 4 Ом). Станочник должен следить за тем, чтобы заземляющая шина всегда была присоединена к станку в предусмотренном для этого месте. При

					15.03.05.2017.001.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		61

обнаружении случайного отрыва заземляющей шины станочник должен выключить станок и немедленно сообщить об этом мастеру. Исследования должны проводиться на исправном оборудовании, проверить наличие, исправность и прочность крепления ограждений для защиты от поражения током, предусмотреть наличие резиновых ковриков, инструмента с изолирующими рукоятками, немаловажную роль играет профессиональная подготовка работника и трудовая дисциплина.

#### 3.2.1.5 Движущиеся части

Согласно (ГОСТ 12.2.009-80 Станки металлообрабатывающие. Общие требования безопасности) выполняется ряд требований к станкам: подвижные сборочные единицы и ограждающие устройства окрашены в сигнальные цвета; органы управления снабжены надежными фиксаторами, исключающими самопроизвольное их перемещение и включение; также снабдили органы управления поясняющими символами и надписями. Также для обеспечения безопасности при работе с «Трубогибом» необходимо следить за состоянием винтов на плавающей головке обкатника. Все движущиеся части установки закрыты кожухами во избежание возникновения опасности получения травм у рабочего.

#### 3.2.2 Биологические и химические факторы

##### 3.2.2.1 Смазочно – охлаждающие жидкости (СОЖ)

Для защиты кожи применяются защитные пасты, мази, перчатки, специальная одежда. Для защиты глаз применяются очки закрытого типа из небьющегося стекла или маски с экраном. Во избежание разбрызгивания и попадания на одежду СОЖ и масла установлены специальные ограждения [12].

#### 3.2.3 Психофизиологические факторы

					15.03.05.2017.001.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		62



### 3.2.3.1 Статические нагрузки

Обеспечено удобное расположение органов управления станка, так же уделено внимание улучшению эргономических свойств оборудования.

## 3.3 Технические средства защиты от вибрации при эксплуатации оборудования

### 3.3.1 Вибрационная безопасность и общие требования (ГОСТ 12.1.012– 90 Система стандартов безопасности труда)

Качественные и количественные критерии и показатели неблагоприятного воздействия вибрации на человека – оператора в процессе труда устанавливаются санитарными нормами, правилами и другими нормативными документами Минздрава Российской Федерации.

В соответствии с ними вводятся следующие критерии оценки неблагоприятного воздействия вибрации:

- критерий "безопасность", обеспечивающий не нарушение здоровья оператора, оцениваемого по объективным показателям с учетом риска возникновения предусмотренных медицинской классификацией профессиональной болезни и патологий, а также исключая возможность возникновения травмоопасных или аварийных ситуаций из-за воздействия вибрации;
- критерий "граница снижения производительности труда", обеспечивающий поддержание нормативной производительности труда оператора, не снижающейся из-за развития усталости под воздействием вибрации;
- критерий "комфорт", обеспечивающий оператору ощущение комфортности условий труда при полном отсутствии мешающего действия вибрации.

Вибрационная безопасность труда должна обеспечиваться:

					15.03.05.2017.001.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		63

– системой технических, технологических и организационных решений и мероприятий по созданию машин и оборудования с низкой вибрационной активностью;

– системой проектных и технологических решений производственных процессов и элементов производственной среды, снижающих вибрационную нагрузку на оператора;

– системой организации труда и профилактических мероприятий на предприятиях, ослабляющих неблагоприятное воздействие вибрации на человека (оператора).

Нормы вибрации машин и оборудования, влияющих на вибрационную безопасность труда, должны быть установлены в НД или другой документации.

Нормы вибрации машин должны обеспечиваться и гарантироваться их изготовителями и удостоверяться контрольными службами, уполномоченными проверять показатели безопасности машин.

Соблюдение установленной вибрационной нагрузки на оператора должно быть удостоверено расчетами и (или) измерениями непосредственно на рабочем месте или другими способами по согласованию с заказчиком и потребителем.

Организация труда и профилактические мероприятия по уменьшению неблагоприятного воздействия вибрации на каждом предприятии должны быть определены регламентом вибробезопасного ведения работ.

Заказчик и (или) потребитель, принявший в эксплуатацию машины, оборудование, предприятие, несет ответственность за обеспечение вибрационной безопасности труда.

Для обеспечения вибрационной безопасности труда должен быть организован эффективный контроль соблюдения установленных норм и требований.

### 3.3.2 Требования по ограничению неблагоприятного воздействия вибрации на оператора

					15.03.05.2017.001.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		64

Воздействие вибрации на человека (оператора) классифицируется:

- по способу передачи вибрации на человека;
- по направлению действия вибрации;
- по временной характеристике вибрации.

В качестве факторов, влияющих на степень и характер неблагоприятного воздействия вибрации, должны учитываться:

- риски (вероятности) проявления различных патологий вплоть до профессиональной вибрационной болезни;
- показатели физической нагрузки и нервно–эмоционального напряжения;
- влияние сопутствующих факторов, усугубляющих воздействие вибрации (охлаждение, влажность, шум, химические вещества и т.п.);
- длительность и прерывистость воздействия вибрации;
- длительность рабочей смены.

Показатели вибрационной нагрузки на оператора должны формироваться из следующих параметров:

- виброускорение (виброскорость);
- диапазон частот;
- время воздействия вибрации.

Для санитарного нормирования и контроля должны использоваться средние квадратические значения виброускорения или виброскорости  $V$ , а также их логарифмические уровни в децибелах.

### 3.4 Технические средства защиты от шума при эксплуатации оборудования (ГОСТ 12.1.003– 83 Система стандартов безопасности труда)

#### 3.4.1 Защита от шума

При разработке технологических процессов, проектировании, изготовлении и эксплуатации машин, производственных зданий и сооружений, а также при организации рабочего места следует принимать все необходимые меры по

					15.03.05.2017.001.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		65

снижению шума, воздействующего на человека на рабочих местах, до значений, не превышающих допустимые:

- разработкой шумобезопасной техники;
- применением средств и методов коллективной защиты;
- применением средств индивидуальной защиты.

Зоны с уровнем звука или эквивалентным уровнем звука выше 80 дБ А должны быть обозначены знаками безопасности. Работающих в этих зонах администрация обязана снабжать средствами индивидуальной защиты

На предприятиях, в организациях и учреждениях должен быть обеспечен контроль уровней шума на рабочих местах не реже одного раза в год.

### 3.4.2 Требования к шумовым характеристикам машин

В стандартах и (или) технических условиях на машины должны быть установлены предельные значения шумовых характеристик этих машин.

Значения предельно допустимых шумовых характеристик машин следует устанавливать исходя из требований обеспечения на рабочих местах допустимых уровней шума в соответствии с основным назначением машины и требованиями разд. 2 настоящего стандарта.

Если значения шумовых характеристик машин, соответствующих лучшим мировым достижениям аналогичной техники, превышают значения, установленные в соответствии с требованиями пунктов настоящего стандарта, то в стандартах и (или) технических условиях на машины допускается устанавливать согласованные в установленном порядке технически достижимые значения шумовых характеристик этих машин.

Технически достижимые значения шумовых характеристик машин должны быть обоснованы:

- результатами измерения шумовых характеристик представительного числа машин одним из методов;

					15.03.05.2017.001.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		66

- данными о шумовых характеристиках лучших моделей аналогичных машин, выпускаемых за рубежом;
- анализом методов и средств снижения шума, используемых в машине;
- наличием разработанных средств защиты от шума до уровней, установленных п. 2.3, и включением их в нормативно – техническую документацию на машину;
- планом мероприятий по снижению шума до уровня, соответствующего требованиям п. 4.3 настоящего стандарта.

Шумовые характеристики машин или предельные значения шумовых характеристик должны быть указаны в паспорте на них, руководстве (инструкции) по эксплуатации или другой сопроводительной документации [14].

#### Вывод по разделу три

В данном разделе были рассмотрены технические средства защиты от вибрации и шума при эксплуатации и обслуживании установок «Трубогиб», также был описан порядок аттестации рабочего места на данной установке.

					15.03.05.2017.001.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		67

## 4 ЭКОНОМИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

Для проведения экспериментальных исследований и запуска в производство технологии холодной гибки труб с раскатыванием была выбрана лаборатория, расположенная в здании филиала ЮУрГУ в г. Златоусте.

Планирование затрат на проведение экспериментальных исследований включает в себя учет единовременных и текущих затрат. Единовременные затраты включают в себя затраты на основное оборудование. Также в состав единовременных затрат включена стоимость установки и стоимость материала для проведения эксперимента.

### 4.1 Расчет затрат по эксплуатации оборудования

Затраты на эксплуатацию оборудования складываются из затрат на его амортизацию и ремонт, электроэнергию, топливо и другие энергоносители, на смазочно-обтирочные материалы:

$$C_o = \sum_{i=1}^M C_{ai} + C_{pi} + C_{Эi} + C_{Ви}, \quad (4.1)$$

где:  $C_{ai}$  – затраты на амортизацию оборудования;

$C_{pi}$ ,  $C_{Эi}$ ,  $C_{Ви}$  – затраты на ремонт оборудования, энергоносители, на смазочно-обтирочные материалы;

Затраты на амортизацию оборудования  $C_{ai}$ , приходящиеся на операцию по излагаемому методу расчета. Величина их рассчитывается по формуле:

$$C_{ai} = \frac{\sum_{i=1}^M \Phi_{п(э)i} O_i Z_i H_{ai}}{100Q_{ГЗ}}, \quad (4.2)$$

где  $O_i$  – количество технологического оборудования, ед.;

					15.03.05.2017.001.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		68

$Z_i$  – коэффициент занятости технологического оборудования выполнением экспериментальных исследований;

$Q_{ГЗ}$  – количество исследуемых деталей шт.;

$N_{ai}$  – норма амортизационных отчислений в год, %.

Норма амортизационных отчислений определяется по формуле:

$$N_a = \frac{100}{T_{\text{п.исп}}}, \quad (4.3)$$

где  $T_{\text{п.исп}}$  – срок службы оборудования, лет.

$$N_a = \frac{100}{10} = 10\%.$$

Коэффициент занятости оборудования,  $Z_i$  определяется по формуле:

$$Z_i = \frac{T}{\Phi_{\text{Г.об}}} \quad (4.4)$$

где  $T$  – фактическое время работы оборудования  $T=120$  ч;

$\Phi_{\text{Г.об}}$  – годовой фонд работы оборудования  $\Phi_{\text{Г.об}} = 1815$  ч;

$$K_z = \frac{120}{1815} = 0,066.$$

Затраты на ремонт оборудования определяются формулой:

$$C_p = \sum \frac{R_i W_i K_{\text{Э}} O_i Z_i}{T_{\text{рц}}}, \quad (4.5)$$

где  $R_i$  – группа ремонтной сложности основной части оборудования;

$W_i$  – средняя величина затрат на все виды ремонтов и осмотров основной части оборудования, руб/ед. рем. сложности;

$K_{\text{Э}i}$  – коэффициент, учитывает затраты на ремонт энергетической части оборудования;

					15.03.05.2017.001.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		69

$O$  – количество занятого оборудования, ед.;

$Z_i$  – коэффициент занятости оборудования;

$T_{pc}$  – длительность ремонтного цикла, год/цикл.

$$C_a = 117,48 \text{ руб.}$$

Затраты на ремонт оборудования  $C_p$ , приходящиеся на исследовательскую работу, охватывают затраты на все виды ремонтов и осмотры.

Затраты на силовую электроэнергию, топливо рассчитываются путем умножения электроемкости, топливемкости, либо энергоемкости всей исследовательской работы на стоимость 1кВт·ч электроэнергии или единицы иного энергоносителя установленного для филиала ЮУРГУ. Затраты на силовую электроэнергию  $C_э$  рассчитываются по формуле:

$$C_э = \sum Э_c Ц_э, \quad (4.6)$$

где:  $Э_{ci}$  – силовой расход электроэнергии, кВт·ч;

$Q_{ГЗ}$  – число исследуемых деталей, шт.;

$Ц_э$  – стоимость 1 кВт·ч электроэнергии, руб.

Расход электроэнергии на проведения исследований рассчитывается, согласно данным, приведенным в таблице 5.3.

Таблица 4.1 – Данные для расчета затрат на силовую электроэнергию

Наименование оборудования	Расход электроэнергии за время проведения НИР, кВт·ч	Стоимость 1 кВт·ч электроэнергии, руб./кВт·ч
Экспериментальная установка	1000	2,8

Затраты на силовую электроэнергию составят:

$$C_э = (1000) \cdot 2,8 = 2800 \text{ руб.}$$

					15.03.05.2017.001.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		70



#### 4.2. Затраты по эксплуатации оснастки

В состав затрат по оснастке  $C_{\Pi}$  включаются затраты по приспособлениям. Затраты по приспособлениям рассчитываются с помощью следующей формулы:

$$C_{\Pi} = \sum \frac{(K_{\Pi}d - B) \cdot \Pi Z_{\Pi}}{T_{\Pi}}, \quad (4.7)$$

где:  $K_{\Pi}$  – балансовая стоимость приспособления, руб./ед.;

$d$  – коэффициент, учитывающий затраты на ремонт приспособлений;

$B$  – ликвидационная стоимость, руб./ед.,

$\Pi$  – количество единиц приспособлений;

$Z_{\Pi}$  – коэффициент занятости приспособлений;

$T_{\Pi}$  – срок возмещения износа МПБ, год.

Затраты по эксплуатации оснастки составляют:

$$C_{\Pi} = \frac{((300 + 10 + 30 + 500 + 15 + 2) \cdot 1,5 - 191) \cdot 1 \cdot 0,9}{2} = 561 \text{руб.}$$

#### 4.3 Расчет затрат на материал

Величину затрат на материал  $S_M$  можно рассчитать с помощью формулы:

$$S_M = N(D_o \Pi_{MC} K_{T-ZC} - D_c \Pi_{oc}) \quad (4.8)$$

где:  $N$  – число образцов;

$D_o$  – вес одного образца, кг;

$\Pi_{MC}$  – оптовая цена на материал, руб./кг;

$K_{T-ZC}$  – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы;

$D_c$  – количество отходов материала с одного образца, кг;

$\Pi_{oc}$  – цена отходов, руб./кг.

					15.03.05.2017.001.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		71

На основании исходных данных таблицы 4.2 рассчитаем затраты на материалы, используемые при проведении исследовательских работ:

Таблица 4.2 – Данные для расчета затрат на материалы

Используемые материалы.	Вес одного образца, кг.	Цена на материал, руб./кг	Количество отходов материала, с одного образца, кг	Цена отходов, руб./кг
труба 12X18Н9 42,5×2,25×1400	2	200	0,05	10

$K_{Т-ЗС}$  – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы,  
 $K_{Т-ЗС}=1,05$ .

Тогда затраты на материалы, используемые при проведении экспериментов:

$$S_M=4(2 \cdot 200 \cdot 1,05 - 0,05 \cdot 1,5) = 1676 \text{ руб}$$

					15.03.05.2017.001.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		72

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Были проведены эксперименты по гибки труб с помощью трубогибочного станка методом раскатки роликами. В результате опытов была наглядно показана зависимость изменения интервалов сетки при раскатке в зависимости от натяжения ролика.

В результате исследования зависимостей удалось оценить степень и характер деформации продольной и поперечной форм труб при гибке и, как следствие, теоретически оценить, относительно этих деформаций, т.е. относительно общих изменений геометрической формы трубы после гибки от начальной геометрической формы, характер распределения остаточных напряжений в образцах согнутых труб при раскатке.

					15.03.05.2017.001.00 ПЗ	Лист
						73
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1 Исследование механических свойств гнутых участков трубопроводов / Ю.Г. Миков, А.В. Козлов, А.В. Бобылев и др. / XXII Российская школа по проблемам проектирования неоднородных конструкций: тезисы докладов. – Миасс: МНУЦ, 2002.

2 Оборудование для холодной гибки труб с раскатыванием / А.В. Козлов, И.П. Дерябин, Ю.Г. Миков и др. // Информ. листок № 77–99. – Челябинск: ЦНТИ, 1999.

3 Справочник технолога-машиностроителя в 2 т. / под ред. А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова. – 4-е изд. перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1985.

4 Беспалов, А.И. Метрологическое обеспечение приборостроения и измерительная техника. Учеб. Пособие / А.И. Беспалов – Уфа, 2002. – 42 с.

5 Козлов, А.В., Лакирев, С.Г., Хилькевич, Я.М. Новая технология гибки труб // Прогрессивная технология чистовой и отделочной обработки. – Челябинск: ЧГТУ, 1993.

6 Козлов, А.В. Оценка деформаций и усилий при гибке труб с раскатыванием / А.В. Козлов, А.В. Бобылев / Новые материалы и технологии в машиностроении: сб. материалов междунар. науч.-техн. конф. – Тюмень: ТюмГНГУ, 2000.

7 Козлов, А.В. Исследование процесса утонения стенок трубы при её гибке раскатыванием / А.В. Козлов, Ю.Г. Миков, А.В. Бобылев // Конструкции, технологии, управление в машиностроении и строительстве: сб. научн. тр. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2007.

8 Козлов, А.В. Технология и оборудование холодной гибки тонкостенных труб: монография / А.В. Козлов, А.В. Бобылев – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2007. – 169 с.

9 Козлов, А.В., Дерябин, И.П. Холодная гибка с воздействием на изгибаемую трубу вращающимся раскатником-обкатником // Надежность и

					15.03.05.2017.001.00 ПЗ	Лист
						74
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		

качество в промышленности, энергетике и на транспорте: труды международной конференции. – Самара: СамГТУ, 1999. – Ч. 1.

10 Лакирев, С.Г. Новая технология холодной гибки труб. / С.Г. Лакирев, Я.М.Хилькевич, А.В. Козлов и др. / Химическое и нефтегазовое машиностроение. – 1997. – № 6.

11 Кукин, П.П. Безопасность жизнедеятельности. Безопасность технологических процессов и производств / П.П. Кукин, В.Л. Лапин, Н.Л. Пономарев и др. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: Высш. шк., 2001. – 319 с.

12 Максимов, С.П. Безопасность жизнедеятельности / С.П. Максимов, Т.Б. Балакина: учебное пособие по дипломному проектированию для студентов технических специальностей / под ред. С.Н. Трофимовой. — Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2005. – 55 с.

13 Феодосьев, В.И. Сопротивление материалов / В.И. Федосеев. – М.: Наука, 1970. – 592 с.

14 Юдин, Е.Я. Охрана труда в машиностроении: учебник для машиностроительных вузов / Е.Я. Юдин, С.В. Белов, С.К. Баланцев и др.– 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1983. – 432 с.

					15.03.05.2017.001.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		75