

Министерство образования и науки Российской Федерации
 Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
 высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
 ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт природных ресурсов
 Направление подготовки (специальность) 21.04.01 «Нефтегазовое дело»
 профиль «Надежность газонефтепроводов и хранилищ»
 Кафедра Транспорта и хранения нефти и газа

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
«Разработка конструкции вибрационного вискозиметра»

УДК 53.082

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ4Б	Мартынюк Артём Олегович		19.05.2016

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
зав. кафедрой	Рудаченко А. В.	к.т.н, доцент		19.05.2016

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Шарф И. В.	к.э.н, доцент		19.05.2016

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Крепша Н. В.	к.г.-м.н, доцент		19.05.2016

Консультант-лингвист

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ст. препод.	Шендерова И. В.			19.05.2016

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ТХНГ	Рудаченко А. В.	к.т.н, доцент		19.05.2016

Министерство образования и науки Российской Федерации
 Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
 высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
 ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт природных ресурсов
 Направление подготовки (специальность) 21.04.01 «Нефтегазовое дело»
профиль «Надежность газонефтепроводов и хранилищ»
 Кафедра Транспорта и хранения нефти и газа

УТВЕРЖДАЮ:
 Зав. кафедрой

_____ Рудаченко А.В.
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

магистерской диссертации

Студенту:

Группа	ФИО
2БМ4Б	Мартынюк Артёму Олеговичу

Тема работы:

«Разработка конструкции вибрационного вискозиметра»	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	от 28.04.2016 г. № 2950/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	19.05.2016г.
--	--------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе</p> <p><i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Вибрационный преобразователь вязкости; 2. Рабочий диапазон измерения вязкости жидкости от 0,5 до 200 мПа·с; 3. Работа с агрессивными средами; 4. Рабочий диапазон избыточного давления от 0 до 6,3 МПа; 5. Рабочий диапазон температуры измеряемой жидкости от минус 10 до плюс 40 °С.
---	---

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Методы осуществления вискозиметрии; 2. Патентный обзор; 3. Современные модели поточных преобразователей вязкости; 4. Описание конструкции преобразователя вязкости; 5. Рассмотрение возможных способов соединения деталей; 6. Расчет паяного соединения; 7. Проанализировать экспериментальные данные, сделать выводы
--	--

<p>Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	
---	--

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы
(с указанием разделов)

Раздел	Консультант
«Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	Шарф Ирина Валерьевна, к.э.н., доцент кафедры экономики природных ресурсов
«Социальная ответственность»	Крепша Нина Владимировна, доцент кафедры экологии и безопасности жизнедеятельности
«Analysis of methods and equipment viscometry»	Шендерова Инна Владимировна

Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:

1. Общие сведения о вязкости
2. Анализ методов и средств вискозиметрии
3. Принцип действия
4. Описание конструкции
5. Выбор способа соединения деталей
6. Расчет паяного соединения
7. Экспериментальная часть
8. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение;
9. Социальная ответственность при разработке конструкции вибрационного вискозиметра «Analysis of methods and equipment viscometry»

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	16.03.2016 г.
---	---------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
зав. кафедрой	Рудаченко А. В.	к.т.н, доцент		16.03.2016

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ4Б	Мартынюк Артём Олегович		16.03.2016

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 110 страниц, 35 рисунков, 36 таблиц, 59 источника.

Ключевые слова: вязкость, нефть, вибрационный преобразователь вязкости, чувствительная система, сильфон, электронный блок, колебания, прецизионный сплав, сварка, пайка, разработка, конструкция, патентный обзор, эксперимент.

Объектом исследования является вибрационный вискозиметр.

Цель работы – разработка конструкции отечественного преобразователя вязкости, с техническими показателями не уступающими зарубежным аналогам.

Методы и методология, использованные в магистерской диссертации: проведен теоретический расчет прочности паянного соединения; рассчитаны максимально допустимые напряжения в паяном шве, подвергнутом растяжению при помощи разрывной машины

В процессе исследования проводились прочностные расчеты и финансовый расчет по определению затрат на проведение научного исследования. Рассмотрены вопросы, связанные с соединением деталей из сильно различающихся материалов. Производился прочностной расчет паянного соединения. Приведены мероприятия по охране труда и безопасности эксплуатации, охране окружающей среды, технико-экономическая часть.

В результате исследования был произведен анализ существующих методов вискозиметрии. Патентный обзор выявил массив патентных документов, характеризующих уровень техники в области преобразователей вязкости. В результате сравнения способов соединения деталей, с сильно отличающимся химическим составом, было выявлено, что необходимо делать выбор в пользу пайки.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: разработка представляет собой трубку, изготовленную из прецизионного сплава с высоким показателем упругости и конструктивно связанную с измерительной линией посредством сильфонов. Предназначен для измерения динамической вязкости протекающей через него жидкости в непрерывном режиме.

Степень внедрения: Средства измерения, на данном этапе, еще находится в стадии разработки.

Область применения: при успешном окончании работы, планируется установка на системах учета количества и показателей качества нефти.

Экономическая эффективность/значимость работы заключается в импортозамещении. Создание отечественного преобразователя вязкости, снизит зависимость от иностранного продукта. Кроме того, планируемая конечная стоимость отечественного продукта, будет значительно ниже стоимости импортных аналогов.

В будущем планируется внедрение на производстве трубопроводного транспорта

Оглавление

Введение.....	7
1. Общая часть	9
1.1 Общие понятия о вязкости	9
1.2 Зависимость вязкости от температуры	11
1.3 Цель определения вязкости.....	12
2. Анализ методов и средств вискозиметрии	14
2.1 Классификация методов вискозиметрии	14
2.1.1 Метод капиллярной вискозиметрии	15
2.1.2 Метод падающего шарика вискозиметра	16
2.1.3 Ротационный метод вискозиметрии	19
2.1.4 Вибрационный метод вискозиметрии.....	21
2.1.5 Сравнение методов вискозиметрии	22
2.2 Патентный обзор	22
2.3 Современные модели преобразователей вязкости	24
3. Принцип действия преобразователя вязкости	28
4. Описание конструкции	30
4.1 Назначение устройства и предъявляемые требования.....	30
4.2 Устройство преобразователя вязкости	32
4.2.1 Механическая часть	33
4.2.2 Электронный блок	37
5. Выбор способа соединения деталей.....	41
5.1 Аргонодуговая сварка.....	41
5.2. Электронно-лучевая сварка.....	42
5.3 Паяное соединение.....	43
5.4 Анализ способов соединения деталей	44
5.4.1 Анализ соединения, выполненного с помощью аргонодуговой сварки	44
5.4.2 Анализ соединения, выполненного с помощью электронно-лучевой сварки	47
5.4.3. Анализ соединения, выполненного с помощью пайки.....	50
5.5. Обоснование выбранного способа соединения деталей	54
6. Расчет паянного соединения	55
6.1 Теоретический расчет паянного соединения	55
6.2. Механическое испытание.....	57
7. Экспериментальная часть.....	59
7.1. Применяемое оборудование, приборы и материалы.....	59
7.2. Полученные результаты	64
7.3 Рекомендации по улучшению конструкции.....	67
8. Экономическое обоснование разработки конструкции вибрационного вискозиметра.....	68
8.1 Расчет материальных затрат НТИ	68
8.2 Расчет затрат на специальные оборудования и компоненты для проведения научных исследования и экспериментальных работ.....	70

8.3 Затраты по основной заработной плате	72
8.4 Затраты на единовременные выплаты в связи со сдачей этапа	75
8.5 Отчисления во внебюджетные фонды	75
8.6 Расчет контрагентных расходов	76
8.7 Накладные расходы	77
8.8 Формирование бюджета научно-исследовательского проекта	78
9. Социальная ответственность при разработке конструкции вибрационного вискозиметра.....	79
9.1 Профессиональная социальная безопасность	80
9.1.1 Анализ вредных производственных факторов и обоснование мероприятий по их устранению	80
9.1.1.1 Вредные вещества.....	81
9.1.1.2 Превышение уровня шума и вибрации	82
9.1.1.3 Недостаточная освещенность.....	83
9.1.2 Анализ опасных производственных факторов и обоснование мероприятий по их устранению	84
9.1.2.1 Электрический ток.....	84
9.1.2.2 Пожаровзрывобезопасность	86
9.2 Экологическая безопасность.....	88
9.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	90
9.4 Законодательное регулирование проектных решений.....	91
Заключение	94
Список публикаций.....	95
Список используемых источников.....	96
Приложение А Химический состав прецизионного сплава 36НХТЮ	100
Приложение Б Сборочный чертеж преобразователя вязкости.....	101
Приложение В «Analysis of methods and equipment viscometry».....	102

Введение

Определение значения вязкости имеет ключевое значение во всех сферах нефтяной промышленности. К примеру, при транспортировке нефти и нефтепродуктов вязкость является одним из основных показателей качества перекачиваемой нефти. Также данный показатель учитывается при планировании оптимальных режимов работы нефтеперекачивающих станций, в частности, нефтеперекачивающих агрегатов. Следовательно, требуется оперативный контроль такого параметра, как вязкость. Для проведения оперативного контроля требуются приборы способные обеспечить данную задачу, такими приборами являются вискозиметры (преобразователи вязкости).

Практическая значимость и новизна работы. В настоящее время для измерения вязкости нефти и нефтепродуктов преимущественно применяются преобразователи вязкости иностранного производства. Применение приборов иностранного производства влечет за собой ряд проблем:

- высокая стоимость преобразователей вязкости;
- длительные сроки изготовления и поставки.

Это приводит к увеличению стоимости СИКН, а также сроков ее изготовления. Кроме того, применение импортных приборов ставит отечественные нефтяные компании в зависимость от иностранного производителя, что в современных реалиях для России, неприемлемо.

Основываясь на вышеизложенном, в настоящее время имеется огромная потребность в разработке отечественного прибора для определения вязкости среды, с параметрами не уступающими зарубежным аналогам, что и обуславливает актуальность выбранной темы.

					<i>Разработка конструкции вибрационного вискозиметра</i>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>		<i>Мартынюк А.О.</i>			<i>Введение</i>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Руковод.</i>		<i>Рудаченко А.В.</i>					7	2
<i>Консульт.</i>								
<i>Зав. Каф.</i>		<i>Рудаченко А.В.</i>						
						НИ ТПУ гр. 2БМ4Б		

Целью работы является разработка конструкции преобразователя вязкости с характеристиками, не уступающими зарубежным аналогам, и обеспечивающей измерение вязкости нефти и нефтепродуктов с нормированной точностью в широком диапазоне.

Задачи работы:

1. проанализировать методы вискозиметрии, выбрать наиболее подходящий для реализации требуемой задачи;
2. провести патентный обзор;
3. провести анализ различных способов соединения деталей резонатор – переходник резонатор-сильфон;
4. экспериментальное доказательство работоспособности разрабатываемого преобразователя вязкости;
5. выявить проблемные места, внести предложения по усовершенствованию конструкции.

Личный вклад автора. На основе полученных данных, автором произведен анализ соединений, выполненных с помощью двух видов сварок (аргонодуговой и электронно-лучевой) и с помощью пайки. Проведен ряд экспериментов, по результатам которых были выявлены слабые места в разработанной конструкции, были предложены технические решения по их устранению.

1. Общая часть

1.1 Общие понятия о вязкости

Вязкость – свойство жидкости или газа оказывать сопротивление перемещению одних ее частиц относительно других при движении или по-другому, сила сопротивления смещения одного слоя жидкости относительно другого. Это свойство также принято называть внутренним трением жидкости [1].

На рисунке 1 изображена схема движения жидкости, на которой является расстояние между двумя параллельными пластинами, а U скорость сдвига верхней пластины.

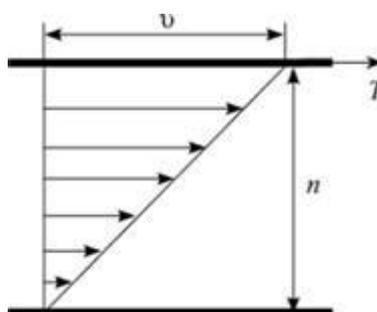


Рисунок 1 – Схема движения жидкости

Как можно заметить скорости движения слоев не одинаковы, а постепенно убывают при приближении в нижней пластине. Это связано с наличием в жидкости внутреннего трения. Данное явление описывается с помощью закона Ньютона:

$$\tau = \mu \frac{dv}{dn} \quad (1)$$

где τ – касательное напряжение сдвига;

μ – динамический коэффициент вязкости;

dv/dn – градиент скорости.

					Разработка конструкции вибрационного вискозиметра			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				
Разраб.		Мартынюк А.О.			Общая часть	Лит.	Лист	Листов
Руковод.		Рудаченко А.В.					9	5
Консульт.								
Зав. Каф.		Рудаченко А.В.						
					НИ ТПУ гр. 2БМ4Б			

Динамическая коэффициент вязкости – это коэффициент, отражающий свойство жидкости сопротивляться сдвигу или скольжению.

За единицу измерения динамической вязкости принята вязкость потока жидкости, в которой линейная скорость потока под воздействием давления сдвига в 1 Н/м^2 имеет градиент скорости в 1 м/с на одном метре расстояния, перпендикулярного к плоскости сдвига. Единица измерения в системе СИ – $\text{Па}\cdot\text{с}$ (паскаль·секунда). Кроме того, имеет и вне системные единицы измерения. Самой распространенной из них является Пз (пуаз), который равен $1 \text{ Пз} = 0,1 \text{ Па}\cdot\text{с}$.

Кроме динамической вязкости довольно часто применяют такой параметр, как кинематическая вязкость – коэффициент характеризующий свойство жидкости оказывать сопротивление перемещению ее слоев под действием силы тяжести. Коэффициент кинематической вязкости соотносится с коэффициентом динамической вязкости через плотность при равных температурах [2].

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (2)$$

где ν – кинематический коэффициент вязкости;

μ – динамический коэффициент вязкости;

ρ – плотность.

Единица измерения в системе СИ является $\text{м}^2/\text{с}$ (метр в квадрате деленный на секунду). Весьма часто можно встретить такую единицу измерения как Ст (Стокс) равную $1 \text{ Ст} = 10^{-4}\cdot\text{м}^2/\text{с}$

Также встречается применение такой единицы, как $^\circ\text{ВУ}$ или $^\circ\text{Е}$ (градус Энглера). Определение вязкости по Энглеру основана на методе истечения жидкости через калиброванный капилляр определенного диаметра (2,8 мм). Суть метода заключается в определении времени истечения исследуемой жидкости объемом 200 мл под собственным весом через капилляр. Которое в дальнейшем сравнивается со временем истечения того же объема воды при $20 \text{ }^\circ\text{С}$. Расчет условной вязкости производится по следующей формуле

					Разработка конструкции вибрационного вискозиметра	Лист
						10
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$^{\circ}\text{ВУ} = \frac{t}{t_{\text{в}}} \quad (3)$$

где $^{\circ}\text{ВУ}$ – коэффициент условной вязкости;

t – время истечения 200 мл исследуемой жидкости, с;

$t_{\text{в}}$ – время истечения 200 мл воды при 20 °С, с.

1.2 Зависимость вязкости от температуры

Наиболее точно вязкостно-температурная характеристика может быть получена экспериментально. Когда нет возможности получить эту зависимость лабораторным путем и имеющиеся данные о вязкости относятся к температурам, лежащим за пределами рабочих температур, приходится прибегать к экстраполяции. Наиболее точной экстраполяционной зависимостью является формула ASTM (формула Вальтера) [3]:

$$\lg[\lg(v + 0,6)] = a + b \cdot \lg T, \quad (4)$$

где v – кинематическая вязкость, сСт;

T – абсолютная температура, К;

a и b – постоянные, определяемые по двум известным значениям вязкости v_1 и v_2 при температурах, соответственно, T_1 и T_2 .

$$a = \lg[\lg(v_1 + 0,8)] - b \cdot \lg T_1 \quad (5)$$

$$b = \frac{\lg \left[\frac{\lg(v_1 + 0,6)}{\lg(v_2 + 0,6)} \right]}{\lg \frac{T_1}{T_2}} \quad (6)$$

Для аналитических решений более удобна эмпирическая формула Филонова:

$$v = v_* \cdot e^{-u(t-t_*)} \quad (7)$$

$$u = \frac{1}{t_2 - t_1} \cdot \ln \frac{v_1}{v_2} \quad (8)$$

где v – вязкость при известной температуре t ;

t_* – температура, выбираемая в рабочем интервале температур,

					Разработка конструкции вибрационного вискозиметра	Лист
						11
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

t – температура, при которой требуется определить вязкость, °С;

u – коэффициент крутизны вискограммы, 1/°С.

Если известно только одно экспериментальное значение вязкости нефти при какой-либо температуре t_0 , то значение ее при другой температуре можно определить по формуле:

$$\mu_t = \frac{1}{C} \cdot (C \cdot \mu_{t_0})^x \quad (9)$$

где μ_t, μ_{t_0} – динамическая вязкость нефти при температурах t и t_0 , соответственно, мПа·с;

a и C – эмпирические коэффициенты (представлены в таблице 1).

Таблица 1 – Значение эмпирических коэффициентов

Диапазон значений динамической вязкости, мПа·с	Значение эмпирических коэффициентов	
	C , мПа·с	a , 1/°С
$\mu \geq 1000$	10	$2,52 \cdot 10^{-3}$
$10 \leq \mu < 1000$	100	$1,44 \cdot 10^{-3}$
$\mu < 10$	1000	$0,76 \cdot 10^{-3}$

1.3 Цель определения вязкости

Определение значения вязкость имеет ключевое значение во всех сферах нефтяной промышленности. При добыче, вязкость является параметром, характеризующим извлекаемый продукт: нефть, газ, вода или смесь компонентов. Кроме того, для большей отдачи скважины в нее вводят различные эмульсии с целью повышения текучести. Определение оптимальных объемов вводимых эмульсий невозможно без определения вязкости выходящего из скважины продукта [4].

При транспортировке нефти и нефтепродуктов данный показатель учитывается при планировании оптимальных режимов работы нефтеперекачивающих станций. В частности, для снижения гидравлических потерь при перекачке нефти и нефтепродуктов, и уменьшения нагрузки на насосы, вводятся специальные реагенты. Для этого вязкость необходимо поддерживать в определенном заданном диапазоне значений, то есть, требуется

					Разработка конструкции вибрационного вискозиметра	Лист
						12
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

постоянный контроль за действующим значением вязкости. Кроме того, существует неточность в определении объемного расхода протекающей среды. А контроль количества перекачиваемого продукта является одной из ключевых задач при транспортировке нефти и нефтепродуктов. Измерение вязкости ведение к более точному определению объемного расхода, следовательно, учету нефти [5].

В переработки нефти и нефтепродуктов вязкость является одним из важнейших параметров по которому характеризуют физико-химический состав, а, следовательно, и качество выходной продукции. К примеру, при производстве моторных масел, в него добавляют различные присадки. Для их подачи в автоматическом режиме, необходимо постоянно контролировать значение вязкости выходного продукта. При выходе параметра из заранее установленного диапазона происходит уменьшение либо увеличение подачи присадок.

					Разработка конструкции вибрационного вискозиметра	Лист
						13
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

2. Анализ методов и средств вискозиметрии

2.1 Классификация методов вискозиметрии

Вискозиметр – прибор или устройство осуществляющее измерение вязкости. Их классификация осуществляется по ряду показателей [6]:

- по точности измерения: рабочие и эталонные;
- по области применения; лабораторные, промышленные, медицинские;
- по свойствам исследуемой вязкой среды: универсальные и специальные;
- по методу вискозиметрии: капиллярные, ротационные, вискозиметры с падающим шариком, вибрационные, ультразвуковые;
- по температуре и давлению исследуемой среды: в области нормальных, высоких и экстремальных значений.

Выбор вискозиметра для измерения обусловлен, в основном, задачей и целями исследования. В настоящее время известно довольно много конструкций вискозиметров, однако большинство из них основано на четырех наиболее распространенных методах вискозиметрии:

1. капиллярный метод
2. метод падающего шарика
3. ротационный метод
4. вибрационный

					<i>Разработка конструкции вибрационного вискозиметра</i>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>		<i>Мартынюк А.О.</i>			<i>Анализ методов и средств вискозиметрии</i>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Руковод.</i>		<i>Рудаченко А.В.</i>					14	13
<i>Консульт.</i>						НИ ТПУ гр. 2БМ4Б		
<i>Зав. Каф.</i>		<i>Рудаченко А.В.</i>						

2.1.1 Метод капиллярной вискозиметрии

Метод капиллярной вискозиметрии основан на законе Пуазейля. Согласно закону, течение вязкой несжимаемой жидкости через тонкую цилиндрическую трубку описывается уравнением [7]:

$$Q = \frac{\pi \cdot R^4}{8 \cdot \mu \cdot l} (p_1 - p_2) = \frac{\pi \cdot d^4}{128 \cdot \mu \cdot l} \Delta p \Rightarrow \mu = \frac{\pi \cdot d^4 \cdot \Delta p}{128 \cdot l \cdot Q} \quad (10)$$

где $p_1 - p_2 = \Delta p$ – перепад давления на концах капилляра;

Q – объемный расход жидкости через капилляр трубки, м³/с;

R – радиус капилляра, м;

d – диаметр капилляра, м;

l – длинна капилляра, м

μ – коэффициент динамической вязкости, Па·с.

Стоит отметить, что данная формула справедлива лишь для ламинарного течения жидкости, т.е. при отсутствии скольжения на границе стенка капилляра – жидкость. На рисунке 2 представлено схематическое изображение капиллярного вискозиметра.

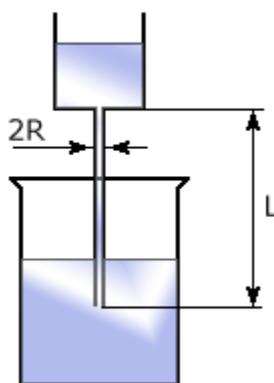


Рисунок 2 – схематическое изображение капиллярного вискозиметра

В капиллярном вискозиметре жидкость перетекает из одного резервуара в другой под действием разности давления через капилляр круглого сечения диаметра d и длинны l . Нужно заметить, что скорость движения жидкости в верхнем и нижнем сосуде значительно меньше скорости движения жидкости в

					Разработка конструкции вибрационного вискозиметра	Лист
						15
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

капилляре. Очевидно, что не все давление будет расходоваться на преодоление сил вязкого трения, часть его пойдет на придание определенной кинетической энергии жидкости. В связи с этим вводят поправку, называемую поправкой Хагенбаха. Уравнение Пуазейля с поправкой Хагенбаха:

$$\mu = \frac{\pi \cdot d^4 \cdot \Delta p}{128 \cdot l \cdot Q} - \frac{h \cdot Q \cdot \rho}{8 \cdot \pi} \quad (11)$$

где h – коэффициент Хагенбаха, м^{-1} ;

ρ – плотность жидкости, $\text{кг}/\text{м}^3$.

Нужно учесть, что при определении вязкости органических жидкостей с большой кинематической вязкостью поправка Хагенбаха равна долям процента. Однако может достигать 15 % при высокотемпературной вискозиметрии.

Метод капиллярной вискозиметрии принято относить к высокоточному методу измерения вязкости, по причине сравнительно малой относительной погрешности измерения, которая колеблется в долях процента. Величина погрешности зависит в основном от двух параметров: корректность изготовления прибора и точности отсчета времени.

2.1.2 Метод падающего шарика вискозиметрии

Данный метод основывается на законе Стокса, который гласит, что скорость свободного падения твердого шарика в вязкой неограниченной среде описывается уравнением [8]:

$$u = \frac{2(\rho_{\text{ш}} - \rho_{\text{ж}}) \cdot g \cdot r^2}{9\mu} \quad (12)$$

где u – скорость поступательного равномерного движения шарика, $\text{м}/\text{с}$;

$\rho_{\text{ш}}$ – плотность материала шарика, $\text{кг}/\text{м}^3$;

$\rho_{\text{ж}}$ – плотность жидкости, $\text{кг}/\text{м}^3$;

μ – коэффициент динамической вязкости;

r – радиус шарика, м ;

g – ускорение свободного падения, $\text{м}/\text{с}^2$.

					Разработка конструкции вибрационного вискозиметра	Лист
						16
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Стоит отметить, данное уравнение справедливо лишь в случае, когда скорость падения шарика довольно мала, а также соблюдается соотношение:

$$r \leq \frac{0.6\mu}{\rho_{ш} \cdot u} \quad (13)$$

На рисунке 3 представлено схематическое изображение вискозиметра, основанного на методе падающего шарика.

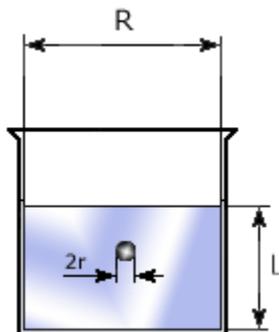


Рисунок 3 – Схематическое изображение вискозиметра, основанного на методе падающего шарика

При использовании данного метода необходимо учитывать возникающие поправки на конечные размеры сосуда с исследуемой жидкостью (l – высота жидкости в сосуде, R – радиус сосуда и r – радиус падающего шарика). Кроме того должно выполняться соотношение $r/R < 0,1$, тогда уравнение (8) принимает вид:

$$\mu = \frac{2r^2(\rho_{ш} - \rho_{ж})g}{9u(1 + 2,4r/R)} \quad (14)$$

На основе этого метода создано огромное множество моделей вискозиметров, однако не все из них могут выполнять измерения в поточном режиме, что актуально для СИКН. Одним из вискозиметров, основанных на методе падающего шарика и удовлетворяющим данному требованию, является Вискозиметр JSW Японского производства. Схема вискозиметра JSW представлена на рисунке 4.

					Разработка конструкции вибрационного вискозиметра	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		17



Рисунок 4 – Схема поточного вискозиметра с падающим шариком, модели JSW

Вискозиметр, представленный на рисунке 4, имеет две основные части: датчик вязкости и блок управления. Механическая часть включает в себя следующие составляющие [9]:

- измерительную трубку с расположенным в ней стальным шариком;
- безконтактный датчик падения в нижней части, для фиксации момента падения шарика и ограничительный стопор в верхней части, для удержания шарика;
- трехходовой соленоидный клапан, для направления течения жидкости.

В одном положении клапана жидкость поступает непосредственно в измерительную трубку, для поднятия шарика в верхнюю точку, в другом поступает в пространство между корпусом и измерительной трубкой и уходит через верхний выход корпуса.

					Разработка конструкции вибрационного вискозиметра	Лист
						18
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Данная конструкция обеспечивает непрерывное протекание исследуемой жидкости через прибор, а сам процесс измерения вязкости происходит циклически. Один полный цикл состоит из фазы вытеснения и фазы измерения. Во время фазы вытеснения, посредством переключения положения соленоидного клапана, жидкость подается в измерительную трубку и происходит поднятие шарика до верхней точки (стопора). Далее соленоидный клапан переключается и жидкость течет за измерительной трубкой, происходит фаза измерения (при этом шарик падает в неподвижной жидкости). В момент опускания шарика в нижнее положение, чувствительный элемент берконтактного датчика посылает сигнал в блок управления. Блок управления определяет время падения шарика, и в дальнейшем производит расчет вязкости. По истечению заданного промежутка времени датчик вязкости снова переходит в фазу вытеснения, и процесс повторяется многократно.

2.1.3 Ротационный метод вискозиметрии

В вискозиметрах ротационного типа исследуемая жидкость помещается в зазор между двумя коаксиальными цилиндрами. Один из них (ротор) вращается, а другой (статор) неподвижен. При этом силоизмерительным элементом может быть или ротор, или статор. Для этого необходимо измерить крутящий момент M и угловую скорость вращения ротора ω [10].

Рассмотрим инверсную модель, т.е. внешнее совершает вращение, внутренне неподвижно и ему будет сообщен момент вращения. Схема ротационного вискозиметра представлена на рисунке 5.

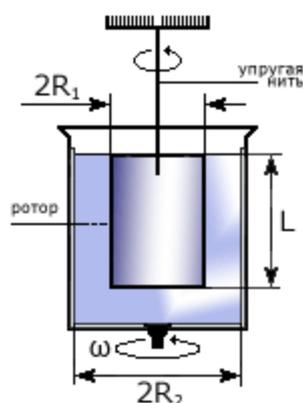


Рисунок 5 – Схема ротационного вискозиметра

					Разработка конструкции вибрационного вискозиметра	Лист
						19
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Формула определения момента вращения, передаваемого через вязкую среду имеет вид:

$$M_1 = \frac{4\pi L \cdot \omega \cdot \eta \cdot R_1^2 \cdot R_2^2}{R_2^2 - R_1^2} \quad (15)$$

где M_1 – момент вращения, передаваемый внутреннему цилиндру, Н·м;

R_1 и R_2 – радиус внутреннего и внешнего цилиндра, м;

ω – постоянная угловая скорость внешнего цилиндра, рад/с;

L – длина внутреннего цилиндра, м;

η – коэффициент динамической вязкости, Па·с.

С другой стороны, момент M_1 уравновесится моментом сил упругости нити M_2 :

$$M_2 = \frac{\pi d^2 \cdot G \cdot \varphi}{32l} \quad (16)$$

где d , l – диаметр и длина нити, м;

φ – угол закручивания неподвижно закрепленной нити;

G – сила упругости нити, Н.

Поскольку $M_1 = M_2$, произведя некоторые преобразования, можно вывести формулу определения η :

$$\eta = \frac{(R_2^2 - R_1^2) \cdot d^2 \cdot G \cdot \varphi}{128 \cdot L \cdot R_1^2 \cdot R_2^2 \cdot l \cdot \omega} \quad (17)$$

Так как ряд параметров, входящих в уравнение постоянны, то можно упростить уравнение введя в него постоянный коэффициент K , тогда:

$$\eta = \frac{K \cdot \varphi}{\omega} \quad (18)$$

2.1.4 Вибрационный метод вискозиметрии

Сущность метода вибрационной вискозиметрии заключается в следующем, в исследуемую жидкость погружается плоская тонкая пластина (вилка, шарик, цилиндр или другое тело) и приводится в колебательное движение за счет внешней гармонической силы. Параметры колебаний: амплитуда, частота и сдвиг фаз меду колебаниями тела и колебаниями внешней, возбуждающей колебаний силы – будут зависеть от вязкости исследуемой жидкости [11]. На рисунке 6 представлена схема вибрационного вискозиметра.

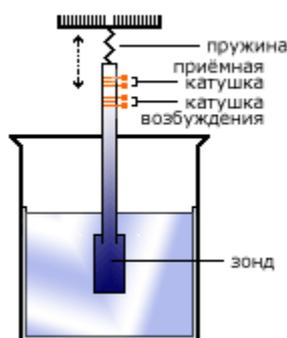


Рисунок 6 – Схема вибрационного вискозиметра

Существуют различные варианты осуществления вибрационного метода: амплитудный, частотный, фазовый. Выбор варианта прежде всего зависит от диапазона измерения вязкости. Так к примеру, для определения вязкости жидкостей со средней вязкостью, чаще всего используется частотно-фазовый метод. Расчетная формула в данном случае имеет вид:

$$\eta = \frac{m_0^2(\omega_0^2 - \omega^2)^2}{8S^2 \cdot \omega^3 \cdot \rho} \quad (19)$$

где η – коэффициент динамической вязкости, Па·с.

m_0 – масса вибрирующего элемента, кг;

ω_0 – частота гармонической возбуждающей силы в воздухе, 1/с;

ω – частота гармонической возбуждающей силы в исследуемой жидкости, 1/с;

S – площадь поверхности вибрирующего элемента, м²;

ρ – плотность исследуемой жидкости, кг/м³.

					Разработка конструкции вибрационного вискозиметра	Лист
						21
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

2.1.5 Сравнение методов вискозиметрии

Сравнение производилось по наиболее широко применяемым методам вискозиметрии, описанным ранее. В таблице 2 представлена сравнительная таблица основных методов вискозиметрии [7].

Таблица 2 – Сравнение основных методов вискозиметрии

Критерии	Капиллярный вискозиметр	Вискозиметр с падающим шариком	Ротационный вискозиметр	Вибрационный вискозиметр
подходит для газов	да	нет	да	да
измеряет плотность	нет	нет	да	да
прямое измерение	нет	да	да	нет
движущиеся части, детали	нет	да	да	нет
диапазон измерения	узкий	узкий	широкий	широкий
возможность непрерывного режима работы	нет	нет	да	да
размер конструкции для поточного измерения	–	большой	большой	средний

Проведя сравнительный анализ методов вискозиметрии, была подтверждена правильность выбора метода вискозиметрии для разработки преобразователя вязкости. Данный выбор сделан по ряду преимуществ вибрационного метода вискозиметрии, по сравнению с другими рассмотренными выше.

2.2 Патентный обзор

Объектом патентного обзора являются поточные приборы (устройства), для измерения вязкости, автоматического типа, которым в более полной мере соответствуют вибрационные вискозиметры.

Информационный тематический поиск производился по следующим базам данных:

- Полные тексты российских патентных документов за период 1994 – 05.2015 г.;
- Полные тексты полезных моделей за период 1994 – 05.2015 г.;
- Рефераты полезных моделей за период 1994 – 05.2015 г.;
- Формулы заявок на российские изобретения на 05.2015 г.;
- База данных Евразийского патентного ведомства ЕАПАТИС на 05.2014 г.;
- Полные тексты патентов США на 05.2015 г.

При проведении патентного обзора был выявлен массив патентных документов, характеризующий уровень техники в области преобразователей вязкости. При отборе документов предпочтение отдавалось устройствам поточного (проточного, потокового) типа для непрерывного определения вязкости жидкости. Результат патентного обзора представлен в таблице 3.

Таблица 3 – Результаты патентного обзора

Страна выдачи, вид и номер охранного документа, классификационный индекс	Заявитель, правообладатель	Дата подачи заявки и публикации	Название изобретения (полезной модели, образца)	Статус на 05.2015 г.
РФ патент на изобретение № 2277706 G01N11/16	ЭНДРЕС + ХАУЗЕР ФЛОУТЕК	Дата подачи заявки: 17.08.2002 г. Дата публикации: 10.06.2006 г	вискозиметр (варианты) и способы определения вязкости среды	действующий
США патент № 5323638 G01N11/16; G01N29/024; G01N33/03; G01N9/00	MARCONI GEC LTD	Дата подачи заявки: 10.04.1992 г. Дата публикации: 28.06.194 г.	Sensor apparatus	не определен
ЕПВ патент изобретения EP0282251B2 G01L9/00; G01N11/16; G01N9/00	SCHLUMBERGER ELECTRON	Дата подачи заявки: 07.03.1988 г. Дата публикации: 13.12.2000 г.	Fluid transducer	не определен
РФ патент на изобретение № 2393456 G01N9/00; G01N11/00	ШЛЮМБЕРГЕР ТЕХНОЛОДЖИ	Дата подачи заявки: 24.02.2006 г. Дата публикации: 10.04.2009 г.	датчик плотности и вязкости	действующий

2.3 Современные модели преобразователей вязкости

В настоящее время, для поточной вискозиметрии в подавляющем большинстве применяются вискозиметры зарубежного производства. Особо следует отметить продукт компании «mobrey measurement» – поточный преобразователь вязкости micromotion 7827 (далее ММ), рисунок 7.



Рисунок 7 – Поточный преобразователь вязкости Solartron 7827

Вискозиметры данной серии предназначены, в первую очередь, для измерения вязкости в потоке жидкости в непрерывном режиме, а также имеет возможность расчета плотности и температуры исследуемой среды. Принцип измерения основан на вибрационном методе – изменение плотности жидкости ведет к изменению резонансной частоты колебаний системы, а вязкость является функцией ширины диапазона затухающих колебаний т.е. добротности [12].

В основном, данный преобразователь вязкости применяется в нефтяной промышленности, где требуется измерение величины вязкости с высокой точностью.

Их основным конкурентом на Российском рынке можно считать поточный вискозиметр DC-51 производства Латвийской компании «LEMIS Baltic», внешний вид прибора представлен на рисунок 8.

					Разработка конструкции вибрационного вискозиметра	Лист
						24
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		



Рисунок 8 – Поточный вискозиметр DC-51 в установочном модуле

Предназначен для точных измерений динамической вязкости жидкостей с вязкостью до 1200 мПас. Основной элемент датчика - это резонансная трубка, которая омывается измеряемой жидкостью. Применение чувствительного элемента такого типа гарантирует высокую точность и многолетнюю стабильную работу прибора. Помимо прибора, производитель предлагает большой выбор установочных модулей, что значительно снижает расходы на установку и сокращают время простоя [13].

Еще один зарубежный представитель из Швеции – компания «SocTrade», предлагает поточные преобразователи вязкости XL7 рисунок 9. Вискозиметры этой серии предназначены для непрерывного измерения динамической вязкости, и возможностью расчета кинематической вязкости. Данный преобразователь имеет прочную конструкцию без движущихся частей, уплотнений и подшипников, таким образом нет потребности в дополнительном обслуживании прибора. Каждую секунду прибор определяет динамическую вязкость с высокой точностью и воспроизводимостью [14].

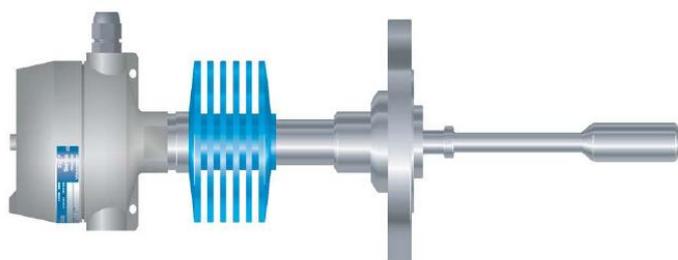


Рисунок 9 – Преобразователь вязкости XL7

					Разработка конструкции вибрационного вискозиметра	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		25

Принцип действия выше упомянутых вискозиметров основан на погружении колеблющегося тела в исследуемую жидкость. В отличие от них кориолисовый расходомер Proline Promass 831 (рисунок 10) компании Endress+Hauser имеет конструкцию однострубногo плотнoмера.



Рисунок 10 – Кориолисовый расходомер Proline Promass 831

Расходомер Promass 831 исполнен с прямой измерительной трубкой, что позволяет осуществлять измерения массового расхода, плотности и температуры, а также вязкости в качестве дополнительного параметра [15].

Существует преобразователь вязкости и отечественного производства такой как, вискозиметр вибрационный низкочастотный ВВН-8 рисунок 11.



Рисунок 11 – Вискозиметр вибрационный низкочастотный ВВН-8.

ВВН-8 предназначен для измерения вязкости жидкостей, выпускается в пяти исполнениях в зависимости от диапазона измерения и может быть использован для автоматизации аналитического контроля технологических

					Разработка конструкции вибрационного вискозиметра	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		26

Таблица 4 – Сравнительная таблица наиболее вибрационных преобразователей вязкости

наименование	Модель вискозиметра				
	micromotion 7827	DC-51	XL7	Proline Promass 831	ВВН-8
Диапазон измерения вязкости среды, мПа·с	0,5...12500	0,5...1200	0,5...10 ⁶	1...500	0.5...10 ⁸ Па·с·кг/м ³
Основная погрешность преобразования вязкости, %	±1	± 1	± 1	± 5	±2,5 %
Возможность расчета плотности	+	-	-	+	-
Диапазон преобразования плотности, кг/ м ³	0...3000	-	-	0...3000	-
Диапазон температур исследуемой среды, °С	от -50 °С до +110 °С	от -200 °С до +200 °С	от -40 °С до +85 °С	от -50 °С до +150 °С	от -40 °С до +85 °С
Максимальное рабочее давление, МПа	10	10	10	свыше 6	6,3
Диапазон температур окружающей среды, °С	от -40 °С до +85 °С	от -40 °С до +85 °С	от -40 °С до +6 °С	от -20 °С до +65 °С	от -45 °С до +40 °С
Параметры электрического питания: - напряжение (пост.), В	18 – 28	6-12	6 – 14	24	6,5 – 20
Выходной сигнал: - цифровой	RS485 Modbus, HART	RS485 Modbus, HART	RS485, RS232, Modbus LEM	RS485 Modbus, HART	RS485 Modbus, ИРПТ
- аналоговый, мА	4 – 20	4 – 20	4 – 20	4 – 20	4 – 20
Масса, не более, кг	22	15	11	11...67	12,5
Степень влаго/пылезащиты	IP65	IP65	IP68	IP69K	IP54

процессов и создания АСУ ТП. Функционально состоит из электронного блока БЭ-63 и измерительного преобразователя ПИ-72 [16].

Основные технические параметры и характеристики преобразователей вязкости представлены в таблице 4.

Заключение

В ходе анализа различных методов вискозиметрии было установлено, что для применения в блоках СИКН наиболее подходящим является вискозиметр, основанный на вибрационном принципе действия.

Проведенный патентный обзор выявил массив патентных документов, характеризующих уровень техники в области разработок преобразователей вязкости.

Анализ различных способов соединения деталей (резонатор – переходник резонатор - сильфон) из сильно различающихся материалов, показал, что наиболее подходящим способом является пайка.

В результате обобщения полученных теоретических знаний, был разработан и изготовлен опытный образец преобразователя вязкости.

Экспериментальное исследование выявило ряд проблем в разрабатываемом преобразователе вязкости:

- большая погрешность, сопоставимая с реальным значением динамической вязкости;
- низкий уровень помехозащищенности конструкции.

Были предложены решения по улучшению конструкции разработанной на данный момент.

					Разработка конструкции вибрационного вискозиметра			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				
Разраб.		Мартынюк А.О.			Заклучение	Лит.	Лист	Листов
Руковод.		Рудаченко А.В.					94	13
Консульт.								
Зав. Каф.		Рудаченко А.В.						
						НИ ТПУ гр. 2БМ4Б		

Список используемых источников:

1. Теория вязкости жидкостей / Г.М. Панченков, Гостехиздат, 1947.
2. Механика сплошных сред / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. ГИТТЛ, 1953.
3. Химия нефти и газа./ Рябов В.Д М., Техника, 2004.
4. Подготовка, транспорт и хранение скважинной продукции: учебное пособие / Н. А. Сваровская; ТПУ. — 2-е изд. — Томск: Изд-во ТПУ, 2009. — 299 с.: ил. — Библиогр.: с. 296..
5. Luc Bellière, Philippe Burg, Domitille Chantereau and Suzanne M. Stanton, Sofraser, France, analyse the role of viscosity control throughout a variety of petroleum related operations.
6. ГОСТ 29226-91 ВИСКОЗИМЕТРЫ ЖИДКОСТЕЙ. ОБЩИЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ И МЕТОДЫ ИСПЫТАНИЙ
7. VISCOSITY AND DENSITY OF REFERENCE FLUID / Masaed Moti Almotari, University of Canterbury, 2006
8. Определение вязкости жидкости методом Стокса / : С.С. Никулин, А.С. Чех методические указания / сост.. – Тамбов : Изд-во ГОУ ВПО ТГТУ, 2011. – 12 с. – 100 экз.
9. Исследование углеводородных систем при определении качественных характеристик в системе магистральных трубопроводов: учебное пособие / Н.В. Чухарева, А.А. Новиков; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009. – 289 с.
ISBN 5-98298-431-0
10. Определение динамической вязкости на ротационном вискозиметре Brookfield RVDV-II+ Pro: Методическое указание/ В.Е. Крупенникова, В.Д. Раднаева, Б.Б. Танганов. – Улан-Удэ: Изд-во ВСГТУ, 2011. – 48 с.

					<i>Разработка конструкции вибрационного вискозиметра</i>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>		<i>Мартынюк А.О.</i>			Заключение	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Руковод.</i>		<i>Рудаченко А.В.</i>					95	13
<i>Консульт.</i>								
<i>Зав. Каф.</i>		<i>Рудаченко А.В.</i>				НИ ТПУ гр. 2БМ4Б		

11. Вибрационный метод измерения вязкости жидкости / А.Н. Соловьев, А.Б. Каплун изд. «Наука» сибирское отделение, Новосибирск, 1967. – 140 с.
12. <http://www.emersonprocess.com> / Официальный сайт Emerson Process
13. <http://www.lemis-baltic.ru/> официальный сайт Lemis
14. <http://www.soctrade.com/> Официальный сайт SocTrade
15. <http://www.endress.com/> Официальный сайт Endress + Hauser
16. 5Д1.560.024.ТУ Технические условия Вискозиметры вибрационные низкочастотные ВВН-8
17. Введение в теорию колебаний / С.П. Стрелков: Учебник, 3-е изд., испр. – СПб.: Издательство «Лань», 2005. – 440 с.
18. Жуков Ю. П. Вибрационные плотномеры. – М.: Энергоавтомиздат, 1991. – 144 с.: Ил.
19. ГОСТ 10994 –74. Сплавы прецизионные. Марки
20. ГОСТ Р 55019-2012 Арматура трубопроводная. Сильфоны многослойные металлические. Общие технические условия
21. ГОСТ 5632-2014 Легированные нержавеющие стали и сплавы коррозионно-стойкие, жаростойкие и жаропрочные. Марки
22. Сравнение качества сварных соединений детали из прецизионного сплава с заданными параметрами упругости, полученных при применении аргоно-дуговой и электронно-лучевой высокотехнологичных сварок. Мартынюк А.О., Рудаченко В.А.
23. Сварка и резка металлов. / Рыбаков В.М. Учебник для СПТУ. М., "Высшая школа", 1979. 214 с.
24. Каховский Н.И. Электродуговая сварка сталей. – Справочник. – Киев. – «Наукова думка», 1975. – 480 с.
25. Лазерная и электронно-лучевая обработка материалов: Справочник/ Н.Н. Рыкалин, А.А. Углов, И.В. Зуев, А.Н. Кокора Издательство: Машиностроение Год: 1985
26. Лашко Н.Ф., Лашко С.В. Пайка металлов. М., «Машиностроение», 1977. 328 с.

					Описание конструкции	Лист
						30
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

27. ГОСТ 19738-74 Припой серебряные. Марки
28. ТУ 48 - 17228138/ОПП-013-97 Паста флюсовая сварочная
29. Губин А.И., Китаев А.М. Сварка и пайка тонкостенных трубопроводов, 2 – е изд., М., «Машиностроение», 1972. 128 с.
30. ГОСТ 28830-90 Соединения паяные. Методы испытаний на растяжение и длительную прочность
31. Техника физического эксперимента и метрология Мурашкина Т.И.: учеб. Пособие / Т.И. Мурашкина. – СПб.: Политехника, 2015. – 138 с.: ил.
32. ГОСТ 20799-88 Масла индустриальные. Технические условия
33. ГОСТ 20799-88 Масла индустриальные. Технические условия
34. ТУ 38.101890-81 Масла трансформаторные
35. ГОСТ 18300-87 Спирт этиловый ректификованный технический
36. ГОСТ 6824-96 Глицерин дистиллированный. Общие технические условия
37. ГОСТ 6709-72 Вода дистиллированная. Технические условия (с изменениями № 1, 2)
38. Федеральный закон от 24.07.2009 N 212-ФЗ (ред. от 29.12.2015) "О страховых взносах в Пенсионный фонд Российской Федерации, Фонд социального страхования Российской Федерации, Федеральный фонд обязательного медицинского страхования"
39. ГОСТ Р ИСО 26000-2012. Руководство по социальной ответственности
40. ГОСТ 12.0.003-74 Опасные и вредные производственные факторы. Классификация (с измен. № 1)
41. ГОСТ 12.1.003-83 Система стандартов безопасности труда. Шум. Общие требования безопасности
42. ГОСТ 12.1.004-91 Система стандартов безопасности труда. Пожарная безопасность. Общие требования
43. ГОСТ 12.1.007-76 Система стандартов безопасности труда. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности

					Описание конструкции	Лист
						31
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

44. ГОСТ 12.1.010-76 Система стандартов безопасности труда. Взрывобезопасность. Общие требования
45. ГОСТ 12.4.011-89 Система стандартов безопасности труда. Средства защиты работающих. Общие требования и классификация
46. ГОСТ 12.1.019-79 Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты
47. Чулков Н.А. Безопасность жизнедеятельности: Учебное пособие. – Томск:
48. ГН 2.2.5.686-98 Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны. Гигиенические нормативы
49. ГОСТ 8505-80 нефрас-С 50/170 Технические условия
50. Ушаков К.З., Каледина Н.О. Безопасность жизнедеятельности: Учебник для вузов – М: Изд-во МГУ, 2000. – 430 с.
51. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278–03 Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному, освещению жилых и общественных зданий
52. ГОСТ 12.1.038-82 Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов (с изменением №1)
53. НПБ 105-03 Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности
54. РД-03.100.30-КТН-340-08 Учебное пособие для обучения по рабочей профессии: «Трубопроводчик линейный 2-5 разрядов»
55. СНиП 12-01-2004 Организация строительства
56. СНиП III-42-80* Магистральные трубопроводы
57. Федеральный закон от 22.07.2008 № 123 Технический регламент о требованиях пожарной безопасности (ред. От 13.07.2015)
58. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 30.12.2015)

					Описание конструкции	Лист
						32
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

59. Закон РФ от 19.02.1993 N 4520-1 (ред. от 31.21.2014) «О государственных гарантиях и компенсациях для лиц, работающих и проживающих в районах Крайнего Севера и приравненных к ним местностях»

					Описание конструкции	Лист
						33
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

