

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 поточного преобразователя плотности»

УДК 531.756

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ4А	Филюшин В. В.		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. преподаватель	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

<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. Виды конструкций поточных преобразователей плотности; 2. Принцип работ различных поточных преобразователей плотности; 3. Определение зависимости параметров колебаний чувствительного элемента от плотности жидкости; 4. Влияние температуры и давления на параметры колебаний резонатора; 5. Определение калибровочных коэффициентов.
--	---

<p>Перечень графического материала</p> <p><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
«Социальная ответственность»	Крепша Нина Владимировна
«Analysis of parameters effects to density measurement»	Шендерова Инна Владимировна

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

1. Обзор существующих видов и принципов работы преобразователей плотности;
 2. Описание конструкции и параметров разрабатываемого преобразователя плотности;
 3. Разработка блока электроники преобразователя плотности;
 4. Исследование параметров, влияющих на измерение плотности;
 5. Расчет калибровочных коэффициентов;
 6. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение;
 7. Социальная ответственность при разработке конструкции вибрационного поточного преобразователя плотности;
- Analysis of parameters effects to density measurement.

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

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Зав. кафедрой	Рудаченко Александр Валентинович	к.т.н, доцент		16.03.2016

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ4А	Филюшин Владимир Владимирович		16.03.2016

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 123 страницы, 44 рисунка, 40 таблиц, 42 источника.

Ключевые слова: Вибрационный поточный преобразователь плотности, резонатор, сильфон, чувствительная система, блок электроники, резонансная частота, колебания, прецизионная сталь, давление, температура, точность измерения, принцип работы, плотность.

Объектом исследования является преобразователь плотности жидкости, работа которого основана на вибрационном принципе.

Цель работы – разработка конструкции отечественного преобразователя плотности, основанного на вибрационном принципе работы.

В процессе исследования проводились математические расчеты по определению зависимости параметров колебаний чувствительного элемента от плотности, протекаемой внутри жидкости. Рассмотрены вопросы, связанные с причинами и силой влияния внешних факторов, таких как давление, температура, скорость перекачки, на точность измерения частоты колебаний трубки. Приведены мероприятия по охране труда и безопасности эксплуатации, охране окружающей среды, технико-экономическая часть.

В результате исследования был произведен анализ существующих средств измерения, основанных на вибрационном принципе работе. На его основании было выявлено, что наиболее подходящим вариантом, учитывая предъявляемые параметры измерения, для изготовления преобразователя плотности являются однотрубные поточные с вибрационным принципом работы.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: разработка представляет собой трубку, изготовленную из прецизионной стали с высоким показателем упругости и конструктивно связанную с корпусом посредством сильфонов. Средство измерения позволяет измерять плотность жидкости, протекаемой по трубопроводу, без его остановки, т.е. непрерывно. Измерения должны проводиться с точностью до $0,3 \text{ кг/м}^3$.

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

Область применения: Установка на узлах учета количества и качества нефти.

Экономическая эффективность/значимость работы: Величина бюджетного фонда, сформированного для проведения научно-исследовательского проекта по разработке конструкции вибрационного поточного преобразователя плотности, составила 14111,75 тысяч. рублей

В будущем планируется: внедрение на производстве компании АО «Транснефть» и полное замещение импортного аналога, как средства измерения.

Содержание

Введение.....	7
1. Обзор существующих видов и принципов работы преобразователей плотности	8
1.1 Определение плотности	8
1.2 Вибрационно-частотные преобразователи.....	10
1.3 Виды и схемы вибрационных плотномеров.....	17
1.4 Современные модели преобразователей плотности.....	26
2. Описание конструкции разрабатываемого изделия.....	32
2.1 Назначение и технические параметры	32
2.2 Устройство конструкции и принцип работы.....	34
2.3 Составные части конструкции преобразователя плотности	35
2.4 Сравнение сварных соединений.....	39
3. Разработка блока электроники преобразователя плотности.....	47
3.1 Сравнение двух методов определения резонансной частоты.....	50
3.2 Повторяемость определения резонанса	53
3.3 Стабильность работы электронной платы.....	54
3.4 Чувствительность платы к изменению плотности жидкости	55
3.5 Сравнение показателей электронных плат изготовленного опытного образца и зарубежного аналога 7835.....	56
4. Исследование параметров, влияющих на измерение плотности.....	59
4.1 Определение зависимости резонансной частоты от плотности жидкости	62
4.2 Определение погрешности измерений резонансной частоты от влияния изменения температуры	68
4.3 Определение погрешности измерений резонансной частоты от изменения давления внутри системы.....	71
5. Расчет калибровочных коэффициентов	75
5.1 Определение коэффициентов линейной зависимости.....	76
5.2 Определение коэффициентов полинома 2-ой степени	79
6. Экономическое обоснование разработки конструкции вибрационного поточного преобразователя плотности	82
6.1 Расчет материальных затрат НТИ.....	82
6.2 Расчет затрат на специальное оборудование и компоненты для проведения научных исследований и экспериментальных работ	84
6.3 Затраты по основной заработной плате.....	86

6.4 Затраты на единоразовые выплаты в связи со сдачей этапа	89
6.5 Отчисления во внебюджетные фонды.....	89
6.6 Расчет контрагентных расходов.....	90
6.7 Накладные расходы.....	91
6.8 Формирование бюджета научно-исследовательского проекта.....	91
7. Социальная ответственность при разработке конструкции вибрационного поточного преобразователя плотности	93
7.1 Профессиональная социальная безопасность.....	94
7.1.1 Анализ вредных производственных факторов и обоснование мероприятий по их устранению.....	94
7.1.1.1 Превышение уровня шума и вибрации.....	95
7.1.1.2 Вредные вещества	96
7.1.1.3 Недостаточная освещенность	98
7.1.2 Анализ опасных производственных факторов и обоснование мероприятий по их устранению.....	99
7.1.2.1 Электрический ток	99
7.1.2.2 Пожаровзрывобезопасность.....	101
7.2 Экологическая безопасность	102
7.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	105
7.4 Законодательное регулирование проектных решений.....	108
Заключение.....	111
Список публикаций	112
Список использованных источников.....	113
Analysis of parameters effects to density measurement.....	117

ВВЕДЕНИЕ

Измерению плотности на многих предприятиях нефтяной и газовой отраслей уделяют большое внимание, поскольку это физический параметр вещества может дать ценную информацию о параметрах технологических процессов. Плотностью определяются состав и физические свойства исследуемой продукции. Измерение плотности используется при количественном учете продукции компаний газонефтяной отрасли.

Существует большое количество видов конструкций плотномеров с различным принципом работы. Однако каждый из них обладает рядом недостатков, связанных недостаточно высокими метрологическими показателями, большими габаритами и массой, уровнем надежности, трудоемкостью установки и обслуживания, уровнем метрологических показателей и т.д. Наибольшее распространение получили вибрационные проточные плотномеры.

К настоящему времени накоплен огромный опыт в исследовании и разработке оборудования различных конструкций для измерения плотности жидкости в динамике, без остановок рабочей системы, работа которых основана на вибрационно-резонансном принципе.

Такое оборудование успешно применяется при автоматизированном учете нефти и нефтепродуктов при сборе, транспорте и переработке в системах учета и контроля качества нефти. В связи с постоянным развитием конструкций и рабочих возможностей к оборудованию предъявляются ряд жестких требований к широте измеряемым диапазонам, точности проведения измерений, стоимости, качеству изготовления и простоте конструкции, а также к удобству пользования.

Принципиальной задачей является разработка отечественных конструкций с рабочими характеристиками, не уступающими их зарубежным аналогам по качеству проведения измерений. Импортозамещение позволит не зависеть Российским компаниям от импортных зарубежных поставщиков. Использование отечественных комплектующих значительно снизит стоимость изготовления оборудования.

					Разработка конструкции вибрационного поточного преобразователя плотности			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				
Разраб.		Филюшин В.В.			ВВЕДЕНИЕ	Лит.	Лист	Листов
Руковод.		Рудаченко А.В.					7	1
Консульт.						НИ ТПУ гр. 2БМ4А		
Зав. Каф.		Рудаченко А.В.						

1. ОБЗОР СУЩЕСТВУЮЩИХ ВИДОВ И ПРИНЦИПОВ РАБОТЫ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ПЛОТНОСТИ

1.1 Определение плотности

Плотность является важной физической величиной, с помощью которой можно качественно охарактеризовать свойства жидкости. Измерение данного физического параметра играет существенную роль в нефтегазовой отрасли. При помощи измерения плотности осуществляется контроль за проводимыми технологическими процессами и качеством рабочей продукции.

Приборы, предназначенные для автоматического измерения плотности, являются важным элементом в системе комплексной автоматизации производственных процессов в различных отраслях промышленности, в частности – в нефтяной.

С течением времени непрерывно увеличивается номенклатура как процессов, так и технологических производств, где оценкой по массе продукции осуществляется контроль расхода веществ. Более того, определение массового расхода определяется путем отдельных автоматических измерений объемного расхода и плотности жидкости с их последующим перемножением результатов измерений, согласно полученной практическим путем зависимости этих величин. Особенно стоит отметить роль определения плотности в системах количественного учета веществ при их транспортировке, хранении и приемке, если масса веществ неизвестна и не может быть измерена обычным взвешиванием. Определять ее приходится по измерению объема и плотности веществ в динамике, не прерывая процесс транспорта сырья по трубопроводам [1, 2, 3].

					<i>Разработка конструкции вибрационного поточного преобразователя плотности</i>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>	Филюшин В.В.				Обзор существующих видов и принципов работы преобразователей плотности	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Руковод.</i>	<i>Рудаченко А.В.</i>						8	24
<i>Консульт.</i>						НИ ТПУ гр. 2БМ4А		
<i>Зав. Каф.</i>	<i>Рудаченко А.В.</i>							

Плотность определяется как физическая величина, характеризующая свойства вещества, равная отношению массы вещества к его объему. Таким образом плотность вычисляется по формуле:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (1)$$

где: ρ – плотность вещества, кг/м³;

m – масса вещества, кг,

V – объем вещества, м³.

Для неоднородного вещества его плотность в точке определяется как предел отношения массы к объему, при условии, что объем стягивается к точке, в которой и определяется его плотность:

$$\rho = \lim_{\Delta V \rightarrow 0} \frac{\Delta m}{\Delta V} \quad (2)$$

где: Δm — масса элементарного объема ΔV .

Иными словами, единицей плотности является плотность такого однородного вещества, единица объема которого содержит единицу массы.

Единицей измерения такой величины, как плотность, в международной системе (СИ) является килограмм на кубический метр (кг/м³). Однако, допускается с единицей СИ использовать внесистемные единицы измерения плотности вещества: тонна на кубический метр (т/м³), либо килограмм на литр (кг/л).

Большое развитие получили различные методы измерений плотности. Оно основываются на использовании разных физических явлений и величин, которые находятся в зависимости от плотности вещества. В частности, к такой величине можно отнести значения частоты и амплитуды колебаний вибрирующего вспомогательного тела, которое находится в непосредственном контакте с исследуемым веществом. Тело, совершающее колебания, является чувствительным элементом системы колебательного контура.

					Разработка конструкции вибрационного поточного преобразователя плотности	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		9

1.2 Вибрационно-частотные преобразователи

К классу поточных вибрационных плотномеров относят средства измерения, принцип действия которых основан на определении зависимости между параметрами упругих изгибных колебаний чувствительного элемента и плотностью помещенного в него исследуемого вещества. В настоящее время уделяется большое внимание развитию именно класса вибрационных плотномеров, усовершенствованию их конструкций и методов электронной обработки параметров, что связано с рядом их преимуществ над аналогичными приборами.

По принципу работы вибрационные плотномеры делятся на два класса:

1) Амплитудные плотномеры. В данном случае мерой плотности является величина амплитуды колебаний чувствительного элемента (резонатора) на резонансной частоте. В случае изменения плотности происходит отклонение от резонанса, что приводит и к изменению амплитуды колебаний. Однако, стоит отметить, что амплитуда колебаний резонатора, в данном случае, определяется кроме его механических параметров еще и рядом других факторов: мощностью импульса, скоростью потока вещества и т.д. Это накладывает ограничения на метрологические характеристики плотномеров этой группы;

2) Частотные плотномеры. Измеряют они частоту собственных колебаний чувствительного элемента, которая имеет функциональную зависимость с плотностью вещества. Чувствительный элемент вместе с системой возбуждения и системой обратной связи образует своеобразный электромеханический генератор. Поэтому измеряемая частота колебаний зависит только от механических параметров чувствительного элемента, т.е. от формы резонатора, его размеров, модуля упругости, массы самого резонатора, а также жидкости в нем. Преобразователи плотности, работающие на частотном принципе, обладают более высокими метрологическими характеристиками, по сравнению с плотномерами, работающими на

					Разработка конструкции вибрационного поточного преобразователя плотности	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		10

амплитудном принципе. Более того, получаемые рабочие данные при частотном методе измерений более удобны для их дальнейшей обработки, что говорит о преимуществе частотных плотномеров над амплитудными по конструктивно-эксплуатационным показателям.

Основным преимуществом, объясняющим преобладание частотных преобразователей плотности, является высокую точность измерений, чувствительность и надежность системы, непосредственное прямое преобразование величины плотности жидкости в частотный выходной сигнал, а также возможность применения данного метода в широком диапазоне давлений для различного класса контролируемых жидких сред [1].

Конечно, частотные преобразователи плотности обладают и рядом недостатков, в виде ограниченности допускаемого расхода вещества, которое определяется площадью внутреннего сечения чувствительного элемента, нелинейности калибровочной шкалы, а также необходимости компенсации влияния таких параметров, как температура и давление, на показания прибора.

Чувствительными элементами вибрационных преобразователей плотности могут быть резонаторы как электромагнитные, так и механические. Последние могут представлены в виде колеблющегося цилиндра, стержня, струны, пластины, камертона и т.д. Как известно, добротность механических резонатор по сравнению с электромагнитными значительно выше. Добротность, в свою очередь, напрямую влияет на точность и качество измерений. Поэтому гораздо большее распространение получили именно электромеханические резонаторы [2].

Во всех видах частотных преобразователей основным элементом служит колебательный контур (Рис. 1), либо частотно-зависимая цепь с параметрами, которые определяются измеряемой величиной. Существуют измерители, резонаторы которых могут быть электромагнитными и механическими. Последние являются более перспективными, если говорить о точности измерения различных физических параметров. Объясняется это тем,

					Разработка конструкции вибрационного поточного преобразователя плотности	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		11

что добротность механических колебательных систем значительно выше, нежели у электромагнитных контуров.

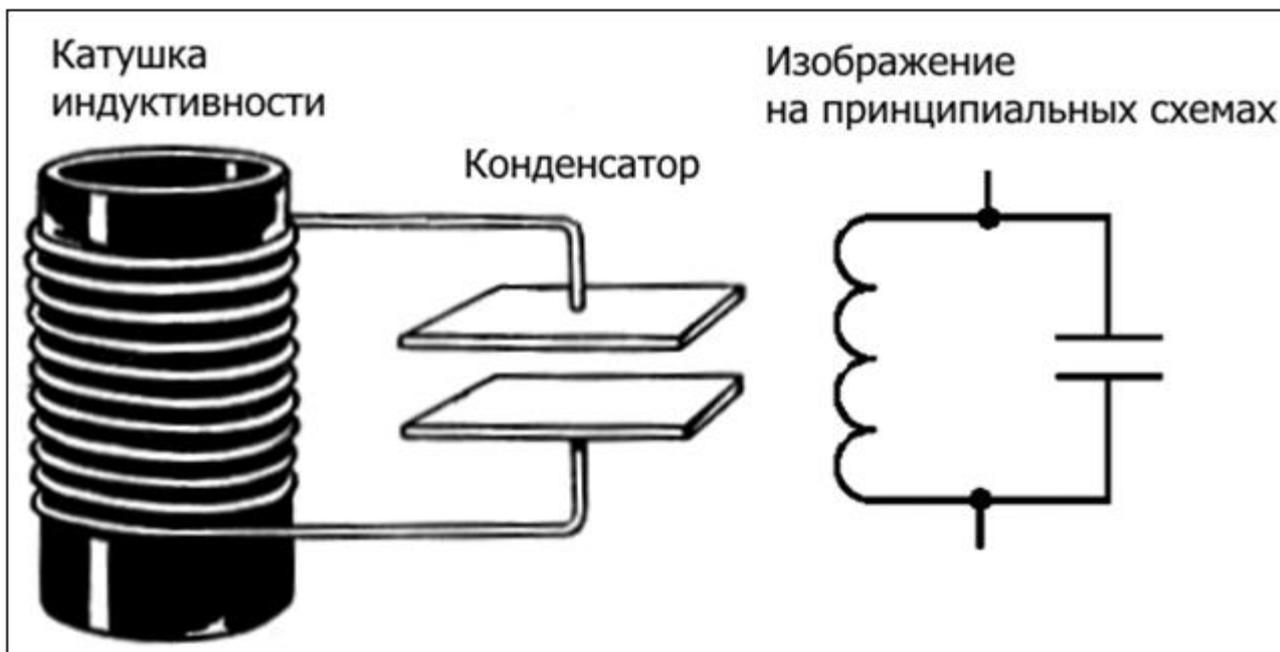


Рисунок 1 – Схема колебательного контура

Частотно-зависимые элементы приборов можно использовать в режиме вынужденных или свободных колебаний. Однако, большинство преобразователей имеет автоколебательный режим работы.

Принцип работы частотного преобразователя с механическим резонатором заключается в том, что контролируемый параметр, посредством своего воздействия на жесткость или массу системы, изменяет резонансную частоту ее колебаний. Возбуждают и принимают колебания различные электрические или пневматические преобразователи, которые и используются в качестве приемников и генераторов колебаний. Наибольшее распространение, в наше время, получили электрические преобразователи (Рис. 2). Среди которых наиболее распространены пьезоэлектрические, тензометрические и электромагнитные. Довольно часто, приемник и возбудитель колебаний выполняются в виде одинаковых преобразователей, что обусловлено их обратимостью.



Рисунок 2 – Электрические датчики вибрации

Все преобразователи частоты можно классифицировать по механизму действия и типу физической системы, которая преобразует в частотный сигнал величину, которую мы контролируем. Если говорить о вибрационных плотномерах, то по механизму действия их относят к резонаторным преобразователям, а по типу физической системы – к механическим. Также колебательные системы по числу степеней свободы можно разделить на системы с сосредоточенными и распределительными параметрами. Первые являются соединением элементов, сосредотачивающих в себе один из основных параметров – упругость и инерционность. Причем изменение какого-либо одно из них способно происходить вне зависимости от другого. Эти системы обладают одной степенью свободы и одной резонансной частотой при фиксированных значениях параметров элементов. Система с распределительными параметрами характеризуется одинаковым равным обладанием упругости и инерционности каждого ее элемента. Оба параметра в системе распределены в ней так, что изменение одного из них влечет за собой изменение другого. Такие системы уже имеют много степеней свободы и, следовательно, много резонансов. Естественно, добротность механических

					Разработка конструкции вибрационного поточного преобразователя плотности	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		13

систем с распределенными параметрами значительно выше, что говорит о наибольшей перспективности таких систем, способных обеспечить более высокую точность измерений. В таблице 1 представлены разные типы механических резонаторов с распределительными и сосредоточенными параметрами колебательных систем вибрационных плотномеров, которые классифицированы по видам совершаемых ими колебаний [4].

Таблица 1 – Механические резонаторы вибрационных плотномеров

Вид колебаний	Тип колебательной системы	
	С сосредоточенными параметрами	С распределительными параметрами
Изгибные	Струнные, пластинные	Трубчатые, пластинчатые
Крутильные	Трубчатые, лопастные	Трубчатые
Продольные	Пластинчатые	-
Сложной формы	-	Оболочковые, пластинчатые

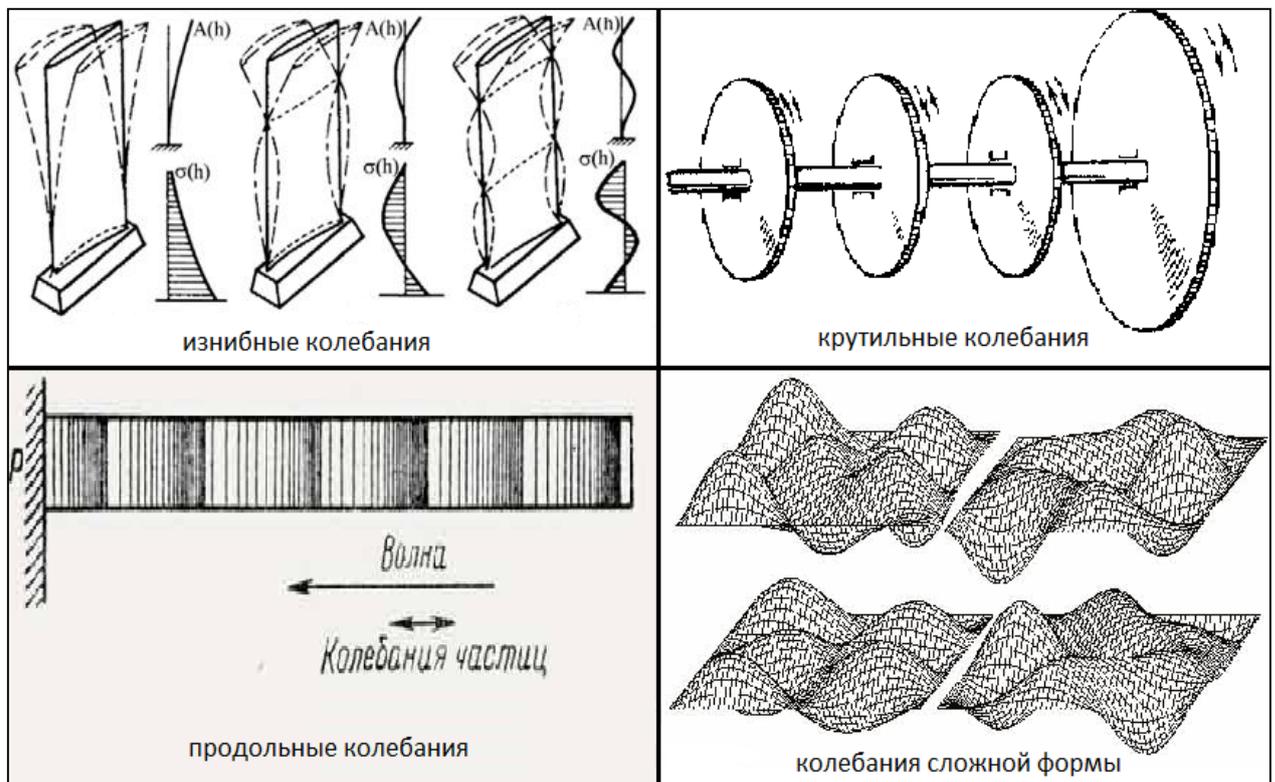


Рисунок 3 – Виды колебаний

Различают, в зависимости от способа контакта механического резонатора с контролируемой средой, проточные (Рис. 4,а) и погружные плотномеры (Рис. 4,б). В проточных плотномерах жидкость протекает внутри самого резонатора и непосредственно участвует в колебаниях как инертная масса, жестко с ним связанная. Как правило, в таких случаях, используется колебательная система на основе трубчатых резонаторов. Если же говорить о погружных – механический резонатор помещается в контролируемую жидкую среду на определенную глубину. Действие ее аналогично действия какой-либо «присоединенной массы», непосредственно связанной с резонатором и увлекаемой им в колебательное движение. В таком случае обычно используются оболочки или пластины в качестве резонаторов [3].

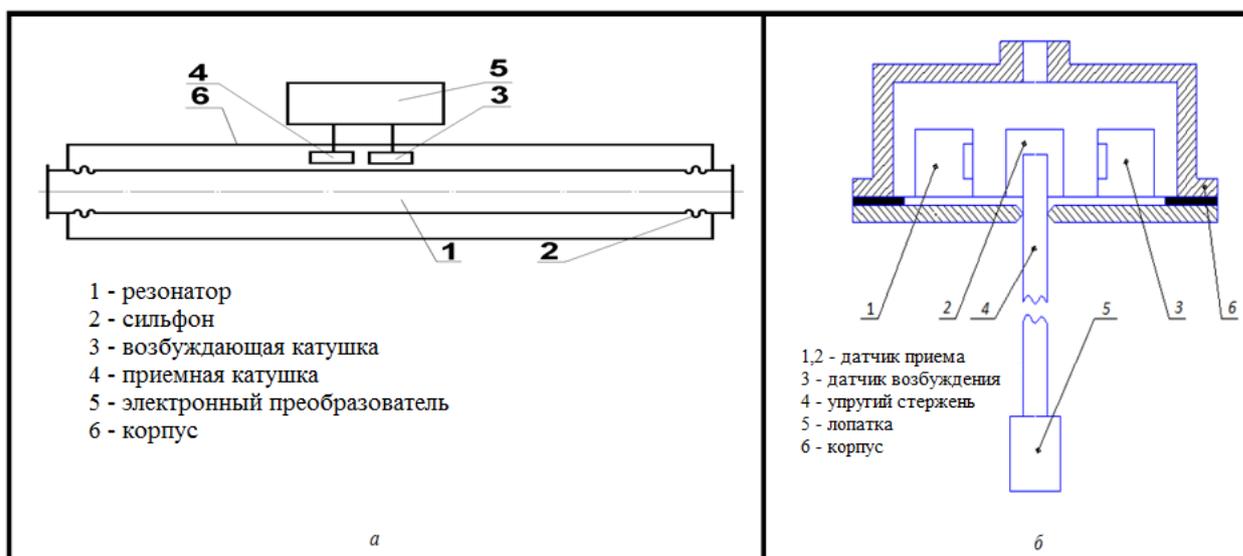


Рисунок 4 – Схемы проточного (а) и погружного (б) плотномеров

В результате сравнения проточных и погружных плотномеров между собой следует отметить преимущества первых и их большее распространение. Обуславливается это принципиальной независимостью показаний от свойств вещества, находящегося в резонаторе, меньшим уровнем восприятия влияния гидродинамического воздействия потока, более упрощенной системой

возбуждения, а также возможностью определения значения плотности даже у неоднородных веществ.

В проточных плотномерах чувствительный орган колеблется вместе жидкой средой, заполняющей его, причем в нем не возникают упругие волны. В погружных же плотномерах сам резонатор колеблет исследуемое вещество, тем самым возбуждает в нем волновое движение [5]. Акустическое поле, которое возникает, имеет ближнюю зону, где исследуемое вещество движется вместе с резонатором (полезный эффект), и дальнюю зону, которая вносит погрешность в результат измерений. Погрешность появляется из-за того, что упругие волны отражаются от стенок проточной системы и затем возвращаются к резонатору. Получаемый эффект зависит от скорости распространения акустических волн в веществе, которая является функцией температуры, плотности и т.д.

Колебательная энергия может передаваться механическим резонатором различными системами возбуждения колебаний, среди которых наибольшее распространение в датчиках плотности получили, как уже отмечалось, электромагнитные. Причем, датчики могут использоваться как в свободном режиме движения, так и в вынужденном, так и в автоколебательном.

Частотные приборы со свободным колебанием характеризуются возможностью совмещения функций возбуждения и съема колебаний непосредственно в одном преобразователе. Наиболее удобны такие схемы для систем берегающего контроля, где одновременно используется многочисленное количество датчиков с одним измерительным устройством.

В случаях вынужденных колебаний резонатора наблюдается большая сложность и меньшая точность измерений по сравнению с оборудованием, где используются свободные колебания и автоколебания. Они применяются редко и только в тех случаях, когда затруднительно или невозможно использовать другие режимы.

					Разработка конструкции вибрационного поточного преобразователя плотности	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		16

Преобразователи с автоколебательным режимом работы резонатора характеризуются высокой точностью измерений. Более того, они довольно просты и по устройству. Именно поэтому автоколебательные являются наиболее предпочтительными системами для вибрационных плотномеров. Данные виды устройств схожи со схемой электронного автогенератора. Разница заключается лишь в том, что связь между входными и выходными показателями генератора существует до тех пор, пока колеблется механический резонатор, который, кроме того, что является колебательным контуром, служит и элементом обратной связи для строго определенных частот.

1.3 Виды и схемы вибрационных плотномеров

К вибрационным относят плотмеры, принцип действия которых основан на зависимости параметров упругих колебаний, которые сообщаются трубе с исследуемым веществом или помещенному в них телу, а также плотностью вещества. Именно вибрационные плотмеры являются наиболее востребованными, благодаря ряду своих преимуществ.

Как уже утверждалось ранее, основными достоинствами, которые объясняют преимущественное распространение частотных плотномеров, являются высокая точность измерений, высокая чувствительность, надежность, преобразование искомой плотности непосредственно в частотный сигнал выходной сигнал, а также возможность их применения при высоких значениях давления для довольно широкой номенклатуры исследуемых сред (газов, жидкостей).

Однако, стоит отметить, что частотные плотмеры обладают и рядом недостатков, такими как ограниченность допускаемого расхода вещества, который определяется площадью сечения проточного канала, нелинейность шкалы, необходимость специальных мер для компенсации влияния температуры и давления на параметры резонатора.

					Разработка конструкции вибрационного поточного преобразователя плотности	Лист
						17
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

В виброчастотных плотномерах используются два способа измерения:

- 1) сравниваются частоты резонатора и опорного генератора, дополнительно, при помощи специальных соответствующих датчиков, определяется компенсация влияния температуры и давления исследуемого вещества;
- 2) сравниваются частоты резонатора с контролируемым веществом и компенсационного резонатора, который заполняется вспомогательной жидкостью известной плотности.

В амплитудных плотномерах, например, создаваемых для определения плотности газов, чувствительным элементом являлась мембрана, которая электростатическими силами приводилась в колебательное движение с резонансной частотой и постоянной амплитудой. Чувствительным органом, в данном виде плотномеров, являлся полый металлический цилиндр, середина которого содержала круглую мембрану, делящую полость его на две части. Каждая из полученных полостей сообщалась посредством трубки с исследуемым газом. Внутренняя сторона каждого диска обладала металлической обкладкой, которая образовала электрическую емкость с мембраной. К обкладке одного из дисков и мембране подводилось напряжение, что приводило мембрану в колебательное движение. Подведенное напряжение представляло собой сумму постоянной составляющей (напряжение смещения) и переменной составляющей с такой частотой, которая соответствует резонансной частоте самой мембраны.

Схему более современного вибрационного плотмера, созданного для измерения плотности газов приведена на рис. 5. На схеме изображен погружной камертонный вибрационный плотномер. Электромеханический генератор данного оборудования состоит из воспринимающих катушек 2 с магнитом 7, катушек 3, служащих для возбуждения колебаний, с магнитом 7, а также камертона 10, который располагается в корпусе 5, и электронного усилителя 4. Принцип работы основывается на сравнении частоты

					Разработка конструкции вибрационного поточного преобразователя плотности	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		18

колебательной системы на выходе усилителя 4 с частотой генератора (например, кварцевого). Далее, разность частот этих колебаний, которые определяют плотность газа, измеряются частотомером. Такой плотномер может использоваться в рабочих условиях.

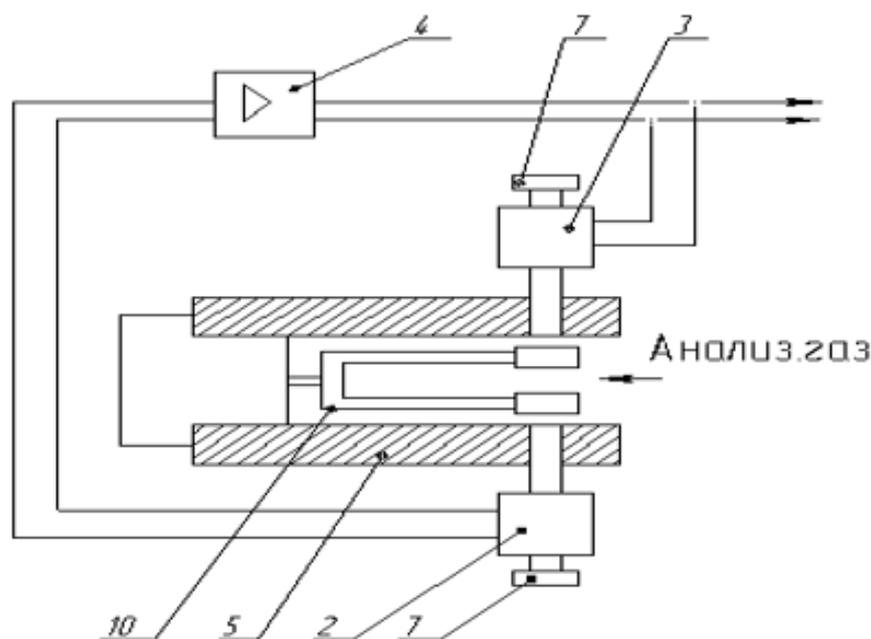


Рисунок 5 – Камертонный вибрационный плотномер газов

На рисунке 6 изображен проточный виброплотномер для жидкостей, который снабжен сдвоенным резонатором. Жидкость, поступает для анализа параллельно в трубки 1, которые называются резонаторами. Установлены резонаторы на сильфонах 11 и скреплены перемычками 6. Сами сильфоны 11 располагаются в специальных опорах. Резонаторы (трубки), катушка 2, служащая для приема колебаний чувствительного элемента, катушка возбуждения 3 и электронный усилитель 4 вместе составляют систему, которая представляет собой электромеханический генератор. Частота колебаний полученного генератора зависит от определяемой плотности жидкой среды. Выходной сигнал от усилителя 4 передается на вычислительное устройство 8 в виде частоты. В свою очередь, к вычислительному устройству подключаются термометры сопротивления 9,

					Разработка конструкции вибрационного поточного преобразователя плотности	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		19

которые предназначены для корректирования сигнала плотногомера в зависимости от значения температуры жидкой среды.

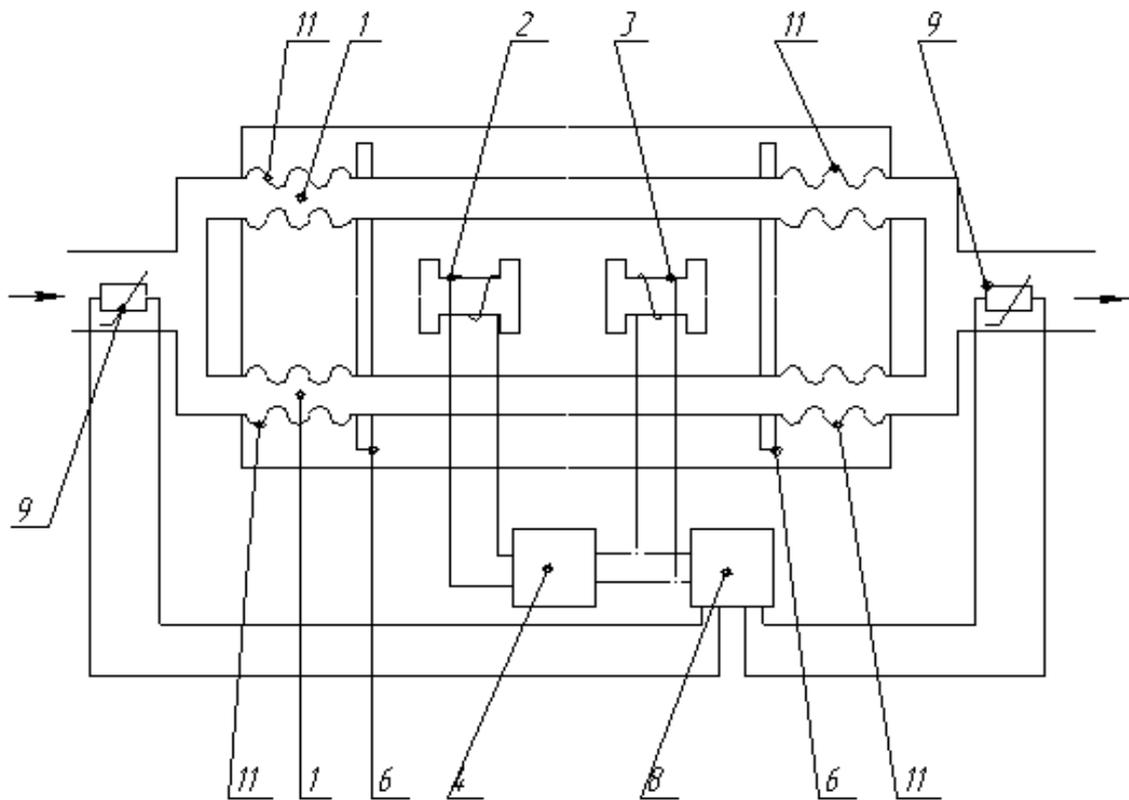


Рисунок 6 – Проточный вибрационный плотномер со сдвоенным резонатором

Наличие упругих перемычек между центральной частью резонатора и его жесткими основаниями обусловлено равномерным распределением напряжения по всей площади контакта трубки с перемычкой и между перемычками. Настройка частоты собственных колебаний резонатора может производиться двумя способами: грубо – регулировкой положения центральных перемычек, либо точно – периферийными перемычками. Проточная система, а именно конструкция ее исполнения позволяет без демонтажа и разбора датчика проводить его осмотр и очистку внутренней полости.

					Разработка конструкции вибрационного поточного преобразователя плотности	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		20

Частота автоколебаний резонатора близка к частоте его собственных колебаний и определяется плотностью протекаемой жидкой среды благодаря тому, что резонатор обладает высокой добротностью и тому, что фазовые и нелинейные искажения усилителя малы. Автоматической регулировкой усиления добиваются поддержания неизменности амплитуды колебаний во всем диапазоне измерений.

На данный момент, в нефтяной промышленности, наиболее широко используются однотрубные виброчастотные проточные плотномеры (Рис. 7), различающиеся с двутрубным плотномером материалом, из которого исполнен резонатор. Принцип работы таких плотномеров основан на зависимости между параметрами упругих колебаний трубки, которая заполняется жидкой средой, и плотностью самой жидкости. Тонкостенная трубка 1 с маленьким внутренним диаметром и толщиной менее 1 см жестко закреплена в довольно массивных наконечниках 2, которые присоединены к платформе 3. С входным и выходным патрубками 4 резонатор соединен при помощи сильфонов 5, которые предназначены для предотвращения передачи вибраций на корпус 6. Частота колебаний резонатора данного вида зависит только от его параметров таких, как форма, размеры, жесткость, масса самого резонатора и жидкости, в нем протекающей. Автоколебания чувствительного элемента (трубки) на частоте третьей гармоники поддерживаются системой возбуждения, которая состоит из электромагнитного возбудителя 7, установленного в средней части трубки и двух приемников 8. Приемники эти расположены по бокам на расстояниях, равных $1/5$ части длины от каждой из опор. Резонаторы плотномеров такого типа изготовлены могут быть из железоникелевого сплава, нержавеющей стали и других, схожих по физическим свойствам, материалов и сплавов.

					Разработка конструкции вибрационного поточного преобразователя плотности	Лист
						21
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

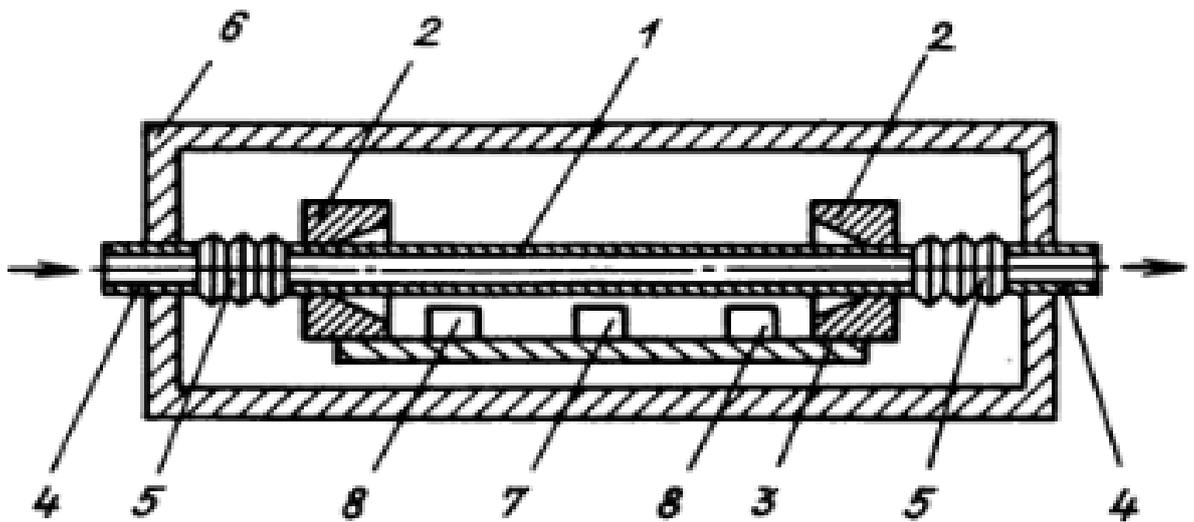


Рисунок 7 – Однотрубный виброчастотный плотномер

Самая известная компания, на сегодняшний день, выпускаемая плотномеры для жидкости, используемые в нефтяной отрасли, является компания «Emerson Limited». Наиболее широко применяемыми являются конструкции с однотрубными резонаторами.

Также существуют конструкции проточных плотномеров, резонатор которых является замкнутым камертоном (Рис. 8). Верхние концы трубок 1 камертона, расположенных вертикально, закреплены в массивном корпусе 2, врезающемся в технологический трубопровод. Нижние же концы трубок закреплены в корпусе 7 значительно меньшей массы, которая содержит термометр сопротивления 6, включенный в схему температурной компенсации. Трубки приводятся в колебания в противофазе магнитоэлектрической системой возбуждения с трансформатором 3, у которого первичная обмотка подключена к выходу усилителя 4, а сами трубки являются вторичной обмоткой и находятся в сильном магнитном поле между полюсами постоянного магнита. В случае подачи на первичную обмотку переменного тока по трубкам тоже потечет ток, что вызывает их отклонение в магнитном поле и, следовательно, вибрацию. Благодаря электростатическому приемнику колебаний 5, который связан со входом усилителя, в системе возникают незатухающие колебания с резонансной частотой.

					Разработка конструкции вибрационного поточного преобразователя плотности	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		22

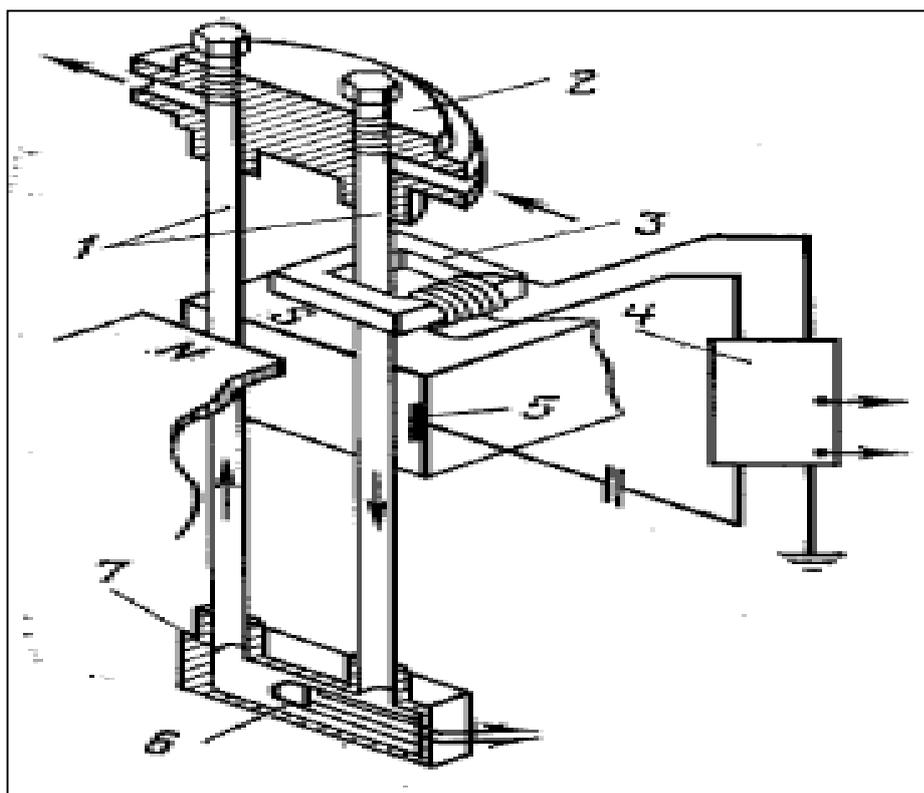


Рисунок 8 – Проточный плотномер с замкнутым камертоном

Как уже говорилось, существуют и погружные вибрационные плотномеры, общая схема которых представлена на рисунке 9. Чувствительным элементом конструкции является лопатка 5, которая установлена на конце упругого стержня 4. Второй конец стержня установлен в отверстие днища 7 корпуса 6. Кроме этого, в корпусе имеются системы возбуждения 3 и приема колебаний 1 и 2, которые обеспечивают возможность колебания стержня в двух плоскостях. Системы съема и возбуждения подключены по схеме автогенератора в цепь усилителей. Сигнал проходящий через усилители попадает в смеситель частот, выход которого через низкочастотный фильтр подключен к частотомеру.

					Разработка конструкции вибрационного поточного преобразователя плотности	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		23

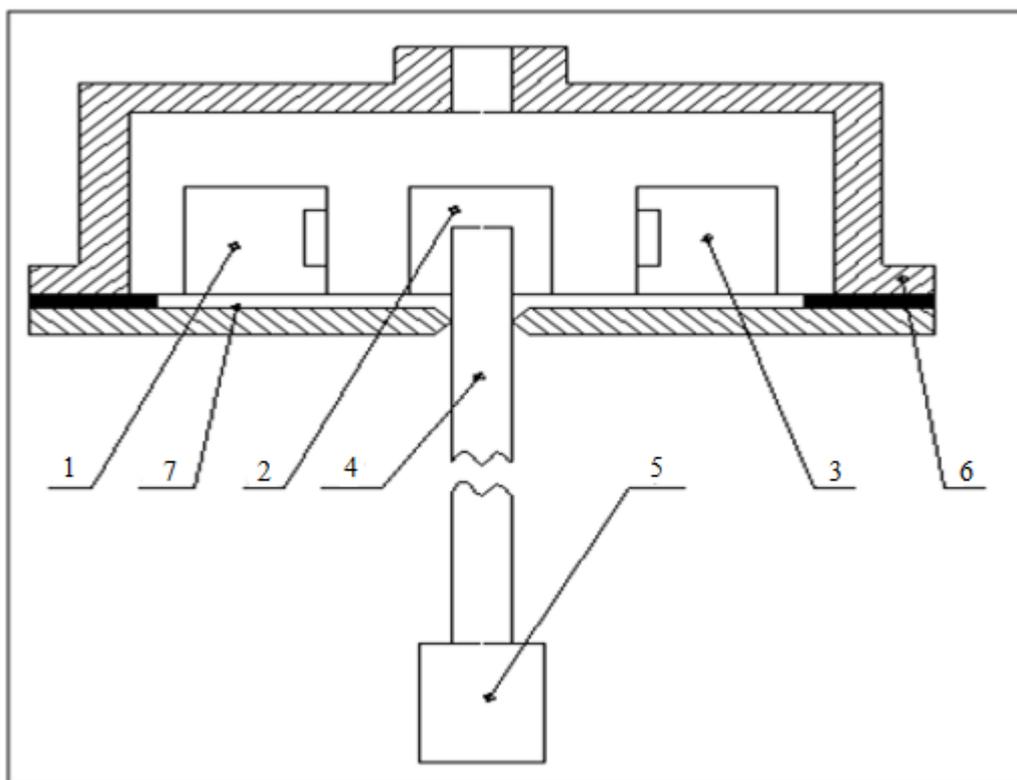


Рисунок 9 – вибрационный погружной плотномер

Упругий стержень выполняется с нечетным числом слоев, крайние из которых изготавливаются из материала с температурным коэффициентом линейного расширения отличным от аналогичного показателя материала центральных слоев.

Принцип работы плотномера выглядит следующим образом. Упругий стержень 4 вместе с лопаткой 5, при помощи вибродатчиков, приводятся в автоколебательный режим с двумя различными частотами f_1 и f_2 в двух разных плоскостях, для чего потери колебательной энергии стержня восполняются посредством воздействия цепи элементов 1, 2 и 3. В результате, на выходе смесителя образуются сумма и разность частот f_1 и f_2 . В низкочастотном фильтре выделяется разность частот $f_1 - f_2$, которая никак не зависит от температуры стержня, но определяется массой присоединенной к стержню жидкой среды, следовательно и с ее плотностью.

За рубежом довольно широкое применение также получили вибрационные плотномеры с оболочковыми резонаторами в виде

					Разработка конструкции вибрационного поточного преобразователя плотности	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		24

вибрирующих цилиндров (Рис. 10, а). Тонкостенный цилиндр 1 с фланцами 2 на торцах служит механическим резонатором для данного типа плотномеров. Резонатор (цилиндр) изготавливается из специального магнитного сплава, коэффициент термоупругости которого довольно мал. Например, таким материалом может служить элинвар. Для измерения плотности жидкостей толщина стенки трубки составляет порядка 0,6 мм. Корпус, в котором закреплен резонатор, является немагнитным (изготавливается из алюминия, нержавеющей стали и т.д.) и устанавливается в технологическом трубопроводе или в байпасной линии. Анализируемая жидкость протекает и внутри резонатора, и снаружи через отверстия во фланцах 2. Это позволяет уравнивать давление на стенки резонатора. Электромагнитная система возбуждения, как и в других видах плотномеров, состоит из возбуждающей 4 и приемной 5 катушек. Во время работы цилиндром совершаются кольцеобразные колебания, что приводит в движение жидкость протекаемую снаружи резонатора. Во время колебаний на основной частоте резонатор приобретает форму как показано на рисунке 10, б. Диаметрально противоположно расположенные участки стенки цилиндра (резонатора) осуществляют колебания в противоположных фазах. Фланцы, в свою очередь, являются узлами колебаний. Частота измеряемых значений колебаний зависит параметров общей колеблющейся системы, таких как жесткость цилиндра, массы стенок и массы «присоединенной» жидкости. Монтрование его предполагается вертикально, как и в проточных плотномерах, с целью удаления газовых включений из полости резонатора.

					Разработка конструкции вибрационного поточного преобразователя плотности	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		25

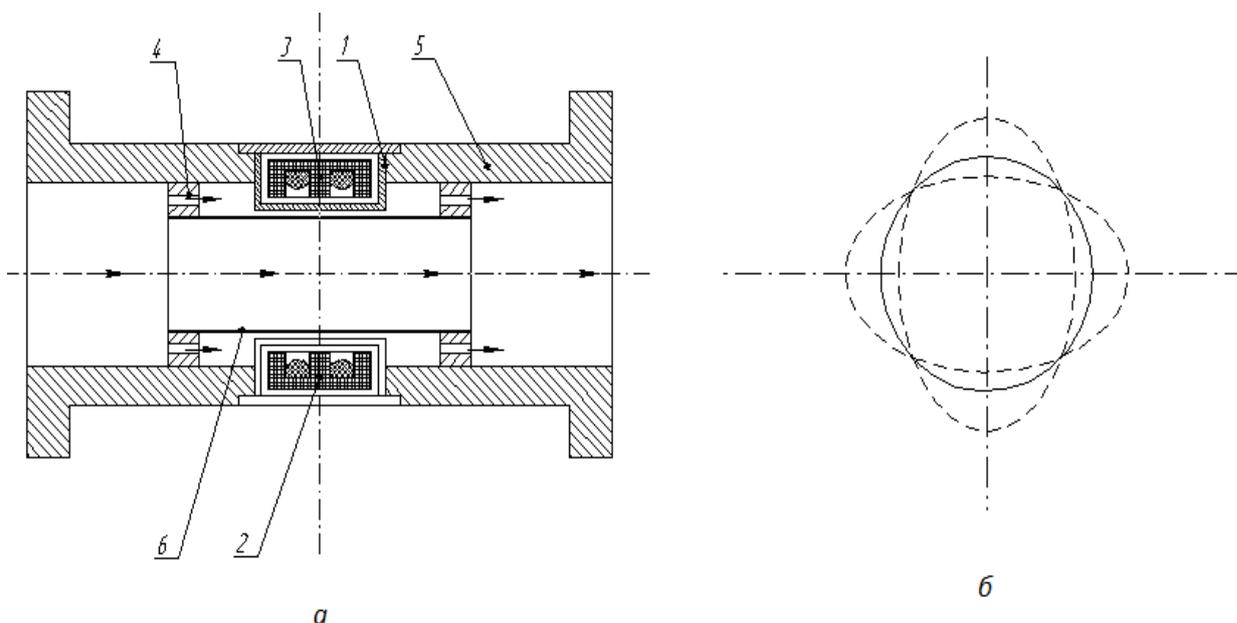


Рисунок 10 – Схема вибрационного плотномера с оболочковым резонатором

Для некоторых отдельных случаев разработаны еще ряд плотномеров других конструкций. Например, для определения плотности гидросмесей, были разработаны проточный и погружной плотномеры с крутильным маятником. Существуют разработки проточных дифференциальных плотномеров с двумя U-образными трубками, т.е. с двумя резонаторами. Резонаторами в плотномерах также могут быть и специальные диски из магнитного материала, и лопатки, фиксирующиеся на упругих стержнях. Также известны разработки плотномеров с цилиндрическими резонаторами. Как с одним цилиндром, так и с двумя цилиндрами в виде чувствительных элементов. Главными недостатками таких плотномеров являются: зависимость показания от вязкости вещества; наличие газовых включений в жидкостях.

1.4 Современные модели преобразователей плотности

Наибольшее применение в наши дни, в России, в нефтяной промышленности нашли однотрубные плотномеры зарубежного производства. В первую очередь, к таковым относится плотномер

					Разработка конструкции вибрационного поточного преобразователя плотности	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		26

производства компании «mobrey measurement» – поточный преобразователь плотности Solartron 7835 (Рис. 11).



Рисунок 11 – Преобразователь плотности Solartron 7835

Плотномер Solartron 7835 предназначен для измерения плотности в потоке жидкости в непрерывном режиме, с последующим сохранением и отображением на компьютере. Принцип измерения данного плотномера основан на зависимости частотных характеристик чувствительного элемента преобразователя от плотности исследуемой жидкой среды. Таким образом, работа его основывается на вибрационно-резонансном принципе работе. Главным образом, применяется преобразователь плотности в нефтяной промышленности, где требуются измерения величины плотности с высокой точностью, как, например, в системах измерения и контроля качества нефти (в блоках СИКН).

Их основными конкурентами в производстве поточных плотномеров для нефтяной промышленности на российском рынке является американская компания «Thermo Process Instruments L.P.» со своей линейкой плотномеров SARASOTA (Рис. 12), используемых для измерения плотности или зависимых от плотности переменных в нефтегазовой, нефтехимической, энергетической,

					Разработка конструкции вибрационного поточного преобразователя плотности	Лист
						27
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

пищевой промышленности. Данные преобразователи для измерения плотности являются высокоточным оборудованием и предоставляют требуемую информацию в режиме реального времени для мониторинга, контроля процесса, контроля качества, идентификации продукта, а также коммерческого учета.



Рисунок 12 – Преобразователь плотности Sarasota FD950

Еще один зарубежный представитель из Латвии компании «Lemis Baltic», в свою очередь, предлагает поточные преобразователи плотности DS-200 (Рис. 13). Данные плотномеры предназначены для непрерывного измерения плотности, концентрации и температуры различной жидкости и растворов. Они могут использоваться и в нефтегазовой отрасли. Более того, технические характеристики не хуже, чем у других представителей производства плотномеров.

					Разработка конструкции вибрационного поточного преобразователя плотности	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		28



Рисунок 13 – Преобразователь плотности DS-200

В качестве аналога британскому и американскому плотномерам можно использовать немецкий кориолисовый расходомер Proline Promass I 100 (Рис. 14). Расходомер имеет исполнение с прямой измерительной трубкой, что позволяет ему определять и плотность исследуемой жидкости. Универсальное и малогабаритное устройство зарекомендовало себя как высококачественное оборудование.



Рисунок 14 – Кориолисовый расходомер Proline Promass I 100

					Разработка конструкции вибрационного поточного преобразователя плотности	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		29

Существуют преобразователи плотности и отечественных производителей: ООО «Пьезоэлектрик» и ЗАО «АвиаТех» предлагают плотномеры своего производства – Плотномер 804 (Рис. 15, *а*) и плотномер «ПЛОТ-3М» (Рис. 15, *б*), соответственно.



Рисунок 15 – Поточные преобразователи плотности «Плотномер 804» (*а*) и «ПЛОТ-3М» (*б*)

Основным требованием, предъявляемым к средствам измерения, является точность его измерений. Иными словами, от производителей требуется максимально снизить величину абсолютной погрешности, получаемой при измерении величины с помощью их оборудования. Поэтому наибольшее применение на практике получила именно продукция зарубежного производителя.

Основные технические параметры и характеристики преобразователей плотности представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Технические характеристики плотномеров

наименование	Вид плотномера					
	Solartron 7835	Sarasota FD960	DS-200	Promass I 100	Плотномер 804	ПЛОТ-3М
Диапазон измерения плотности среды, кг/м ³	0...3000	0...2100	0...2000	0...5000	0...2000	420...1600
Основная погрешность преобразования плотности, кг/м ³	± 0,15	± 0,1	± 0,25	± 0,5	± 0,5	± 0,1 %
Диапазон преобразования плотности с нормируемыми метрологическими характеристиками, кг/ м ³	600...1250	650...1600	600...2000	0...5000	620...1630	420...900 800...1250 1150...1400 1250...1600
Повторяемость, кг/м ³	0,02	0,02	0,1	0,25		
Дополнительная погрешность преобразования плотности от изменения температуры, кг/ м ³ /°С	0,005	0,005	0,005	0,1	-	-
Дополнительная погрешность преобразования плотности от изменения давления, кг/ м ³ /бар	0,003	0,003	-	-	-	-
Диапазон температур исследуемой среды, °С	от -50 °С до +110 °С	от -50 °С до +180 °С	от -40 °С до +85 °С	от -40 °С до +80 °С	от -40 °С до +80 °С	от -40 °С до +85 °С
Максимальное давление жидкости внутри плотномера, МПа	15	зависит от фланца	10	свыше 6	6,3	6,3
Диапазон температур окружающей среды, °С	от -40 °С до +60 °С	от -20 °С до +60 °С	от -40 °С до +85 °С	от -40 °С до +60 °С	от -40 °С до +80 °С	от -45 °С до +40 °С
Параметры электрического питания: - напряжение (пост.), В	18 – 28		6 – 14	24	12 – 24	6,5 – 20
Выходной сигнал: - цифровой	RS485 Modbus, HART	RS485 Modbus, HART	RS485, RS232, Modbus LEM	RS485 Modbus, HART	RS485 USART	RS485 Modbus, ИРПТ
- аналоговый, мА	4 – 20	4 – 20	4 – 20	4 – 20	4 – 20	4 – 20
Масса, не более, кг	22	15	11	11...67	1,5	12,5
Степень влаго/пылезащиты	IP65	IP65	IP68	IP69K	IP67	IP54

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результатов проведения научно-исследовательской работы был изготовлен прототип вибрационного поточного преобразователя плотности, работа которого основана на вибрационно-частотном принципе. Конструкция была выбрана по результатам патентного и литературного обзоров. Наиболее подходящей по требуемым параметрам и специфике работы подошла конструкция с механическим однотрубным резонатором.

Величина погрешности преобразователя плотности, что является основным показателем качества проведения измерений у любого средства измерения, составила, на данном этапе, $0,77 \text{ кг/м}^3$.

Экспериментально удалось определить наличие влияния внешних параметров, таких как давление и температура, на точность проведения измерений и определения значения резонансной частоты колебаний чувствительного элемента.

Изготовление отечественной конструкции потребовало и разработки собственной электронной платы со своим программным обеспечением. Исследование собственной платы показали, что она не почти не уступает в работе зарубежной, которая применяется в налогах с высокой точностью измерений.

					Разработка конструкции вибрационного поточного преобразователя плотности		
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			
Разраб.		Филюшин В.В.			Лит.	Лист	Листов
Руковод.		Рудаченко А.В.				110	1
Консульт.					НИ ТПУ гр. 2БМ4А		
Зав. Каф.		Рудаченко А.В.					
					ЗАКЛЮЧЕНИЕ		

Список публикаций студента

Sharf I. V. , Filyushin V. V. , Shenderova I. V. , Kochetkova O. P. Production operation of small petroleum enterprise in Tomsk region (Article number 012080) // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2015 – Vol. 27. – p. 1-6

Rudachenko V. A. , Filyushin V. V. , Korotchenko T. V. The dependence of cylindrical resonator natural frequencies on the fluid density (Article number 012059) // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science.– 2015 – Vol. 27. – p. 1-6

Филюшин В. В. Поточный преобразователь плотности для систем измерения количества и качества нефти [Электронный ресурс] // Проблемы геологии и освоения недр: труды XIX Международного симпозиума имени академика М. А. Усова студентов и молодых ученых, посвященного 70-летию юбилею Победы советского народа над фашистской Германией, Томск, 6-10 апреля 2015. – Томск: Изд-во ТПУ, 2015 - Т. 2 - С. 483-485. - Режим доступа: <http://portal.tpu.ru/science/konf/usovma/2015>

Филюшин В. В. , Бурков П. В. Современная технология вырезки дефектного участка на магистральном нефтепроводе «Александровское – Анжеро-Судженск» // Инновационные технологии и экономика в машиностроении: сборник трудов IV Международной научно-практической конференции с элементами научной школы для молодых ученых, Югра, 23-25 Мая 2013. – Томск: Изд-во ТПУ, 2013 – С. 584-587

					Разработка конструкции вибрационного поточного преобразователя плотности			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>		Филюшин В.В.			Список публикаций	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Руковод.</i>		Рудаченко А.В.					111	4
<i>Консульт.</i>						НИ ТПУ гр. 2БМ4А		
<i>Зав. Каф.</i>		Рудаченко А.В.						

Список использованных источников:

1. Жуков Ю. П. Вибрационные плотномеры. – М.: Энергоавтомиздат, 1991. – 144 с.: Ил.
2. Квилис С. С. Плотномеры. М.: Энергия, 1980. – 278 с.: Ил.
3. Фатхутдинов А. Ш. Автоматизированный учет нефти и нефтепродуктов при сборе, транспорте и переработке. Пособие для метрологов. – Уфа.: АО «Нефтеавтоматика», 1999.
4. Рудаченко А. В. Основы технической диагностики. Лабораторный практикум для студентов.- Томск.: ТПУ, 2005
5. Rudachenko V., Filushin V. The dependence of cylindrical resonator natural frequencies on the fluid density // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Volume 27,conference 1. – 2015.
URL: <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/27/1/012059/meta> (дата обращения: 12.12.2015).
6. Шикина В. Е. Расчет частоты колебаний пьезокерамического первичного преобразователя для массового расходомера жидкостей / Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. – 2014. –№ 1 (29). – С. 54-63.
7. Бабаков И. М. Теория колебаний. М.: Наука, 1968.
8. Birbraer A. N., Roleder A. J. Extreme actions on structures / St. Petersburg. : Publishing House of the Politechnical University, 2009. – 594 p.
9. ГОСТ 14254-96 Степень защиты, обеспечиваемые оболочками (код IP).
10. СП 12.12130.2009 Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности.
11. Правило устройства электроустановок. Издание 7.

					Разработка конструкции вибрационного поточного преобразователя плотности			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>		Филюшин В.В.			<i>Analysis of parameters effects to density measurement</i>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Руковод.</i>							112	8
<i>Консульт.</i>		Шендерова И. В.				НИ ТПУ гр. 2БМ4А		
<i>Зав. Каф.</i>		Рудаченко А.В.						

12. ГОСТ Р 51317.2.4-2000 Совместимость технических средств электромагнитная. Электромагнитная обстановка. Уровни электромагнитной совместимости для низкочастотных кондуктивных помех в системах электроснабжения промышленных предприятий.
13. ГОСТ Р 51317.6.2-2007 Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость к электромагнитным помехам технических средств, применяемых в промышленных зонах. Требования и методы испытаний.
14. ГОСТ 12821-80 Фланцы стальные приварные встык на R_y от 0,1 до 20,0 Мпа (от 1 до 200 кгс/кв.см). Конструкция и размеры (с Изменениями N 1, 2, 3, 4).
15. Каховский Н.И. Электродуговая сварка сталей. – Справочник. – Киев. – «Наукова думка», 1975. – 480 с.
16. ГОСТ 19738-74 Припой серебряные. Марки.
17. Федеральный закон от 24.07.2009 №212-ФЗ «О страховых взносах в Пенсионный фонд Российской Федерации, Фонд социального страхования Российской Федерации, Федеральный фонд обязательного медицинского страхования» ред. от 29.12.2015.
18. ГОСТ Р ИСО 26000-2012. Руководство по социальной ответственности.
19. ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация (с Изменением N 1).
20. ГОСТ 12.1.003-83 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности (с Изменением N 1).
21. ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования (с Изменением N 1).
22. ГОСТ 12.1.007-76 ССБТ. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности (с Изменениями N 1, 2).
23. ГОСТ 12.1.010-76 ССБТ. Взрывобезопасность. Общие требования (с Изменением N 1).

					Разработка конструкции вибрационного поточного преобразователя плотности	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		112

- 24.ГОСТ 2.1.019-79 Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура .
- 25.ГОСТ 12.4.011-89 ССБТ. Средства защиты работающих. Общие требования и классификация.
- 26.ГОСТ 12.0.002-80* Термины и определения.
- 27.ГОСТ 18300-87 Спирт этиловый ректификованный технический.
- 28.ГОСТ 8505-80 нефрас-С 50/170 Технические условия.
- 29.СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278–03. "Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий".
- 30.ГОСТ 12.1.038-82 Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов.
- 31.НПБ 105-03 "Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности" (утв. приказом МЧС РФ от 18 июня 2003 г. N 314).
- 32.ГОСТ 12.4.009-83 Система стандартов безопасности труда. Пожарная техника для защиты объектов. Основные виды. Размещение и обслуживание" (утв. постановлением Госстандарта СССР от 10 октября 1983 г. N 4882) (с изменениями и дополнениями).
- 33.РД-03.100.30-КТН-340-08 Учебное пособие для обучения по рабочей профессии: «Трубопроводчик линейный 2-5 разрядов».
- 34.СНиП 12-01-2004 Организация строительства.
- 35.СНиП III-42-80* Магистральные трубопроводы.
- 36.ГОСТ Р.22.005-94 Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Анализ и управление рисками. Термины и определения.
- 37.ППБ 01-03 Правила пожарной безопасности в РФ.
- 38.РД-13.220.00-КТН-367-06 Пожарная охрана объектов магистральных нефтепроводов ОАО "АК "Транснефть" и дочерних акционерных обществ.

					Разработка конструкции вибрационного поточного преобразователя плотности	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		113

- 39.Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 30.12.2015).
- 40.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».
- 41.Федеральный закон РФ 68-ФЗ «О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера».
- 42.Федеральный закон от 21 июля 1997 г. №116-ФЗ (с изменениями на 13 июля 2015 года) «О промышленной безопасности опасных производственных объектов».

					Разработка конструкции вибрационного поточного преобразователя плотности	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		114