

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

Институт электронного обучения
Направление подготовки 12.03.01 Приборостроение
Кафедра Физических методов и приборов контроля качества

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Модернизация системы регулирования и контроля параметров воды на участке поверки и калибровки контрольно-измерительных приборов

УДК 681.2.089

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
З-1Б11	Бардаков Александр Вячеславович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ст. преподаватель	Степанов А.Б.			

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Конотопский В.Ю.	К. Э. Н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Анищенко Ю.В.	К. Т. Н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ФМПК	Суржиков А.П.	д. ф.-м. н., профессор		

Томск – 2016 г.

Планируемые результаты обучения

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требование ФГОС ВПО, критериев и/или заинтересованных сторон
<i>Профессиональные компетенции</i>		
Р1	Применять современные базовые и специальные естественнонаучные, математические и инженерные знания для разработки, производства, отладки, настройки и аттестации средств приборостроения с использованием существующих и новых технологий, и учитывать в своей деятельности экономические, экологические аспекты и вопросы энергосбережения	Требования ФГОС (ОК-14, ПК-1,6,7,8,10,11,12,13,17,23, 24,27), Критерий 5 АИОР (п.1.1, 1.3), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
Р2	Участвовать в технологической подготовке производства, подбирать и внедрять необходимые средства приборостроения в производство, предварительно оценив экономическую эффективность техпроцессов; принимать организационно-управленческие решения на основе экономического анализа	Требования ФГОС (ОК-5, ПК-14,15,19,20,21,28,29,30,33) Критерий 5 АИОР (п.1.4, 1.5, 1.6), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
Р3	Эксплуатировать и обслуживать современные средства измерения и контроля на производстве, обеспечивать поверку приборов и прочее метрологическое сопровождение всех процессов производства и эксплуатации средств измерения и контроля; осуществлять технический контроль производства, включая внедрение систем менеджмента качества	Требования ФГОС (ОК-6, ПК-5,18,31,32), Критерий 5 АИОР (п.1.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EURACE</i> и <i>FEANI</i>
Р4	Использовать творческий подход для разработки новых оригинальных идей проектирования и производства при решении конкретных задач приборостроительного производства, с использованием передовых технологий; критически оценивать полученные теоретические и экспериментальные данные и делать выводы; использовать основы изобретательства, правовые основы в области интеллектуальной собственности	Требования ФГОС (ОК-1,2,8,11,12, ПК-2,9), Критерий 5 АИОР (п.1.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
Р5	Планировать и проводить аналитические, имитационные и экспериментальные исследования по своему профилю с использованием новейших достижений науки и техники, передового отечественного и зарубежного опыта в области знаний, соответствующей выполняемой работе	Требования ФГОС (ПК-3,4,9,16,22,26), Критерий 5 АИОР (п.1.2, 1.4), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
Р6	Использовать базовые знания в области проектного менеджмента и практики ведения бизнеса, в том числе менеджмента рисков и изменений, для ведения комплексной инженерной деятельности; уметь делать экономическую оценку разрабатываемым приборам, консультировать по вопросам проектирования	Требования ФГОС (ПК-33), Критерий 5 АИОР (п.2.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требование ФГОС ВПО, критериев и/или заинтересованных сторон
	конкурентоспособной продукции	
	<i>Универсальные компетенции</i>	
P7	Понимать необходимость и уметь самостоятельно учиться и повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности	Требования ФГОС (ОК-7), Критерий 5 АИОР (п.2.6), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P8	Эффективно работать индивидуально, в качестве члена команды по междисциплинарной тематике, а также руководить командой, демонстрировать ответственность за результаты работы	Требования ФГОС (ОК-3, ПК-28), Критерий 5 АИОР (п.2.3), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P9	Владеть иностранным языком на уровне, позволяющем работать в интернациональной среде, разрабатывать документацию, презентовать и защищать результаты инженерной деятельности	Требования ФГОС (ОК-13), Критерий 5 АИОР (п.2.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P10	Ориентироваться в вопросах безопасности и здравоохранения, юридических и исторических аспектах, а так же различных влияниях инженерных решений на социальную и окружающую среду	Требования ФГОС (ОК-4,14,15, ПК-8) Критерий 5 АИОР (п.2.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P11	Следовать кодексу профессиональной этики, ответственности и нормам инженерной деятельности	Требования ФГОС (ОК-9), Критерий 5 АИОР (п.1.6, 2.4), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>

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

Институт электронного обучения

Направление подготовки (специальность) 12.03.01 Приборостроение

Кафедра Физических методов и приборов контроля качества

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой

_____ Суржиков А.П.

(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

бакалаврской работы

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
3-1Б11	Бардакову Александру Вячеславовичу

Тема работы:

Модернизация системы регулирования и контроля параметров воды на участке поверки и калибровки контрольно-измерительных приборов

Утверждена приказом директора (дата, номер)

25.01.2016 №317/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:

1.06.2016

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе

(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.).

Объектом исследования является установка поверки и калибровки средств измерения расхода (объема) жидкости, используемая на предприятии ООО «Газпром трансгаз Томск»

<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>	<p>Обзор объекта модернизации.</p> <p>Анализ средств и методов измерения расхода жидкости</p> <p>Выбор метода и средства измерения расхода</p> <p>Технико-экономическое обоснование</p> <p>Вопросы социальной ответственности</p>
<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	доцент, к.э.н. Конотопский В.Ю.
Социальная ответственность	доцент, к.т.н. Анищенко Ю.В.

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

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	7.09.2015
---	-----------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ст.преподаватель	Степанов А.Б.			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
З-1Б11	Бардаков А.В.		

Реферат

Выпускная квалификационная работа 91 страница, 18 рисунков, 22 таблицы, 21 источник.

Ключевые слова: система автоматизированного управления, поверочная установка, технические средства автоматизации, расходомеры.

Объектом исследования является установка поверки и калибровки средств измерения расхода (объема).

Цель работы - модернизация системы контроля параметров воды на участке поверки и калибровки.

В ходе выполнения работ, была усовершенствована система контроля, на базе современных средств автоматизации, которая является работоспособной, более точной и надежной.

Выпускная квалификационная работа выполнена в текстовом редакторе Microsoft Word 2003 и графических редакторах Microsoft Office Picture Manager.

Определения

В данной работе применены следующие термины с соответствующими определениями:

расходомер: Прибор, измеряющий объемный расход или массовый расход вещества, т. е. количество вещества (объем, масса), проходящее через данное сечение потока например, сечение трубопровода в единицу времени.

автоматизация: Направление научно-технического прогресса, использующее саморегулирующие технические средства и математические методы с целью освобождения человека от участия в процессах получения, преобразования, передачи и использования энергии, материалов, изделий или информации либо существенного уменьшения степени этого участия или трудоёмкости выполняемых операций

поверка: Совокупность операций, выполняемых с целью подтверждения соответствия средств измерений метрологическим требованиям.

калибровка: Совокупность операций, выполняемых в целях определения действительных значений метрологических характеристик средств измерений.

градуировка: Метрологическая операция, при помощи которой средство измерений (меру или измерительный прибор) снабжают шкалой или градуировочной таблицей (кривой).

диапазон: Это область значений величины, в пределах которой нормированы допускаемые пределы погрешности средства измерений.

погрешность: Отклонение измеренного значения величины от её истинного (действительного) значения. Погрешность измерения является характеристикой точности измерения.

точность: Степень совпадения показаний измерительного прибора с истинным значением измеряемой величины. Чем меньше разница, тем больше точность прибора.

Оглавление

Введение	10
1 Обзор объекта модернизации	12
1.1 Исследование используемых в установке приборов контроля параметров воды	16
2 Основные понятия, требования, разновидность и классификация расходомеров	22
2.1 Расход жидкости. Основные понятия	22
2.2 Требования к расходомерам и счетчикам	22
2.3 Классификация и разновидности расходомеров	24
3 Анализ средств и методов измерения расхода жидкости	25
3.1 Приборы основанные на гидродинамических методах	25
3.1.1 Расходомеры переменного перепада давления	25
3.1.2 Расходомеры с сужающими устройствами	26
3.2 Вихревые расходомеры	33
3.3 Приборы с непрерывно движущимся телом	37
3.3.1 Тахометрические расходомеры	37
3.3.2 Камерные расходомеры	37
3.3.3 Турбинные расходомеры	40
3.4 Кориолисовые расходомеры	43
3.5 Акустические расходомеры	49
3.5.1 Ультразвуковые расходомеры	50
3.5.2 Фазовые ультразвуковые расходомеры	51
3.5.3 Частотно-пакетные ультразвуковые расходомеры	53
3.6 Электромагнитные расходомеры	56
4 Выбор метода и средства измерения расхода	61
5 Технико-экономическое обоснование НИР	63
5.1 Организация и планирование работ	63
5.1.1 Продолжительность этапов работ	65
5.2 Расчет сметы затрат на выполнение проекта	70

5.2.1 Расчет капитальных вложений	70
5.2.2 Расчет основной заработной платы	71
5.2.3 Расчет отчислений в социальные фонды	72
5.2.4 Расчет амортизационных расходов	72
5.2.5 Расчет прочих расходов	72
5.2.6 Расчет общей себестоимости разработки	73
5.2.7 Расчет прибыли	73
5.2.8 Расчет НДС	74
5.2.9 Цена разработки НИР	74
5.2.10 Полная смета затрат на выполнение НИР	74
6 Социальная ответственность	77
6.1 Производственная безопасность	77
6.2 Экологическая безопасность	83
6.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	84
6.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	86
Заключение	89
Список используемых источников	90

Введение

Автоматизация производственных процессов содействует увеличению выпуска, понижению стоимости и улучшению свойства продукции, уменьшает количество обслуживающего персонала, улучшает надежность и долговечность машин, увеличивает экономию материалов, улучшает условия труда и техники безопасности. Автоматизация производств высвобождает человека от необходимости конкретного управления разными механизмами. В автоматизированном процессе роль человека сводится к наладке, регулировке, обслуживании средств автоматизации и наблюдению за их действием. Если автоматизация упрощает физический труд человека, а так же стремиться облегчить и умственный труд[1]. Эксплуатация средств автоматизации требует от обслуживающего персонала высокой квалификации. Именно эти факторы и определяют целесообразность механизации и автоматизации различных технологических операций и процессов. Особенно следует выделить высокоточные измерительные операции. Так, например, в настоящее время актуальны автоматизированные комплексы по поверке и калибровке измерительных приборов[2].

Объектом исследования является установка поверки и калибровки средств измерения расхода (объема), используемая на предприятии ООО «Газпром трансгаз Томск». Анализ особенностей управления и обслуживающей его системы автоматизации показал следующее. Степень автоматизации функций управления является достаточно низкой. В системе используется морально устаревшая техника локального контроля расхода и регулирования, которая требует существенной модернизации. Задвижки, клапаны и насосы управляются непосредственно человеком, что снижает скорость и надежность регулирования всего процесса. Уменьшается точность поддержания параметров на заданном уровне. Возрастают временные и физические затраты.

Целью выпускной квалификационной работы является модернизация системы регулирования и контроля параметров воды на участке поверки и

калибровки, которая будет осуществлена за счет замены установленных расходомеров с погрешностью 0,3%, на более точные.

Для достижения поставленной цели выпускной квалификационной работы необходимо решить следующие задачи:

- а) рассмотреть действующую установку
- б) провести анализ методов измерения расхода;
- в) выбрать наиболее подходящий и точный метод;
- г) подобрать новый датчик;
- д) провести расчет экономической эффективности модернизация

системы регулирования и контроля.

Решение поставленных задач подразумевает выполнение большого объема самостоятельной работы, включающей выполнение функций проектировщика, схемотехника, программиста и испытателя. Это стало возможным благодаря базе знаний, полученной за время обучения в университете по дисциплинам «Основы автоматического управления», «Измерение неэлектрических величин», «Физические основы получения информации», «Аналого-цифровые измерительные приборы».

В качестве задачи для ВКР было предложено увеличить точность установки поверки и калибровки измерительных приборов, путем усовершенствования системы на базе современных контрольно-измерительных средств. При этом предполагается замена установленного расходомера для повышения точности измерения расхода на участке поверки и калибровки.

В итоге, модернизированная поверочная установка, приобретет ряд преимуществ перед существующей:

- а) повышение надежности и долговечности установки;
- б) увеличение точности измерения расхода и температуры;
- в) увеличение списка парка приборов для поверки и калибровки;

1 Обзор объекта модернизации

В качестве объекта усовершенствования является поверочная установка. Данное устройство установлено на предприятии ООО «Газпром трансгаз Томск» и предназначено для испытаний, поверки, калибровки, а также других работ по определению метрологических и технических характеристик расходомеров, расходомеров-счетчиков, счетчиков, преобразователей расхода жидкости различных типов и назначениях[3].

В состав установки входят два стенда: стенд для испытаний приборов с диаметрами условного прохода (Ду) от 65 до 200 мм (стенд больших диаметров – СБД) и стенд для испытаний приборов с Ду от 10 до 65 мм (стенд малых диаметров – СМД).

В основе работы поверочной установки лежит принцип циркуляции воды по замкнутому контуру. Для создания необходимого запаса воды в системе и ее естественной деаэрации служит накопительный бак. Из бака вода подается в системы трубопроводов стендов установки, патрубками для набора и слива воды, а также устройством измерения уровня воды в баке.

Создание необходимого напора в гидравлической системе стенда осуществляется насосом. Управление насосом осуществляется преобразователем частоты, что обеспечивает плавный пуск и регулирование заданного расхода. Стабилизация потока в системе осуществляется ресивером. Отвод воды из ресивера происходит через конфузор, находящийся на боковой поверхности ресивера. Для регулирования уровня воды на боковой поверхности установлены патрубки с шаровыми кранами для стравливания воздуха. На боковой поверхности ресивера вмонтирован термометр сопротивления для измерения температуры рабочей жидкости и манометр.

Из ресивера через затвор, снабженным электрическим приводом, вода поступает в прямой участок трубопровода перед образцовым расходомером. В начале прямого участка установлен вентиль для разгерметизации трубопровода при сливе воды. После прямого участка трубопровода за образцовым

расходомером стоит испытательный стол, для установки подлежащих поверке первичных преобразователей расхода. На U-образном трубопроводе стола выполнен вентиль для стравливания воздуха при заполнении трубопровода водой. За испытательным столом выполнен блок регулировки, предназначенный для измерений и регулирования расходов в диапазоне от 0,03 м³/ч до 400 м³/ч. С этой целью в блок введены эталонные расходомеры. Для работы в нужном диапазоне расходов открывают соответствующие отсечные вентили.

После блока регулировки по отводящему трубопроводу рабочая жидкость направляется в переключатель потока. Переключатель потока отклоняет падающую струю воды в пролетную камеру и накопительный бак или, в режиме работы с весовым устройством, в весовой бак. Слив воды из весового бака осуществляется с помощью электрического клапана.

Измерительная система установки представляет единый аппаратно-программный комплекс (ИАПК). ИАПК предназначен для управления режимами работы поверочной установки «Взлет ПУ» и проведения операций поверки и калибровки приборов учета расхода жидкостей.

Основными частями ИАПК являются блоки измерения и управления (БИУ), персональный компьютер (ПК), приборные стойки для установки вторичных преобразователей расхода, измерительные коробки испытательного стола, кабельные линии связи и кабельные перемычки для коммутации измерительных цепей. БИУ представляет сложное электронное устройство, в состав которого входят каналные контроллеры (БКК), рассчитанные на четыре канала каждый, и системный контроллер (БСК).

БИУ выполнен по блочно – модульному принципу с возможностью изменения (в т.ч. наращивания) числа и типа каналов для подключения поверяемых приборов и устройств поверочной установки. В состав БИУ входят блоки БКК и БСК, которые подключаются к измерительным панелям приборных стоек и измерительным коробкам испытательных столов СМД и СБД.

Платы БКК и БСК имеют лицевые панели с соответствующей маркировкой и органами индикации. БИУ устанавливаются внизу приборных стоек на поворотном механизме, обеспечивающем доступ к разъемам БКК, БКО и БСК при монтаже.

БУПП имеет настенный вариант исполнения и размещается в непосредственной близости от мерного бака. Лицевая панель БУПП содержит соответствующую маркировку, органы управления и индикации. Структурная схема поверочной установки представлена на рисунке 1.1

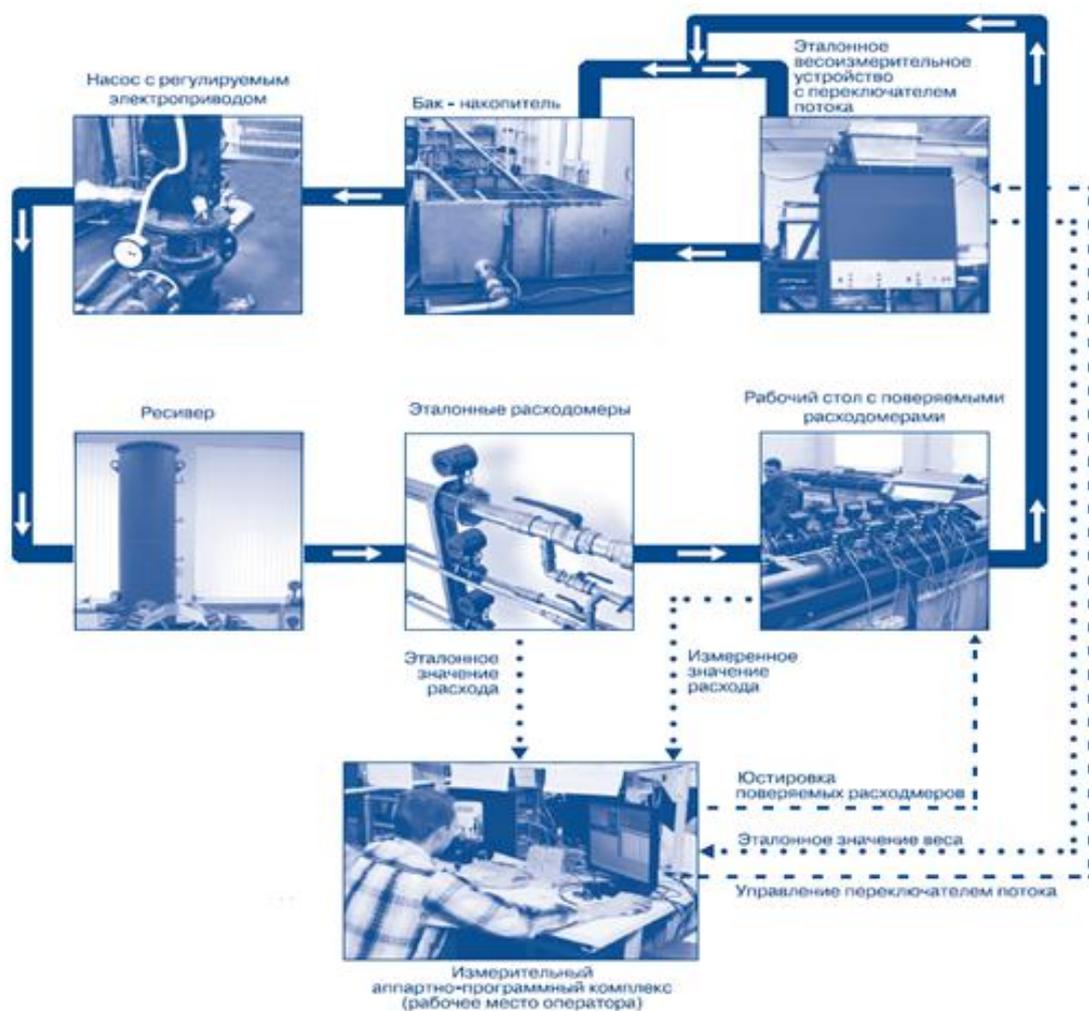


Рисунок 1 – Структурная схема установки поверки расходомеров ООО «Газпром трансгаз Томск»

Недостатком существующей поверочной установки является разрозненность системы управления, а так же устаревшее образцовое оборудование. Оператору обслуживающей установки постоянно приходится задавать вручную расход контролируемых параметров, а так же выполнять

множество физической работы, сказывающиеся на работе всей системы в целом. Соответственно точность регулирования уменьшается, а время обслуживания и простоя поверочной установки увеличивается.

Модернизация установки сделает систему интегрированной, устранив явные недостатки существующей и повысит надежность, точность и долговечность установки.

В качестве элементов модернизации предлагается установить более точные образцовые расходомеры и щит управления с программируемым логическим контроллером. Все измерительные каналы (ИК) (кроме поверяемых расходомеров, счетчиков и т.д.), а также телесигнализация и телеуправление, которые раньше были заведены на приборную стойку и щит частотных преобразователей, после модернизации будут расключены на щит управления. Вся информация с полевого оборудования поступает в контроллер, обрабатывается им и передается на автоматизированное рабочее место (АРМ) оператора. Управление механизмами (задвижки, клапаны, насосы), ранее управляемыми по месту, предложено автоматизировать, так как к качеству регулирования предъявляются достаточно высокие требования.

Регулирование осуществляется путем воздействия на регулирующий орган на линии подачи воды в поверочную установку. Основным регулирующим параметром является температура воды на входе в ресивер, которая измеряется термопреобразователем сопротивления и подается на аналоговый вход модульного контроллера, и давление воды в трубопроводе на выходе из насоса, которое измеряется преобразователем избыточного давления, подается на аналоговый вход модульного контроллера. Значения измеряемых параметров отображаются на панели оператора. На основании этих сигналов контроллер формирует управляющее воздействие, которое усиливается по мощности пускателем и подается на исполнительный механизм (ИМ). Выходной вал ИМ, вращаясь, передвигает регулирующий орган (РО), вследствие чего меняется расход воды. Управление ИМ возможно также

вручную с помощью переключателя режимов, который переводит управление с автоматического на ручной и обратно.

1.1 Исследование используемых в установке приборов контроля параметров воды

В установке используются образцовые расходомеры фирмы «Взлет» ЭРСВ-510; термопреобразователь с унифицированным выходным сигналом ТСМУ-055/2; манометр показывающий МТИ-1216-0,4 МПа-1,5; датчик максимального уровня сигнализирующий ДМУ.

Показывающий манометр в рассматриваемой установке служит для визуального контроля давления воды в трубопроводе при проведении поверки и не является важным параметром для нее. Его технические характеристики: диапазон от 0 до 0,4 МПа; класс точности 1,5.

Датчик максимального уровня сигнализирующий служит для аварийного отключения насоса при переполнении накопительного бака воды. Его сигнал не учитывается при проведении поверки. Технические характеристики: верхний предел измерения 4,5 м³; выходной сигнал от 0 до 5 В.

Термопреобразователь показывающий с унифицированным сигналом является контролируемым параметром при работах на установке, а его метрологические характеристики являются достаточно высокими. Технические характеристики: диапазон измерений от минус 50 до 50°С; выходной сигнал 4-20 мА; класс точности 0,5.

Основным параметром на данной установке является расход, который контролируется с помощью расходомера фирмы «Взлет» ЭРСВ-510. Рассмотрим более подробно данный прибор.

Расходомер-счетчик электромагнитный «ВЗЛЕТ ЭР» предназначен для измерения среднего объемного расхода и объема различных

электропроводящих жидкостей в широком диапазоне температуры и проводимости.

Расходомер «ВЗЛЕТ ЭР» может применяться в энергетике, коммунальном хозяйстве, нефтегазовой и других отраслях промышленно-хозяйственного комплекса. Расходомер может использоваться в составе теплосчетчиков, измерительных систем, автоматизированных системах управления технологическими процессами (АСУТП) и т.д.

Принцип действия электромагнитного расходомера, основан на измерении электродвижущей силы (ЭДС), в сечении электропроводной жидкостной среды, проходящей через магнитное поле, создаваемое электромагнитом в измерительной части преобразователя.

ЭДС электромагнитной индукции E , прямо пропорциональна скорости потока жидкости v , размеру между электродами d (внутреннему диаметру ППР) и электромагнитной индукции B :

$$E = k * B * d * v ,$$

где k – коэффициент пропорциональности.

Для первичного преобразователя размер B и d – величины неизменные. ЭДС, которая действует в жидкости и изменяющаяся от быстроты потока, за счет используемых электродов поступает в измеритель, где рассчитывается расход Q : объем вещества, проходящего через диаметр трубопровода за временную единицу. ЭДС не зависит от вязкости, температуры и проводимости жидкого вещества, если значение проводимости превышает, указанное в технических характеристиках.

ЭДС индукции расход Q рассчитывается по формуле:

$$Q = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot v = \frac{\pi \cdot d}{k \cdot 4 \cdot B} \cdot E$$

Значение расхода преобразуется на импульсном выходе расходомера в последовательность импульсов с частотой F , пропорциональной расходу:

$$F = K_p * Q,$$

где K_p – константа преобразования. По умолчанию устанавливается K_p , указанное в табл.1.

Таблица 1 - количества импульсов установленных по умолчанию

Dy, мм	10	20	32	40	50	65	80	100	150	200
K_p , имп/л	1600	400	160	100	65	40	25	15	7	4

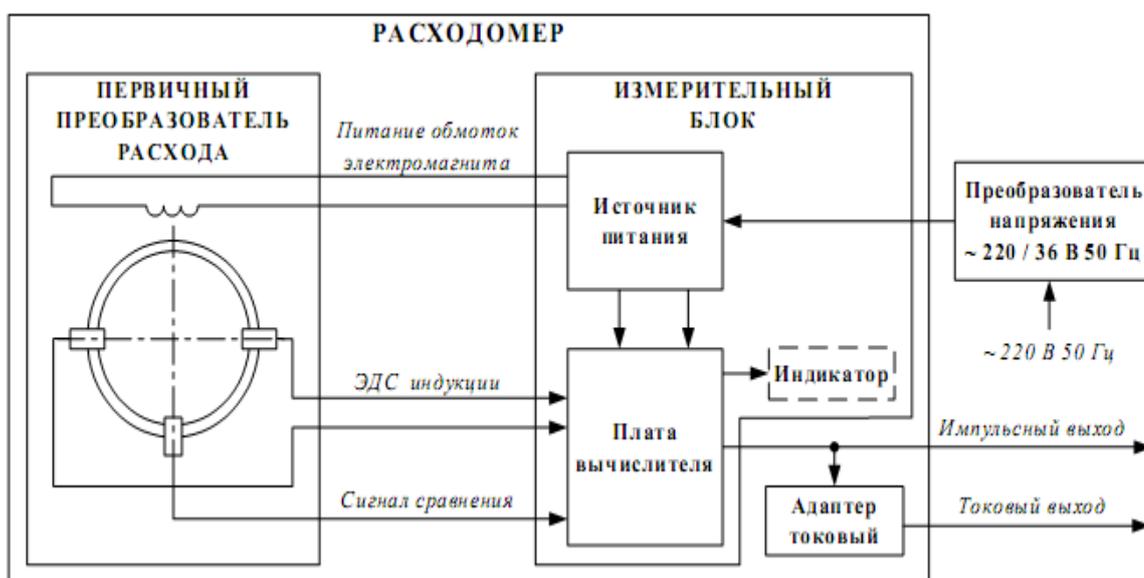


Рисунок 2 - Расходомер структурная схема

Расходомер состоит из электромагнитного первичного преобразователя (ППР) и микропроцессорного измерительного блока (ИБ) (рисунок 2). Измерительный блок включает в себя плату вычислителя, а также источник питания.

Плата вычислителя обеспечивает:

- обработку измерительного сигнала (ЭДС индукции) и вычисление значения среднего расхода;
- преобразование измеренного значения среднего расхода в последовательность выходных импульсных сигналов;

- накопление объема и времени наработки нарастающим итогом;
 - управление индикатором;
 - хранение установочных данных, а также параметров накопления;
- период обновления параметров накопления в памяти – 1 мин; время хранения архива данных при отсутствии питания – не менее года.

Источник питания обеспечивает питание обмоток электромагнита ППР и питание платы вычислителя.

Питание расходомера осуществляется напряжением ~ 36 В 50 Гц либо через преобразователь ~ 220/36 В 50 Гц мощностью не более 5 ВА.

Расходомер выдает результаты измерений:

- в виде импульсов с нормированным весом;
- с помощью последовательного интерфейса RS232
- на индикаторе
- в виде нормированного токового сигнала (4-20 мА)

Таблица 2 - Технические характеристики[4]

Наименование параметра	Значение параметра
1.Диаметр условного прохода (размер электромагнитного ППР) Ду, мм	10 20 32 40 50 65 80 100 150 200
2.Максимальный определяемый средний объемный расход жидкости, Qv наиб, м3/ч	3,4 13,58 34,78 54,34 84,9 143,5 217,3 339,6 764,1 1358
3.Максимальный напор в трубопроводе, МПа	2,5
4.Минимальная удельная проводимость жидкости, См/м	$5 \cdot 10^{-4}$
5. Температура жидкости, °С	от минус 10 до 180
6. Электропитание	(31-40) В (49-51) Гц

Продолжение таблицы 2

7. Мощность потребления ВА,	5
8. Нарботка на отказ, ч	75 000
9. Срок службы, лет	15
10. Предел допускаемой относительной погрешности, %	≈ 0,3

Пределы относительных допускаемых погрешностей расходомера общепромышленного назначения при замере, регистрации, индикации, хранении и передаче результатов измерения среднего объемного расхода, объема жидкости, не превышают значений, определяемых по формуле:

$$\pm \left(0,9 + \frac{0,15}{v} \right), \%;$$

где v – данная скорость потока в трубопроводе, м/с. Чувствительность расходомера по скорости потока – 0,02 м/с. Скорость потока определяется по формуле:

$$v = \frac{Q}{2,83 \cdot 10^{-3} \cdot D_y^2}, \text{ м/с ,}$$

Где Q – полученное значение расхода (абсолютное значение), м³/ч;

D_y – диаметр проточной части расходомера (типоразмер), мм.



Рисунок 3 - Расходомер

2 Основные понятия, требования, разновидность и классификация расходомеров

2.1 Расход жидкости. Основные понятия

Расход это количество жидкости, протекающее сквозь поперечное сечение жидкостного потока за единицу времени. В зависимости от единиц измерения количества жидкости расход может быть объемным Q (в м³/с) или массовым M (в кг/с).

Массовый, а так же объемный расходы объединены зависимостью, как зависимость у массы и объема вещества: $M = \rho \cdot Q$ где ρ - плотность вещества.

Объемный расход можно получить по формуле: $Q = v_{cp} \cdot F$, где F - площадь поперечного сечения потока, v_{cp} - средняя скорость потока.

Мгновенный расход измеряют, как правило, для управления технологическими процессами, и обеспечения оптимальных условий работы энергетических установок, а так же тепловых двигателей. Средние расходы — при испытаниях, определение „расходных характеристик” объектов и процессов (например, при оценках удельных расходов горючего различных двигателей, накоплении газовых и нефтяных скважин и т. п.), при под счетных операциях.

Пиковые расходы характерны для исследовательских работ и работ, связанных с установлением метрологических характеристик расходомеров[5].

2.2 Требования к расходомерам и счетчикам

Данных требований множество и большое разнообразие. Удовлетворить одновременно всем требованиям очень не просто, если не невозможно. Одни типы датчика в основном могут удовлетворять одним требованиям, а другие — совсем другим. Поэтому для выбора типа

расходомера следует подбирать из значимости важных для потребителя и места монтажа требований, основных к измерению расхода или количества для каждого конкретного случая.

- Большая точность измерения. Это самое важное требование, когда нужно измерять (массу или объем) прошедшего вещества.

- Высокая надежность. Это следующее важное требование. Оно измеряется временем, в течение которого расходомер сохраняет работоспособность и полученную точность. Это время зависит из-за типа расходомера и условий его использования. Некоторые приборы и их элементы, не имеют движущихся частей, способны работать без поломок очень долго. Но тахометрические расходомеры и счетчики с движущимся ротором обладают много меньшим сроком службы, зависящий от загрязненности измеряемого жидкого вещества и его смазывающей способности.

- Низкая связь точности измерения от перемены плотности жидкости. Обладают только тепловые и силовые расходомеры, измеряющие массовый расход. Другим типам расходомеров надо иметь устройства, которые автоматически проводят коррекцию на изменение плотности, температуры и давления измеряемого вещества. Эти требования обязательно для измерения расхода газа.

- Скорость получения измерения датчика и его высокие динамические характеристики. Эти требования важны, для применения расходомера во многих системах автоматического регулирования, а так же для измерения быстро изменяющихся расходов.

- Большой диапазон изменения.
- Присутствие метрологической базой.

Образцовые установки измерения расхода, используются для поверки, калибровки, градуировки множества типов расходомеров, сложны и дороги, тем более, если поверяемый расход очень большой. В РФ их недостаточно, и предусмотрены они в частности для поверки расходомеров воды и

водосчетчиков. Одним только расходомерам с сужающим устройством не требуется образцовых расходомерных установок, вследствие того собственно что основная масса их видов были опытным путем присвоены и нормированы им коэффициенты расходов и расширения в международном стандарте ИСО 5167 и других рекомендациях ИСО.

- Большой перечень измеряемых жидкостей. Они могут быть не только однородными и однокомпонентными, но еще многофазными и состоящими из нескольких состояний жидкости. И нужно принимать во внимание как особенные качества жидкости (агрессивность, абразивность, токсичность, взрывоопасность и т. д.), и его характеристики (давление, температура). Смесь жидкого вещества с газом — это нефтегазовая смесь и влажный насыщенный пар. При замере их расходов очень важно, хотя и представляет определенные трудности[5].

2.3 Классификация и разновидности расходомеров

Большая численность и сложность предъявляемых требований, к расходомерам и счетчикам, является главной причиной изобретения и создания большого количества вариантов этих приборов. При выборе нужно учитывать параметры измеряемого вещества, его характеристики, и условия предъявленные к точности измерения, применяя для этого значимость удовлетворения тем или иным требованиям, сложность измерительного датчика и условия его работы и поверки. Условно датчики расхода и счетчики, для получения расхода жидкого вещества, можно разделить на следующие группы.

Приборы, работающие на гидродинамических способах:

а) непостоянном перепаде давления; б) вихревые;

Приборы с постоянно движущимся телом:

- тахометрические;
- силовые (в том числе вибрационные).

Датчики, основанные на разных физических явлениях:

- акустические (ультразвуковые);

3 Анализ средств и методов измерения расхода жидкости

3.1 Приборы основанные на гидродинамических методах.

3.1.1 Расходомеры переменного перепада давления

Расходомером переменного перепада давления называют измерительный комплекс, работающий на зависимости разности давлений от скорости потока (расхода), создаваемый преобразователем расхода, установленный в трубопроводе.[6]

В измерительный комплекс состоит:

- преобразователь расхода (перепада);
- линии связи от преобразователя — это импульсные трубки и вспомогательные устройства установленные на них;
- первичный измерительный прибор — датчик разности давления (дифманометр).

Если дифманометр или вторичный датчик снабжены интегрирующим устройством с механизмом счета, то этот прибор замеряет не только расход, но также объем прошедшего вещества и массу его.

Расходомеры переменного перепада, используемы для измерения расхода жидкости, имеют представленные разновидности, которые зависят от вида преобразователя расхода:

- центробежные;
- с напорными устройствами;
- с напорными усилителями;
- с сужающими устройствами;

Для замера расхода нефтепродуктов, на сегодняшний день, в основном, применяют расходомеры с сужающими устройствами.

3.1.2 Расходомеры с устройствами сужения

Расходомеры с сужающими устройствами СУ работают за счет измерения образовавшегося перепада давления, в результате в сужающем устройстве часть потенциальной энергии преобразуется в кинетическую. Сужающее устройство прибора расхода это первичный измерительный преобразователь, в котором вследствие уменьшения сечения потока среды измерения (жидкости, газа, пара) получается перепад (разность) давления, который зависит от расхода. В качестве сужающего устройства применяются различные диафрагмы, сопла, трубы и сопла Вентури.

В качестве измерительных датчиков используются всевозможные датчики измерения разности давления, которые снабжены показывающими, записывающими, сигнализирующими, интегрирующими, и другими устройствами, которые применяются для получения измерительной информации о расходе в нужной нам форме и виде. Потеря давления для сужающих устройств увеличивается в данной последовательности: труба Вентури, длинное сопло Вентури, короткое сопло Вентури, сопло, диафрагма;

Основные сужающие устройства:

- Диафрагмы

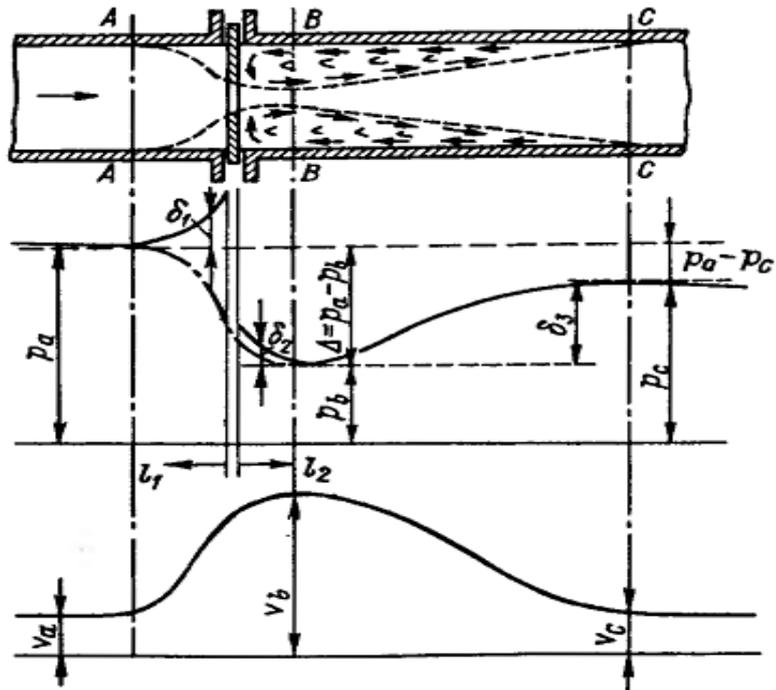


Рисунок 4 – Изменение давления p и средней скорости v потока при прохождении через диафрагму:

- _____ - изменение p у стенки трубы;
- — - изменение p в движущемся потоке (в середине трубы)

Измерительная диафрагма представляет собой диск в центре которого круглое отверстие диаметром d , которое имеет острую кромку расположенную на встречу потоку. Установленная concentрично оси трубопровода, у которого диаметр D . Установим А—А (рисунок 4) это сечение, от его начнется сужение потока, и штриховой линией — обозначим границы потока, определенного проходом сквозь отверстие диафрагмы. Из-за инерции большого сужения, поток достигнет в сечении В—В, находящемся от диафрагмы на расстоянии $(0,3 \text{ } 0,8) D$, в зависящем от отношения $= d/D$. Далее поток начнет расширяться и в сечении С—С, достигнет стенок трубы. Изменение скорости и давления в пределах сечений А—А и С—С, изображено на рисунке 4.

Для жидкого вещества, плотность которого $= \text{const}$ и не изменяется от скорости, давления, обратно пропорциональна площади потока. А

максимальная скорость v_b будет в сечении В—В, а скорость $v_c = v_a$. Постоянное давление p_a до сечения А—А, возле стенки трубы и в потоке одинаковое. При сужении потока, между сечениями А—А и В—В давление в потоке падает (штриховая кривая), без этого невозможно возрастание скорости потока. Давление у стенки увеличивается (сплошная кривая) из-за падения скорости перед диафрагмой мертвых зонах, получая максимума p_{1y} в углах у стенки диафрагмы. Далее после прохождения диафрагмы, давление в углах и у стенки p_{2y} . Разность $p = p_{1y} - p_{2y}$ получаем разность давления (перепад), который можем измерить угловым методе отбора. На промежутка от В—В до С—С давление в потоке, а также у стенки постепенно возрастет до значения p_c , а оно меньше, начального давления p_a , из-за потерь энергии, которая ушла на вихреобразование а также удары о диафрагму. Причем большая часть потерь, осуществляется в мертвой, зоне находящейся после диафрагмы. Поток, проходящий с большой скоростью в сечении В—В, забирает за собой частицы из мертвой зоны, образуя в ней падение давления. Это вызывает не большое движение жидкой среды вдоль стенок начиная от сечения С—С в сторону сечению В—В. Вследствие чего в мертвой зоне образуется сильное вихреобразование и происходит весомая потеря давления.

[5]

И мы получаем, что некоторая доля потенциальной энергии давления потока преобразуется в кинетическую. Вследствие чего средняя скорость потока в узком сечении повышается, а постоянное давление в этом сечении образуется меньше, постоянного давления до сужающего устройства. Разность этих давлений (перепад давления) является мерой расхода проходящего сквозь сужающее устройство жидкости или газа.

Формулы расхода:

$$Q = \alpha \cdot F_o \sqrt{2 \cdot (p_1 - p_2) / \rho}; \quad M = \alpha \cdot F_o \sqrt{2 \cdot \rho \cdot (p_1 - p_2)};$$

где Q и M объемный и массовый расход жидкости;

F_o - площадь отверстия диафрагмы; $(p_1 - p_2)$ – разность давлений;

α – коэффициент расхода диафрагмы; ρ – плотность вещества;

В случае измерения расхода газа в выражение вводят коэффициент сжимаемости газа.

Достоинством диафрагм, если сравнить с другими СУ, это будет их низкая стоимость, несложность изготовления и монтажа.

- Сопла.

В случае измерения расхода жидкости сопла могут устанавливаться на трубопроводе диаметром не менее 30 мм. На рисунке 2 показан отбор статических давлений через кольцевые камеры, внизу - через отдельные отверстия.

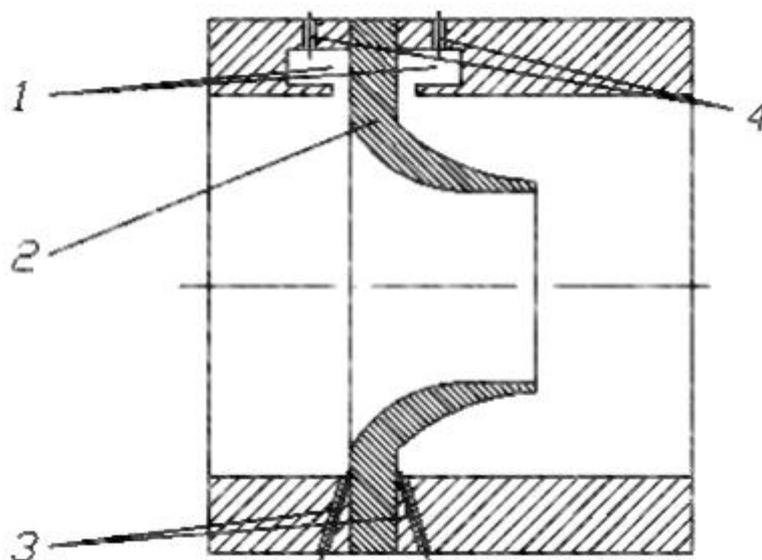


Рисунок 5 - Схематичное расположение сопла в трубе (1-кольцевые камеры, 2- сопло, 3- отдельные отверстия для отбора давления, 4- выводы импульсных трубок)

Профиль входной части сопла образуется двумя дугами окружности, из которых одна касается торцевой поверхности сопла со стороны входа, а другая - цилиндрической поверхности отверстия. Сопряжение обеих дуг происходит почти без излома.

Достоинством сопел является то, что по сравнению с диафрагмами они позволяют измерять больший расход.

- Сопла и трубы Вентури.

Так же с рассмотренными соплами и диафрагмами к основным сужающим устройствам международный стандарт ИСО 5167, и отечественные нормы причисляют так называемые расходомерные трубы: классические трубы Вентури и сопла Вентури. Основным их признаком — расходящийся конус — диффузор, который находится на выходе после минимального сечения горловины трубы. Диффузор отделяет мертвые зоны, находящиеся на выходе у сопел и диафрагм, в которых после вихреобразования формируется потеря энергии. Поэтому у расходомерных труб потеря давления во много раз меньше, чем у других сужающих устройств. Это их основное преимущество. [7]

Сопла Вентури ставят на трубопроводы диаметром от 65 до 500 мм. Сопло Вентури собрано из профильной входной части, (горловины) цилиндрической средней части и конуса на выходе. Профильная часть выполнена так же, как и у простого сопла для соответствующих значений m . Цилиндрическое отверстие переходит в конус без радиусного сопряжения. Сопло Вентури бывает коротким или длинным. Первой части наибольший диаметр выходного конуса, равен диаметру трубопровода, у второй части он меньше диаметра трубопровода. Разность давлений следует замерять через кольцевые камеры. Заднюю (минусовую) камеру присоединяют с цилиндрической частью сопла Вентури при помощи радиальных отверстий.

Трубы Вентури используются в трубопроводах диаметром от 50 до 1400 мм. Труба Вентури (рисунок 6) складывается из входного патрубка 1, входного конуса 4, горловины 5 и диффузора 6. Во входном конусе и горловине сделаны кольцевые камеры усреднения 2. Они совмещаются с внутренними частями входного конуса и горловины при помощи нескольких отверстий 3, они при наличии в измеряемой жидкости взвешенных частиц чистят с помощью специальных приспособлений. В нижней части кольцевых камер ставят пробковые краны, что бы спускать жидкость. Труба Вентури получает название длинной, когда максимальный диаметр выходного конуса одинаков с диаметром трубопровода, или короткой, когда указанный диаметр меньше диаметра трубопровода.

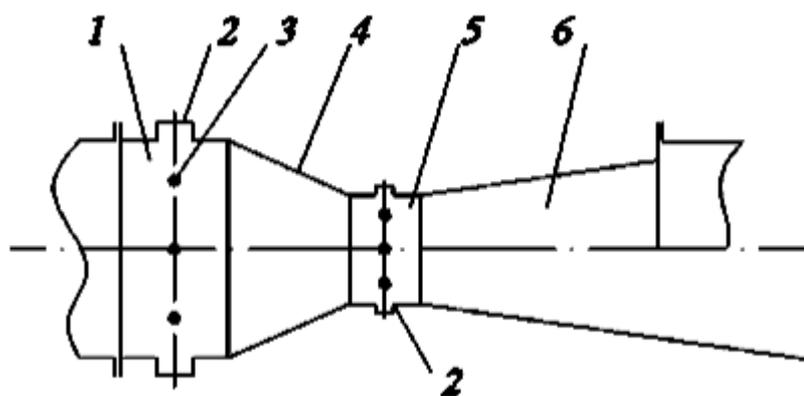


Рисунок 6 – Труба Вентури

Расход, при использовании труб Вентури определяется выражением:

$$Q = \frac{C \cdot F_2}{\sqrt{1 - \left(\frac{F_1}{F_2}\right)^2}} \cdot \sqrt{2 \cdot \frac{(P_1 - P_2)}{\rho}};$$

где Q – объемный расход жидкости;

C – экспериментальный коэффициент, отражающий потери внутри расходомера;

F_1 и F_2 - площадь сечения трубопровода и горловины соответственно;

P_1 и P_2 – статические давления на входе трубы и горловине;

ρ – плотность вещества;

В случае измерения расхода газа в выражение вводят коэффициент сжимаемости газа.

Достоинства:

- удобство и универсальность метода;
- служат для многих однофазных веществ в широком диапазоне температур и давлений.
- не требуют использования образцовых расходомерных установок для градуировки и поверки в случае применения нормализованных СУ.
- легкость серийного изготовления приборов

Недостатки:

- из-за влияния погрешностей большинства величин, которые входят в формулу расхода, общая относительная погрешность измерения расхода обычно не меньше 1-2 %, возможно и выше.

- квадратическая зависимость меж расходом и перепадом давления приводит обычно к малому диапазон изменения и неравномерность шкалы прибора.

- относительная трудность промышленного применения при малых расходах вещества, в пульсирующих потоках и потоках вещества, содержащего инородные примеси, а также потоках вещества, находящегося при параметрах, близких к равновесным.

При измерении расхода жидкости, нефти и нефтепродуктов используют следующие расходомеры с СУ:

«ENDRESS&HAUSER» (Германия) – производит такие марки расходомеров как: Deltaset DPO 50, 51, 52, 53, DPP 50, DPV 50, DPM 50 DPC 50 и др.

Отечественная компания «Метран» производит расходомеры на базе диафрагм Rosemount серии 405 (технические характеристики приведены в таблице 1), расходомеры Метран-350, Rosemount 3051SFA, Rosemount 3095

Таблица 3 - Технические данные расходомеров на базе диафрагм Rosemount серии 405[8].

Среды измерения	Газ, жидкость, пар
Температура измеряемой среды	
встроенный монтаж датчика	-40...+232°C
раздельный монтаж датчика импульсными линиями	-100...+454°C
Избыточное давление в трубопроводе	10 МПа

Продолжение таблицы 3

Диаметр прохода трубопровода: диафрагма Rosemount 405P диафрагма Rosemount 405C	Dy 15...200 мм Dy 50...200 мм
Диапазон изменений	8:1, 10:1, 14:1
Основная относительная погрешность измерений расхода	± 0,7%
Температура окружающей среды: без ЖК-индикатора, дополнительно для расходомеров с датчиком 3051S	-40...+85° -51...+85°C
Выходные сигналы:	HART; 4-20 мА
Интервал между поверками	1 год

3.2 Вихревые расходомеры

Вихревыми называются расходомеры, действие которых основан на измерении частоты колебаний, возникающих в потоке в процессе вихреобразования.

Вихревые расходомеры обладают рядом преимуществ по некоторым показателям. надежность работы, так же стабильность метрологических характеристик, но при этом общефизический принцип измерения дает ограничение по вязкости среды измерения. Из-за того, что поток жидкости с большой вязкостью является ламинарным, что ведет за собой меньшую интенсивность вихреобразования за телом обтекания , или не образование вихрей вообще. [9]

Сложность измерения расхода в условиях ламинарности потока заключается в слабом сигнале расхода, поступающим на сенсор вихревого расходомера. Решение проблемы заключается в конструкции сенсора, обеспечивающей усиление сигнала изгибом крыла, а также технологии интеллектуального распознавания сигнала сигнальным процессором.

Расходомеры делятся на три категории, существенно отличающиеся между собой.

1. Расходомеры, у которых в первичном преобразователе установлено неподвижное тело. После обтекания, которого с двух его сторон попеременно образуются срывающиеся вихри, которые создают пульсации давления.

2. Расходомеры, где в первичном преобразователе поток закручивается, поступая далее в расширенную часть трубы, процессирует создав при этом пульсации давления.

3. Расходомеры, в преобразователе которых поток, вытекающий из отверстия, совершает автоколебания, образуя пульсацию давления.

Для исследования характеристик вихревых расходомеров используют число или меру Струхала Sh , который характеризует возобновляемые процессы, зависящие от движения жидкости или газа. Эти критерии, был получен при изучении обтекания потоком воздуха цилиндра (струны), получило вид:

$Sh = f \cdot d \cdot v^{-1}$ где f – частота пульсации давления газа (жидкости) вследствие постоянного срыва вихрей; d – диаметр цилиндра (размер характерный); v – скорость потока[10].

Преобразователи расхода у данных расходомеров многоступенчатые. На первой ступени, когда осуществляется вихреобразование или закручивание струи образуются пульсации давления, а так же скорости, частота которых зависит от объемного расхода. На второй ступени данные пульсации преобразуют в выходной сигнал, часто электрический. Для этого используют преобразователи давления (пьезоэлементы), напряжения (тензорезисторы), ультразвуковые преобразователи, температуры (термоанемометры), скорости и т. п.

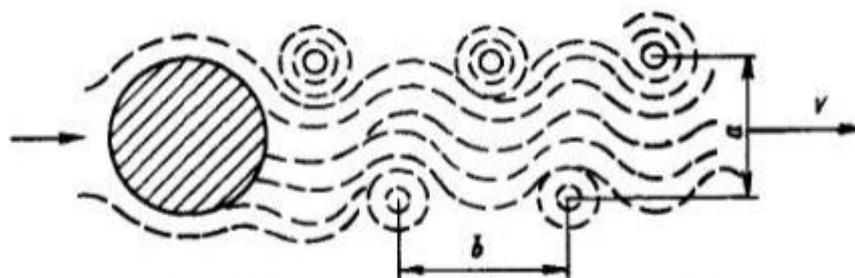


Рисунок 7 – Принцип работы вихревого расходомера имеющего в первичном преобразователе неподвижный цилиндр.

Тело, стоящее на пути потока, меняет направление движения обтекающих его струи, а так же увеличивает их скорость, за счет уменьшения давления. Частоту срыва вихрей можно рассчитать согласно критерию Струхала:

$f = v \cdot Sh \cdot d^{-1}$ т.е. соответствует отношению v/d , и следовательно при одном характерном размере d тела пропорциональна, скорости v , а значит, и объемному расходу Q_0 . Зависимость между Q_0 и f дается уравнением:

$$Q_0 = (s \cdot d \cdot Sh^{-1}) \cdot f$$

где s — площадь минимального поперечного сечения струи вокруг обтекаемого тела.

Достоинства:

- нет подвижных частей;
- элементарность преобразователя расхода и надежность;
- отсутствие зависимости показаний от температуры и давления;
- широкий диапазон измерения;
- линейность шкалы;
- хорошая точность (погрешность $\pm 0,5-1,5$);
- стабильность показаний;
- сравнительная несложность измерительной схемы;

Недостатки:

- большая потеря давления, может быть до 30-50 кПа;

- есть ограничения возможности их использования: они не могут использоваться при малых скоростях, так как трудно измерить данный сигнал, имеющего малую частоту, и изготавливаются только для труб, диаметром от 25 до 150-300 мм;
- применить их для больших труб сложно, а при очень малых диаметрах нет постоянного вихреобразования;
- большинство конструкций вихревых расходомеров неприменимы для замера загрязненных или агрессивных сред, которые могут нарушить работу преобразователей выходного сигнала;

Из мировых производителей вихревых расходомеров можно выделить компании:

«EMCO» (Германия) (модели датчиков: Hydro-Flow, Vortex PhD, V-Bar и др.).

«ABB» (Германия) (модели датчиков: FV4000 (TRIO-WIRL V), FS4000 (TRIO-WIRL S) и др.) «GE Sensing» (модели датчиков: PanaFlow MV82 и др.) Yokogawa (Япония)

Из отечественных производителей:

ЗАО «ЭМИС» (модель датчика ЭМИС-ВИХРЬ – технические характеристики приведена в таблице 4, ниже)

«АППЭК» (SWIRL модель FS4000-ST4/SR4 и др.) ООО «ГЛОБУС» (модель датчика: Ирга-РВ), «Метран – 300пр»

Таблица 4 – Технические характеристики вихревого расходомера ЭМИС-ВИХРЬ. (Россия)[11].

Техническая характеристика:	Значения:
Среда измерения	Жидкость, газ, пар
Температура измеряемой среды	от -40 до +350 °С
Температура окружающей среды	от -40 до +70 °С
Максимальное давление	до 4 МПа

Продолжение таблицы 4

Погрешность измерения жидкостей	0,6% от 0,1Q _{max} до Q _{max} / 1,5% до 0,1Q _{max}
Погрешность измерения газа и пара	1,5% от 0,1Q _{max} до Q _{max} / 2,5% до 0,1Q _{max}
Диаметр условного прохода	25/32/50/80/100/150/200/250/300 мм
Сигналы на выходе	Частотный 0-1000(10000)Гц Токовый 4-20 мА RS-485 Modbus RTU
Пылевлагозащита	IP 65
Устойчивость к вибрации	вибрации частотой от 10 до 100 Гц и ускорением до 0,5g
Напряжение питания	12-36 В
Межповерочный интервал	4 года
Поверка	Проливная или безпроливная (иммитационная)
Гарантийный срок	18 месяцев

3.3 Приборы с непрерывно движущимся телом

3.3.1 Тахометрические расходомеры

Расходомеры этого типа широко используются во многих отраслях промышленности. Принцип действия их основан на использовании зависимости скорости движения тела — чувствительного элемента, помещенных в поток, из-за расхода вещества, проходящее через данные расходомеры. Существует большое количество видов тахометрических расходомеров, но в основном для измерения расхода разнообразных газов и жидкостей распространены турбинные, шариковые и камерные расходомеры.

3.3.2 Камерные расходомеры

Тахометрические камерные расходомеры выглядят как один или несколько вращающихся элементов, которые отмеряют или отсекают при своем движении известные объемы газа или жидкости. Существует большое количество конструкций, камерных расходомеров жидкостей и газов.

Овально-шестеренчатый жидкостный счетчик, приведенный на рисунке 5, состоящий из двух схожих овальных шестерен, которые вращаются под воздействием перепада давления измеряемой среды, протекающей через его корпус.

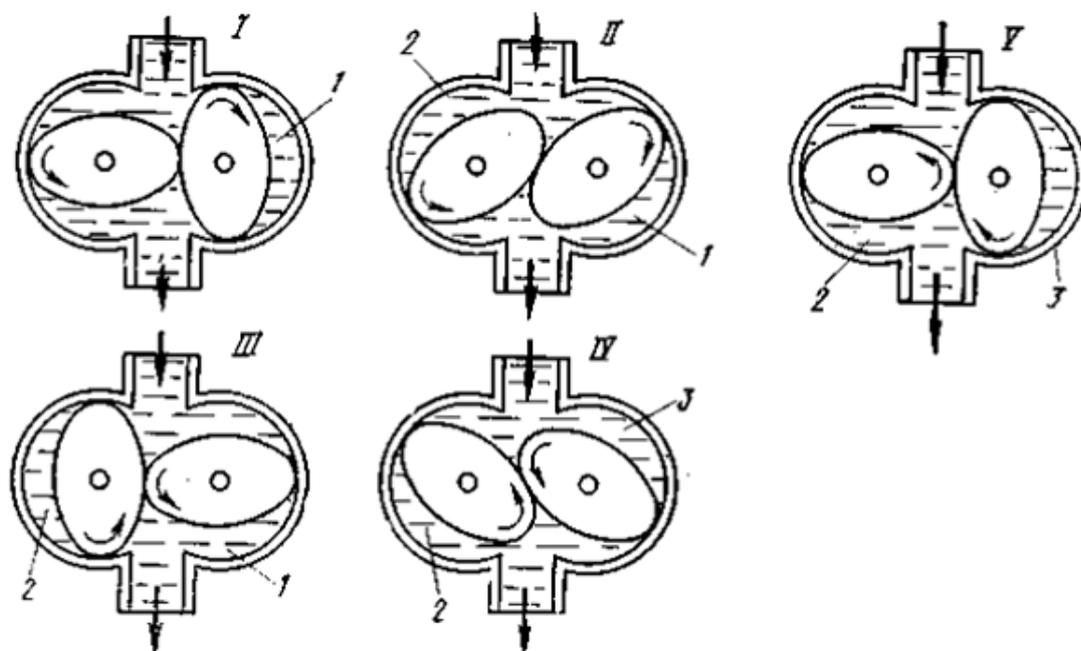


Рисунок 8 - Схема работы счетчика жидкости с овальными шестернями

При положении I правая шестерня отсекает, какой то объем жидкости 1; из-за действия на эту шестерню крутящего момента, вследствие чего она вращается по часовой стрелке, двигая при этом левую шестерню против часовой стрелки.

В положении II левая шестерня прекращает отсекаание новой части жидкости 2, а правая вытесняет ранее отсеченный объем 1 в выход патрубка счетчика. При этом вращающий момент воздействует на обе шестерни.

В положении III главной является левая шестерня, отсекающая объем 2.

В положении IV правая шестерня завершает отсекаание объема 3, а левая вытесняет объем 2.

В положении V полностью отсекается объем 3; обе шестерни произвели по пол-оборота, и главной стала опять правая шестерня. Вторая половина оборота шестерен происходит аналогично. Таким образом, за один полный оборот шестерен отсчитывается четыре дозирующих объема. Учет жидкости основывается на счете числа оборотов шестерен. Производятся счетчики, обеспечивающие измерение в диапазонах от 0,8 до 36 м³/ч. Диаметры условных проходов 15— 50 мм; класс точности 0,5; 1,0.[5]

Достоинства:

- малые или средние затраты на первоначальную наладку;
- высокий класс точности;
- невысокая стоимость;
- возможность измерения малых расходов;
- широкий диапазон измерения;
- возможность измерения расходов жидкостей с относительно высокой вязкостью;

Недостатки:

- наличие движущихся частей. Износ движущихся механизмов приводит к снижению точности измерений или к возможному выходу из строя расходомера;
- относительно сложное конструктивное исполнение;
- высокая чувствительность к механическим примесям;
- не применяют для измерения расхода в трубах с большим диаметром;
- сложность ремонта. Обычно ремонт камерных расходомеров возможен

только в заводских условиях;

- высокий перепад давления из-за полного перекрытия тракта потока расхода;
- не подходят для потока с низкой скоростью перемещения;
- газ (пузыри) могут существенно повлиять на точность измерений;

Российская компания «АППЭК», выпускает камерные расходомеры таких марок, как «Multipulse Trimec Industries», «Multipulse SAP Trimec Industries» и др. Также компания «ТИРЭС» представляет такие модели как «ТИРЭС НП», («ULT» технические характеристики в таблице 5.)

Японская компания «Oval corporation» выпускает расходомеры данного типа. В России используются следующие расходомеры этого производителя: OVAL LSF40LO, OVAL LSF41LO, OVAL LSF45LO.

Таблица 5 – Технические характеристики камерных расходомеров «ULT»[12].

Тип	Стандартный	Высокотемпературный	Низкотемпературный
Номинальный размер	10~50 мм	20~50 мм	
Соединение	Фланцевое		
Диапазон расходов (представлен для вязких жидкостей 5~1000 мПа с)	0,002~44м ³ /ч	0,05~44 м ³ /ч	0,03~44 м ³ /ч
Рабочая температура	-10~+120 °С	120~+350 °С	-60~+60 °С
Максимальное давление	2,94 МПа		
Точность	0,35%		
Дисплей	Выбор суммарного или мгновенного расхода		
Выходные сигналы	Импульсный; Токовый 4-20мА; (возможен импульсный и токовый одновременно)		

3.3.3 Турбинные расходомеры

Турбинные датчики объемного расхода служат для точных измерений расхода и объема жидкостей с кинематической вязкостью 0,5-100 мм²/с, такие как:

- Топливо
- Сжиженный газ
- Легкий мазут

Турбинные расходомеры являются счетчиками объема и работают по принципу счетчиков с крыльчаткой Вольдмана: они регистрируют протекающий через поперечное сечение трубы объем, используя среднюю скорость потока.

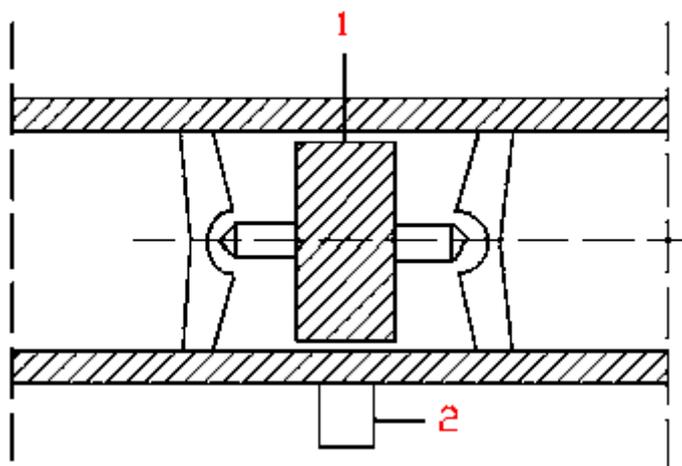


Рисунок 9 – Принципиальная схема турбинного тахометрического расходомера (1— турбина; 2—тахометр)

Колесо турбины имеет малую массу и расположено в корпусе датчика концентрически. Поток набегает на колесо турбины в осевом направлении. Успокаивающее устройство уравнивает поток, таким образом, колесо подвергается воздействию квазиламинарного потока. Число оборотов колеса турбины пропорционально средней скорости потока через поперечное

сечение. Тем самым число оборотов в широком диапазоне пропорционально объемному расходу[13].

В турбину вкручивается или чувствительный элемент несущей частоты или индуктивный чувствительный элемент. Чувствительный элемент регистрирует число оборотов колеса турбины с малым обратным воздействием благодаря немагнитному корпусу датчика расхода.

Колесо турбины выполнено из нержавеющей стали с достаточной магнитной проводимостью.

В расходомерах с чувствительным элементом несущей частоты колесо при каждом проходе лопасти воздействует на электрическое поле чувствительного элемента. Частота амплитудной модуляции соответствует числу оборотов колеса.

В расходомерах с индуктивным чувствительным элементом колесо при каждом проходе лопасти воздействует на магнитное поле чувствительного элемента. Изменение магнитного поля индуцирует в чувствительном элементе напряжение. Частота синусоидального напряжения чувствительного элемента соответствует числу оборотов колеса.

После усиления и преобразования сигнала чувствительного элемента получается сигнал в виде прямоугольных импульсов. Число импульсов в единицу времени пропорционально мгновенному значению расхода. [5]

Достоинства:

- высокая стойкость к воздействию давления и малая потеря давления;
- малое время реагирования;
- момент инерции колеса турбины мал. Время разгона от состояния покоя до полного числа оборотов находится в зависимости от номинального диаметра датчика;
- широкий диапазон температур;
- нечувствительность к загрязнениям;

Недостатки:

- сложность ремонта;
- ограниченный срок службы из-за быстрого изнашивания вращающихся деталей;
- существенная зависимость показаний от вязкости измеряемой среды;

Для измерения расхода бензина, керосина, дизельного топлива (солярки), сжиженного газа, других жидкостей, для измерений которых необходима высокая точность, а также нефтепродуктов, битума, мазута, нефти с водой и других вязких жидкостей можно использовать турбинные расходомеры компании «ЭМИС» серий «ДИО» (технические характеристики приведены в таблице - 6),

Таблица 6 – ЭМИС ДИО [11]

Характеристики	Значения
Диаметр условного прохода	8 / 15 / 25 / 40 / 50 / 80 / 100 / 150 / 200 / 250 / 300 / 400 мм
Точность	0,5% / 0,2%
Повторяемость	$\leq 0,01\%$
Выходные сигналы	частотный / токовый 4 - 20 мА / цифровой Modbus RTU
Потери давления	0...1000 мПа*с < 80 кПа / 1000...20000 мПа*с < 150 кПа
Номинальное давление	1,6 / 2,5 / 4,0 / 6,4 МПа
Температура измеряемой среды	от -30 °С до +80 °С / от -30 °С до +150 °С / от -30 °С до +250 °С
Вязкость измеряемой среды	0...20000 мПа*с
Температура окружающей среды	от -40 °С до +80 °С
Взрывозащита	взрывозащита ExdIICT6
Пылевлагозащита	IP65

3.4 Кориолисовые расходомеры

Кориолисовыми расходомерами, можно назвать расходомеры в преобразователях которых под влиянием силового воздействия создается кориолисово ускорение, которое зависит от расхода. Для создания этого ускорения, постоянно вращающемуся преобразователю расхода создают конфигурацию, которая заставляет поток перемещаться в радиальном направлении по отношению к оси вращения, совпадающей с осью трубопровода [5].

Массовый кориолисовый расходомер представляет собой устройство, состоящее из датчика расхода и электронного преобразователя. Он позволяет получать информацию о массовом расходе вещества, его плотности и температуре в виде стандартных выходных сигналов, путём преобразования электронным блоком данных, получаемых от датчика. Измерение массового расхода происходит напрямую, а не переводом объёмного расхода в массовый с помощью вычислений.

Как только измеряемая среда начинает перемещаться в трубе, появляются дополнительные продольные колебания. Под действием силы Кориолиса в один момент времени входная и выходная части трубы отклоняются в разные стороны. То есть присутствует сдвиг по фазе. Высокочувствительные датчики воспринимают эти колебания. Как результат, сдвиг по фазе и является мерой расхода вещества.

Жидкость, поступающая в сенсор, делится на две равные половины, протекающие по каждой из сенсорных трубок. Движение воздействующей катушки (рисунок 10) приводит к тому, что трубки отклоняются вверх вниз в противоположном направлении друг к другу с определенной тактовой частотой. Если в трубе нет движения измеряемой среды – они колеблется равномерно. Как только измеряемая среда начинает перемещаться в трубе, появляются дополнительные продольные колебания.

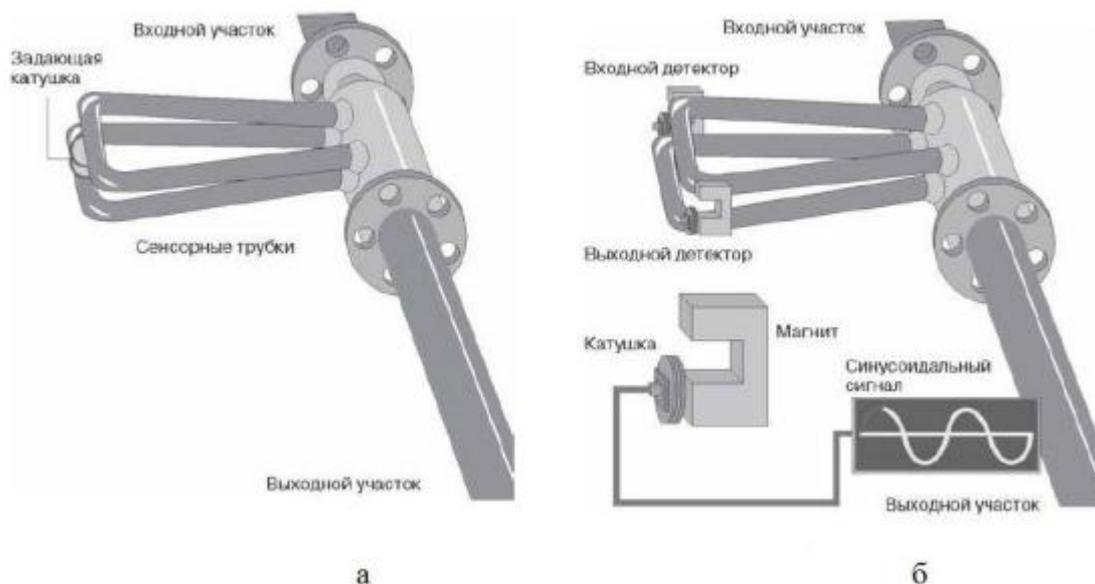


Рисунок 10 – Схема кориолисова расходомера

Датчики, находящиеся на входе и на выходе из трубки регистрируют эти равномерные колебания. Сборки магнитов и катушек соленоидов, называемые детекторами, установлены на сенсорных трубках (рисунок 7 б). Катушки смонтированы на одной трубке, магниты на другой. Каждая катушка движется сквозь однородное магнитное поле постоянного магнита. Сгенерированное напряжение от каждой катушки детектора имеет форму синусоидальной волны. Эти сигналы представляют собой движение одной трубки относительно другой.

Когда расход отсутствует, синусоидальные сигналы, поступающие с детекторов, находятся в одной фазе (рисунок 11).

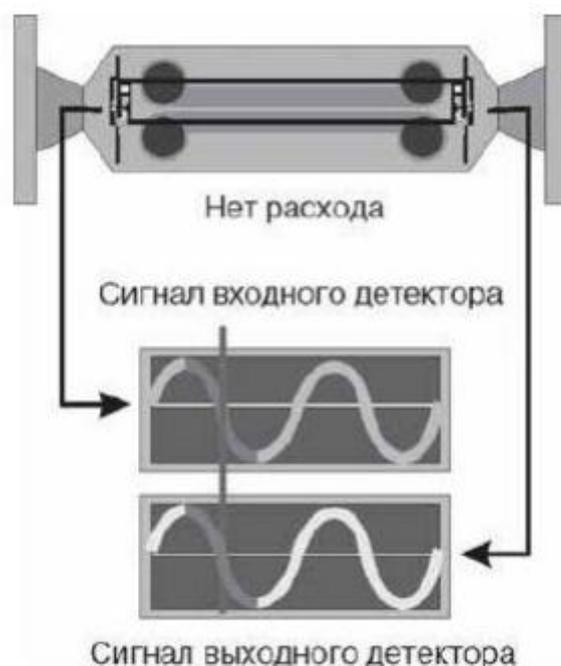


Рисунок 11 – Зависимость расхода от разности фаз

При прохождении жидкости через сенсор возникает физическое явление, так называемый эффект Кориолиса. Прохождение жидкости во вращательном перемещении сенсорной трубки приводит к образованию кориолисового ускорения, которое, в свою очередь, служит для появления кориолисовой силы. Эта сила действует против движения трубки, которое заданно катушкой, т.е. когда трубка движется вверх во время прохождения середины ее собственного цикла, то для измерительной среды, поступающей внутрь, сила Кориолиса действует вниз. Как только жидкость проходит изгиб трубки, направление силы меняется на противоположное. Значит, во входной половине трубки сила, которая действует со стороны жидкости, препятствует перемещению трубки, а в выходной способствует. Что приводит к изгибу трубки.

Когда во второй части вибрационного цикла трубка перемещается вниз, направление изгиба изменяется на противоположное. Сила Кориолиса, а так же, величина изгиба сенсорной трубки прямо зависит от массового расхода жидкости. Детекторы служат для измерения фазового сдвига при движении противоположных сторон сенсорной трубки.

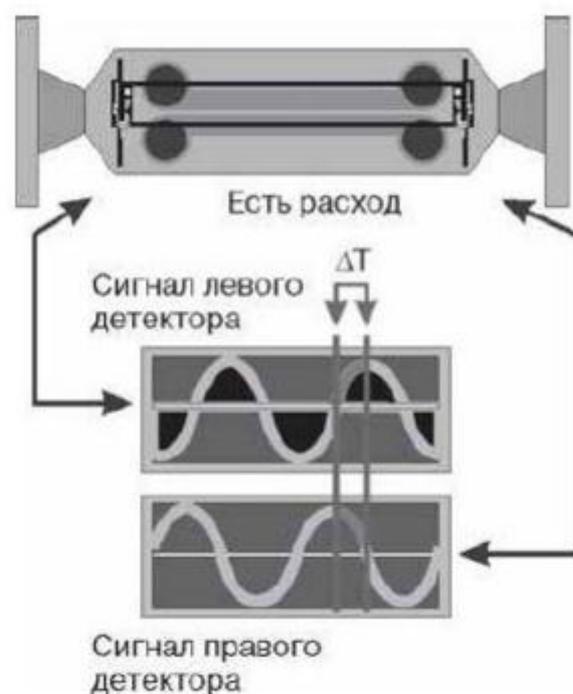


Рисунок 12 – зависимость расхода от разности фаз

Результат смещения сенсорных трубок, создающиеся детекторами сигналы, по фазе не совпадают, потому что, сигнал с входного детектора запаздывает относительно к сигналу с выходного детектора (рисунок 12). Разница во времени между сигналами (ΔT) измеряется в микросекундах и прямо пропорциональна массовому расходу. Чем больше ΔT , тем больше массовый расход.



Рисунок 13 - Кориолисовый расходомер Promass 83I

При движении измеряемой среды через сенсор проявляется физическое явление, известное как эффект Кориолиса. Поступательное движение среды во вращательном движении сенсорной трубки приводит к возникновению

кориолисова ускорения, которое, в свою очередь, приводит к появлению кориолисовой силы. Эта сила направлена против движения трубки, приданного ей задающей катушкой, т. е. когда трубка движется вверх во время половины ее собственного цикла, то для жидкости, поступающей внутрь, сила Кориолиса направлена вниз. Как только жидкость проходит изгиб трубки, направление силы меняется на противоположное. Таким образом, во входной половине трубки сила, действующая со стороны жидкости, препятствует смещению трубки, а в выходной способствует. Это приводит к изгибу трубки. Когда во второй фазе вибрационного цикла трубка движется вниз, направление изгиба меняется на противоположное.

Сила Кориолиса и, следовательно, величина изгиба сенсорной трубки прямо пропорциональны массовому расходу жидкости. Детекторы измеряют фазовый сдвиг при движении противоположных сторон сенсорной трубки. Как результат изгиба сенсорных трубок генерируемые детекторами сигналы не совпадают по фазе, так как сигнал от входной стороны запаздывает по отношению к сигналу с выходной стороны. Разница во времени между сигналами (ΔT) измеряется в микросекундах и прямо пропорциональна массовому расходу. Чем больше массовый расход, тем больше ΔT .

Достоинства:

- высокая точность измерений параметров;
- работают вне зависимости от направления потока;
- не требуются прямолинейные участки трубопровода до и после расходомера;
- надёжная работа где присутствует вибрация трубопровода, при изменении давления и температуры рабочей среды;
- длительный срок службы и легкость обслуживания благодаря отсутствию движущихся и изнашивающихся частей;
- измеряют расход сред с высокой вязкостью;

Недостатки:

- неизбежны гидравлические потери, обусловленные необходимостью разветвления потока жидкости на два трубопровода и последующее объединение двух потоков.
- высокая стоимость устройств

При измерении расхода нефтепродуктов используются кориолисовые расходомеры производимые компаниями: Emerson Micro Motion, «ЭМИС МАСС-260» «Эндресс+Хаузер» (технические характеристики расходомера «Promass 83I» приведены в таблице 6)

Таблица 6 – Кориолисовый расходомер «Promass 83I» (Швейцария) [14]

Диаметр	DN 8...80
Погрешность измерения	По массе: + - 0.50 %
Диапазон измерения	0...180'000 кг/ч
Диапазон рабочего давления	DN 8...80 По массе: + - 0.50 % 0...180'000 кг/ч
Рабочая температура	-50...+150°C
Окружающая температура	Standard: -20 to +60 °C (-4 to +140 °F) Option: -40 to +60 °C (-40 to +140 °F)
Степень защиты электроники	IP 67 NEMA 4x
Дисплей/Настройка	4x-строчный с подсветкой Сенсорное управление
Выходные сигналы	4...20мА Импульсно-частотный(10кГц), активный/пассивный Реле/Сигнал состояния
Входные сигналы	Сигнал состояния Токовый вход

Продолжение таблицы 6

Коммуникация	HART PROFIBUS PA Profibus DP FOUNDATION Fieldbus
Источник питания	DC 16 to 62 V AC 85 to 260 V (45 to 65 Hz) AC 20 to 55 V (45 to 65 Hz)
Сертификаты на взрывозащиту	ATEX FM CSA

3.5 Акустические расходомеры

Акустическими называют расходомеры, основанные на измерении эффектов, возникающих после прохождения колебаний сквозь поток жидкости или газа и зависящего от расхода. Основная часть применяемых на практике акустические расходомеры работает в ультразвуковом диапазоне частот, и поэтому их называют ультразвуковыми.

Ультразвуковые расходомеры делятся на:

- расходомеры, которые работают по принципу перемещения акустических колебаний движущейся средой;
- расходомеры, работающие на принципе эффекта Доплера;

Большое применение получили расходомеры, разработанные на принципе измерения разности времени прохождения акустических колебаний, по направлению потока и против потока измеряемой среды. Приборы, работающие на явлении Доплера, применяются для измерения местной скорости потока, меньше для измерения расхода вещества и имеют более простые измерительные схемы.

3.5.1 Ультразвуковые расходомеры

Ультразвуковые расходомеры отличаются по устройству первичных преобразователей и по используемым измерительным схемам. Высокие частоты акустических колебаний (0,1-10 МГц) используются для измерения расхода чистых жидкостей. Для получения интенсивных акустических колебаний надо работать на резонансной частоте пьезоэлемента. Для измерения загрязненных сред частоты колебаний значительно уменьшают до нескольких десятков КГц, чтобы предотвратить поглощение и рассеяние акустических колебаний. Длина волны должна быть в разы больше диаметра воздушных пузырей или твердых частиц.

Для ввода акустических колебаний в поток и для приема их на выходе из потока необходимы излучатели и приемники колебаний — главные элементы первичных преобразователей ультразвуковых расходомеров. При сжатии и растяжении в определенных направлениях пьезоэлементов, на их поверхности образуются электрические заряды, и наоборот. Если к этим поверхностям приложить разность потенциалов, то пьезоэлемент растянется или сожмется в зависимости от того, на какой из поверхностей будет больше напряжения, — обратный пьезоэффект. [5] Схема ультразвукового первичного преобразователя расхода приведена на рисунке 14.

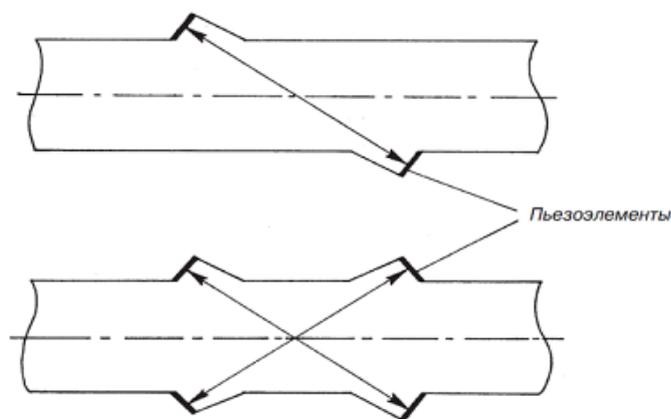


Рисунок 14 – Схема ультразвукового первичного преобразователя расхода

Для измерения расхода нефтепродуктов ультразвуком в основном используют два метода:

первый – это фазовый метод измерения расхода;

второй - это частотный метод измерения расхода.

3.5.2 Фазовые ультразвуковые расходомеры

Принцип действия этих ультразвуковых расходомеров основан на измерении разности фазовых сдвигов двух ультразвуковых колебаний, направленных по потоку жидкости или газа и против него.

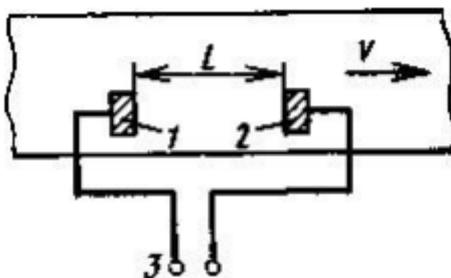


Рисунок 15 – Принципиальная схема фазового ультразвукового расходомера жидкости и газа: 1, 2 – пьезоизлучатель и пьезоприёмник ультразвуковых колебаний; 3 – переключатель механический

На поверхности трубопровода (рисунок 3.5.2) расположены два пьезоэлектрических элемента 1 и 2. Пьезоэлемент 1 механическим переключателем 3 подключен к генератору высокочастотных синусоидальных электрических колебаний. Пьезоэлемент преобразует электрические колебания в ультразвуковые, которые направляются в контролируемую среду через стенки трубопровода. Пьезоэлемент 2 воспринимает ультразвуковые колебания, прошедшие в жидкости расстояние L , и преобразует их в выходные электрические колебания.

Наличие в схеме механического переключателя ограничивает возможность измерения быстро меняющихся расходов вследствие небольшой частоты переключений (порядка 10 Гц). Это можно исключить, если в трубопроводе установить две пары пьезоэлементов так, чтобы в одной паре

излучатель непрерывно создавал колебания, направленные по потоку, а в другой – против потока. В таком расходомере на фазометр будут непрерывно поступать два синусоидальных колебания, фазовый сдвиг между которыми пропорционален скорости потока жидкости или газа.

Если колебания распространяются в направлении скорости потока, то они проходят расстояние L за время:

$$\tau_1 = \frac{L}{a+v} = \frac{L}{a} \cdot \frac{1}{1+v/a}$$

где a – скорость звука в данной среде; v – скорость потока; L – расстояние между излучателем и приемником ультразвуковых колебаний.

При распространении колебаний против скорости потока, время определяется:

$$\tau_2 = \frac{L}{a-v} = \frac{L}{a} \cdot \frac{1}{1-v/a}$$

Отношение весьма мало по сравнению с единицей (для жидкостей 1000... 1500 м/с; 3...4 м/с), поэтому с большой степенью точности исходя из уравнений можно получить:

$$\tau_1 = \frac{L}{a} \cdot \left(1 - \frac{v}{a}\right) = \frac{L}{a} - \frac{L \cdot v}{a^2}$$

$$\tau_2 = \frac{L}{a} \cdot \left(1 + \frac{v}{a}\right) = \frac{L}{a} + \frac{L \cdot v}{a^2}$$

В фазовых ультразвуковых расходомерах фиксируется разность времени. Из полученных уравнений получим уравнение фазового ультразвукового расходомера (разность фаз пропорциональна скорости потока, а значит и его объёмному расходу):

$$\Delta\tau = \tau_1 - \tau_2 = 2 \cdot L \cdot v / a^2$$

Из этого следует, что точность измерения расхода зависит от точности измерения и постоянства значения L .

3.5.3 Частотно-пакетные ультразвуковые расходомеры

Частотными называются ультразвуковые расходомеры, основанные на зависимости разности частот повторения коротких импульсов или пакетов ультразвуковых колебаний от разности времен прохождения этими колебаниями одного и того же расстояния по потоку движущейся жидкости или газа и против него.

Принцип действия этих ультразвуковых расходомеров основан на измерении частот импульсно-модулированных ультразвуковых колебаний, направляемых одновременно по потоку жидкости или газа и против него.

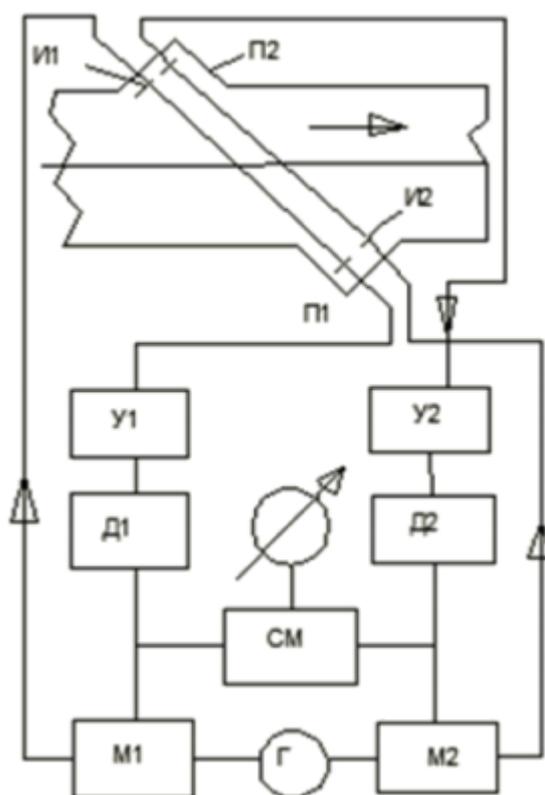


Рисунок 16 – Структурная схема частотно-пакетного ультразвукового расходомера

В зависимости от того, измеряются ли разности частот пакетов ультразвуковых колебаний или коротких импульсов, проходящих через жидкость или газ, расходомеры называются частотно-пакетными или частотно-импульсными. Принципиальная схема последнего с двумя

акустическими каналами показана на рисунке 13. Генератор Г создает колебания высокой частоты (10 МГц), которые после прохода через модуляторы М1 и М2 поступают к пьезоэлементам И1 и И2. Как только первые электрические колебания, создаваемые пьезоэлементами П1 и П2, пройдя через усилители У1 и У2 и детекторы Д1 и Д2, достигнут модуляторов М1 и М2, последние, работающие в триггерном режиме, запирают проход колебаний от генератора Г к пьезоэлементам И1 и И2. Модуляторы открываются вновь, когда последние колебания достигнут их. Прибор, подключенный к смесительному каскаду См, будет измерять разность частот.

Незначительная разность частот у частотных расходомеров — существенный недостаток, затрудняющий точное измерение. Разность Δf регистрируется прибором РП (регистрирующий прибор).

Достоинства:

- возможность измерения расхода любых жидкостей (не содержащих газовых включений), в том числе агрессивных и вязких, в любых трубах, имеющих диаметр, начиная от 10 до 2000 мм и выше, при скоростях 0,02 м/с и выше;
- принципиальная возможность измерения расхода газа;
- высокое быстродействие, позволяющее измерять расходы, меняющиеся с частотой до 10 кГц;
- очень небольшая величина или даже полное отсутствие дополнительной потери давления;
- бесконтактный принцип работы приемных устройств;

Недостатки:

- относительная сложность их измерительной схемы;
- зависимость показаний от плотности среды;

В первую очередь эти приборы должны применяться в тех случаях, где трудно использовать расходомеры других типов, например при измерении расхода агрессивных сред и пульп, неэлектропроводных жидкостей, больших

расходов воды, например в гидротурбинах. Диапазон измерения расхода приборами данного типа теоретически неограничен.

На сегодняшний день большое число компаний занимается разработкой и производством акустических расходомеров, к ним можно отнести: «Honeywell» (США); «GE Sensing»; «Krohne»(Германия)(технические характеристики расходомера модели «Altosonic» приведены в таблице 7).

Из Российских компаний, известны: «Технолайн» «Старорусприбор» «Эй –Си Электроникс»

Таблица 7 – Технические характеристики акустического расходомера «Krohne» -модель «Altosonic». [16]

Условный диаметр	100...800 мм
Диапазон объемного расхода	14...18 000 м ³ /ч
Погрешность измерения	±0,15%, диапазон 1:10
Рабочее давление, не более	1,6 МПа, 16 МПа (по запросу)
Рабочая температура	-40...+180°C; -40...+250°C (высокотемпературная версия); -200...+180°C (криогенная версия)
Вязкость продукта	0,1...400
Категория защиты	IP 64 или IP 67
Уровень вибрации	< 2.0 г, частота 10 – 150 Гц
Выходные сигналы	RS485

3.6 Электромагнитные расходомеры

Электромагнитные расходомеры – это расходомеры, принцип действия которых основан, на взаимодействии движущейся электропроводной жидкости с магнитным полем, подчиняющейся закону электромагнитной индукции.

Электропроводная жидкость протекает внутри электрически изолированной трубы сквозь магнитное поле. Данное магнитное поле создается током, проходящим через двухсекционную обмотку возбуждения.

В жидкости индуцируется напряжение U :

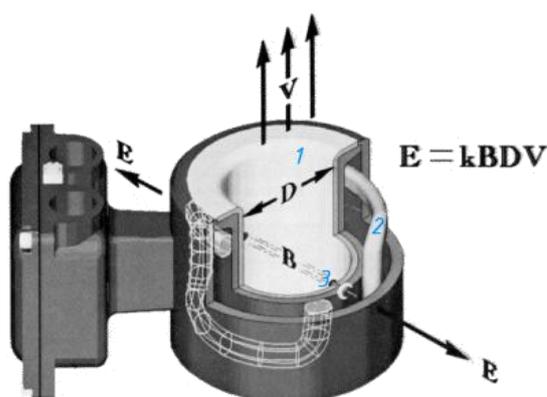


Рисунок 17 - Принципиальная схема электромагнитного расходомера: 1 - трубопровод; 2 - полюса магнита; 3 - электроды для съема ЭДС;

$$E = v * k * B * D$$

где:

v = скорость потока

k = фактор коррекции, учитывающий геометрию трубы

B = сила магнитного поля

D = внутренний диаметр расходомера

Сигнал напряжения E снимается между двумя электродами, находящимися в контакте с жидкостью, его величина прямо пропорциональна скорости потока жидкости v , которая легко преобразуется в значение расхода q . Поэтому конвертер сигналов сначала усиливает напряжение, затем отфильтровывает все помехи и преобразует его в расход на дисплее, стандартные промышленные сигналы и протоколы.

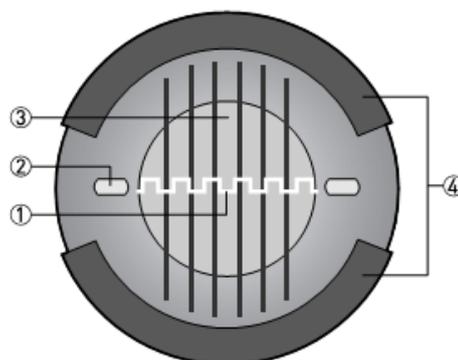


Рисунок 18 - Принципиальная схема электромагнитного расходомера (подробно): 1 индуцированное напряжение (пропорционально скорости потока), 2 электроды, 3 внешние магнитные поля, 4 обмотка возбуждения

Достоинствами электромагнитных расходомеров являются:

- показания не зависят от плотности и вязкости измеряемого вещества;
- возможность использования метода для больших диаметров трубопроводов и отсутствие при этом дополнительного динамического сопротивления;
- линейная шкала;
- при монтаже требуется меньшая длина прямых участков труб, чем у остальных расходомеров;
- быстродействие;
- способность измерения абразивных, вязких, агрессивных жидкостей;
- работа при больших давлениях измеряемой жидкости – до 100 МПа.

К недостаткам следует отнести:

- расходомеров не может использоваться для непроводящих жидкостей (углеводороды, аммиак, кислоты и др.);
- возникает дополнительная погрешность от электропроводности жидкости;

- возможно появление осадка на стенках измерительной части расходомера, что может привести к увеличению погрешности при наличии окислов железа в воде;

- при монтаже необходимо резка трубопровода, приварка фланцев, установки измерительного трубопровода, что бывает не выполнимо.

На данный момент на производствах и на поверочных установках используются расходомеры зарубежных фирм: Endress Hauser, Krohne, ABB. Технические характеристики расходомера Krohne приведены в таблице - 8.

И Российские расходомеры: Взлет, Питерфлоу, Метран.

Таблица 8 – Технические характеристики расходомера Krohne [15].

Наименование параметра	Значение параметра
1. Диаметр условного прохода (типоразмер электромагнитного ППР) Ду, мм	2,5 4 6 10 5 25 40 50 80 100 150 200 250
2. Максимальный измеряемый средний объемный расход жидкости, Qv наиб, м/с	от минус 12 до 120
3. Максимальное давление в трубопроводе, МПа	от 1 до 4
4. Минимальная удельная проводимость жидкости, См/м	от $1 \cdot 10^{-4}$ до $10 \cdot 10^{-4}$
5. Температура жидкости, °С	от минус 60 до 140
6. Питание расходомера	однофазная сеть переменного тока (31-40) В. (49-51) Гц.
7. Потребляемая мощность, ВА,	5
8. Средняя наработка на отказ, ч	100 000

Продолжение таблицы 8

9. Средний срок службы, лет	15
10. Предел допускаемой относительной погрешности, %	± 0,15 %

Таблица 9 – Технические характеристики расходомера «Взлет»[4]

Наименование параметра	Значение параметра
1. Диаметр условного прохода (типоразмер электромагнитного ППР) Ду, мм	10 20 32 40 50 65 80 100 150 200
2. Максимальный измеряемый средний объемный расход жидкости, Qv наиб, м3/ч	3,4 13,58 34,78 54,34 84,9 143,5 217,3 339,6 764,1 1358
3. Максимальное давление в трубопроводе, МПа	2,5
4. Минимальная удельная проводимость жидкости, См/м	$5 \cdot 10^{-4}$
5. Температура жидкости, °С	от минус 10 до 180
6. Питание расходомера	однофазная сеть переменного тока (31-40) В (49-51) Гц
7. Потребляемая мощность, ВА,	5
8. Средняя наработка на отказ, ч	75 000
9. Средний срок службы, лет	15
10. Предел допускаемой относительной погрешности, %	± 0,3-2 %

4. Выбор метода и средства измерения расхода

Рассмотрев основные средства и методы измерения расхода можно выделить несколько востребованных и часто используемых на практике способов. К ним относятся следующие средства измерений:

- Тахометрические (камерные) расходомеры;
- Ультразвуковые расходомеры
- Вихревые расходомеры;
- Электромагнитные расходомеры

Из них, для измерения расхода на поверочных установках наиболее используемые являются электромагнитные расходомеры, что обусловлено рядом причин. А так же, монтаж и монтажные требования данного расходомера одинаковые, с расходомером который используется на установке до модернизации. Данный тип приборов удовлетворяет большинству условий, предъявляемых при проведении поверки и калибровке расходомеров:

- Широкая номенклатура измеряемых веществ. Измерение расхода наибольшего количества фракций с различной плотностью и вязкостью;
- Высокая надежность, обусловленная отсутствием подвижных элементов в приборе;
- Быстродействие прибора;
- Большой диапазон изменения;
- Небольшая величина и полное отсутствие дополнительной потери давления;
- Высокая степень коррозионной и абразивной стойкости;
- Универсальность и простота эксплуатации;
- Точность 0,15 %

Таблица 10 – Технические характеристики расходомеров

Наименование (принцип действия)	Тахометрическое	Ультразвуковые	Вихревые	Электромагнитные
Диаметр Ду, мм	400	800	300	250
Основная погрешность, %	0,2	0,15	0,3	0,15
Выходной сигнал	0-1000Гц 4-20 мА Modbus RTU	RS485	0-1000Гц 4-20 мА RS485	0-1000Гц 4-20 мА RS485
Напряжение питания, В	36	36	36	36
Срок службы, лет	5	12	10	15
Стоимость, руб	20000	36000	48550	120000

Таким образом, можно сделать вывод, что выбор электромагнитных расходомеров, ориентированных на использование на разных производственных объектах, является наиболее лучшим, для нашей установки. Этот тип приборов явно обладает массой достоинств, при использовании на данном объекте контроля, по сравнению с другими средствами измерения расхода.

Большинство предъявляемых требований: точность, особенности монтажа и диапазон измерений, касаемых поверочной установки, удовлетворяет электромагнитный расходомер Krohne - модель «OPTIFLUX 5000», принцип действия которого основан на законе Фарадея, описание которого, приведено на странице 50.

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

Группа	ФИО
3-1Б11	Бардакову Александру Вячеславовичу

Институт	Электронного обучения	Кафедра	ФМПК
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	Приборостроение

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	...
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Расчет затрат на разработку НИРС
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	НДС – 18%, зачисления на заработную плату – 30%

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	...
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований	...
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	...

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Оценка конкурентоспособности технических решений
2. Матрица SWOT
3. Альтернативы проведения НИ
4. График проведения и бюджет НИ
5. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
---	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Конотопский В.Ю.	к.э.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-1Б11	Бардаков Александр Вячеславович		

5 Технико-экономическое обоснование НИР

5.1 Организация и планирование работ

При выполнении работы по модернизации поверочной установки в комплексе решаются производственные, конструкторско-технологические и эксплуатационные задачи. При этом главное требование состоит в том, чтобы работа была высокопроизводительной, надежной в эксплуатации, улучшала условия труда, обеспечивала рост эффективности производства.

Экономические вопросы, выдвигаемые автоматизацией производственных процессов, приобретают все большее значение. Это связано с тем, что на средства автоматизации затрачиваются большие суммы, а их обслуживание требует больших затрат человеческого труда. Особенно актуальное значение вопросы экономики автоматизации промышленных объектов приобрели в связи с использованием для целей управления дорогостоящих ЭВМ, требующих для своего нормального функционирования квалифицированного обслуживания. Результат сопоставления ежегодных затрат на содержание средств автоматизации и тех выгод в денежном выражении, которые могут быть получены от использования этих средств, и будет тем экономическим результатом, который ожидается от автоматизации производственных процессов.

В данном разделе производится расчет экономической эффективности от модернизации поверочной установки. Для достижения этой цели необходимо решить несколько задач:

- а) определить капитальные вложения на усовершенствование системы автоматизации;
- б) определить единовременные капитальные вложения на приобретение средств автоматизации, их монтаж и наладку, определяемые либо по фактическим затратам, либо по сметам;

в) определить экономический эффект, который получает производство от усовершенствования данной системы автоматизации.

При проведении научно-исследовательскую работы задействовались два исполнителя:

- научный руководитель (НР)
- инженер (И)

Для определения капитальных вложений на усовершенствование системы определим объем и продолжительность необходимых работ. Перечень и сроки выполнения работ приведены в таблице 11.

Таблица 11 – Перечень работ и их продолжительность по времени

Этапы работы	Исполнители	Загрузка исполнителей
Постановка целей и задач	НР	НР – 100%
Изучение области исследования по тематике	И	И – 100%
Разработка календарного плана	НР, И	НР – 100% И – 10%
Изучение литературы	И	И – 100%
Проведение сравнительного анализа существующих методов измерения	НР, И	НР – 10% И – 100%
Выбор метода измерения	НР, И	НР – 100% И – 70%
Выбор устройства	НР, И	НР – 100% И – 70%
Выбор основания и направления исследований	НР, И	НР – 100% И – 70%
Анализ эффективности разработанного подхода	И	И – 100%

Продолжение таблицы 11

Оформление расчетно-пояснительной записки	И	И – 100%
Составление презентации	И	И – 100%
Подведение итогов	НР, И	НР – 60% И – 100%

5.1.1 Продолжительность этапов работ

Расчет продолжительности этапов работ осуществим опытно-статическим вероятностным методом, в котором для определения ожидаемого значения продолжительности работ $t_{ож}$ применяется метод двух оценок

$$t_{ож} = \frac{3 \cdot t_{\min} + 2 \cdot t_{\max}}{5}$$

где t_{\min} – минимальная трудоемкость работ, чел/дн, t_{\max} – максимальная трудоемкость работа, чел/дн.

Составим таблицу продолжительности каждого этапа работ.

Таблица 12 – Трудозатраты на выполнение проекта

№	Наименование работ	Исполнители	Продолжительность работ в днях		
			t_{\min}	t_{\max}	$t_{ож}$
1	Постановка целей и задач	НР	2	4	2,8
2	Изучение области исследования по тематике	И	3	6,5	4.4
3	Разработка календарного плана	И	1	2	1,4
4	Изучение литературы	И	6,5	9	7,5

Продолжение таблицы 12

5	Проведение сравнительного анализа существующих методов измерения	НР, И	5	7	5,8
6	Выбор метода измерения	НР, И	2	3	2,4
7	Выбор устройства	И	15	28	20,2
8	Выбор обоснования и направления исследования	НР, И	2	3	2,4
9	Анализ эффективности разработанного подхода	НР, И	2	3	2,4
10	Оформление расчетно-пояснительной записки	И	8	12	9,6
11	Составление презентации	И	3	6	4,2
12	Подведение итогов	НР, И	1	2	1,4
	Итого:				64,5

Рассчитаем длительность этапов работ в рабочих (4.2) и календарных (4.3) днях по формулам:

$$T_{РД} = \frac{t_{ож}}{K_{ВН}} \cdot K_{Д}$$

где $t_{ож}$ – трудоемкость работы, чел/дн.;

$K_{ВН}$ – коэффициент выполнения работ ($K_{ВН} = 1$);

$K_{Д}$ – коэффициент, учитывающий дополнительное время на компенсации и согласование работ ($K_{Д} = 1.2$);

$T_{РД}$ – продолжительность выполнения этапа в рабочих днях;

$T_{КД}$ – продолжительность выполнения этапа в календарных днях;

$T_{К}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности рассчитаем по формуле:

$$T_k = \frac{T_{КАЛ}}{T_{КАЛ} - T_{ВД} - T_{ПД}}$$

где $T_{КАЛ}$ – календарные дни ($T_{КАЛ} = 365$);

$T_{ВД}$ – выходные дни ($T_{ВД} = 52$);

$T_{ПД}$ – праздничные дни ($T_{ПД} = 12$).

Следовательно, коэффициент календарности составляет $T_k = 1.213$.

В таблице 13 - рассчитаем длительности каждого этапа в рабочих и календарных днях

№	Этап	Исполнители	Длительность работ, чел/дни.			
			$T_{РД}$		$T_{КД}$	
			НР	И	НР	И
1	Постановка целей и задач	НР	3,36	-	4,076	-
2	Изучение области исследования по тематике	И	-	5,28	-	6,405
3	Разработка календарного плана	НР, И	1,68	0,16	2,038	0,194
4	Изучение литературы	И	-	9	-	10,91
5	Проведение сравнительного анализа существующих методов измерения	НР, И	0,69	6,96	0,837	8,44
6	Выбор метода измерения	НР, И	2,88	0,28	3,493	0,34
7	Выбор устройства	НР, И	24,24	16,96	29,40	20,57
8	Выбор основания и направления исследований	НР, И	2,88	2,01	3,493	2,438

Продолжение таблицы 13

9	Анализ эффективности разработанного подхода	И	-	2,88	-	3,493
10	Оформление расчетно-пояснительной записки	И	-	11,52	-	13,97
11	Составление презентации	И	-	5,04	-	6,114
12	Подведение итогов	НР, И	1,0	1,68	1,213	2,038
	Итого:		36,73	61,77	44,55	74,92

Рассчитаем величину завершенности работы на каждом из этапов. Для этого воспользуемся следующей формулой:

$$H_i = \frac{t_{Hi}}{t_o} \cdot 100\%$$

где t_{Hi} - нарастающая трудоемкость с момента начала работы i -го этапа;

t_o – общая трудоемкость, вычисляемая по формуле.

$$t_o = \sum_{i=1}^n t_{ожi}$$

где $t_{ожi}$ – ожидаемая продолжительность i -го этапа.

Удельный вес каждого этапа Y_i определяется по формуле:

$$Y_i = \frac{t_{ожi}}{t_o} \cdot 100\%$$

В таблице 14 отображены основные результаты завершенности и удельного веса каждого этапа.

Таблица 14 – Основные результаты завершенности работы на каждом из этапов

№	Этапы	H_i , %	Y_i , %
1	Постановка целей и задач	3,36	3,36

Продолжение таблицы 14

2	Изучение области исследования по тематике	5,28	8,64
3	Разработка календарного плана	1,84	10,48
4	Изучение литературы	9	19,48
5	Проведение сравнительного анализа существующих методов измерения	7,65	27,13
6	Выбор метода измерения	3,16	30,29
7	Выбор устройства	41,2	71,49
8	Выбор основания и направления исследований	4,89	76,38
9	Анализ эффективности разработанного подхода	2,88	79,26
10	Оформление расчетно-пояснительной записки	11,52	90,78
11	Составление презентации	5,04	95,82
12	Подведение итогов	2,68	98,5

Таблица 15 - иллюстрирует линейный график работ на основе рассчитанного для инженера и научного руководителя времени $T_{кд}$

Этап	Март			Апрель			Май			Июнь	
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
1	█										
2	█										
3		█									

Продолжение таблицы 15

4			■								
5				■							
6					■						
7						■					
8							■				
9								■			
10									■		
11										■	
12											■

■ НР – научный руководитель

■ И – инженер

5.2 Расчет сметы затрат на выполнение проекта

Расчет сметной стоимости на выполнение данной разработки производится по следующим статьям затрат:

- капитальные вложения;
- основная заработная плата;
- отчисления в социальные фонды;
- амортизационные отчисления;
- прочие расходы;

5.2.1 Расчет капитальных вложений

К данной статье относятся стоимость прибора и кабельных изделий, используемых при монтаже. Таблица 15 сметой расходов на покупные материалы, включающая цену за единицу материала, количество и общую сумму.

Таблица 16 – Расходные материалы

Наименование материалов	Цена за ед., руб.	Количество	Сумма, руб.
Расходомер Krohne «OPTIFLUX 5000»	120000	1 шт.	120000
Кабельные изделия	2000	1 шт.	2000
Итого:			122000

Общая цена на расходные материалы составила $C_{\text{мат}} = 122000$ рублей

5.2.2 Расчет основной заработной платы

Следующая статья расходов включает заработную плату научного руководителя и инженера, выполняющего разработку. Расчет основной заработной платы основывается на трудоемкости выполнения каждого из этапов и величины месячного оклада исполнителя.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$\text{Дневная з/п} = \frac{\text{Месячный оклад}}{25,17 \text{ дней}}$$

Так как в году 302 рабочих дня, следовательно, в месяце 25,17 рабочих дней. Затраты на выполнение работы по каждому исполнителю отображены в таблице 4.3. Для учета в ее составе премий, дополнительной зарплаты и районной надбавки используется следующий ряд коэффициентов: $K_{\text{ПР}} = 1,1$;

$K_{\text{доп.ЗП}} = 1,188$; $K_p = 1,3$. Таким образом, для перехода от тарифной (базовой) суммы заработка исполнителя, связанной с участием в проекте, к соответствующему полному заработку (зарплатной части сметы) необходимо первую умножить на интегральный коэффициент $K_{\text{и}} = 1,1 * 1,188 * 1,3 = 1,69$. Вышеуказанное значение $K_{\text{доп.ЗП}}$ применяется при шестидневной рабочей неделе, при пятидневной оно равно 1,113, соответственно в этом случае $K_{\text{и}} = 1,59$.

Таблица 17 – Затраты на основную заработную плату

Исполнитель	Оклад, руб./мес.	Среднедневная ставка, руб./день	Затраты времени, дни	Коэффициент	Фонд з/платы, руб.
НР	20389	810	36,7	1,69	50238,63
И	19400	770	61,7	1,59	75539,31
Итого:					125777,94

Таким образом затраты на основную заработную плату составили $C_{\text{зп}} = 125777,94$ руб.

5.2.3 Расчет отчислений в социальные фонды

Отчисления по данной статье определяются по следующей формуле:

$$C_{\text{соц}} = K_{\text{соц}} \cdot C_{\text{осн}}$$

где $K_{\text{соц}}$ – коэффициент, учитывающий размер отчислений. Следующий коэффициент составляет 30% от затрат на заработную плату и включает в себя:

- 1) отчисления в пенсионный фонд;
- 2) на социальное страхование;
- 3) на медицинское страхование.

Таким образом, отчисления от заработной платы составляют

$$C_{\text{соц.}} = C_{\text{зп}} * 0,3$$

Таким образом отчисления от заработной платы составляют $C_{\text{соц}} = 125777,94 * 0,3 = 37733,38$ руб.

5.2.4 Расчет амортизационных расходов

В амортизационных отчислениях, рассчитывается работа используемого оборудования, за время выполнения проекта. Так как, вовремя выполнения проекта оборудование не использовалось, амортизационные затраты по этой статье отсутствуют.

5.2.5 Расчет прочих расходов

В статье «Прочие расходы» отражены расходы на разработку проекта, которые не учтены в предыдущих статьях.

Прочие расходы составляют 10% от единовременных затрат на выполнение технического продукта и проводятся по формуле:

$$C_{\text{проч}} = (C_{\text{мат}} + C_{\text{зп}} + C_{\text{соц}} + C_{\text{ам}}) * 0,1$$

$$C_{\text{проч}} = (122000 + 125777,94 + 37733,38 + 0) * 0,1 = 28551,132.$$

5.2.6 Расчет общей себестоимости разработки

После проведения расчета затрат на разработку можно рассчитать себестоимость разработки подхода к идентификации.

Таблица 18 – Смета затрат на разработку проекта

Статья затрат	Условное обозначение	Сумма, руб.
1 Капитальные вложения	$C_{\text{мат}}$	122000
2 Основная заработная плата	$C_{\text{зп}}$	125777,94
3 Отчисления в социальные фонды	$C_{\text{соц}}$	37733,38
4 Прочие расходы	$C_{\text{проч}}$	28551,13
Итого:		314062,45

Общие расходы на разработку составили : $C = 314062,45$ рублей.

5.2.7 Расчет прибыли

Прибыль от реализации проекта в зависимости от конкретной ситуации (масштаб и характер получаемого результата, степень его определенности и коммерциализации, специфика целевого сегмента рынка и т.д.) может определяться различными способами. Если исполнитель работы не располагает данными для применения «сложных» методов, то прибыль следует принять в размере $5 \div 20$ % от полной себестоимости проекта. В данной работе она составляет $62812,49$ руб. (20 %) от расходов на разработку проекта.

5.2.8 Расчет НДС

НДС составляет 18% от суммы затрат на разработку и прибыли. В нашем случае это $(314062,45 + 62812,49) * 0,18 = 67837,48$ руб.

5.2.9 Цена разработки НИР

Цена равна сумме полной себестоимости, прибыли и НДС, в нашем случае $C_{\text{НИР(КР)}} = 314062,45 + 62812,49 + 67837,48 = 444712,42$ руб.

5.2.10 Полная смета затрат на выполнение НИР

Таблица 19 отображает полную смету затрат, потраченную на разработку.

Таблица 19 – Полная смета затрат

Наименование статьи	Затраты, руб.
1 Капитальные вложения	122000
2 Основная заработная плата	125777,94
3 Отчисления в социальные фонды	37733,38
4 Прочие расходы	28551,13
5 Общая себестоимость проекта	444712,42

Оценка экономической эффективности данного проекта, требует специального исследования, выходящего за рамки данной ВКР. Только его часть, обусловленная ожидаемым приростом прибыли, за счет расширения количества поверяемых приборов. Приблизительная прибыль от поверки одного прибора составит 8000 руб., а ожидаемый прирост количества приборов в год 40 шт. Следовательно прибыль составит приблизительно 320000 руб. в год, а срок окупаемости проекта составит приблизительно 1,5 года.

Вывод:

Данный проект является экономически прибыльным для использования на данном предприятии.