

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

Институт Международного образования и языковой коммуникации
Направление подготовки Приборостроение
Кафедра физических методов и приборов контроля качества

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Анализ методов и средств измерения расхода нефти и нефтепродуктов

УДК 681.121.8:665.7.013

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
151Б20	Фу Аохань		

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 каф. Менеджмента	Конотопский В.Ю.	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент, Кафедра Экологии и БЖД	Крымакова О.С.			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Физических методов и приборов контроля качества	Суржиков Анатолий Петрович	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>	
P1	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 (ОПК-1, 2, 3, 4, 6, 7, 8, 10;. ОК-3,9; ПК-2, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 11.12, 13, 14, 15, 16,17, 18), Критерий 5 АИОР (п.1.1, 1.3), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P2	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-3, ОПК-7; ПК-8,9,10, 11, 12, 13-18) Критерий 5 АИОР (п.1.4, 1.5, 1.6), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P3	Эксплуатировать и обслуживать современные средств 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-9, ОПК-3; ППК-14, 15, 16). Критерий 5 АИОР (п.1.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EURACE</i> и <i>FEANI</i>

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требование ФГОС ВПО, критериев и/или заинтересованных сторон
P4	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-3, ОК-6, ОПК-2, 3,4, 5, 6, 7,8,9, ПК-1,2,9,14). Критерий 5 АИОР (п.1.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P5	Планировать и проводить аналитические, имитационные и экспериментальные исследования по своему профилю с использованием новейших достижения науки и техники, передового отечественного и зарубежного опыта в области знаний, соответствующей выполняемой работе	Требования ФГОС (ОК-5, ОК-6 ОПК-2, 3,4,5,6; ПК-1,2,3,4). Критерий 5 АИОР (п.1.2, 1.4), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P6	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 конкурентоспособной продукции	Требования ФГОС (ОК-3, ПК-6,8,14,17), Критерий 5 АИОР (п.2.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
	<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>

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требование ФГОС ВПО, критериев и/или заинтересованных сторон
Р8	Эффективно работать индивидуально, в качестве члена команды по междисциплинарной тематике, а также руководить командой, демонстрировать ответственность за результаты работы	Требования ФГОС (ОК-6, ПК-17), Критерий 5 АИОР (п.2.3), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
Р9	Владеть иностранным языком на уровне, позволяющем работать в интернациональной среде, разрабатывать документацию, презентовать и защищать результаты инженерной деятельности	Требования ФГОС (ОК-5, ОПК-2), Критерий 5 АИОР (п.2.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
Р10	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-2, 4, 8, 9,10; ОПК-9) Критерий 5 АИОР (п.2.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
Р11	Следовать кодексу профессиональной этики, ответственности и нормам инженерной деятельности	Требования ФГОС (ОК-4), 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 Международного образования и языковой коммуникации
Направление подготовки (специальность) Приборостроение
Кафедра Физических методов и приборов контроля качества

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой

(Подпись) (Дата) Суржиков А.П.
(Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

бакалаврской работы

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

Студенту:

Группа	ФИО
151Б20	Фу Аохань

Тема работы:

Анализ методов и средств измерения расхода нефти и нефтепродуктов

Утверждена приказом директора (дата, номер)	
---	--

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i>	Расход нефти и нефтепродуктов. Режим работы – непрерывный.
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <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,</i>	Характеристика объекта измерения. Процесс переработки нефти. Методы и средства измерения расхода жидких сред. Классификация расходомеров. Вопросы социальной ответственности и финансового менеджмента.

подлежащих разработке; заключение по работе).		
Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>		
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i>		
Раздел	Консультант	
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Конотопский В.Ю., к.э.н., доцент кафедры Менеджмента	
Социальная ответственность	Крымакова О.С. ассистент, кафедра Экологии и БЖД	
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:		

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

Задание выдал руководитель:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
151Б20	Фу Аохань		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 87 с., 15 рис., 15 табл., 19 источников.

Ключевые слова: нефтепродукты, расход, датчик, расходомер, жидкость.

Объектом исследования является расход нефти и нефтепродуктов.

Цель работы – выполнить анализ методов и средств измерения расхода нефти и нефтепродуктов.

В процессе исследования проводился анализ научно-технической документации в области современных методов и средств измерения и контроля расхода жидких сред.

В результате исследования были предложены методы и средства для измерения расхода нефти и нефтепродуктов.

Область применения: контроль расхода нефти и нефтепродуктов на нефтеперерабатывающих предприятиях.

Экономическая эффективность/значимость работы определяется одним из возможных вариантов реализации информационно-измерительных технологий для решения измерительной задачи, поставленной в данной работе с позиции финансовой и ресурсной эффективности.

В будущем планируется разработать автоматизированную систему учета расхода нефти и нефтепродуктов на нефтеперерабатывающем предприятии.

Оглавление

1 Характеристика объекта измерения	12
2 Процесс переработки нефти	14
3 Анализ методов и средств измерения расхода жидких сред	16
4 Требования к современным расходомерам и счетчикам	17
5 Классификация расходомеров.....	19
6 Приборы, основанные на гидродинамических методах	20
6.1 Расходомеры переменного перепада давления.....	20
6.2 Расходомеры с сужающими устройствами	21
6.3 Вихревые расходомеры.....	27
7 Приборы с непрерывно движущимся телом.....	32
7.1 Тахометрические расходомеры	32
7.1.1 Камерные расходомеры	33
7.1.2 Турбинные расходомеры	36
7.2 Кориолисовые силовые расходомеры.....	38
8 Акустические расходомеры.....	45
8.1 Фазовые ультразвуковые расходомеры	47
8.2 Частотно-пакетные ультразвуковые расходомеры	49
9 Выбор метода и средства измерения расхода	55
10 Социальная ответственность	Ошибка! Закладка не определена.
Введение.....	Ошибка! Закладка не определена.
10.1 Техногенная безопасность	Ошибка! Закладка не определена.
10.1.1 Микроклимат.....	Ошибка! Закладка не определена.
10.1.2 Электромагнитное излучение	Ошибка! Закладка не определена.
10.1.4 Электробезопасность	Ошибка! Закладка не определена.
10.2 Организационные мероприятия обеспечения безопасности.....	Ошибка! Закладка не определена.
10.3 Особенности законодательного регулирования проектных решений.....	Ошибка! Закладка не определена.
10.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	Ошибка! Закладка не определена.
11 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ	58
Введение	58
11.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	59
11.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования	59
11.1.2 Технология QuaD.....	59

11.2	Определение возможных альтернатив проведения научных исследований.....	60
11.3.	Планирование научно-исследовательских работ.....	61
11.3.1	Структура работ в рамках научного исследования.	61
11.3.2	Определение трудоемкости выполнения работ	62
11.3.3	Разработка графика проведения научного исследования.....	63
11.4	Бюджет научно-технического исследования (НТИ).....	67
11.4.1.	Расчет материальных затрат НТИ.....	67
11.4.2	Основная и дополнительная заработная плата исполнителей темы	68
11.4.3	Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)	70
11.4.4	Накладные расходы	70
11.4.5	Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта.....	71
11.5.	Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.	71

Введение

В настоящее время, одной из самых важнейших задач стоящих перед нефтедобывающими и нефтеперерабатывающими компаниями в России, является задачи измерения расхода добываемой и перерабатываемой нефти. В последнее время в РФ усиливается государственный контроль над разработкой нефтяных и газовых месторождений и эффективного использования недр нашей страны. В этих экономических условиях задача измерения количества добываемой нефти, которая поступает на переработку и выходит с нефтеперерабатывающего завода, разделенная по фракциям, становится всё более актуальной.

Измерение расхода переработанной нефти, а точнее фракций, полученных в результате ее «перегонки» на нефтеперерабатывающем предприятии является задачей, поиск оптимального решения которой до настоящего времени вызывает довольно большие трудности. Поэтому к решению этой задачи, как правило, подходят с совершенно разных позиций и предлагается достаточно большое количество методов и технических средств измерений, которые с той или иной степенью точности позволяют получить количественные сведения о расходе нефти и нефтепродуктов. Каждый из этих методов имеет определенные достоинства и недостатки, выявление которых является одной из целей данной выпускной квалификационной работы.

При переработке нефти на нефтеперерабатывающем заводе, а также после разделения ее по фракциям (или секциям) неизбежно возникает задача контроля их расхода. Наиболее эффективным методом в настоящее время считается применение специальных измерительных приборов учета, получивших название «расходомеры» (счетчики). Расходомер – это техническое устройство или прибор, которое состоит из нескольких частей, измеряющих расход различных веществ (например, газа, жидкости или пара) (по ГОСТ 15528 – 86). Использование современных расходомеров позволяет

осуществлять коммерческий учет расхода таких нефтепродуктов, как бензин, дизтопливо, масло.

Расходомеры нефтепродуктов представлены сегодня в нескольких модификациях, и при своей работе используют различные принципы действия. Выбор типа и модели счетчика расхода в каждом конкретном случае будет обусловлен, в первую очередь, характеристиками измеряемой жидкой среды – а это, прежде всего, ее вязкость. Поэтому для светлых и темных нефтепродуктов применяются, как правило, различные виды расходомеров. Другие технические параметры, которые влияют на выбор модели расходомера – это примерная величина расхода измеряемой жидкой среды, а также точность, с которой необходимо выполнять все измерения.

Использование современных моделей расходомеров нефтепродуктов позволяет в наиболее полной мере наладить коммерческий учет различных продуктов переработки нефти, и эффективно его контролировать. Это, в конечном итоге, позволяет существенно повысить экономическую эффективность работы многих организаций и предприятий [1].

1 Характеристика объекта измерения

Нефть – это природная горючая маслянистая жидкость со специфическим запахом. Нефть в основном состоит из сложной смеси углеводородов с различной молекулярной массой, а также некоторых других химических соединений. Нефть относится к ископаемым топливам (каустобиолитам).

Рассмотрим основные свойства нефти:

Нефть – это маслянистая горючая жидкость, как правило, темного цвета. Является смесью различных углеводородов. При этом цвет нефти может варьироваться от светло коричневого оттенка до темно-бурого или даже черного.

Плотность вещества – это отношение массы вещества к его объему. В системе СИ единица измерения плотности выражается в $\text{кг}/\text{м}^3$.

Вязкость – это свойство жидкой или газовой среды оказывать сопротивление процессу перемещению одних ее частиц относительно других. Отметим, что вязкость зависит от силы взаимодействия между молекулами жидкой среды. Для количественной характеристики величины этих сил используется специальный коэффициент динамической вязкости. Для жидкой среды за единицу динамической вязкости принят паскаль-секунда ($\text{Па}\cdot\text{с}$). Этот параметр означает что вязкость жидкой среды, в которой на 1 м^2 поверхности слоя этой среды действует сила, которая равна одному ньютону, если при этом на расстоянии 1 см скорость между слоями жидкой среды изменяется на 1 см/с. Следует отметить, что жидкая среда с вязкостью 1 $\text{Па}\cdot\text{с}$ относится к числу высоковязких жидкостей.

Кроме того, вязкость жидкой среды также характеризуется и коэффициентом кинематической вязкости, который определяется отношением динамической вязкости среды к ее плотности. В этом случае за единицу измерения принят $\text{м}^2/\text{с}$.

Ещё одно свойство нефти – это ее испаряемость. Так как нефть теряет легкие фракции, поэтому она должна обязательно храниться только в герметичных емкостях или сосудах.

Под сжимаемостью понимается способность нефти (пластовой воды, газа) изменять свой объем под действием давления. Заметим, что с ростом давления нефть будет сжиматься.

Газосодержание – ещё одна из важных характеристик нефти в пластовых условиях. Газосодержание – это количество газа, которое содержится в нефти, при её объеме равном одному кубическому метру. Такой параметр как газовый фактор представляет собой отношение количества газа (в кубических метрах) полученного из скважины на месторождении, приведённого к атмосферному давлению и температуре 20 по шкале Цельсия, к общему количеству добытой за то же время нефти (в тоннах или в кубических метрах) при том же значении давления и температуре. По этому показателю можно определить расход пластовой энергии, а также газовые ресурсы данного месторождения. Для большинства нефтяных месторождений расположенных в РФ газовый фактор, как правило, изменяется от 20 до 1000 м³/т. Отметим, что в соответствии с законом Генри, растворимость произвольного газа в жидкой среде при данной температуре прямо пропорциональна давлению [2].

2 Процесс переработки нефти

Процесс переработки нефти на различные фракции можно условно разделить на три следующие этапа:

1. Разделение нефти (нефтяного сырья) на фракции, которые различаются по интервалам (значениям) температур кипения (это так называемая первичная переработка нефти);

2. Переработка (с применением различных химических превращений) полученных на первом этапе фракций содержащихся в них различных углеводородов и последующей выработкой компонентов товарных нефтепродуктов (это так называемая вторичная переработка);

3. Производится смешение компонентов с привлечением, в случае необходимости, с применением различных присадок, для получения товарных нефтепродуктов с заданными характеристиками (или показателями качества) (этап товарного производства).

Продукцией нефтеперерабатывающего завода (НПЗ) являются различные виды моторного и котельного топлива, а также различные виды сырья, используемые в нефтехимических производствах, и сжиженные газы. А также, в зависимости от используемой на предприятии технологической схемы переработки нефти – смазочные, гидравлические и иные виды масел, нефтяные коксы, битумы и парафины. Исходя из набора технологических процессов, которые происходят на этапе переработки, на НПЗ может быть получено от 5 до 40 позиций и более различных товарных нефтепродуктов.

Необходимо отметить, что в России основная часть объёмов сырой нефти, которая поставляется на последующую переработку, как правило, поступают на НПЗ от предприятий (комплексов) нефтяной промышленности по магистральным нефтепроводам. Кроме того, небольшое количество нефти, а также газовый конденсат, может поставляться на НПЗ по железной дороге.

Принятое на завод сырьё (нефть) поступает в специальные емкости, которые связаны трубопроводами, со всеми технологическими установками,

имеющимися на НПЗ. При этом количество поступившей на НПЗ нефти на последующую переработку измеряется с помощью различных расходомеров, или путём выполнения замеров в сырьевых емкостях.

Сырая нефть может также содержит различные соли, которые вызывают сильную коррозию технологического оборудования на НПЗ. Для удаления солей поступающую из сырьевых емкостей нефть предварительно смешивают с водой, в которой эти соли растворяются. Затем этот раствор поступает на электрообессоливающую установку (ЭЛОУ).

С ЭЛОУ обессоленная нефть попадает на установку для атмосферно-вакуумной перегонки нефти. Эта установка разделена на два блока для выполнения двух видов перегонки – атмосферной и вакуумной. Для отбора светлых нефтяных фракций (керосиновой, бензиновой и дизельных) предназначена атмосферная перегонка. Эти фракции на этапе переработки выкипают при температуре до 360 °С. Отметим, что потенциальный выход этих фракций составляет 45–60 % от объема нефти. Остатком при атмосферной перегонке является мазут. В свою очередь, вакуумная перегонка предназначена для отбора на НПЗ из мазута масляных дистиллятов. Остатком при вакуумной перегонке является гудрон.

Отметим, что необходимость производить отбор масляных фракций под вакуумом обусловлена тем, что если температура будет выше 380 °С, то начинается термическое разложение (так называемый крекинг) углеводородов, а конец процесса кипения вакуумного газойля происходит при температуре 520 °С и более. Поэтому перегонку нефти ведут, как правило, при значении остаточного давления в 40–60 мм рт. ст., что уменьшает максимальную температуру нагрева до 360–380 °С [3].

3 Анализ методов и средств измерения расхода жидких сред

Рассмотрим основные понятия в области измерения и контроля расхода. Расходом называется количество жидкости, которое протекает через поперечное сечение потока (или трубопровода) в единицу времени.

В зависимости от единиц измерения количества жидких сред расход может быть объемным Q (единица измерения $\text{м}^3/\text{с}$) или массовым M (единица измерения $\text{кг}/\text{с}$).

Отметим, что массовый и объемный расходы связаны простой зависимостью, аналогичной зависимости между массой и объемом вещества:

$$M = \rho \cdot Q ,$$

где ρ - плотность вещества.

Кроме того, объемный расход может быть выражен как:

$$Q = V_{\text{ср}} \cdot F ,$$

где F – площадь поперечного сечения потока;

$V_{\text{ср}}$ – средняя скорость потока жидкости.

Мгновенные расходы необходимо контролировать, как правило, при управлении различными технологическими процессами, а также при обеспечении оптимальных режимов работы различных энергетических установок и двигателей.

Средние расходы, как правило, контролируют при технических испытаниях, при определении «расходных характеристик» различных объектов и процессов (при оценке, например, дебита газовых и нефтяных скважин, или значений удельных расходов топлива различными двигателями).

И наконец, «пиковые» расходы, которые характерны для исследовательских работ, которые связаны с долгосрочными прогнозами паводковых явлений в открытых каналах и руслах, или поведения грунтовых и сточных вод [5].

4 Требования к современным расходомерам и счетчикам

Необходимо отметить, что требования, предъявляемые к расходомерам достаточно многочисленны и разнообразны. Выполнить одновременно все эти требования очень трудно, или даже невозможно. Одни модели измерительных приборов в большей степени удовлетворяют одним техническим требованиям, а другие – другим. Из-за этого при выборе конкретной модели средства измерения следует учитывать важность тех или иных технических требований, которые предъявляются к измерению расхода (количества) различные потребители в каждом конкретном случае.

Важнейшее требование – это высокая надежность средств измерений расхода. Оно определяется промежутком времени, в течение которого измерительный прибор сохраняет свою работоспособность и точность. Этот параметр зависит от типа измерительного прибора и от конкретных условий при его эксплуатации. Некоторые расходомеры, а также и их отдельные элементы, у которых в конструкции нет движущихся частей, могут достаточно долго надежно работать. Тахометрические расходомеры (счетчики) - расходомеры, в конструкции которых имеется движущийся ротор. Эти расходомеры характеризуются намного меньшим сроком службы, который зависит от степени чистоты контролируемой жидкой среды и наличия у неё смазывающей способности.

Другое требование – это малая зависимость точности измерения от изменения плотности контролируемой среды. Только силовые и тепловые расходомеры, которые измеряют массовый расход, обладают этим свойством. У других типов приборов в конструкции необходимо размещать специальные устройства, вводящие автоматически коррекцию при изменении давления или плотности измеряемого вещества, и его температуры.

Прибор должен обладать высоким быстродействием и отличными динамическими характеристиками. Это свойство необходимо, если расходомер применяют в автоматических системах регулирования

технологических процессов и при измерении значений быстроменяющихся расходов.

Также измерительные приборы должны иметь большой динамический диапазон измерения.

Наличие отличной метрологической базы. Образцовые установки, которые используют для поверки и градуировки различных расходомеров, достаточно дорогие и сложные, особенно при больших значениях поверяемых расходов. Только расходомеры с сужающими устройствами не требуют образцовых поверочных установок, так как экспериментально для большинства таких устройств были установлены и нормированы их коэффициенты расходов.

Широкая номенклатура измеряемых жидких сред. Измеряемые вещества могут быть однофазными и однокомпонентными, а также и многофазными и многокомпонентными. Надо учитывать не только свойства среды (агрессивность, токсичность, взрывоопасность), но и её параметры (температура и давление). Измерение расхода таких сред очень важно, хотя и представляет определенные трудности [5].

5 Классификация расходомеров

Сложность выполнения всех требований, предъявляемых к расходомерам (счетчикам) и большое их разнообразие является одной из главных причин создания большого числа моделей таких измерительных приборов. Модель расходомера выбирают исходя из свойств контролируемой среды, её параметров, а также требований к погрешности измерения, и необходимо учитывать при этом степень важности удовлетворения тем или иным техническим требованиям, а также сложность конструкции измерительного устройства, условий его поверки и эксплуатации.

Все расходомеры (счетчики) используемые для измерения расхода нефти и нефтепродуктов, можно условно разделить на следующие три группы:

- Приборы принцип действия, которых основан на двух гидродинамических методах: вихревые и переменного перепада давления;
- Приборы, у которых имеется непрерывно движущиеся тело: силовые (в том числе вибрационные) и тахометрические;
- Приборы, которые основаны на различных физических явлениях: акустические (ультразвуковые).

6 Приборы, основанные на гидродинамических методах

6.1 Расходомеры переменного перепада давления

Измерительный комплекс называется расходомером переменного перепада давления, если принцип его действия основан на зависимости расхода от перепада давления, который создается преобразователем расхода, установленным в трубопроводе, или в его колено [6].

В состав такого измерительного комплекса, как правило, входят:

- первичный преобразователь расхода;
- первичная линия связи в виде соединительных трубок и вспомогательные устройства для них;
- первичный измерительный прибор – диафанометр.

Если диафанометр или вторичный прибор имеют в своем составе интегратор со счетным механизмом, то в этом случае прибор контролирует не только расход, но и массу или объем жидкого вещества.

Расходомеры переменного перепада, используемые для измерения расхода жидких сред, имеют несколько разновидностей конструкций, в зависимости от вида первичного преобразователя расхода:

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

Необходимо отметить, что для измерения расхода нефтепродуктов на НПЗ в настоящее время в основном, используют расходомеры с сужающими устройствами.

6.2 Расходомеры с сужающими устройствами

Принцип действия для расходомеров с сужающими устройствами основан на измерении величины перепада давления, который возникает в результате преобразования в сужающем устройстве части потенциальной энергии в кинетическую энергию. Сужающее устройство в этом случае является вариантом первичного измерительного преобразователя. В этом устройстве в результате сужения сечения потока измеряемой жидкой среды образуется перепад (разность) давления, который зависит в свою очередь от расхода. В качестве сужающих устройств используют различные сопла, диафрагмы, трубы и сопла Вентури.

В качестве вторичных измерительных приборов используют различные дифференциальные манометры, которые снабжены записывающими, показывающими, сигнализирующими, интегрирующими и другими дополнительными техническими устройствами для обеспечения выдачи измерительной информации о расходе в удобной форме и виде.

Заметим, что из-за применения сужающих устройств потери давления в трубопроводе увеличиваются в следующем порядке: наименьшие потери давления создает труба Вентури, затем длинное сопло Вентури, далее короткое сопло Вентури, потом сопло и наибольшие потери при использовании диафрагмы.

Рассмотрим основные сужающие устройства.

Диафрагмы.

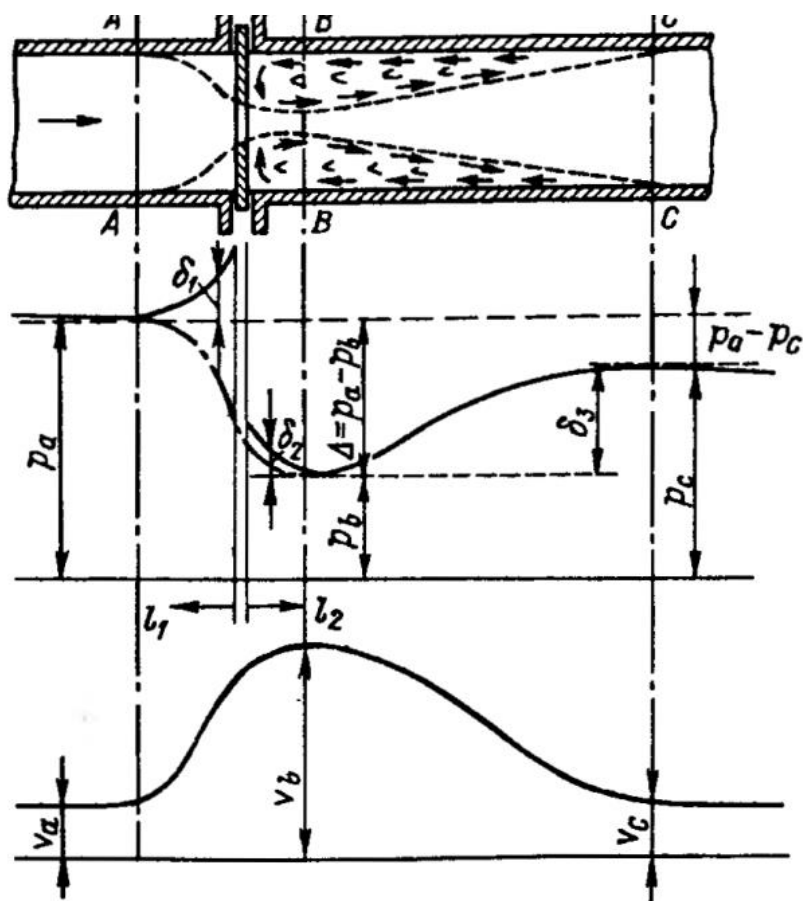


Рисунок 1 – Изменение давления p и средней скорости v потока жидкой среды при прохождении через диафрагму

Измерительная диафрагма представляет собой диск, у которого в центре имеется круглое отверстие диаметром d . Этот диск имеет острую входную кромку и устанавливается строго concentрично оси трубы диаметра D . Сечение, от которого начинается сужение потока жидкости на рисунке 1 обозначено через А–А, а штриховой линией – показаны границы потока, который обусловлен проходом жидкости через отверстие диафрагмы. Поток вследствие своей инерции достигает наибольшего сужения в сечении В–В, которое отстоит от диафрагмы на расстоянии $(0,3 \div 0,8) D$, причем величина этого расстояния зависит от отношения $\frac{d}{D}$. Затем поток жидкости начинает расширяться и далее вновь достигает стенок трубы в сечении С–С. График изменения скорости и давления в пределах сечений А–А и С–С показано на рисунке 1.

Если плотность жидкости является постоянной и не зависит от давления, то скорости потока обратно пропорциональны площадям потока. Заметим, что скорость v_b достигает максимального значения в сечении В–В, а скорость $v_c = v_a$. При этом значение статического давления в сечении А–А у стенки трубопровода и в потоке жидкости будет одно и то же. Затем по мере того происходит сужение потока жидкости на отрезке между сечениями А–А и В–В давление в потоке начинает падать (на рисунке 1 показано штриховой кривой), так как без этого явления невозможно увеличение скорости потока жидкости. Давление же у стенки трубы возрастает (на рисунке 1 показано сплошной кривой) вследствие падения скорости в мертвых зонах перед диафрагмой и достигает максимума в углах у стенки диафрагмы. После диафрагмы давление в углах у стенки уменьшается. Разность значений этих давлений и образует перепад давления, который измеряют при угловом способе отбора. Затем на участке от В–В до С–С давление в потоке жидкости и у стенки трубы начинает постепенно возрастать до значения, которое намного меньше, чем значение начального давления из-за потерь энергии на процесс вихреобразование и на ударение о диафрагму. Отметим, что большая часть потерь при этом происходит в так называемой «мертвой зоне» расположенной после диафрагмы. Поток жидкости, который в сечении В–В протекает с очень большой скоростью, а также увлекает за собой все прилегающие частицы из этой мертвой зоны, при этом в ней создается некоторое падение величины давления. Это в свою очередь приводит к частичному движению жидкой среды вдоль стенок трубопровода от сечения С–С к сечению В–В. Из-за этого в мертвой зоне начинается сильное вихреобразование и происходит большая потеря давления [5]. Часть потенциальной энергии давления потока при этом переходит в кинетическую энергию. В результате средняя скорость потока жидкости в суженном сечении увеличивается, а статическое давление в этом сечении становится меньше значения статического давления в зоне перед сужающим устройством.

Именно разность этих давлений (или перепад давления) и является мерой расхода жидкости, которая протекает через сужающее устройство.

Формулы расхода:

$$Q = \alpha * \sqrt{2 * (P_1 - P_2) / \rho} ,$$

$$M = \alpha * F_0 \sqrt{2 * \rho (P_1 - P_2)},$$

где Q – объемный расход жидкости;

M – массовый расход жидкости;

F_0 – площадь отверстия диафрагмы;

$(P_1 - P_2)$ – перепад давлений;

α – коэффициент расхода диафрагмы;

ρ – плотность вещества;

Преимущества диафрагм по сравнению с другими сужающими устройствами является их низкая стоимость, простота монтажа и изготовления.

Сопла.

Если же выполняется измерение значения расхода жидких сред, то сопла могут быть установлены на трубопроводе диаметр, который составляет не менее 30 мм. Отбор статических давлений через кольцевые камеры показан на рисунке 2.

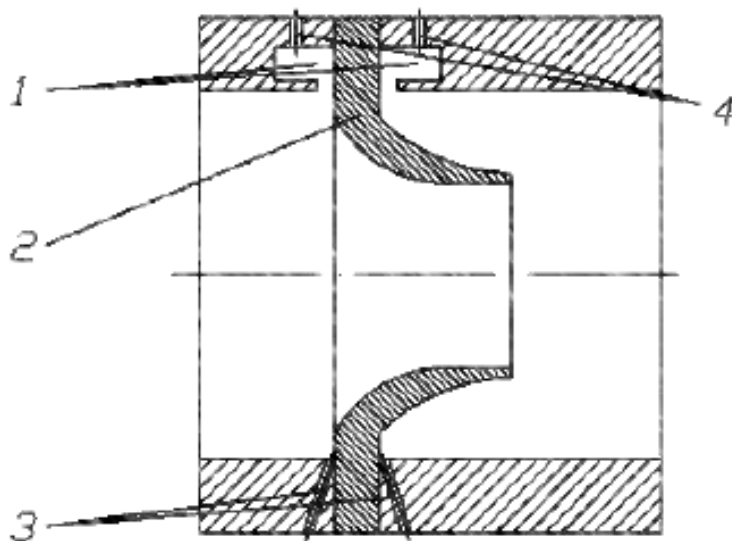


Рисунок 2 – Схематичное расположение сопла в трубе

На рисунке 2 показаны: 1 – кольцевые камеры, 2 – сопло, 3 – отдельные отверстия для отбора давления, 4 – выводы импульсных трубок.

Входная часть сопла образует профиль из двух дуг окружности, одна из которых касается со стороны входа торцевой поверхности сопла, а другая окружность – цилиндрической поверхности отверстия.

Сопла в отличие от диафрагм позволяют измерять большее значение расхода.

Сопла и трубы Вентури.

К стандартным сужающим устройствам также относят так называемые расходомерные трубы – это классические варианты труб Вентури и сопел Вентури. Характерным признаком всех этих устройств является наличие расходящегося конус–диффузор, который расположен на выходе после наименьшего сечения горловины трубы. При этом диффузор отсекает несколько мертвых зон, которые имеются на выходе у сопел и диафрагм, и в которых, из-за процесса вихреобразования, и происходит потеря энергии. Поэтому величина потерь давления у расходомерных труб намного меньше, чем у других вариантов сужающих устройств. Это является их главным преимуществом перед другими вариантами сужающих устройств [7].

Сопла Вентури используют в трубопроводах диаметром от 65 до 500 мм. Конструкция сопла Вентури состоит из трех частей: профильной входной части, цилиндрической средней части (горловины) и выходного конуса. При этом профильная часть выполняется таким же образом, как у нормального варианта сопла. Цилиндрическое отверстие переходит в конус без радиусного сопряжения. Заметим, что сопло Вентури по конструкции может быть либо коротким, либо длинным. У длинного варианта сопла наибольший диаметр выходного конуса должен быть равен диаметру трубы, у короткого варианта он меньше диаметра трубы. Измеряют перепад давления через кольцевые камеры. При этом задняя (минусовая) камера у сопла Вентури соединяется с цилиндрической частью с помощью радиальных отверстий.

Трубы Вентури устанавливают в трубопроводах диаметром от 50 до 1400 мм. Труба Вентури (рисунок 3) состоит из следующих элементов: входного патрубка 1, входного конуса 4, горловины 5 и диффузора 6. Кольцевые усредняющие камеры 2 расположены в горловине и во входном конусе. Эти усредняющие камеры сообщаются с внутренними полостями входного конуса и горловины с помощью нескольких отверстий 3. Для спуска жидкой среды устанавливают пробковые краны, которые располагаются в нижней части кольцевых камер. Заметим, что если наибольший диаметр выходного конуса трубы Вентури будет равен диаметру трубопровода, то такую трубу Вентури называют длинной, если же диаметр выходного конуса трубы Вентури меньше диаметра трубопровода – тогда короткой.

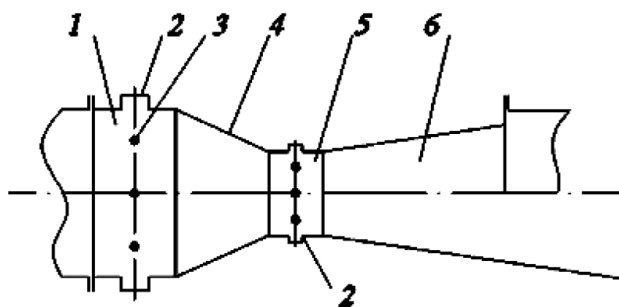


Рисунок 3 – Труба Вентури

Расход, при использовании труб Вентури определяется по следующему выражению:

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

где Q – объемный расход жидкости;

C – экспериментальный коэффициент, отражающий потери внутри расходомера;

F_1 и F_2 – площади сечения трубопровода и горловины соответственно;

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

ρ – плотность вещества.

Достоинства:

- удобство и универсальность метода;
- позволяют измерить расход любых однофазных веществ в очень широком диапазоне температур и давлений;
- в случае применения нормализованных сужающих устройств не требуют наличия образцовых установок для градуировки и поверки;
- легкость серийного изготовления приборов

Недостатки:

- относительная погрешность измерения, как правило, составляет не менее 1-2 %, а иногда и ещё больше;
- малый диапазон изменения и неравномерность шкалы измерительного прибора;
- трудность промышленного применения при малых значениях расхода жидкой среды, в пульсирующих потоках и в потоках, которые содержат примеси, а также в потоках вещества, находящегося при параметрах, близких к равновесным.

Для измерения расхода 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.

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

6.3 Вихревые расходомеры

Принцип действия вихревых расходомеров основан на измерении частоты колебаний, которые возникают в потоке жидкости в процессе вихреобразования.

Таблица 1 – Технические характеристики расходомеров на базе диафрагм Rosemount серии 405 [8]

Измеряемые среды	жидкость, газ, пар
Температура измеряемой среды:	
интегральный монтаж датчика	-40...+232°C
удаленный монтаж датчика импульсными линиями	-100...+454°C
Избыточное давление в трубопроводе	до 10 МПа
Диаметр условного прохода трубопровода:	
диафрагма Rosemount 405P	Dy 15...200 мм
диафрагма Rosemount 405C	Dy 50...200 мм
Динамический диапазон	8:1, 10:1, 14:1
Основная относительная погрешность измерений расхода	до $\pm 0,7\%$
Температура окружающего воздуха:	-40...+85°
без ЖК-индикатора, опция для расходомеров с датчиком 3051S	-51...+85°C
Выходной сигнал:	4-20 мА HART
Межповерочный интервал	1 год

Вихревые расходомеры имеют ряд преимуществ по показателям надежности работы и стабильности метрологических характеристик, при этом физический принцип измерений накладывает ограничение по максимальной вязкости измеряемой среды. Проблема заключается в том, что поток вязкой жидкости является ламинарным, поэтому вихреобразование за телом обтекания может происходить с меньшей интенсивностью, либо не происходить вообще [9].

Сложность измерения расхода в условиях ламинарности потока заключается в слабом сигнале расхода, который поступает на сенсор вихревого расходомера. Решение проблемы заключается в конструкции

сенсора, обеспечивающей усиление сигнала изгибом крыла, а также технологии интеллектуального распознавания сигнала сигнальным процессором.

Можно выделить три группы вихревых расходомеров:

1. Расходомеры, у которых первичный преобразователь имеет неподвижное тело. С обеих сторон этого тела при обтекании возникают попеременно срывающиеся вихри, которые и создают пульсации давления.

2. Расходомеры, у которых в первичном преобразователе поток вначале закручивается, а затем, попадает в расширенную часть трубы, при этом в жидкости начинается явление прецессии, что и приводит к пульсациям давления.

3. Расходомеры, у которых из отверстия в первичном преобразователе вытекающая струя совершает автоколебания и создает при этом пульсации давления.

Для исследования характеристик вихревых расходомеров служит число или критерий Струхала S_h . Этот критерий, который возникает в процессе изучения процесса обтекания воздушным потоком цилиндра (струны), вычисляют по следующей формуле [10]:

$$S_h = f \cdot d \cdot v^{-1},$$

где f – частота пульсаций давления жидкости в результате периодического срыва вихрей;

d – диаметр цилиндра;

v – скорость потока.

У этих расходомеров преобразователи расхода являются многоступенчатыми. В процессе вихреобразования или осцилляции струи на первом этапе появляются пульсации скорости и давления, частота которых будет пропорциональна значению объемного расхода. Затем эти пульсации на втором этапе преобразуются в выходной сигнал, который, как правило, будет электрическим. Для этого используют специальные дополнительные преобразователи: температуры (термоанемометры), давления

(пьезоэлементы), ультразвуковые преобразователи скорости или напряжения (тензорезисторы).

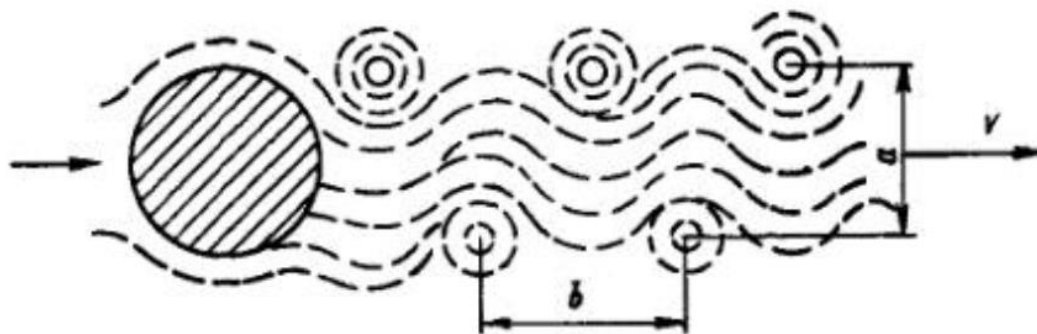


Рисунок 4 – Принцип работы вихревого расходомера имеющего в первичном преобразователе неподвижный цилиндр

Тело, которое находится на пути потока жидкой среды, за счет соответствующего уменьшения значения давления в трубопроводе, позволяет изменить направление движения обтекающих его струй, а также увеличить их скорость. При этом частота срыва вихрей согласно критерию Струхала будет пропорциональна отношению $\frac{v}{d}$. Следовательно, при постоянном размере d тела будет пропорциональна скорости v , а значит, и объемному расходу Q_0 . Зависимость между Q_0 и f определяется уравнением:

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

где s – площадь наименьшего поперечного сечения потока вокруг обтекаемого тела.

Достоинства вихревого расходомера:

- надежность и простота измерительного преобразователя расхода;
- отсутствие подвижных частей в конструкции датчика;
- независимость показаний прибора от давления и температуры контролируемой среды;
- широкий диапазон измерения;
- линейность шкалы;
- хорошая точность (погрешность измерения $\pm 0,5-1,5$);
- стабильность показаний;

- не сложная измерительная схема.

Недостатки вихревого расходомера:

- ограниченная область их применения: они непригодны при малых значениях скоростей жидких сред из-за трудности измерения электрического сигнала, у которого небольшое значение частоты колебаний. Также их изготавливаются только лишь для трубопроводов, которые имеют диаметры от 25 до 150-300 мм;
- значительная потеря давления, которая достигает 30-50 кПа;
- применение таких расходомеров для больших трубопроводов затруднительно, а при очень малых значениях диаметра труб нет устойчивого процесса вихреобразования;
- многие варианты конструкций вихревых расходомеров также непригодны и для измерения загрязненных и агрессивных жидких веществ, которые могут нарушить работу измерительных преобразователей.

Важно отметить, что в 2006 году, специалистами компании «РуссНефть» была экспериментально подтверждена возможность использования вихревых расходомеров в узлах учета нефти и маловязких светлых нефтепродуктов, в частности расходомером ЭМИС-ВИХРЬ 200.

Из мировых производителей вихревых расходомеров можно выделить компании: «EMCO» (Германия) модели датчиков: Hydro-Flow, Vortex PhD, V-Bar; «ABB» (Германия) модели датчиков: FV4000 (TRIO-WIRL V), FS4000 (TRIO-WIRL S); «GE Sensing» модели датчиков: PanaFlow MV82.

Из российских производителей можно указать: ЗАО «ЭМИС» (модель датчика ЭМИС-ВИХРЬ – технические характеристики датчика приведены в таблице 2); «АППЭК» (SWIRL модель FS4000-ST4/SR4); ООО «ГЛОБУС» (модель датчика Ирга-РВ).

7 Приборы с непрерывно движущимся телом

7.1 Тахометрические расходомеры

Тахометрические расходомеры широко применяются во многих отраслях современной промышленности. Принцип действия тахометрических расходомеров основан на зависимости скорости движения тел – в виде чувствительных элементов преобразователя, погруженных в поток жидкости, от расхода веществ, которые протекают через этот тип расходомера.

Таблица 2 – Характеристики вихревого расходомера МИС-ВИХРЬ [11]

Параметр	Значение
Измеряемая среда	Жидкость, газ, пар
Точность измерения	0,6% от 0,1 Q_{max} до Q_{max} / 1,35% до 0,1 Q_{max}
Диаметр условного прохода	25/32/50/80/100/150/200/250/300 мм
Выходные сигналы	Частотный 0-1000(10000)Гц Токовый 4-20 мА Цифровой RS-485 Modbus RTU
Температура измеряемой среды	от -40 до +550 °С
Поверка	Проливная или беспроливная (иммитационная)

Отметим, что в настоящее время существует большое число разновидностей тахометрических расходомеров. Но в основном на практике для измерения расхода самых разнообразных жидких сред широко используются шариковые, турбинные и камерные модели расходомеров.

7.1.1 Камерные расходомеры

Камерные тахометрические расходомеры состоят из одного или нескольких подвижных элементов, которые при своем движении отмеряют или отсекают определенные объемы жидкой среды.

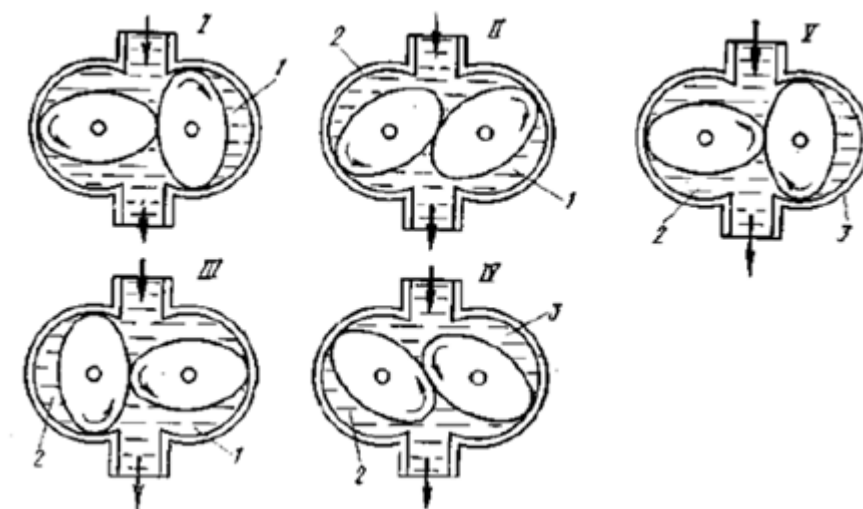


Рисунок 5 – Схема работы счетчика жидкости с овальными шестернями

Существует большое число вариантов конструкций камерных расходомеров жидких сред. На рисунке 5 приведен овально-шестеренчатый счетчик жидкостей, состоящий из двух идентичных овальных шестерен, которые вращаются под действием перепада давления жидкой среды, протекающей через корпус счетчика.

В положении I шестерня справа отсекает некоторый объем жидкости 1. Под действием крутящегося момента шестерня справа поворачивается по часовой стрелке, и при этом вращает против часовой стрелки шестерню слева.

В положении II шестерня слева заканчивает процесс отсечения новой порции жидкости 2, при этом шестерня справа выталкивает ранее отсеченный объем жидкости 1 в выходной патрубок счетчика. Вращающий момент в это время действует одновременно на обе шестерни.

В положении III ведущей является шестерня слева, которая отсекает объем 2.

В положении IV шестерня справа заканчивает процесс отсечения объема 3, а шестерня слева выталкивает объем жидкости 2.

В положении V полностью отсекается объем жидкости 3. В этом положении обе шестерни сделали по полоборота, и ведущей опять становится шестерня справа. Вторая половина оборота шестерен протекает также как и первая. Таким образом, за один полный оборот обоих шестерен отсекается четыре дозированного объема жидкой среды. Таким образом, учет жидкой среды основан на подсчете количества оборотов шестерен. Счетчики такого типа обеспечивают измерение расхода жидкости в диапазоне от 0,8 до 36 м³/ч., а класс точности составляет 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;
- высокий перепад давления из-за полного перекрывания тракта потока расхода;
- не подходят потоки 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» предлагает такие модели как «ТИРЭС НП», «ULT» (технические характеристики в таблицах 3, 4 соответственно).

В Японии выпускаются расходомеры типа «OVAL». В России используются следующие расходомеры этого производителя: LSF40LO, OVAL LSF41LO, OVAL LSF45LO.

Таблица 3 – Технические характеристики камерных расходомеров «ТИРЭС НП» [12]

Характеристика	Параметр
Номинальный проходной диаметр (типоразмер Ду), мм	8,15,25,40, 50, 80, 100, 150, 200, 250, 300, 400
Относительная погрешность, %	Класс А: 0,2. Класс Б: 0,5
Потери давления, кПа (в зависимости от вязкости измеряемой среды)	При =0...1000 мПа с < 80кПа При =1000...20000 мПа с < 150 кПа
Максимально допустимое давление, Мпа	1,6; 2,5; 4,0; 6,4
Максимальная динамическая вязкость, мПа с	20 000
Температура окружающей среды, °С	-30...+70
Маркировка взрывозащиты	ExdIICT6
Температура измеряемой среды, °С	-20...+250
Степень защиты от пыли и влаги	IP 65
Тип выходного сигнала	Частотный; Токовый 4-20мА

7.1.2 Турбинные расходомеры

Колесо турбины имеет малую массу и расположено в корпусе датчика концентрически. Поток набегаёт 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 5), «ПЛАСТ 220, 220Р» (технические характеристики приведены в таблице 6).

Таблица 5 – 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	< 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
Взрывозащита	взрывозащита ExdIICT6
Пылевлаго защита	IP65

7.2 Кориолисовые силовые расходомеры

Расходомеры называются кориолисовыми, если под влиянием силового воздействия в преобразователях таких расходомерах возникает кориолисово ускорение, которое зависит от величины расхода. Для формирования кориолисово ускорения постоянно вращающемуся измерительному преобразователю придают специальную конфигурацию, которая заставляет поток жидкости 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 жидкая 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.

Таблица 6 – ЭМИС ПЛАСТ [11]

Характеристики	Значения	
Модель	ЭМИС-ПЛАСТ 220	ЭМИС-ПЛАСТ 220P
Измеряемая среда	Жидкость	жидкость
Погрешность	до $\pm 1,0\%$	до $\pm 1,0 \%$
Динамический диапазон	до 20:1	до 15:1
Присоединение к трубопроводу	фланцевое	фланцевое
Давление измеряемой среды	до 42 МПа	до 40 МПа
Температура измеряемой среды	от -40°C до $+150^{\circ}\text{C}$	от -40°C до $+150^{\circ}\text{C}$
Выходные сигналы	аналоговый; токовый; частотный	аналоговый; токовый; частотный
Присоединительные размеры	от 8 до 300 мм	от 25 до 80 мм
Температура окружающей Среды	от -25°C до $+55^{\circ}\text{C}$	от -20°C до $+55^{\circ}\text{C}$

Поступающая в сенсор измеряемая жидкая среда разделяется на равные половины, которые протекают через обе сенсорные трубки. Движение задающей катушки (рисунок 7 а) приводит к тому, что сенсорные трубки колеблются с определенной тактовой частотой вверх вниз в противоположном направлении друг к другу. Если в трубе нет движения измеряемой жидкой среды – они колеблется равномерно. Как только измеряемая среда начинает перемещаться в трубе, появляются дополнительные продольные колебания.

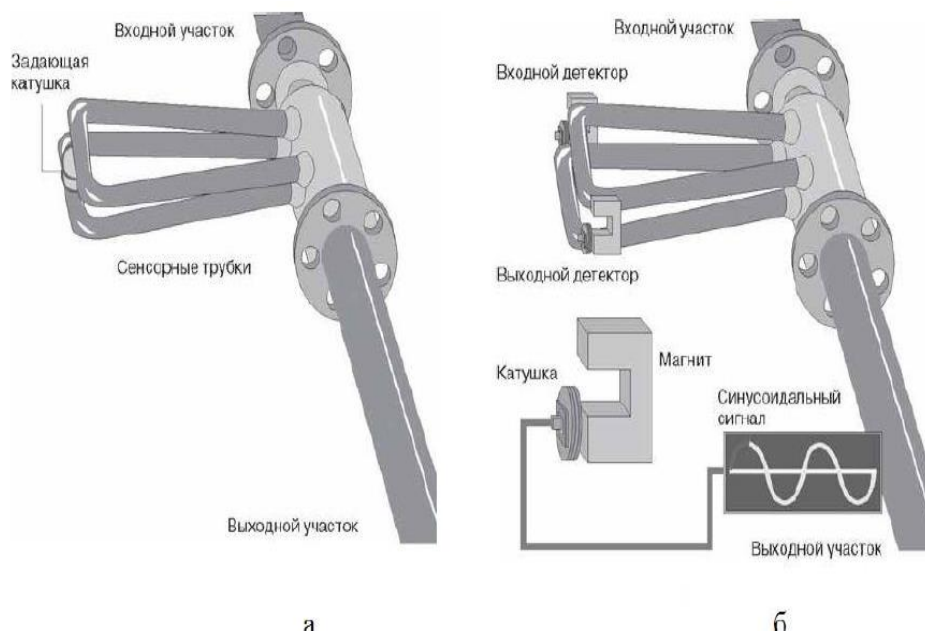


Рисунок 7 – Схема кориолисового расходомера

Датчики, находящиеся на входе и на выходе из трубки регистрируют эти равномерные колебания. Детекторы, состоящие из комплекта катушек соленоидов и магнитов, устанавливаются на сенсорных трубках (рисунок 7 б). На одной из трубок смонтированы катушки, на другой – магниты. Постоянные магниты создают однородное магнитное поле, сквозь которое движется каждая из катушек. От каждой катушки детектора генерированное напряжение имеющее синусоидальную форму. Эти сигналы представляют собой движение одной трубки относительно другой.

В том случае, когда расход в трубопроводе отсутствует, синусоидальные сигналы, которые поступают с детекторов, находятся в одной фазе (рисунок 8).

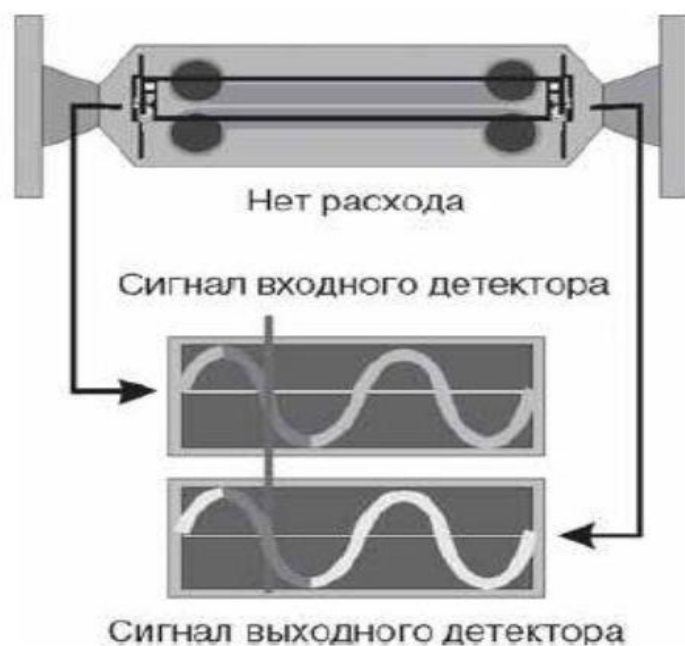


Рисунок 8 – Зависимость расхода от разности фаз

При движении жидкой среды через измерительный сенсор проявляется такое физическое явление как эффект Кориолиса. Заметим, что появление силы Кориолиса обусловлено кориолисовым ускорением, которое возникает вследствие поступательного движения жидкой среды при вращательном движении сенсорной трубки. Заметим, что сила Кориолиса направлена против движения сенсорной трубки, сообщенного ей задающей катушкой. Таким образом, когда сенсорная трубка во время половины ее собственного цикла движется вверх, то для жидкости, поступающей внутрь, сила Кориолиса направлена вниз. Заметим, что сила Кориолиса может изменить свое направление на противоположное только в тот момент времени, когда жидкая среда пройдет изгиб сенсорной трубки. Таким образом, во входной половине сенсорной трубки сила, которая действует со стороны жидкости, препятствует смещению сенсорной трубки, а в выходной половине трубки – наоборот способствует смещению. Это и приводит к изгибу сенсорной трубки.

Во второй фазе вибрационного цикла когда сенсорная трубка начинает движение вниз, то направление изгиба меняется на противоположное. В результате значение силы Кориолиса, а, следовательно, и величина изгиба

сенсорной трубки будут прямо пропорциональны значению массового расхода жидкой среды. Величину фазового сдвига при движении противоположных сторон сенсорной трубки измеряют специальные детекторы.

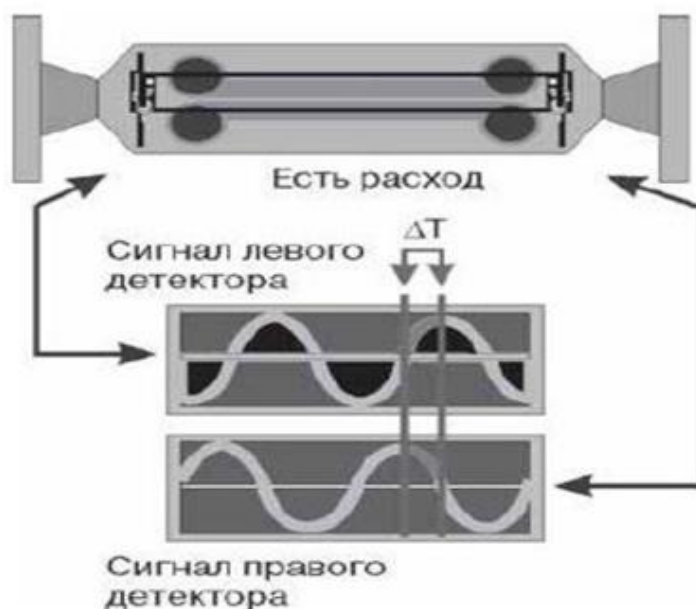


Рисунок 9 – зависимость расхода от разности фаз

Из-за наличия изгиба сенсорных трубок детекторы генерируют сигналы, которые не совпадают по фазе, так как сигнал с входного детектора запаздывает по отношению к сигналу с выходного детектора (рисунок 9). Разница во времени между этими сигналами измеряется в микросекундах и будет прямо пропорциональна значению массового расхода. Чем больше длительность этого временного интервала, тем выше будет значение массового расхода.

Достоинства:

- высокая точность измерений;
- работают вне зависимости от направления потока;
- не требуются прямолинейные участки трубопровода до и после расходомера;



Рисунок 10 - Кориолисовый расходомер Promass 83I

- надёжная работа даже при наличии вибрации трубы, а также при изменении давления и температуры рабочей среды;
- длительный срок службы и простота обслуживания из-за отсутствия движущихся и изнашивающихся частей в конструкции расходомера;
- измеряют расход жидких сред с высоким значением вязкости;

Недостатки:

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

При измерении расхода нефтепродуктов могут быть использованы кориолисовые расходомеры производимые компаниями «Эндресс+Хаузер» (технические характеристики расходомера «Promass 83I» приведены в таблице 7) и «ЭМИС» (технические характеристики расходомера «ЭМИС МАСС-260» приведены в таблице 8).

Таблица 7 – Кориолисовый расходомер «Promass 83I» (Швейцария) [14]

Параметр	Значение
Диаметр	DN 8...80
Погрешность измерения	По массе: $\pm 0.50 \%$
Диапазон измерения	0...180000 кг/ч
Рабочая температура	-50...+150°C
Окружающая температура	Standard: -20 to +60 °C Option: -40 to +60 °C
Степень защиты электроники	IP 67
Дисплей/Настройка	4х-строчный с подсветкой Сенсорное управление
Выходные сигналы	4...20 мА Импульсно-частотный(10кГц), активный/пассивный Реле/Сигнал состояния
Входные сигналы	Сигнал состояния Токовый вход
Коммуникация	HART PROFIBUS PA Profibus DP FOUNDATION Fieldbus

8 Акустические расходомеры

Принцип работы акустического расходомера, основан на измерении эффекта, который возникает при прохождении колебаний через поток жидкой среды и зависящего от значения расхода. Применяемые на практике почти все модели акустических расходомеров работают, как правило, в ультразвуковом диапазоне частот и поэтому называются ультразвуковыми.

Современные ультразвуковые расходомеры подразделяются на два типа:

- в основу, которых положен принцип перемещения движущейся жидкостью акустических колебаний;
- в основу, которых положен эффект Доплера.

Таблица 8 – Кориолисовый расходомер «ЭМИС МАСС-260» [15]

Параметр	Значение
Диапазон расхода	20000 - 1000000 кг/ч
Класс точности	0.15
Потери давления на расходомере при максимальном расходе, давлении и температуре	Не более 0.13 МПа
Температура измеряемой среды	-50...+350°C
Устойчивость к воздействию внешнего магнитного поля	до 40 А/м , 50 Гц
Устойчивость к вибрации	исполнение VI по ГОСТ Р 52931
Интервал между проверками	4 года

Необходимо отметить, что наибольшее распространение получили расходомеры принцип действия, которых заключается в измерении значения разности времени прохождения акустическими колебаниями по направлению потока и против потока жидкой среды. Приборы, которые работают на эффекте Доплера, используют в основном для измерения значения скорости

потока жидкости, реже для измерения непосредственно значения расхода. Эти модели расходомеров имеют более простые варианты построения измерительных схем.

Отличаются ультразвуковые расходомеры, как правило, конструкцией первичных преобразователей и вариантами построения измерительных схем. Для измерения значения расхода чистых жидких используют высокие частоты акустических колебаний (0,1-10 МГц). При измерении загрязненных сред частоты акустических колебаний уменьшают до нескольких десятков кГц. В этом случае длина волны должна быть в несколько раз больше диаметра воздушных пузырей или твердых частиц.

Главными элементами первичных преобразователей у ультразвуковых расходомеров являются излучатели и приемники колебаний. На поверхности пьезоэлементов, при их сжатии и растяжении, образуются электрические заряды. И наоборот, если к этим поверхностям приложить разность потенциалов, то пьезоэлемент будет растягиваться либо сжиматься в зависимости от того на какой из его поверхностей будет больше напряжения [5].

Схема ультразвукового первичного преобразователя расхода приведена на рисунке 11.

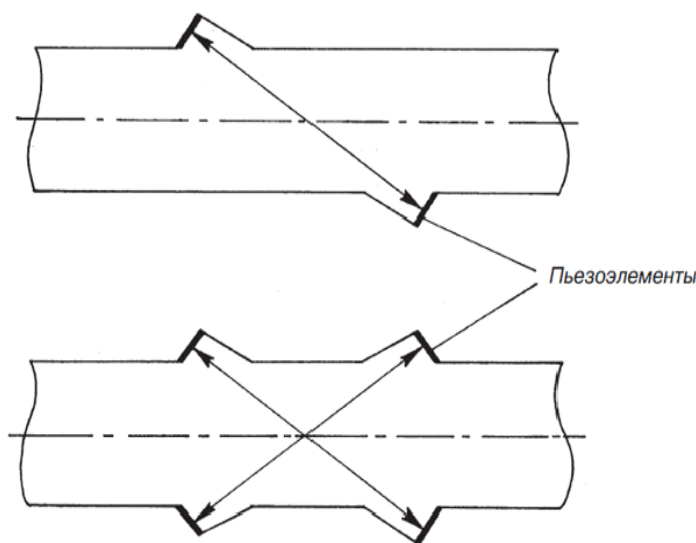


Рисунок 11 – Схема ультразвукового первичного преобразователя расхода

Для измерения ультразвуком расхода нефтепродуктов в основном используют два метода: фазовый и частотный.

8.1 Фазовые ультразвуковые расходомеры

Принцип действия таких расходомеров основан на измерении разности фазовых сдвигов двух ультразвуковых колебаний, которые направлены по потоку жидкой среды и против него.

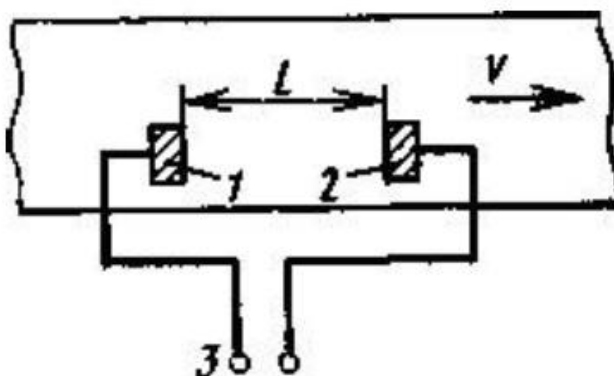


Рисунок 12 – Принципиальная схема фазового ультразвукового расходомера жидкости: 1, 2 – пьезоизлучатель и пьезоприёмник ультразвуковых колебаний;

3 – переключатель механический

Пьезоэлектрические элементы 1 и 2 расположены на поверхности трубопровода (рисунок 12). Через механический переключатель 3 пьезоэлемент 1 подключен к высокочастотному генератору синусоидальных электрических колебаний. Пьезоэлемент 1 преобразует электрические колебания в ультразвуковые, которые через стенки трубы направляются в жидкую среду. Пьезоэлемент 2 воспринимает ультразвуковые колебания, прошедшие в жидкой среде расстояние L , и затем их преобразует в выходные электрические колебания.

Заметим, что применение механического переключателя в измерительной схеме не позволяет измерять значение быстро меняющихся

расходов. Для измерения быстро меняющихся расходов необходимо использовать две пары пьезоэлементов: в одной паре излучатель должен непрерывно создавать колебания, направленные по потоку, а в другой – против потока. В этом случае на фазометр будут поступать непрерывно два синусоидальных колебания, фазовый сдвиг между которыми будет пропорционален скорости потока жидкости.

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

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

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:

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

С большой степенью точности можно принять:

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

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

В фазовых ультразвуковых расходомерах измеряется разность времени. Уравнение фазового ультразвукового расходомера:

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

Таким образом, на точность измерения расхода влияют точность измерения и постоянство значения L .

8.2 Частотно-пакетные ультразвуковые расходомеры

Ультразвуковые расходомеры называются частотными, если их принцип действия основан 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 жидкой среды и против него.

Принцип действия этого ультразвуковых расходомеров основан на измерении частот импульсно-модулированных ультразвуковых колебаний, направляемых одновременно по потоку жидкой среды и против него.

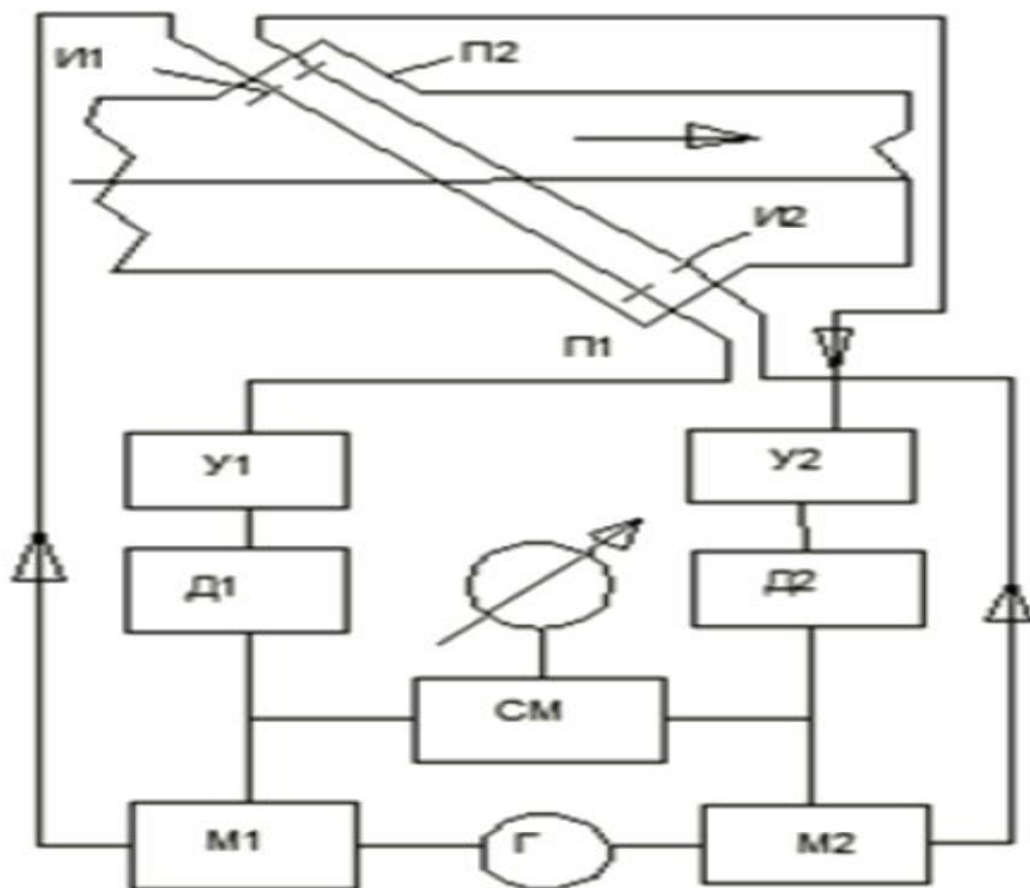


Рисунок 13 – Структурная схема частотно-пакетного ультразвукового расходомера

Если же измеряют разность частот пакетов ультразвуковых колебаний, проходящих через жидкую среду, то такие расходомеры называют

частотно-пакетными. Если же измеряют разность коротких импульсов, то такие расходомеры называют частотно-импульсными. На рисунке 13 показана принципиальная схема частотно-импульсного расходомера с двумя акустическими каналами. Генератор Г создает колебания высокой частоты (порядка 10 МГц). Эти колебания через модуляторы М1 и М2 поступают к пьезоэлементам И1 и И2. Затем электрические колебания, созданные пьезоэлементами П1 и П2, через усилители У1 и У2 и детекторы Д1 и Д2, вновь поступают на модуляторы М1 и М2. Работающие в триггерном режиме модуляторы М1 и М2, запирают проход колебаний от генератора Г к пьезоэлементам И1 и И2. Модуляторы открываются вновь, когда последние колебания достигнут их. Подключенный к смесительному каскаду См измерительный прибор будет измерять разность частот.

Незначительная разность частот у частотных расходомеров – существенный недостаток, который затрудняет проведение точных измерений. Разность частот регистрируется прибором РП (регистрирующий прибор).

Достоинства:

- возможность измерения значений расхода любых жидких сред, в том числе агрессивных и вязких (при условии, что жидкости не содержат газовые включения), в любых трубопроводах диаметром, начиная от 10 до 2000 мм и выше, при скоростях потока 0,02 м/с и выше;
- высокое быстродействие. Такие измерительные приборы позволяют измерять расходы, меняющиеся с частотой до 10 кГц;
- очень небольшая величина дополнительной потери давления или даже её полное отсутствие;
- бесконтактный принцип работы приемных устройств.

Недостатки:

- сложность измерительной схемы таких расходомеров;
- зависимость показаний расходомера от плотности среды.

Эти приборы применяются в тех случаях, где трудно использовать расходомеры других типов. Например, при измерении расхода пульп и агрессивных жидких сред, неэлектропроводных жидкостей, больших расходов воды. Необходимо отметить, что теоретически диапазон измерения расхода у приборов этого типа неограничен.

На сегодняшний день большой 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 9).

Таблица 9 – Технические характеристики акустического расходомера «Krohne» - модель «Altosonic» [16]

Характеристика	Параметр
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

Таблица 10 – Технические характеристики акустического расходомера «Технолайн» - модель «Центросоник» [17]

Характеристика	Параметр
Вид измеряемых продуктов	товарная нефть и нефтепродукты
Принцип действия	ультразвуковой, импульсный, времяпролетный
Температура измеряемой среды	от минус 40°С до плюс 120 °С
Давление измеряемой среды	до 6 МПа
Плотность измеряемой среды	от 680 до 920 кг/м.
Кинематическая вязкость измеряемой среды	от 0,5 до 50,0 сСт
Вид взрывозащиты счетчика	ІЕх іb ІІС Т6
Выходной сигнал прибора	токовый 0 – 5 мА или 4 – 20 мА, пропорциональный объемному или массовому расходу; частотный 100 – 999 Гц, пропорциональный объемному или массовому расходу; показания на встроенном табло объемного или массового расхода и количества продукта; интерфейс RS-485
Пределы допускаемой основной погрешности	
При измерении массы продукта	±0,25 %
При измерении массового расхода	±0,25 %
При измерении объема	±0,16 %
При измерении объемного расхода	±0,16 %
При измерении времени	±0,05 %
При измерении температуры	±0,20 °С

Из российских компаний, наиболее известны: «Технолайн» (технические характеристики расходомера модели «Центросоник» приведены в таблице 10), «Старорусприбор» (технические характеристики расходомера модели «UFM 5-002» приведены в таблице 11), «Эй Си Электроникс» (технические характеристики расходомера модели «US – 800» приведены в таблице 12).

Таблица 11 – Технические характеристики акустического расходомера «Старорусприбор» – модель «UFM 5-002» [18]

Характеристика	Параметр
Основная относительная погрешность измерения	
Расхода	$\pm 0,5 \%$
Объема	$\pm 0,6 \%$
Времени распространения УЗК	$\pm 0,4 \%$
Электропитание	от сети переменного тока напряжением 87...242 В
Параметры измеряемой среды:	Нефть и нефтепродукты
Степень защиты от воздействия пыли и воды по ГОСТ 14254-96:	
Вычислитель	IP44
Преобразователь	IP64
Межповерочный интервал	4 года
Полный средний срок службы расходомерасчетчика	не менее 12 лет
Средняя наработка на отказ расходомерасчетчика	не менее 100000 ч

Таблица 12 – Технические характеристики акустического расходомера «Эй – Си Электроникс» - модель «US – 800» [19]

Характеристика	Параметр
Температура жидкости	-40...+150 °С
Давление жидкости в трубопроводе	до 1.6 МПа
Температура окр. среды в месте установки УПР	-40...+60 °С
Температура окр. среды в месте установки Эл. блока	+5...+50 °С
Степень защиты эл.блока / УПР	IP65 / IP67
Длина соединительных кабелей	до 500 м
Число знакомест для индикации	9
Выходной сигнал	Токовый 4 – 20 мА;
Частотный 0 – 1000 Гц;	RS – 485;
Относительная погрешность	
Токовый выход	±1,5 %
Частотный и индикаторный выход	±1,0 %

9 Выбор метода и средства измерения расхода

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

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

Из них, для измерения расхода на этапе переработки нефти, наиболее популярны ультразвуковые расходомеры, что обусловлено рядом причин. Данный тип приборов удовлетворяет большинству требований, предъявляемых нефтеперерабатывающими компаниями:

- Широкая номенклатура измеряемых веществ. Измерение расхода наибольшего количества фракций с различными плотностью и вязкостью;
- Высокая точность измерения нефти поступающей на переработку и полученных фракций на выходе;
- Высокая надежность, обусловленная отсутствием подвижных элементов в приборе;
- Быстродействие прибора;
- Большой диапазон изменения;
- Установка прибора на трубы диаметром до 2 м;
- Очень небольшая величина или даже полное отсутствие дополнительной потери давления;
- Бесконтактный принцип работы приемных устройств;
- Универсальность и простота эксплуатации;
- Приемлемая цена.

Таким образом, можно сделать вывод, что выбор акустических расходомеров, ориентированных на использование на НПЗ, является наиболее лучшим. Этот тип приборов явно обладает массой достоинств, при

использовании на данном объекте контроля, по сравнению с другими средствами измерения расхода.

Большинство предъявляемых требований, касаемых измерения расхода нефтепродуктов, нефтеперерабатывающими компаниями, удовлетворяет ультразвуковой расходомер «Эй – Си Электроникс» - модель «US – 800», основанный на фазовом методе измерения расхода, упрощенная структурная схема которого, приведена на рисунке 14.

Рассмотрим принцип работы фазового расходомера US -800.

На рисунке 14 показана структурная схема фазового ультразвукового расходомера. Генератор (Г) создает ультразвуковые колебания, которые затем модулируются с помощью модулятора (М) и генератора модуляции (ГМ). Модулированные колебания поступают на возбуждители колебаний (И1, И2), который установлен на трубопроводе. Сигналы с приемников ультразвуковых колебаний с (П1, П2) через усилители (У), демодуляторы (ДМ) поступают на фазометр Ф, показания которого будут пропорциональны значению расхода, далее в вычислительном блоке рассчитывается значение расхода.

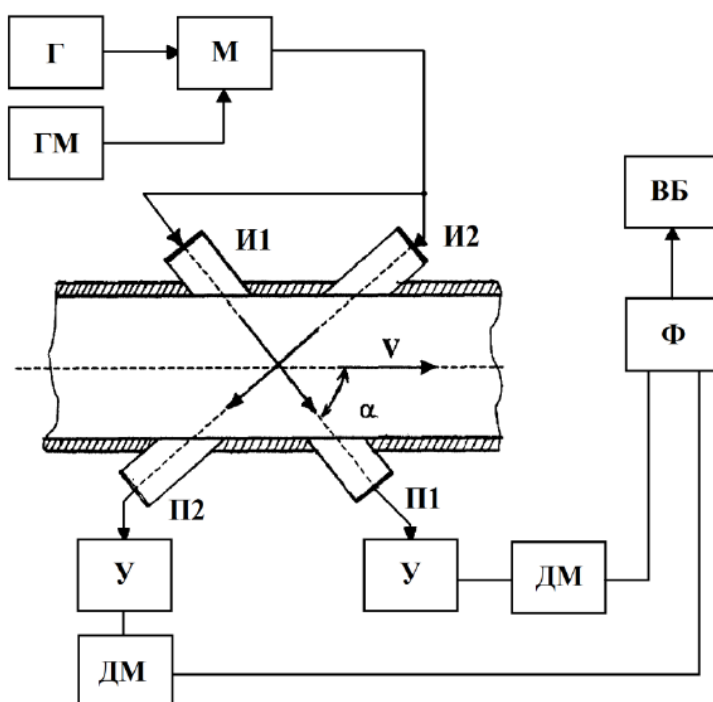


Рисунок 14 – Структурная схема ультразвукового фазового расходомера
US – 800

Г – Генератор;

М – Модулятор;

ГМ – Генератор модуляции;

И1, И2 – Источники ультразвуковых колебаний (пьезоэлементы);

П1, П2 – Приемники ультразвуковых колебаний (пьезоэлементы);

У – Усилитель;

ДМ – Демодулятор;

Ф – Фазометр;

ВБ – Вычислительный блок.

Аппаратные составляющие расходомера представлены на рисунке 15.

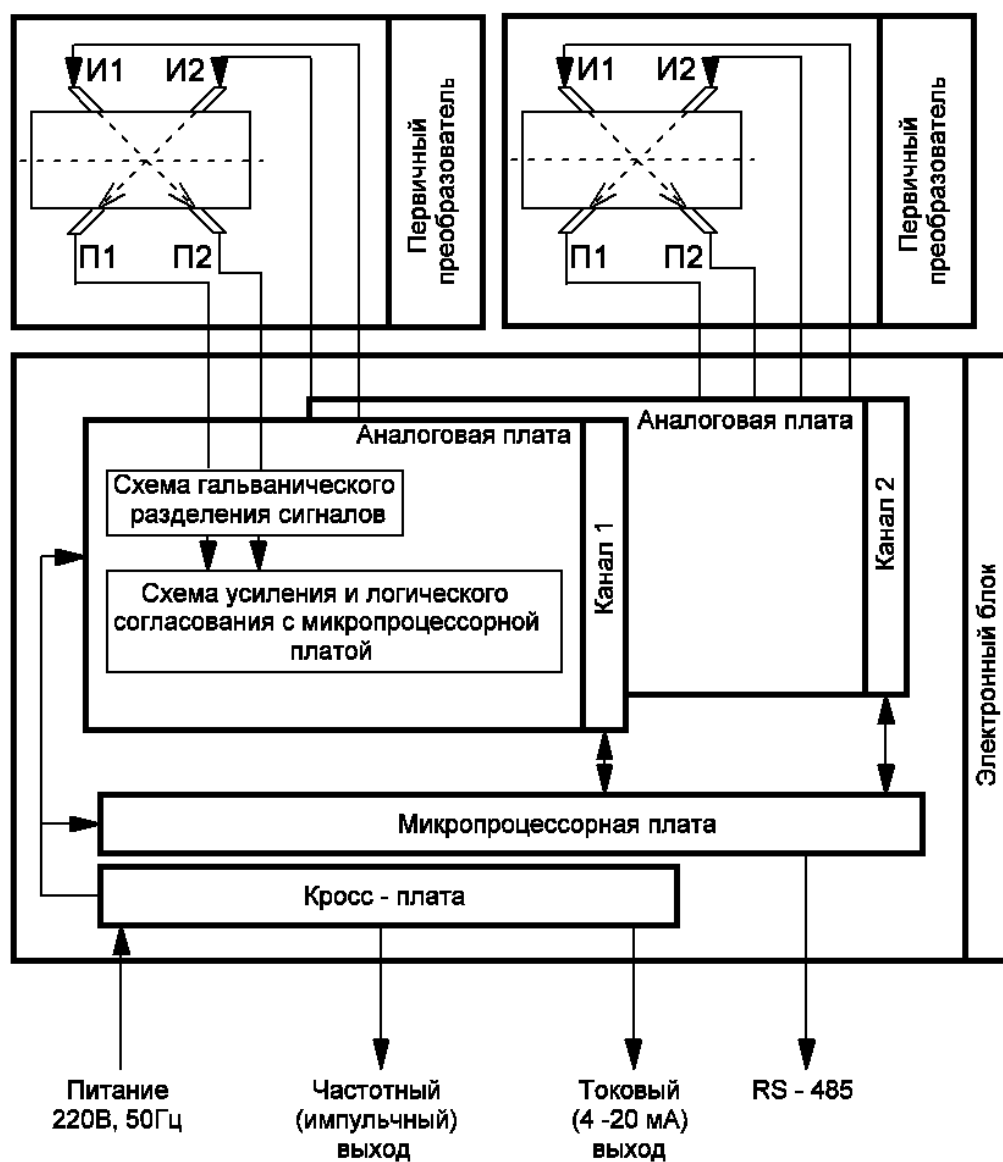


Рисунок 15 – Аппаратные составляющие расходомера

Введение

В настоящее время перспективность научного исследования определяется не столько масштабом открытия, оценить которое на первых этапах жизненного цикла высокотехнологического и ресурсоэффективного продукта бывает достаточно трудно, сколько коммерческой ценностью разработки. Оценка коммерческой ценности разработки является необходимым условием при поиске источников финансирования для проведения научного исследования и коммерциализации его результатов. Это важно для разработчиков, которые должны представлять состояние и перспективы проводимых научных исследований.

Необходимо понимать, что коммерческая привлекательность научного исследования определяется не только превышением технических параметров над предыдущими разработками, но и тем, насколько быстро разработчик сумеет найти ответы на такие вопросы – будет ли продукт востребован рынком, какова будет его цена, каков бюджет научного проекта, какой срок потребуется для выхода на рынок и т.д.

Таким образом, целью раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» является проектирование и создание конкурентоспособных разработок, технологий, отвечающих современным требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

11.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

11.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Для анализа потребителей результатов исследования необходимо рассмотреть целевой рынок и провести его сегментирование.

Целевым рынком выполненной работы являются компании занимающиеся водоснабжением.

Сегментом этого рынка являются мелкие и средние коммерческие организации имеющие связанные с водоснабжением. Значимыми критериями для данного сегмента рынка, являются размер предприятия и выпускаемая продукция.

11.1.2 Технология QuaD

Таблица 1.

Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы	Максимальный балл	Относительное значение (3/4)	Средневзвешенное значение (3x2)
1	2	3	4	5	
Показатели оценки качества разработки					
1. Доступность (понятность)	0.3	95	100	0.95	28.5
2. Удобство использования	0.3	90	100	0.9	27
3. Простота	0.08	80	100	0.8	6.4
4. Унифицированность	0.02	75	100	0.75	1.5
5. Полнота изложения	0.1	95	100	0.95	9.5
Показатели оценки коммерческого потенциала разработки					
6. Конкурентоспособность продукта	0.06	75	100	0.75	4.5
7. Перспективность рынка	0.06	85	100	0.85	5.1
8. Цена	0.08	95	100	0.95	7.6
Итого	1				

Проведем оценку качества и перспективности по технологии QuaD по формуле:

$$П_{\text{ср}} = \sum B_i * B_i = 90.1$$

где $П_{\text{ср}}$ – средневзвешенное значение показателя качества и перспективности научной разработки;

B_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – средневзвешенное значение i -го показателя.

Значение $П_{\text{ср}}$ позволяет говорить о перспективах разработки и качестве проведенного исследования. Перспективность в нашем случае составляет 20,8. Это говорит о том, что перспективность ниже среднего.

11.2 Определение возможных альтернатив проведения научных исследований

Морфологический подход основан на систематическом исследовании всех теоретически возможных вариантов, вытекающих из закономерностей строения (морфологии) объекта исследования. Синтез охватывает как известные, так и новые, необычные варианты, которые при простом переборе могли быть упущены. Путем комбинирования вариантов получают большое количество различных решений, ряд которых представляет практический интерес.

Таблица 2. Морфологическая матрица для анализа

	1	2	3	4
А. Способ представления информации	текст;	графики; таблицы;	видео;	аудио;
Б. Содержание анализа	анализ методов; анализ средств;	анализ существующих средств;	анализ существующих методов;	рассмотрение других анализов;
В. Структура анализа способа измерения	метод; средства; анализ; выбор;	метод; физическое пояснение; анализ;	средства; физическое пояснение; выбор;	средства; экономическое обоснование; выбор;
Г. Способы получения информации	интернет; руководитель;	энциклопедии; магазины;	получение информации с производства;	комбинированный метод получения информации;
Д. Требуемые человеческие ресурсы для выполнения	команда инженеров;	1 студент;	3 любителя проведения анализов;	1 профессор;

работы				
--------	--	--	--	--

Были выявлены наиболее 3 удачные комбинации составления данной работы:

1. А1Б4В3Г1Д3 - наиболее дешевый; первая комбинация отличается простотой реализации, наименьшими затратами ресурсов, дешевизной выполнения работы. В следствии чего получится дешевая, но низкокачественная работа.

2. А1Б1В1Г4Д2 - универсальный; вторая комбинация является универсальной. Полученная работа будет выполнена без лишних затрат и является средней по качеству.

11.3. Планирование научно-исследовательских работ.

11.3.1 Структура работ в рамках научного исследования.

Таблица 3.Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Создание темы проекта	1	Составление и утверждение темы проекта	Научный руководитель
	2	Анализ актуальности темы	
Выбор направления исследования	3	Поиск и изучение материала по теме	Студент
	4	Выбор направления исследований	Научный руководитель, студент
	5	Календарное планирование работ	
Теоретические исследования	6	Изучение литературы по теме	Студент
	7	Подбор нормативных документов	
	8	Анализ использующихся средств и методов	
	9	Систематизация и оформление информации	
Оценка полученных результатов	10	Анализ результатов	Научный руководитель, студент
	11	Заключение	руководитель, студент

11.3.2 Определение трудоемкости выполнения работ

Трудовые затраты в большинстве случаев образуют основную часть стоимости разработки, поэтому важным моментом является определение трудоемкости работ каждого из участников научного исследования.

Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости $t_{ожі}$ используется следующая формула:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{mini} + 2t_{maxi}}{5}, \quad (2)$$

где $t_{ожі}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы чел.-дн.;

t_{mini} – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.;

t_{maxi} – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

Для выполнения перечисленных в таблице 4 работ требуются специалисты:

инженер (И);

научный руководитель (НР).

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях T_p , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями. Такое вычисление необходимо для обоснованного расчета заработной платы, так как удельный вес зарплаты в общей сметной стоимости научных исследований составляет около 65 %.

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i}, \quad (3)$$

где T_{pi} – продолжительность одной работы, раб. дн.;

$t_{ожі}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.

$Ч_i$ – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

11.3.3 Разработка графика проведения научного исследования

Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}}, \quad (4)$$

где T_{ki} – продолжительность выполнения i -й работы в календарных днях;

T_{pi} – продолжительность выполнения i -й работы в рабочих днях;

$k_{\text{кал}}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}}, \quad (5)$$

где $T_{\text{КАЛ}}$ – календарные дни ($T_{\text{КАЛ}} = 366$);

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

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

$K_{\text{кал}} = 366 / (366 - 52 - 12) = 366 / 302 = 1,212$;

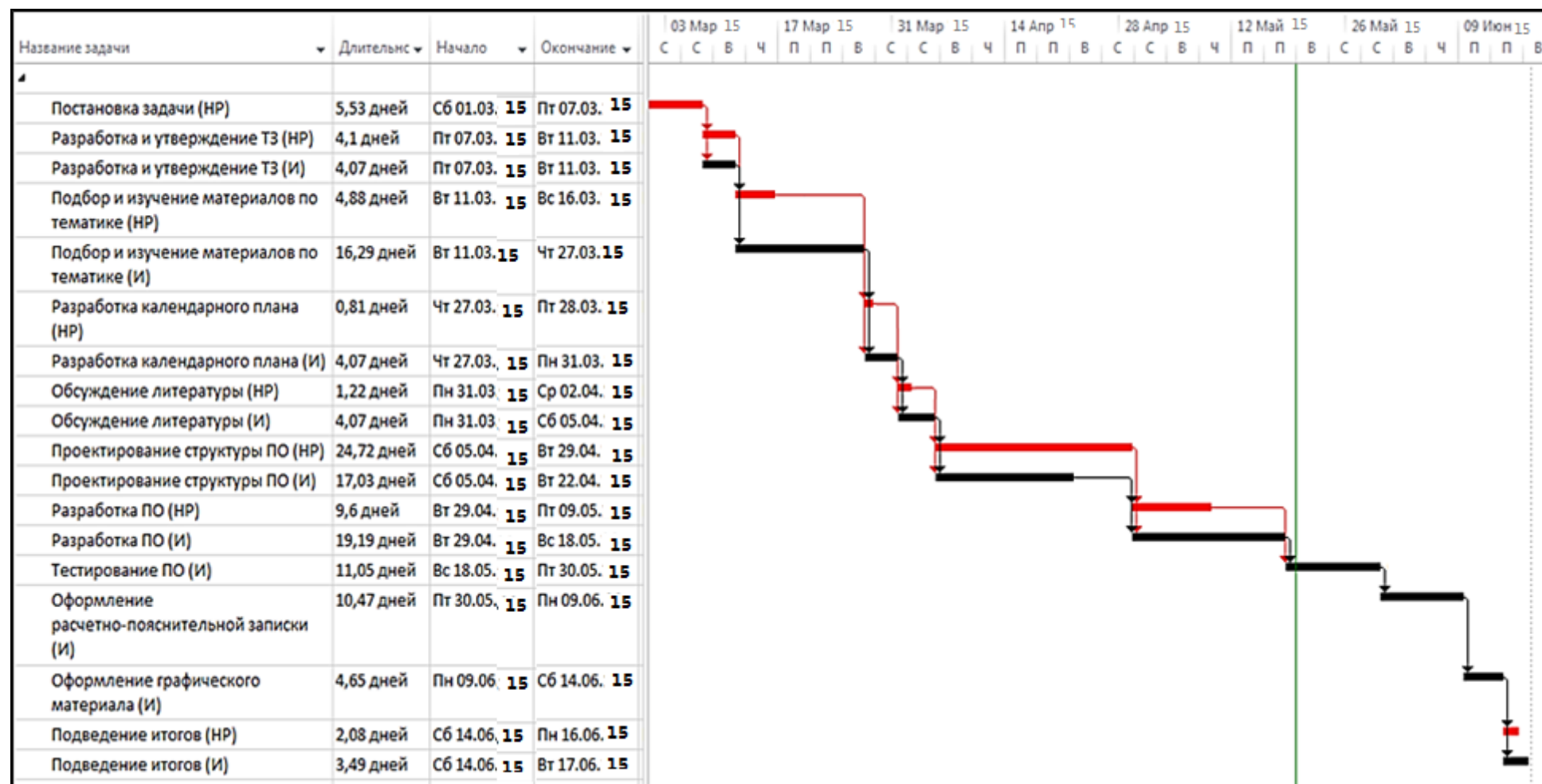
В таблице 4 приведены длительность этапов работ и число исполнителей, занятых на каждом этапе.

Таблица 4 – График проведения научного исследования

Этап	Исполнитель и	Продолжительность работ, дни						Длительность работ, чел/дн.							
								T_{Pi}				T_K			
		t_{min}		t_{max}		$t_{ож}$		НР		И		НР		И	
		Исп. 1	Исп. 2	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 1	Исп. 2	Исп.1	Исп.2	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 1	Исп. 2
Постановка задачи	НР	3	10	5	13	3,8	11,2	4,56	4,03	–	13,4 4	5,53	4,88	–	16,2 8
Разработка и утверждение технического задания (ТЗ)	НР, И	2	12	4	15	2,8	13,2	0,34	7,92	3,36	15,8 4	0,41	9,6	4,07	19,1 9
Подбор и изучение материалов по тематике	НР, И	10	15	13	20	11,2	17	4,03	20,4	13,4 4	14,2 8	4,88	24,7 2	16,2 8	17,3
Разработка календарного плана	НР, И	2	3	4	5	2,8	3,8	0,67	4,56	3,36	–	0,81	5,53	4,07	–
Обсуждение литературы	НР, И	2	6	4	9	2,8	7,2	1,01	–	3,36	8,64	1,22	–	4,07	10,4 7
Проектирование структуры ПО	НР, И	15	10	20	13	17	11,2	20,4	4,03	14,2 8	13,4 4	24,7 2	4,88	17,3	16,2 8
Разработка ПО	НР, И	12	15	15	20	13,2	17	7,92	20,4	15,8 4	14,2 8	9,60	24,2 7	19,1 9	17,3

Тестирование ПО	И	6	2	10	4	7,6	2,8	-	0,67	9,12	3,36	-	0,81	11,0 5	4,07
Оформление расчетно-поясн ительной записки	И	6	15	9	20	7,2	17	-	20,4	8,64	14,2 8	-	24,7 2	10,4 7	17,3
Оформление графического материала	И	2	3	5	5	3,2	3,8	-	4,56	3,84	–	-	5,53	4,65	–
Подведение итогов	НР, И	2	2	3	4	2,4	2,8	1,72	0,67	2,88	3,36	2,08	0,81	3,49	4,07
Итого:						74	78	40,6 5	50,2 3	78,1 2	90,2 1	49,2 7	60,2	94,6 8	80,6 5

Таблица – Календарный план-график проведения НИОКР по теме



На основе табл. 4 строится календарный план-график. График строится для максимального по длительности исполнения работ в рамках научно-исследовательского проекта на основе табл. 5 с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней) за период времени дипломирования. При этом работы на графике следует выделить различной штриховкой в зависимости от исполнителей, ответственных за ту или иную работу.

11.4 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

При планировании бюджета НТИ должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением.

11.4.1. Расчет материальных затрат НТИ

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$З_{\text{м}} = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m Ц_i \cdot N_{\text{рас}xi}, \quad (6)$$

где: m – количество видов материальных ресурсов, потребляемых при выполнении научного исследования;

$N_{\text{рас}xi}$ – количество материальных ресурсов i -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования (шт., кг, м, м² и т.д.);

$Ц_i$ – цена приобретения единицы i -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./м, руб./м² и т.д.);

k_T – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

Транспортные расходы принимаются в пределах 15-25% от стоимости материалов.

Таблица 5 - Материальный затраты

Наименование	Единица измерения	количество		Цена за ед., руб.		Затраты на материалы, (з _м), руб	
		Исп. 1	Исп. 2	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 1	Исп. 2
Бумага	лист	150	100	2	2	345	230
Картридж для принтера	шт.	1	1	1000	1000	1150	1150
Интернет	М/бит (пакет)	1	1	350	350	402,5	402,5
Ручка	шт.	1	1	20	20	23	23
Дополнительная литература	шт.	2	1	400	350	920	402,5
Тетрадь	шт.	1	1	10	10	11,5	11,5
Итого						2219,5	2135,5

11.4.2 Основная и дополнительная заработная плата исполнителей темы

В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы в размере **20** % от тарифа или оклада. Расчет основной заработной платы сводится в таблице.

В расчетах учитывается величина оклада НР - 16 751,29 руб. и студента – 800 руб., тогда среднедневная зарплата руководителя равна $(16\,751,29/25,12)*1,794 = 1201,12$ руб., т.к. $K_{\text{прем}} = 1,2$; $K_{\text{доп.з.п.}} = 1,15$; $K_{\text{район}} = 1,3$
 $K_{\text{интегр}} = 1,794$.

Среднедневная зарплата НР = 1201,12 руб. Среднедневная зарплата студента равна 800 руб.

№ п/ п	Наименование этапов	Исполнители по категориям	Трудо-емкость, чел.-дн.		Заработная плата, приходящаяся на один чел.-дн.,		Всего заработная плата по тарифу (окладам), тыс.	
			Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2
1.	Составление и утверждение темы проекта	Руководитель	7	10	1.2		8.4	12
2.	Анализ актуальности темы	Рук.-студент	9	11	2		18	22
3.	Поиск и изучение материала по теме	Студ.-рук.	4	5	2		8	10
4.	Выбор направления исследований	Руководитель	1	1	1.2		1.2	1.2
5.	Календарное планирование работ	Руководитель	1	1	1.2		1.2	1.2
6.	Изучение литературы по теме	Студент	10	10	0.8		8	8
7.	Подбор нормативных документов	Студ.-рук.	3	4	2		6	8
8.	Выявление достоинств и недостатков теоретических средств измерений	Студент	4	6	0.8		3.2	4.8
9.	Выявление достоинств и недостатков практически используемых средств	Студент	2	3	0.8		1.6	2.4
10.	Изучение результатов	Студент	2	3	0.8		1.6	2.4

11.	Анализ результатов	Студ.-ру к.	2	2	2.0	4	4
12.	Вывод по цели	Студент	3	3	0.8	2.4	2.4
Итого:						63.6	78.4

11.4.3 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$З_{внеб} = k_{внеб} \cdot (З_{осн} + З_{доп}), \quad (9)$$

где: $k_{внеб}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).

На 2014 г. в соответствии с Федеральным законом от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30%. На основании пункта 1 ст.58 закона №212-ФЗ для учреждений осуществляющих образовательную и научную деятельность в 2014 году водится пониженная ставка – 30%.

Таблица 7. Отчисления во внебюджетные фонды

11.4.4 Накладные расходы

Величина накладных расходов определяется по формуле:

$$З_{накл} = (\sum статеи) \cdot k_{нр}, \quad = 95839.4 \cdot 0.12 = 11500.73 \text{руб}$$

$$З_{накл} = (\sum статеи) \cdot k_{нр}, \quad = 13499.85 \cdot 0.12 = 13499.85 \text{руб}$$

(10)

где: $k_{нр}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы.

Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 12%.

11.4.5 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Таблица 8 . Расчет бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб.	
	Исп.1	Исп.2
Материальные затраты НТИ	2219.5	2135.5
Затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	0	0
Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	63600	78400
Отчисления во внебюджетные фонды	19080	23520
Накладные расходы	9921.6	12230.4
Бюджет затрат НТИ	92601.6	114150.4

11.5. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{финр}^{исп.i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{max}}, \quad (11)$$

где $I_{финр}^{исп.i}$ – интегральный финансовый показатель разработки;

Φ_{pi} – стоимость i -го варианта исполнения;

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения научно- исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом:

$$I_{pi} = \sum a^i \cdot b^i, \quad (12)$$

где: I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности для i -го варианта исполнения разработки;

a^i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки;

b_i^a , b_i^p – бальная оценка i -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

n – число параметров сравнения.

Таблица 9. Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Объект исследования Критерии	Весовой ко- эффициент параметра	Исп.1	Исп.2
1. Надежность	0,2	5	5
2. Универсальность	0,2	4	4
3. Уровень материалоемкости.	0,15	4	4
4. Функциональная мощность (предоставляемые возможности)	0,20	5	5
5. Ремонтопригодность	0,1	5	5
6. Энергосбережение	0,15	4	4
ИТОГО	1	4,65	3,15

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки ($I_{исп.i.}$) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{исп.i.} = \frac{I_{p-исп.i}}{I_{финр}},$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта (см.табл.18) и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных. Сравнительная эффективность проекта (Θ_{cp}):

Таблица 10 Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Исп.1	Исп.2
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0.5	1
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	1	0.6
3	Интегральный показатель эффективности	7.6	3.95
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1.92	1

Сравнив значения интегральных показателей эффективности можно сделать вывод, что реализация технологии в третьем исполнении является более эффективным вариантом решения задачи, поставленной в данной работе с позиции финансовой и ресурсной эффективности.