

Школа – Инженерная школа информационных технологий и подготовки  
 Направление подготовки – 15.03.04 Автоматизация технологических процессов и производств  
 Отделение школы (НОЦ) – Отделение автоматизации и робототехники

### БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
<b>РАЗРАБОТКА СТЕНДА ФИЗИЧЕСКОГО ПОДОБИЯ «ТРЕХФАЗНЫЙ СЕПАРАТОР СКВАЖИННОЙ ЖИДКОСТИ»</b>

УДК 004.85:378.162.3:928:622.276.4

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8Т6А	Мигель Алёна Владимировна		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Филипас Александр Александрович	к.т.н., доцент		

### КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Трубченко Татьяна Григорьевна	к.э.н., доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ООД ШБИП	Белоевко Елена Владимировна	к.т.н., доцент		

### ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Громаков Евгений Иванович	к.т.н., доцент		

## ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ

### 15.04.04 «Автоматизация технологических процессов и производств»

Код результата	Результат освоения ООП
P1	Применять базовые естественнонаучные и математические знания для решения научных и инженерных задач в области анализа, синтеза, проектирования, производства и эксплуатации систем автоматизации технологических процессов и производств.
P2	Применять передовой отечественный и зарубежный опыт в области автоматизации технологических процессов и производств при решении производственных задач.
P3	Ставить и решать задачи производственного анализа, связанные с проектированием и созданием современных систем автоматизации технологических процессов и производств.
P4	Разрабатывать системы автоматизации технологических процессов и производств с использованием передовых научно-технических знаний и достижений мирового уровня, проектировать устройства автоматизации и обосновывать экономическую целесообразность решений
P5	Проводить теоретические и экспериментальные исследования в области современных систем автоматизации.
P6	Внедрять и использовать подходящее программно-техническое оборудование, оснащение и инструменты при решении задач автоматизации технологических процессов и производств, соблюдать правила охраны здоровья и безопасности труда, выполнять требования по защите окружающей среды.
P7	Применять высоко технологичное программно-техническое оборудование, оснащение и инструменты для решения задач автоматизации технологических процессов и производств.
P8	Владеть иностранным языком на уровне, позволяющем работать в интернациональной среде с пониманием культурных, языковых и социально – экономических различий.
P9	Эффективно работать индивидуально, в качестве члена и руководителя группы с ответственностью за риски и работу коллектива при решении инновационных инженерных задач в области автоматизации технологических процессов и производств, демонстрировать при этом готовность следовать профессиональной этике и нормам
P10	Иметь широкую эрудицию, в том числе знание и понимание современных общественных и политических проблем, вопросов безопасности и охраны здоровья сотрудников, юридических аспектов, ответственности за инженерную деятельность, влияния инженерных решений на социальный контекст и окружающую среду.
P11	Самостоятельно учиться и повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности, поддерживать должный уровень физической подготовленности
P12	Решать задачи производственного анализа, связанные с проектированием и созданием современных систем автоматизации технологических процессов и производств в нефтегазовой отрасли.

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
 федеральное государственное автономное  
 образовательное учреждение высшего образования  
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа – Инженерная школа информационных технологий и робототехники  
 Направление подготовки – 15.03.04 «Автоматизация технологических процессов и производств»  
 Отделение (НОЦ) – Отделение автоматизации и робототехники

УТВЕРЖДАЮ:  
 Руководитель ООП  
 \_\_\_\_\_ Громаков Е.И.  
 (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
8Т6А	Мигель Алёне Владимировне

Тема работы:

<b>Разработка стенда физического подобия «Трёхфазный сепаратор скважинной жидкости»</b>	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№ 62-56/с от 02.03.2020

Срок сдачи студентом выполненной работы:	03.06.2020
--	------------

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<b>Исходные данные к работе</b>	Объектом исследования является процесс создания и разрушения водонефтяной эмульсии, изучаемый с целью создания стенда физического подобия «Трёхфазный сепаратор скважинной жидкости». Предназначение стенда – углубленное изучение процесса создания и разрушения водонефтяной эмульсии, а также выявления способов интенсификации данных процессов.
---------------------------------	--

<b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>	Описание технологического процесса; Разработка схемы электрических соединений АС; Разработка функциональной схемы автоматизации; Разработка схемы информационных потоков АС; Выбор средств реализации АС; Разработка схемы соединения внешних проводок; Разработка алгоритмов режимов работы.
<b>Перечень графического материала</b>	Структурная схема автоматизации Функциональная схема автоматизации; Схема электрических соединений; Схема внешних проводок; Схемы алгоритмов режимов работы.
<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b>	
<b>Раздел</b>	<b>Консультант</b>
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Трубченко Татьяна Григорьевна, доцент ОСГН, к.э.н.
Социальная ответственность	Белоенко Елена Владимировна, доцент ООД, к.т.н.
<b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b>	
Заключение (Conclusion)	

<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	24.02.2020
---	------------

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Филипас Александр Александрович	к.т.н., доцент		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8Т6А	Мигель Алёна Владимировна		

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
 федеральное государственное автономное  
 образовательное учреждение высшего образования  
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа – Инженерная школа информационных технологий и робототехники  
 Направление подготовки – 15.03.04 Автоматизация технологических процессов и производств  
 Уровень образования – бакалавриат  
 Отделение школы (НОЦ) – Отделение автоматизации и робототехники  
 Период выполнения: весенний семестр 2019/2020 учебного года

Форма представления работы:

бакалаврская работа
---------------------

(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

### КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	03.06.2020
--	------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
03.06.2020	Основная часть	60
05.05.2020	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	20
10.05.2020	Социальная ответственность	20

#### СОСТАВИЛ:

##### Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Филипас Александр Александрович	к.т.н., доцент		

#### СОГЛАСОВАНО:

##### Руководитель ООП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Громаков Евгений Иванович	к.т.н., доцент		

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

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
8Т6А	Мигель Алёне Владимировне

<b>Школа</b>	<b>ИШИТР</b>	<b>Отделение школы (НОЦ)</b>	<b>Автоматизации и робототехники</b>
<b>Уровень образования</b>	Бакалавриат	<b>Направление/специальность</b>	15.04.04 Автоматизация технологических процессов и производств

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Оклад руководителя – 22 221 руб. Оклад инженера – 1 326 руб.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Накладные расходы – 20% Районный коэффициент – 30% Норма амортизации – 33,3%
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Отчисления по страховым взносам – 30%

**Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:**

1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ	Технико-экономическое обоснование проекта, анализ конкурентных решений, SWOT-анализ.
2. Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок	Определение трудоемкости работ, планирование выполнения работ по проекту, формирование бюджета затрат.
3. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности	Оценка сравнительной эффективности исследования. Интегральный финансовый показатель – 0,479 Интегральный показатель ресурсоэффективности – 4,43 Интегральный показатель ресурсоэффективности – 9,25

**Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):**

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

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	24.02.2020
---	------------

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Доцент ОСГН ШБИП	Трубченко Татьяна Григорьевна	к.э.н., доцент		

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
8Т6А	Мигель Алёна Владимировна		

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
8Т6А	Мигель Алёне Владимировне

Школа	Информационных технологий и робототехники	Отделение (НОЦ)	Автоматизации и робототехники
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	15.04.04 Автоматизация технологических процессов и производств

Тема ВКР:

<b>Разработка стенда физического подобия «Трёхфазный сепаратор скважинной жидкости»</b>	
<b>Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:</b>	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Объектом исследования является процесс создания и разрушения водонефтяной эмульсии, изучаемый с целью создания стенда физического подобия «Трёхфазный сепаратор скважинной жидкости». Областью применения стенда являются научные и учебные лаборатории организаций, производящих исследования в области подготовки нефти.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<b>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b> 1.1 специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; 1.2 организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.	1. Трудовой кодекс РФ от 30.12.2001 № 197-ФЗ; 2. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03; 3. ППБ 01-93; 4. СанПиН 2.2.4.3359-16.
<b>2. Производственная безопасность:</b> 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия	– отклонение показателей микроклимата; – превышение уровня шума; – недостаточная освещенность – поражение электрическим током; – превышение уровня электромагнитных излучений;
<b>3. Экологическая безопасность:</b>	Утилизация бытовых отходов при поломке оборудования, а также нефти и воды, использующихся в процессе работы стенда.
<b>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b>	Наиболее типичной ЧС является пожар.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	24.02.2020
--	------------

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ООД ШБИП	Белоенко Елена Владимировна	к.т.н., доцент		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8Т6А	Мигель Алёна Владимировна		

## Реферат

Выпускная квалификационная работа состоит из 118 страниц, содержит 42 рисунка, 39 таблиц, 25 источников литературы, 2 приложения и 8 схем.

Ключевые слова: эмульсия, стенд, трёхфазный сепаратор нефти, автоматизированная система управления, уровень раздела фаз, датчики, разрушение эмульсии.

Объектом исследования является процесс создания и разделения водонефтяной эмульсии.

Целью работы является проектирование стенда физического подобия «Трёхфазный сепаратор скважинной жидкости»

В результате исследования был разработан стенд физического подобия «Трёхфазный сепаратор скважинной жидкости», приведены решения по автоматизации работы стенда, выбору контроллерного оборудования и датчиков, разработке алгоритмов режимов работы стенда, а также схем: автоматизации, соединения внешних проводок, информационных потоков.

Разработанный стенд может применяться для исследования процессов создания и разрушения водотопливной эмульсии, выявления способов интенсификации данных процессов, а также в учебных целях.

Для выполнения выпускной квалификационной работы использовались программные продукты Microsoft Word, Microsoft Visio, КОМПАС-3D, Matlab.

Задание на ВКР выполнено в полном объеме и разработка соответствует заданию на проектирование.



## Содержание

Определения, сокращения, обозначения .....	13
Введение.....	14
1 Требования, предъявляемые к системе управления стендом.....	15
1.1 Требование к системе в целом .....	15
1.2 Требования к функциональным возможностям.....	15
1.3 Требования к техническому обеспечению .....	16
1.4 Требования к математическому обеспечению .....	16
1.5 Требования к информационному обеспечению.....	17
2 Нефтяные эмульсии .....	18
2.1 Методы создания эмульсий.....	19
2.1.1 Конденсационные методы.....	19
2.1.2 Диспергационные методы .....	20
2.2 Методы разрушения эмульсий .....	20
2.2.1 Химический метод .....	21
2.2.2 Термический метод.....	22
2.2.3 Физические методы.....	22
2.3 Применение пьезоэлементов для интенсификации процесса разрушения эмульсии.....	23
2.4 Математическая модель процесса каплеобразования и отстаивания....	27
3 Разработка структурной схемы.....	31
4 Разработка функциональной схемы автоматизации .....	32
5 Разработка информационного обеспечения .....	33
6 Комплекс аппаратно-технических средств .....	35
6.1 Выбор датчиков уровня .....	35

6.2	Выбор датчиков температуры.....	39
6.3	Выбор датчиков давления .....	40
6.4	Выбор датчиков плотности .....	43
6.5	Выбор компрессора.....	44
6.6	Выбор мешалки .....	46
6.7	Выбор нагревателя .....	48
6.8	Выбор насосов .....	50
6.9	Выбор клапанов.....	51
6.10	Выбор генератора сигналов .....	53
6.10	Выбор контроллера .....	55
7	Разработка схемы внешних проводок.....	58
8	Разработка алгоритмов управления .....	60
8.1	Алгоритм режима технического прогона .....	60
8.2	Алгоритм статического режима работы .....	61
8.3	Алгоритм динамического режима работы.....	63
9	Разработка имитационной модели работы стенда.....	64
10	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение. 67	
10.1	Потенциальные потребители результатов исследования .....	67
10.2	Анализ конкурентных технических решений .....	68
10.3	SWOT – анализ .....	69
10.4	Планирование научно-исследовательских работ.....	71
10.4.1	Структура работ в рамках научного исследования .....	71
10.4.2	Определение трудоемкости выполнения работ .....	73
10.5	Бюджет научно-технического исследования .....	76
10.5.1	Расчет материальных затрат НИТ .....	76

10.5.2 Расчет амортизационных отчислений.....	79
10.5.3 Основная заработная плата исполнителей темы .....	79
10.5.4 Дополнительная заработная плата .....	81
10.5.5 Отчисления во внебюджетные фонды .....	82
10.5.5 Накладные расходы .....	83
10.5.6 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта.....	83
10.6 Определение ресурсной, финансовой и экономической эффективности исследования.....	84
10.7 Выводы по разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» .....	87
11 Социальная ответственность .....	89
11.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности ...	90
11.2 Производственная безопасность .....	91
11.2.1 Отклонение показателей микроклимата.....	92
11.2.2 Превышение уровня шума .....	93
11.2.3 Недостаточная освещенность рабочей зоны .....	94
11.2.4 Электробезопасность .....	95
11.2.5 Превышение уровня электромагнитных излучений.....	97
11.3 Экологическая безопасность.....	98
11.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	99
11.5 Вывод по разделу социальная ответственность.....	100
Заключение .....	102
Conclusion.....	103
Список литературы .....	104

Приложение А (обязательное) Амплитудно-частотные характеристики керамики.....	107
Приложение Б (обязательное) Карта рабочих режимов .....	109

## Определения, сокращения, обозначения

В данной работе применены следующие термины с соответствующими определениями:

**техническое задание:** технический документ, устанавливающий цели, набор требований и ключевые исходные данные, требуемые на этапах разработки проектируемой системы;

**автоматизированная система:** Совокупность персонала и комплекса средств автоматизации его деятельности, которая реализует информационную технологию выполнения установленных функций;

**скважинная жидкость:** Реальная жидкость, которая выходит из скважины, состоящая из нефти, воды, солей и механических примесей;

**автоматизированная система управления технологическим процессом:** комплекс программных и технических средств, предназначенный для автоматизации управления технологическим оборудованием на предприятиях;

**интерфейс:** Совокупность аппаратных и программных средств, необходимых для взаимодействия с программой, устройством, функцией и т.д.;

**объект управления:** Система, на которую направлены управляющие воздействия с ПЛК.

В данной работе применены следующие сокращения и советуемые им расшифровки:

ТЗ – техническое задание;

АСУ ТП – автоматизированная система управления технологическим процессом;

ФСА – функциональная схема автоматизации;

КИП – контрольно-измерительные приборы;

ПК – персональный компьютер;

ПЛК – программируемый логический контроллер.

## **Введение**

На сегодняшний день топливная промышленность продолжает занимать лидирующие позиции в мировой экономике и очевидным следствием этого является актуальность развития технологий в данной сфере. В современной промышленности технологическим процессам подготовки нефти уделяется большое внимание и на сегодняшний день вполне реально увеличить их качество и скорость.

Как известно, добываемый на промысле пластовой флюид содержит в себе большое количество примесей, в том числе воду и газ, для отделения которых используются различные аппараты и установки, в том числе промышленные сепараторы.

Таким образом, целью данной выпускной квалификационной работы является проектирование автоматизированного стенда физического подобия «Трёхфазный сепаратор скважинной жидкости» предназначенного для углубленного изучения процесса создания и разрушения газо-водонефтяной эмульсии, а также выявления способов интенсификации данных процессов.

## **1 Требования, предъявляемые к системе управления стандом**

### **1.1 Требование к системе в целом**

Проектируемый станд должен обеспечивать 3 рабочих режима: статический, динамический, а также режим технического прогона для проверки работоспособности станда и промывки емкостей.

Статический режим работы станда должен обеспечивать последовательное выполнение следующих действий:

- подготовка водотопливной эмульсии в смесителе;
- заполнение основной емкости сепаратора эмульсией;
- разделение эмульсии;
- перекачка разделившейся нефти и воды в отдельные емкости.

Динамический режим работы должен обеспечивать одновременное выполнение вышеперечисленных функций.

### **1.2 Требования к функциональным возможностям**

В соответствии с ГОСТ 24.104-85 «Автоматизированные системы управления. Общие требования» АСУ ТП должна обеспечивать:

- автоматизированный сбор и обработку информации – опрос всех датчиков (снятие с датчиков сигналов), масштабирование снятого сигнала и перевод сигнала в действительные значения в соответствии с градуировочными характеристиками аналоговых измерительных элементов, фильтрация сигналов от помех
- автоматический контроль технологического процесса, сигнализацию при выходе технологических показателей за границы допустимых значений – любые действия, предпринимаемые оператором при работе с системой должны быть защищены от всевозможных ошибок. Чтобы избежать аварий и ЧС, система должна выполнять действия, которые

соответствуют документации на систему и не выходят за установленные пределы;

- автоматическое формирование отчетов.

### **1.3 Требования к техническому обеспечению**

Разрабатываемая АСУ стенда должна строиться согласно стандартным протоколам международного образца, как открытая иерархическая система.

Комплекс технических средств, используемых в системе должен быть минимально достаточным для выполнения функций, описанных в данном ТЗ, а также иметь технико-экономическое обоснование и основываться на альтернативном выборе.

Должна быть предусмотрена возможность расширения системы путем подключения новых контроллеров. Контроллеры должны иметь модульную архитектуру в целях свободной компоновки каналов ввода/вывода.

СИ, используемые в комплексе должны иметь стандартные сигналы диапазоном (4 – 20) мА. Датчики, находящиеся в пожароопасных или взрывоопасных зонах должны выполняться в исполнении, отвечающим требованиям взрывозащиты. Коммутационные подключения к ним должны быть выполнены с использованием модулей с искробезопасными входными сетями, либо с использованием внешних барьеров искробезопасности.

Комплекс технических средств должен быть устойчивым в условиях рабочей среды, быть ремонтнопригодным и заменяемым, а также работать от питания промышленных сетей переменного тока с напряжением 220 или 380 В и при колебаниях этого напряжения диапазоне  $\pm 10\%$ .

### **1.4 Требования к математическому обеспечению**

Математическое обеспечение системы должно представлять из себя совокупность математических методов, моделей и алгоритмов обработки информации, необходимых для создания и эксплуатации АСУ стенда.



Разработка математического обеспечения должна производиться с учетом требований, предъявляемых к системам реального времени.

### **1.5 Требования к информационному обеспечению**

По результатам проектирования должны быть представлены:

- структура процесса сбора, обработки и передачи информации в АС;
- информация по визуальному представлению данных и результатам мониторинга.

Разрабатываемая система управления стенда должна обеспечивать снятие статических и динамических характеристик, таких как:

- уровни жидкости и раздела фаз в основной емкости сепаратора и отстойнике;
- уровень жидкости в смесителе;
- уровень нефти емкости сбора нефти и воды;
- давление газа в основной емкости сепаратора
- температура в основной емкости сепаратора и смесителе;
- плотность эмульсии в смесителе.

Каждый элемент контроля и управления должен иметь свой идентификатор (ТЕГ). Структура данного шифра должна иметь следующую форму:

AAA\_BBB\_CCCC\_DDDDD,

где

1. AAA – параметр, состоящий из 3-х символов, принимающий значения:

2. BBB – код технологического аппарата (или объекта), содержащий 3 символа:

3. CCCC – уточнение:

## 2 Нефтяные эмульсии

Эмульсия – это неоднородная система, состоящая из нескольких малосмешивающихся или несмешивающихся жидкостей, одна из которых распределена в другой в виде глобул – маленьких капель. Жидкость, в которой распределяются глобулы называется дисперсной средой, а жидкость, которая распределяется в виде глобул – дисперсной фазой [1].

Водонефтяные эмульсии являются неустойчивыми, так как имеют высокий уровень свободной поверхностной энергии и стремятся его понизить, за счет процессов укрупнения капель и расслоения эмульсии на нефть и воду [2].

Существует три основных типа эмульсий:

- эмульсия обратного типа – вода в нефти
- эмульсия прямого типа – нефть в воде;
- множественная эмульсия – вода-нефть-вода или нефть-вода-нефть.

Распространенный тип эмульсии в нефтяной промышленности – вода в нефти – это эмульсия, состоящая из капель воды (дисперсной фазы) рассеянных в нефти, представляющей собой дисперсную среду. Эмульсия нефть в воде – это противоположность предыдущему типу эмульсии. Множественная эмульсия представляет собой относительно большие капли воды, распределенные в нефти, в которых распределены глобулы нефти и наоборот.

В современной промышленности эмульсии типа масло в воде и вода в масле находят наиболее широкое применение и встречаются чаще, чем множественные эмульсии. Последние являются наиболее неблагоприятными из-за сложности их разделения и применения.

Когда обводненная нефть поднимается с забоя скважины к ее устью, а затем движется по промысловым трубопроводам, происходит постоянное смешивание нефти с водой, что сопровождается образованием устойчивых

эмульсий. Стабильность эмульсии определяется в основном размером глобул, прочностью адсорбционных оболочек, возникающих на их поверхности в результате поглощения поверхностным слоем асфальто-смолистых веществ и тугоплавких парафинов. При этом размер глобул дисперсной фазы определяется поверхностным натяжением, скоростью потока, частотой и амплитудой пульсаций [3].

## 2.1 Методы создания эмульсий

Изменение свободной энергии Гиббса  $\Delta G$  при образовании эмульсии из двух объемных жидкостей задается следующим уравнением:

$$\Delta G = \Delta H - T \cdot \Delta S, \quad (2.1.1)$$

где  $\Delta H$  – изменение энтальпии,

$T$  – температура,

$\Delta S$  – изменение энтропии.

Свободная энергия эмульгирования является положительной, и первым следствием этого является то, что эмульгирование редко является спонтанным процессом и, следовательно, требует ввода энергии.

Существует несколько методов создания эмульсий [5].

### 2.1.1 Конденсационные методы

Конденсационные методы заключаются в выращивании дисперсной фазы из малых центров каплеобразования:

- конденсация из паров – пар одной жидкости – будущей дисперсионной фазы – подается под поверхность другой жидкости – будущей дисперсионной среды. Далее следуют процессы перенасыщения и конденсации пара в виде капель;

- замена растворителя – вещество растворяют в «хорошем» растворителе.

### **2.1.2 Диспергационные методы**

Диспергационные методы заключаются в дроблении дисперсной системы, состоящей из несмешиваемых слоёв жидкостей:

- методы, в основе которых лежит взбалтывание;
- методы, в основе которых лежит перемешивание.

Для применения последних существуют смесители разнообразных конструкций: с мешалками пропеллерного и турбинного типов, коллоидные мельницы, гомогенизаторы. Гомогенизаторы - это устройства, в которых диспергирование жидкости достигается пропусканием её через малые отверстия под высоким давлением.

Простые лопастные мешалки подходят, когда требуемый размер капель превышает  $\sim 10$  мкм, но для получения более мелких капель обычно требуется более высокий сдвиг. Обычно используются роторно-статорные смесители с высоким сдвигом.

Нефтяные эмульсии обратного типа могут быть грубодисперсными – с каплями воды размером от 50 до 100 мкм, среднедисперсными – с каплями воды размером от 20 до 50 мкм, и мелкодисперсными – с каплями воды размером от 0,2 до 20 мкм [1].

Таким образом, эмульсия с каплями размером 10 мкм и более удовлетворяет размерам капель даже мелкодисперсной реальной нефтяной эмульсии, к тому же данный способ является наиболее простым в реализации, настройке и использовании. Поэтому в качестве способа приготовления эмульсии в процессе работы стенда, было выбрано смешивание с помощью лопастной мешалки, управляемой приводом.

### **2.2 Методы разрушения эмульсий**

По экспериментальным данным на реальных объектах не происходит полного разрушения эмульсии, а образуются две эмульсии, одна из которых богаче дисперсной фазой. Капля радиусом  $r$  и плотностью  $\rho$  будет всплывать

в более тяжелой жидкости с плотностью  $\rho_0$  и вязкостью  $\eta$  со скоростью  $U_{\text{сед}}$  по уравнению Стокса:

$$U_{\text{сед}} = \frac{2 \cdot g \cdot r^2 (\rho - \rho_0)}{9 \cdot \eta}, \quad (2.2.1)$$

При  $\rho > \rho_0$  капля опустится на дно под действием силы тяжести. Таким образом, осаждение капель в эмульсии – следствие образования больших капель и большого различия в плотностях жидкостей. Для ускорения процесса применяют центрифугирование [3].

В промышленности эмульсии разрушают:

- химическими методами;
- термическими методами;
- физическими методами;
- электрическими методами.

Используют и несколько методов одновременно.

### **2.2.1 Химический метод**

Суть химического метода разрушения заключается в «растворении» защитных пленок с помощью химических веществ. Существует 2 способа нейтрализации защитного слоя: с помощью деэмульгаторов и с помощью другого эмульгатора.

Так, в первом случае можно разрушить прямую эмульсию, стабилизированную эмульгаторами добавлением электролитов с поливалентными ионами, переводящими эмульгатор в малорастворимую форму.

Во втором случае можно разрушить эмульсию добавлением вещества, не образующего само по себе прочных пленок и более поверхностно-активного, чем эмульгатор, с помощью которого она была стабилизирована [5].

### **2.2.2 Термический метод**

Также разрушить многие эмульсии можно повышением или понижением температуры.

Нагревание ускоряет химические реакции, протекающие в эмульсиях, возрастают Ван-дер-Ваальсовы силы, усиливается броуновское движение, вероятно, увеличивается скорость химической адсорбции и уменьшается вязкость эмульсии, что в совокупности уменьшает прочность бронирующего слоя и увеличивают скорость деэмульгирования.

При замораживании образуются кристаллы льда, которые растут, захватывая воду, при этом масляные капли сжимаются. Помимо этого, растворенные в эмульсиях соли также подвержены кристаллизации. При этом разрываются оболочки, предотвращающие коалесценцию [5].

### **2.2.3 Физические методы**

К данной группе методов относятся осаждение под действием силы тяжести или центробежных сил, фильтрация эмульсии через слой волокнистого или гранулированного фильтрующего материала, а также воздействие электричества и ультразвука.

Осаждение под действием силы тяжести или отстаивание эффективно только для грубых эмульсий, содержащих капли больших размеров. Их выдерживают в отстойниках, при этом мелкие капли остаются во взвешенном состоянии.

Электрическое воздействие применяется в тех случаях, когда в качестве дисперсной фазы представлена вода. При электрическом воздействии на эмульсию происходит поляризация капель воды, они вытягиваются и стремятся к расположению вдоль силовых линий. Поляризованные капли представляют из себя диполи, притягивающиеся друг к другу, что ведет к разрушению адсорбционных оболочек и слиянию капель.

Перспективным направлением интенсификации технологических процессов является использование энергии механических колебаний ультразвуковой частоты высокой интенсивности.

Эффективность УЗ воздействий на различные технологические процессы подтверждена многочисленными исследованиями и опытом, позволившими установить следующее: применение ультразвуковых колебаний высокой интенсивности обеспечивает (10 – 1000) кратное ускорение процессов, протекающие между двумя или несколькими неоднородными средами, в том числе деэмульсацию [6].

Поэтому применение данного метода в качестве интенсификации процесса деэмульсации было решено применить для реализации процесса разрушения эмульсии в разрабатываемом стенде.

### **2.3 Применение пьезоэлементов для интенсификации процесса разрушения эмульсии**

Одним из источников колебаний ультразвуковой частоты является обратный пьезоэффект. Как известно, если к пьезоэлементу прикладывать переменное электрическое напряжение, то он начинает сжиматься и расширяться, с частотой прикладываемого напряжения – это называется обратным пьезоэффектом. Это происходит так как при действии электрического поля на элементарные заряды в ячейке, происходит их перемещение и как следствие изменение средних расстояний между ними, то есть деформация всего кристалла [7].

На основе пьезокерамических материалов разрабатываются ультразвуковые преобразователи – устройства, обеспечивающие преобразование энергии электрических колебаний в механические упругие колебания.

В ходе работы был проведен эксперимент по определению собственной частоты колебания пьезоэлектрических пластин. Измерения производились

следующим образом. На пьезоэлектрическую пластину с помощью генератора подавалось напряжение определенной величины. Затем происходило увеличение частоты подаваемого напряжения, а выходной сигнал тем временем фиксировался осциллографом. Измерения проводились в диапазоне входного сигнала от 1 до 7 В, из полученных показаний можно сделать вывод, что амплитуда выходного сигнала напрямую зависит от величины входного, в отличие от пиковой частоты, которая при увеличении входного сигнала не изменяется.

Всего были сняты измерения с 5 разных образцов. Было зафиксировано от 1 до 4 пиков в имеющемся диапазоне частот от 0,001 до 200 кГц. Самым большим количеством пиков в имеющемся диапазоне обладает керамика с наибольшей толщиной (приложение А).

При повышении частоты до резонансной, амплитуда увеличивается до некоторого максимума, высота которого зависит от коэффициента затухания, а затем снова падает.

Это резонансное превышение, которое так же называется добротностью, определяется как отношение амплитуды при резонансной частоте к статическому изменению толщины:

$$Q = \frac{\Delta x_{\gamma}}{\Delta x_{ст}}, \quad (2.3.1)$$

где  $Q$  – добротность,

$\Delta x_{\gamma}$  – амплитуда при резонансной частоте,

$\Delta x_{ст}$  – статическое изменение частоты, определяемое по формуле:

$$\Delta x_{ст} = d_{пм} \cdot U, \quad (2.3.2)$$

где  $d_{пм}$  – пьезоэлектрический модуль [2].

Таким образом, добротность является одним из показателей, на которые необходимо ориентироваться при выборе керамики.

Для разрушения адсорбционных оболочек глобул жидкости необходимо, чтобы пиковая частота колебаний резонатора равнялась резонансной частоте колебаний капли.



Для точной настройки колебательной системы были рассмотрены два способа изменения диапазона частот пьезоэлектрического резонатора с помощью закрепления дополнительной массы и с помощью приложения силы, пропорциональной ускорению системы.

Резонансная частота любой пружинно-массовой системы является функцией её жесткости и эффективной массы. Таким образом, резонансная частота ненагруженного резонатора может быть выражена по формуле 3:

$$f_m = \frac{\sqrt{k_b}}{2 \cdot \pi \cdot m_{eff}}, \quad (2.3.3)$$

где  $k_b$  – жесткость резонатора,

$m_{eff}$  – эффективная масса.

В случае, если резонатор нагружен, его резонансная частота падает в соответствии с уравнением 4:

$$f_r = f_m \frac{\sqrt{m_{eff}}}{m}, \quad (2.3.4)$$

где  $m$  – масса резонатора с дополнительной нагрузкой [9].

Данный способ не позволяет плавно регулировать резонансную частоту в широких пределах из-за снижения добротности вследствие акустических потерь. Для расширения пределов регулирования без ухудшения добротности существует следующий способ.

Перемещение колебательной системы описывается дифференциальным уравнением:

$$m \cdot \ddot{x} + 2 \cdot \xi \cdot \dot{x} + c \cdot x = 0 \quad (2.3.5)$$

где  $m$  – масса системы,

$\xi$  – декремент затухания,

$c$  – коэффициент упругости системы,

$x$  – перемещение системы,

$\dot{x}, \ddot{x}$  – первая и вторая производная перемещения по времени.

После приложения силы, пропорциональной ускорению системы, уравнение принимает следующий вид:

$$m_1 \cdot \ddot{x} + 2 \cdot \xi \cdot \dot{x} + c \cdot x = 0 \quad (2.3.6)$$

где  $m_1$  – эффективная масса системы после приложения силы, которая определяется выражением:

$$m_1 = k_0 + m \quad (2.3.7)$$

где  $k_0$  – некоторая константа пропорциональности.

Резонансная частота такой системы определяется выражением:

$$\omega = \sqrt{\frac{c}{k_0 + m}} = \sqrt{\frac{c}{m_1}} \quad (2.3.8)$$

Более гибкий способ регулирования резонансной частоты получается за счет того, что параметр  $k_0$ , от которого зависит резонансная частота системы, можно плавно изменять, используя известные методы, например, изменением сопротивления, напряжения, тока.

Добротность системы при таком способе описывается формулой

$$Q_1 = Q_0 \sqrt{1 + \frac{k_0}{m_1}}, \quad (2.3.9)$$

где  $Q_0$  – добротность системы, на которую не действует сила [10].

В ходе работы были проведены эксперименты по разделению водомасляной эмульсии с воздействием ультразвука на различных частотах и обычным отстаиванием. Характер разделения показал существенное влияние ультразвука на процесс разделения. В некотором диапазоне частот процесс разделения эмульсии с использованием пьезоэлемента происходит значительно интенсивнее, чем без него.

## 2.4 Математическая модель процесса каплеобразования и отстаивания

Основной целью разработки стенда в рамках данного проекта является изучение процессов разрушения эмульсии, который, в свою очередь, состоит из процессов образования капель и дальнейшего их осаждения.

Максимальные размеры устойчивых капель, которые могут существовать в турбулентном потоке при движении по трубопроводам, зависят от многих факторов, в том числе от скорости потока, поверхностного натяжения на границе раздела фаз нефть – вода, вязкости нефти и воды, режима движения, и определяются выражением [14]:

$$d_{max} = 43,3 \cdot \frac{\sigma^{1,5} + 0,7 \cdot \mu_B \cdot u^{0,7} \cdot \sigma^{0,8}}{u^{2,4} \cdot Re^{0,1} \cdot \nu_{см}^{0,1} \cdot \rho_H \cdot \mu_H^{0,5}}, \quad (2.4.1)$$

где  $d_{max}$  – максимальный размер устойчивых капель;

$\sigma$  – поверхностное натяжение;

$\mu_B, \mu_H$  – динамическая вязкость воды и нефти соответственно;

$u$  – средняя объемная скорость потока;

$\nu_{см}$  – кинематическая вязкость смеси;

$\rho_H$  – плотность нефти.

Из выражения 2.4.1 следует, что диаметр капель, взвешенных в потоке, возрастает с увеличением поверхностного натяжения и уменьшается с увеличением скорости и турбулентности потока, вязкости и плотности нефти. При движении по трубопроводам эмульсий, капли которых имеют диаметр меньший, чем  $d_{max}$ , последние испытывает тенденцию к укрупнению, если же при заданных параметрах не могут существовать капли таких размеров – к дроблению. Данная формула подходит для расчета максимальных диаметров капель эмульсий прямого типа.

Для расчета максимального диаметра нефтяных эмульсий обратного типа можно воспользоваться модифицированной формулой Слейчера:

$$d_{max} = \frac{6,45 \cdot d^{0,2} \cdot \sigma^{1,4}}{\rho^{0,8} \cdot U^{2,2} \cdot \mu_H^{0,6}}, \quad (2.4.2)$$

Математическое описание процесса отстаивания основывается на законах осаждения капель воды под действием силы тяжести, а также эмпирических и полуэмпирических уравнениях, описывающих физико-химические свойства материальных потоков как функции технологических параметров процесса обезвоживания нефти [15].

Второй закон Ньютона для оседающей (всплывающей) частицы, находящейся в жидкой среде в поле силы тяжести, выглядит следующим образом:

$$F_c + F_T - F_a = 0, \quad (2.4.3)$$

где  $F_c$  – сила сопротивления среды;

$F_T$  – сила тяжести;

$F_a$  – сила Архимеда.

Из чего следует:

$$F_c = \Delta F, \quad (2.4.4)$$

где  $\Delta F$  – разность силы тяжести и силы Архимеда.

В поле тяжести на оседающую (всплывающую) частицу действуют разность силы тяжести и подъемной силы Архимеда:

$$\Delta F = \frac{\pi \cdot d^3 \cdot g \cdot (\rho_\phi - \rho_c)}{6}, \quad (2.4.5)$$

где  $\rho_\phi$  – плотность дисперсной фазы;

$\rho_c$  – плотность дисперсной среды;

$d$  – диаметр частицы;

$g$  – ускорение свободного падения.

Сила сопротивления сплошной среды:

$$F_c = \xi \frac{\pi \cdot d^2 \cdot \rho_c \cdot \omega_{oc}^2}{8}, \quad (2.4.6)$$

где  $\xi$  – коэффициент гидравлического сопротивления сплошной среды движению в ней одиночной частицы;

$\omega_{oc}$  – скорость движения одиночной частицы относительно среды;

$\rho_c$  – плотность дисперсной среды

Подставляя выражения (2.4.5), (2.4.6) в уравнение (2.4.4), получаем следующее равенство:

$$\frac{\pi \cdot d^3 \cdot g \cdot (\rho_\phi - \rho_c)}{6} = \xi \frac{\pi \cdot d^2 \cdot \rho_c \cdot \omega_{oc}^2}{8}, \quad (2.4.7)$$

Перемножая правую и левую часть равенства (2.4.7) на выражение  $\frac{2}{\pi \cdot d^2}$ , получаем:

$$\frac{d \cdot g \cdot (\rho_\phi - \rho_c)}{3} = \xi \frac{\rho_c \cdot \omega_{oc}^2}{4}, \quad (2.4.8)$$

Таким образом, выражение для скорости осаждения имеет вид:

$$\omega_{oc} = \sqrt{\frac{4 \cdot d \cdot g \cdot (\rho_\phi - \rho_c)}{3 \cdot \xi \cdot \rho_c}}, \quad (2.4.9)$$

Для ламинарного осаждения скорость осаждения определяется законом Стокса [16]:

$$\omega_{oc} = \frac{d^2 \cdot g \cdot (\rho_\phi - \rho_c)}{18 \cdot \mu_c}, \quad (2.4.10)$$

где  $\mu_c$  – динамическая вязкость дисперсной среды.

Критериальное уравнение процесса осаждения получается следующим образом. Представим уравнение (2.4.8) в следующем виде:

$$d \cdot g \cdot (\rho_\phi - \rho_c) = \frac{3}{4} \cdot \xi \cdot \rho_c \cdot \omega_{oc}^2. \quad (2.4.11)$$

Перемножая правую и левую часть выражения (2.4.11) на  $\frac{d^2 \cdot \rho_c}{\mu_c^2}$ , получаем следующее равенство:

$$\frac{d^3 \cdot g \cdot (\rho_\phi - \rho_c) \cdot \rho_c}{\mu_c^2} = \frac{3}{4} \cdot \xi \cdot \frac{d^2 \cdot \rho_c^2 \cdot \omega_{oc}^2}{\mu_c^2}. \quad (2.4.12)$$

Полученное равенство эквивалентно следующему выражению:

$$Ar = \frac{3}{4} \cdot \xi \cdot Re^2, \quad (2.4.13)$$

где  $Ar$  – критерий Архимеда, характеризующий отношение разности сил тяжести и подъемной к подъемной силе:

$$Ar = \frac{d^3 \cdot g \cdot (\rho_{\phi} - \rho_c) \cdot \rho_c}{\mu_c^2}, \quad (2.4.14)$$

$Re$  – критерий Рейнольдса, равный следующему выражению:

$$Re = \frac{d \cdot \rho_c \cdot \omega_{oc}}{\mu_c}. \quad (2.4.15)$$

По найденному критерию Рейнольдса находят скорость осаждения дисперсной фазы.

### **3 Разработка структурной схемы**

Проектирование автоматизированной системы выполнено по принципу трехуровневой иерархии – предусмотрен полевой, средний и верхний уровень. Структурная схема системы приведена на ФЮРА.425280.001.ЭС.03.

На полевом уровне располагаются местные показывающие приборы и первичные СИ, исполнительные механизмы и устройства местного управления.

Средний уровень предусматривает сбор и первичную обработку информации с устройств полевого уровня, контроль обозначенных параметров, передачу (прием) данных на средний уровень (со среднего уровня). На основе информации, поступившей на средний уровень, формируются команды управления (автоматически или оператором).

На верхнем уровне происходит сосредоточение, обработка и упорядочивание (формирование базы данных) информации с нижних уровней. Также предусматривается индикация необходимых параметров, регистрация и хранение информации. Здесь происходит формирование отчетной документации и осуществление управления технологическими режимами системы.

АРМ предназначено для отображения необходимого объема информации в удобном для восприятия виде и приема команд управления от оператора. С помощью серверной части выполняется хранение и обработка информации, а также обмен ею.

#### **4 Разработка функциональной схемы автоматизации**

Функциональная схема автоматизации (ФСА) – это технический документ, входящий в основной комплект рабочих чертежей, проектируемой системы автоматизации, согласно ГОСТ 21.408 – 2013. ФСА создается с целью отображения основных технических решений. Объект управления рассматривается как комплекс оборудования (основного и вспомогательного) со встроенными в него органами.

ФСА может быть выполнена упрощенным или развернутым способами. Отличие развернутого в том, что на схеме изображаются места расположения и состав средств автоматизации. Приборы и средства автоматизации изображаются в виде условных графических изображений, согласно ГОСТ 21.208-2013.

На ФСА изображают технологическое оборудование и связующие элементы АС, средства автоматизации в объемах, предусмотренных РД 39-0137095-001-86 и ПБ 08-624-03, которые позволяют управлять основными технологическими процессами, регулировать наиболее важные параметры установок, измерять, регистрировать и сигнализировать предупредительные и аварийные значения параметров, определяющих взрывопожароопасность техпроцесса по давлению, температуре, уровню, загазованности и т.п., а также, в необходимых случаях, блокировать (отключать) технологическое оборудование (резервуары, насосы и т.п.) по аварийным значениям параметров, чтобы исключить опасное развитие техпроцесса.

Средства автоматизации обеспечивают следующие основные функции:

- автоматическое регулирование технологического процесса;
- защиту основных и вспомогательных агрегатов и систем;
- дистанционный контроль и регистрацию текущих значений основных технологических параметров и состояния технологического оборудования.

Функциональная схема автоматизации работы сепаратора приведена на ФЮРА.425280.001.ЭС.01.



## 5 Разработка информационного обеспечения

В разработку информационного обеспечения входит разработка схемы информационных потоков. При этом, в первую очередь, необходимо учитывать, что всего есть три уровня сбора и хранения информации. Схема информационных потоков представлена на ФЮРА.425280.001.ЭС.05.

Согласно ТО каждый элемент контроля и управления должен иметь свой идентификатор (ТЕГ), структура которого должна иметь форму: AAA\_BBB\_CCCC, где

1. AAA – параметр, состоящий из 3-х символов, принимающий значения:

TEM (Temperature) – температура;

PRS (Pressure) – давление;

LVL (Level) – уровень;

DEN (Density) – плотность.

2. BBB – код технологического аппарата (или объекта), содержащий 3 символа:

SEP (Separator) – основная ёмкость сепаратора;

MIX (Mixer) – смеситель;

SMP (Sump) – отстойник;

TN2 (Tank 2) – ёмкость 2;

TN3 (Tank 3) – ёмкость 3.

3. CCCC - уточнение:

RNG (Range) – в рамках рабочего диапазона;

HL (high limit) – верхнее предельное значение;

LL (low limit) – нижнее предельное значение.

Перечень идентификаторов сигналов приведен в таблице 5.1

Таблица 5.1 – Перечень идентификаторов сигналов

Идентификатор	Назначение идентификатора
TEM_SEP_RNG1	Температура в основной емкости сепаратора
PRS_SEP_RNG2	Давление в основной емкости сепаратора
LVL_SEP_RNG3	Уровень раздела фаз (нефть-эмульсия) в основной емкости сепаратора
LVL_SEP_RNG4	Уровень раздела фаз (эмульсия-вода) в основной емкости сепаратора
LVL_SEP_RNG5	Уровень жидкости в основной емкости сепаратора
LVL_SEP_RNG6	Уровень нефти в основной емкости сепаратора (за перегородкой)
TEM_MIX_RNG7	Температура в смесителе
PRS_MIX_RNG8	Давление в смесителе
LVL_MIX_RNG9	Уровень жидкости в смесителе
LVL_SMP_RNG10	Уровень раздела фаз (нефть-эмульсия) в отстойнике
LVL_SMP_RNG11	Уровень раздела фаз (эмульсия-вода) в отстойнике
LVL_SMP_RNG12	Уровень жидкости в отстойнике
LVL_TN2_RNG13	Уровень жидкости в емкости E2
LVL_TN3_RNG14	Уровень жидкости в емкости E3

## 6 Комплекс аппаратно-технических средств

### 6.1 Выбор датчиков уровня

В проектируемой системе используются датчики уровня раздела фаз и датчики уровня жидкости с непрерывным аналоговым сигналом.

При выборе датчика раздела фаз были рассмотрены датчики, способные измерять одновременно несколько уровней: Овен ПДУ, ДУУ2М и АТ100 (рисунки 6.1.1-6.1.3).



Рисунок – 6.1.1 датчик уровня АТ100



Рисунок 6.1.2 – датчик уровня Овен ПДУ 1.3



Рисунок 6.1.3 – датчик уровня ДУУ2М

Сравнение параметров приведено в таблице 6.1.1.

Таблица 6.1.1 – Сравнение характеристик датчиков уровня раздела фаз

Датчик	Овен – ПДУ 1.3	ДУУ2М	АТ100
Диапазон измерения, м	до 3	до 4	До 22,3
Количество одновременно измеряемых уровней	до 3	2	2
Базовая погрешность, %	± 0,01	±0,01	±0,01
Выходные сигналы	(4 – 20) мА	(4 – 20) мА	Modbus RTU, RS485
Напряжение питания, В	(12 – 36)	12	(13,5 – 36)
Температура рабочей среды, °С	от минус 40 до 105	от минус 45 до 65	от минус 196 до 427
Давление рабочей среды, МПа	до 1,6	до 2	до 207
Степень защиты	IP168	IP168	IP168
Цена, руб.	3 720	от 66 600	от 26 000

Наиболее подходящим является датчик Овен ПДУ, так как он способен измерять одновременно 3 уровня (границы раздела вода-эмульсия, эмульсия-нефть и общий уровень жидкости), что необходимо для основной емкости сепаратора и отстойника. Также он отвечает всем требованиям (рабочая температура и давления, степень защиты) и обладает наиболее низкой ценой.

Овен ПДУ является датчиком поплавкового типа. Поплавок, внутри которого находится постоянный магнит, передвигается по вертикальному штоку, внутри которого находится геркон. При достижении поплавком геркона, контакт под действием магнитного поля замыкается (рисунок 6.1.4) [11].

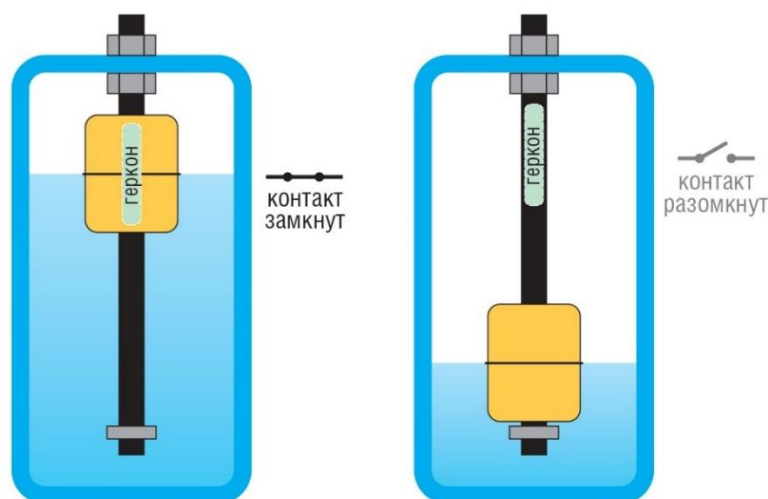


Рисунок 6.1.4 – Принцип работы поплавкового датчика уровня.

Поплавок для измерения верхнего уровня рассчитывается таким образом, чтобы он всегда находился на поверхности нефти. Второй поплавок игнорирует верхнюю жидкость и находится на границе раздела сред нефть-эмульсия, а третий – на границе раздела сред эмульсия – вода.

Помимо отслеживания границ раздела фаз и уровня жидкости в сепараторе и отстойнике необходимо контролировать уровень жидкости в смесителе, а также в емкостях для нефти и воды. Для этого были рассмотрены следующие датчики с аналоговым сигналом (для измерения в пределах диапазона): ИСУ100МИ, ОВЕН ПДУ, ТИТАН-270У-02 (рисунки 6.1.5-6.1.7). Сравнение технико-экономических характеристик данных датчиков приведено в таблице 6.1.2.



Рисунок 6.1.5 – датчик уровня ИСУ100МИ



Рисунок 6.1.6 – датчик уровня Овен ПДУ 2.1



Рисунок 6.1.7 – датчик уровня Титан-270У-02

Таблица 6.1.2 – Сравнение характеристик датчиков уровня

Датчик	ИСУ100МИ	Овен ПДУ 2.1	Титан-270У-02
Диапазон измерения, м	(0,25 – 2,5)	(0,1 – 3)	(0,15 – 2)
Базовая погрешность, %	± 0,5	± 0,1	± 0,15
Выходные сигналы	(4 – 20) мА, (0 – 10) В	(4 – 20) мА	RS485, (4 – 20) мА
Напряжение питания, В	(21 – 27)	(12 – 36)	(18 – 36)
Температура рабочей среды, °С	от минус 30 до 120	от минус 40 до 105	от минус 30 до 70
Давление рабочей среды, МПа	До 1,6	До 2	До 0,1
Степень защиты	IP54	IP68	IP67
Цена, руб.	(8 280 – 14520)	От 1 740	3 000

Исходя из анализа технико-экономических характеристики, в качестве датчика уровня для смесителя был выбран ОВЕН ПДУ в модификации 2.1.400

(цилиндрический поплавок, длина штока – 400мм). Данный датчик удовлетворяет всем рабочим условиям, а также обладает самой низкой ценой.

## 6.2 Выбор датчиков температуры

При подготовке эмульсии в смесителе и разделении в сепараторе необходимо контролировать температуру. Для этих целей были рассмотрены три варианта датчиков температуры: Метран 274, WIKA TR10-C и TC5008ex (рисунки 6.2.1-6.2.3). Сравнение характеристик датчиков приведено в таблице 6.2.1.



Рисунок 6.2.1 – датчик температуры Метран 274



Рисунок 6.2.2 – датчик температуры WIKA TR10



Рисунок 6.2.3 – датчик температуры TC5008ex

Таблица 6.2.1 – Сравнение характеристик датчиков температуры

Датчик	Метран 274	WKA TR10	TC5008ex
Диапазон измерения, °С	от минус 50 до 180	от минус 200 до 600	от минус 50 до 400
Предел допустимой погрешности	± 0,25 %	± 0,1 °С	± 0,5 %
Выходные сигналы	(4 – 20) мА	(4 – 20) мА	(4 – 20) мА, (0 – 5) В
Напряжение питания, В	(18 – 42)	(9 – 28)	(17– 42)
Степень пылевлагозащиты	IP65	IP68	IP65
Время обновления показаний, с	0,5	0,5	0,5
Цена, руб	7575	8550	7690

Исходя из данных приведенных в таблице, выбор остановим на датчике Метран 274, так как он имеет самую привлекательную цену и удовлетворяет требованиям рабочих режимов стенда.

Данный датчик – это термометр сопротивления, то есть изменяет электрическое сопротивление чувствительного элемента в зависимости от температуры.

### 6.3 Выбор датчиков давления

В качестве датчиков давления было решено использовать датчики избыточного давления. Давление контролируется в процессе подготовки эмульсии, а также в основной емкости сепаратора.

Было рассмотрено три варианта датчиков избыточного давления: Овен ПД100, Корунд-ДИ-001М, DMP 330L (рисунки 6.3.1-6.3.3). Сравнение характеристик датчиков приведено в таблице 6.3.1.





Рисунок 6.3.1 – датчик давления Овен ПД100



Рисунок 6.3.2 – датчик давления Корунд-ДИ-001М



Рисунок 6.3.3 – датчик давления DMP 330L

Таблица 6.3.1 – Сравнение характеристик датчиков избыточного давления

Датчик	Овен ПД100	Корунд-ДИ-001М	DMP 330L
Диапазон измерения, МПа	(0,2 – 10)	(0,001 – 25)	(0 – 16)

Продолжение таблицы 6.3.1 – Сравнение характеристик датчиков избыточного давления

Датчик	Овен ПД100	Корунд-ДИ-001М	DMP 330L
Допустимая погрешность, %	$\pm 0,25$	$\pm 0,25$	$\pm 0,5$
Выходные сигналы	(4 – 20) мА	(4 – 20) мА, (0 – 5) В	(4 – 20) мА, (0 – 10) В
Напряжение питания, В	(12 – 36)	(9 – 36)	(2 – 36)
Температура рабочей среды, °С	от минус 50 до 80	от минус 40 до 125	от минус 20 до 125
Измеряемая среда	Пар, вода, газы, масло	Вода, воздух, бензин, масла	сжатый воздух, неагрессивные газы, вода, бензин
Цена, руб	11340	3500	9580

После рассмотрения характеристик, был выбран датчик Корунд-ДИ-001М, так как его характеристики соответствуют требованиям и при этом его стоимость является наименьшей.

Датчик КОРУНД-ДИ-001М-553 содержит первичный измерительный преобразователь давления и электронный нормирующий преобразователь. Работа датчика основана на преобразовании измеряемого давления в электрический сигнал с помощью чувствительного элемента (проявлении тензоэффекта в кремниевом чувствительном элементе, расположенном на упругой мембране, деформирующейся под действием измеряемого давления); усилении этого сигнала в электронном блоке и преобразовании в форму, удобную для дистанционной передачи в виде унифицированного сигнала постоянного тока, напряжения или в цифровой сигнал. Через электрический соединитель сигнал передается на вторичную аппаратуру [12].

## 6.4 Выбор датчиков плотности

В системе предусмотрен контроль плотности эмульсии, получаемой в смесителе. Было рассмотрено три датчика плотности: Micro Motion FDM, ДП.7, Геозонд-20-ДД-2231-01Н (рисунки 6.4.1-6.4.3). Сравнение характеристик датчиков приведено в таблице 6.4.1.



Рисунок 6.4.1 – Датчик плотности Micro Motion FDM



Рисунок 6.4.2 – Датчик плотности ДП.7



Рисунок 6.4.3 – Датчик плотности Геозонд-20-ДД-2231-01Н

Таблица 6.4.1 – Сравнение характеристик датчиков плотности

Датчик	Micro Motion FDM	ДП.7	Геозонд-20-ДД-2231-01Н
Диапазон измерения, г/см <sup>3</sup>	(0 – 3)	(0,001 – 25)	(0 – 2,25)
Допустимая погрешность, %	± 0,001	± 0,25	± 0,6
Выходные сигналы	(4 – 20) мА	(4 – 20) мА, (0 – 5) В	(4 – 20) мА, (0 – 10) В
Напряжение питания, В	(20 – 28)	(5 – 12)	(16 – 24)
Температура рабочей среды, °С	от минус 50 до 200	от минус 40 до 125	от плюс 4 до 55
Давление рабочей среды, Мпа	20,7	-	-
Цена, руб	58 609	25 680	79 990

По итогам анализа характеристик был выбран датчик уровня ДП.7, так как он имеет наибольший диапазон измерения и наименьшую цену.

## 6.5 Выбор компрессора

Компрессор необходим для подачи сжатого воздуха в емкость смесителя в процессе приготовления эмульсии. Это необходимо для имитации наличия третьей фазы эмульсии – газа. Было принято решение использовать поршневой безмасляный компрессор с ресивером, так как такой вид компрессоров наиболее бюджетный и не требует контроля уровня масла, а наличие ресивера необходимо для выравнивания давления воздуха, что позволит избежать пульсации. Было рассмотрено три варианта безмасляных компрессоров с ресивером: Ударник УКБ 200/24, ELITECH КПМ 200/24,

КРАТОН АС-140-8-OFS (рисунки 6.5.1-6.5.3). Сравнение характеристик компрессоров приведено в таблице 6.5.1.



Рисунок 6.5.1 – Компрессор Ударник УКБ 200/24



Рисунок 6.5.2 – Компрессор ELITECH КПМ 200/24



Рисунок 6.5.3 – Компрессор +КРАТОН АС-140-8-OFS

Таблица 6.5.1 – Сравнение характеристик компрессоров

Компрессор	Ударник УКБ 200/24	ELITECH КПИМ 200/24	КРАТОН АС- 140-8-OFS
Вес, кг	25	25	15
Максимальное давление, МПа	0,8	0,8	0,8
Максимальная производительность, л/мин	180	220	140
Мощность, Вт	1100	1500	750
Объем ресивера, л	24	24	8
Напряжение питания, В	220	220	220
Уровень шума, дБ(А)	92	92	65
Цена, руб	5 590	5 090	6 969

По итогам анализа характеристик был выбран компрессор КРАТОН АС-140-8-OFS, так как он обладает наименьшим весом и уровнем шума.

## 6.6 Выбор мешалки

В качестве инструмента для приготовления эмульсии было решено использовать пропеллерную мешалку с верхним приводом. Как правило, такие мешалки можно приобрести в комплекте, состоящем из привода, штатива и насадки. Было рассмотрено три варианта мешалок такого типа: OS20-Pro, US-2200D ULAB, OS-20 LT (рисунки 6.6.1-6.6.3). Сравнение характеристик мешалок приведено в таблице 6.6.1.



Рисунок 6.6.1 – Мешалка OS20-Pro



Рисунок 6.6.2 – Мешалка STEGLER MV-6



Рисунок 6.6.3 – Мешалка OS-20 LT

Таблица 6.6.1 – Сравнение характеристик мешалок

Мешалка	OS20-Pro	STEGLER MV-6	OS-20 LT
Скорость, об/мин	(50 – 2200)	(50 – 2200)	(50 – 2200)
Максимальный объем жидкости, л	20	20	20
Мощность, Вт	70	70	70
Напряжение питания, В	220	220	220
Интерфейс	RS232	RS232	RS232
Дисплей	ж/к	LED	ж/к
Цена, руб	37 542	57 000	43 000

Как можно заметить, все рассмотренные мешалки обладают примерно одинаковыми параметрами, однако наименьшей ценой обладает OS20-Pro, на ней и остановим свой выбор.

## 6.7 Выбор нагревателя

Нагреватель предназначен для подогрева эмульсии в процессе её приготовления. Температура влияет на вязкость жидкостей, а значит и на интенсивность процесса диспергирования.

Для выбора нагревателя прежде всего необходимо рассчитать необходимую мощность, от которой будет зависеть время нагревания эмульсии. Стенд предназначен для экспериментов, а это значит, что пропорции воды и нефти, длительность смешивания эмульсии и температура нагревания жидкости будут меняться в ходе исследований, поэтому сделаем приблизительный расчет исходя из средних параметров. Мощность нагревателя рассчитывается по следующей формуле:

$$P = \frac{0.0011 \cdot V \cdot (t_k - t_n)}{T}, \quad (6.7.1)$$

где  $P$  – мощность нагревателя, кВт;

$V$  – объем воды, л;

$t_k$  – конечная температура воды, °С;

$t_n$  – начальная температура воды, °С;

$T$  – время нагревания воды, ч [13].

Осуществим расчет нагревателя с условием, что 15 литров воды комнатной температуры 20 °С должны нагреваться до 100 °С за 15 минут:

$$P = \frac{0.0011 \cdot 15 \cdot (100 - 20)}{0,25} = 5,28 \text{ кВт}. \quad (6.7.2)$$

Было рассмотрена три варианта нагревателей с мощностью, близкой к расчетной: ТЭН Polaris 01-09-01-5500, ТЭН 01.507, ТЭН 08.601 (рисунки 6.7.1-6.7.3). Сравнение характеристик нагревателей приведено в таблице 6.7.1.





Рисунок 6.7.1 – Нагреватель ТЭН Polaris 01-09-01-5500



Рисунок 6.7.2 – Нагреватель ТЭН 01.507



Рисунок 6.7.3 – Нагреватель ТЭН 08.601

Таблица 6.7.1 – Сравнение характеристик нагревателей

Нагреватель	ТЭН Polaris 01-09-01-5500	ТЭН 01.507	ТЭН 08.601
Мощность, Вт	5500	5000	6000
Длина нагревательного элемента, мм	130	230	330
Материал изготовления	Медь	Черный металл	Нержавеющая сталь
Напряжение питания, В	230	220	380
Диаметр трубки	13	13	13
Диаметр резьбы штуцера, мм	-	21 мм (G ½)	21 мм (G ½)
Цена, руб	818	440	940

После анализа характеристик в качестве нагревателя был выбран ТЭН Polaris 01-09-01-5500 так как его мощность наиболее близка к расчетной и остальные характеристики удовлетворяют требованиям.

## 6.8 Выбор насосов

В процессе работы стенда периодически происходит перекачивание жидкости из одной емкости в другую, для этого необходимо обеспечить установку насосами. Было рассмотрено три варианта электронасосов: ROVER POMPE NOVAX, Flojet R4300-142A, Singflo FP-12 (рисунки 6.8.1-6.8.3). Сравнение характеристик насосов приведено в таблице 6.8.1.



Рисунок 6.8.1 – Насос ROVER POMPE NOVAX



Рисунок 6.8.2 – Насос Flojet R4300-142A



Рисунок 6.8.3 – Насос Singflo FP-12

Таблица 6.8.1 – Сравнение характеристик насосов

Насос	ROVER POMPE NOVAX	Flojet R4300- 142A	Singflo FP-12
Перекачиваемая жидкость	Нефтепродукты, жидкие масла	Вода	Масла, вода
Напряжение питания, В	220	12	12
Производительность, л/мин	28	14	12
Температура рабочей среды, °С	от 0 до 90	от плюс 4 до 54	от минус 10 до 60
Подъем жидкости, м	7	2,4	3
Реверс	+	-	+
Вес, кг	7	2	2,48
Цена, руб	14 924	15 990	8 990

Из рассмотренных насосов был выбран Singflo FP-12, так как он подходит для перекачки и масла и воды, а также обладает наименьшей ценой.

## 6.9 Выбор клапанов

В качестве запорной арматуры было решено использовать двухпозиционные линейные электромагнитные клапаны. С помощью таких клапанов возможно дистанционное управление открытием и закрытием потока жидкости. Было рассмотрено три варианта электромагнитных клапанов: T-GH 102 Ду 10, SMART SF6232, СК-12-15 ВД (рисунки 6.9.1-6.9.3). Сравнение характеристик клапанов приведено в таблице 6.9.1



Рисунок 6.9.1 – Клапан T-GH 102 Ду 10



Рисунок 6.9.2 – Клапан SMART SF6232



Рисунок 6.9.3 – Клапан СК-12-15 ВД

Таблица 6.9.1 – Сравнение характеристик клапанов

Клапан	T-GH 102 Ду 10	SMART SF6232	СК-12-15 ВД
Тип	Нормально- закрытый	Нормально- закрытый	Нормально- закрытый
Напряжение питания, В	220	12	24

Продолжение таблицы 6.9.1 – Сравнение характеристик клапанов

Клапан	T-GH 102 Ду 10	SMART SF6232	СК-12-15 ВД
Температура рабочей среды, °С	от 0 до 160	от 0 до 65	от минус 5 до 120
Рабочая среда	Нейтральные жидкости и газы	Нейтральные жидкости и газы	Вода, масло, сжатый воздух и т.д.
Время срабатывания, мс	100	-	(100 – 300)
Цена, руб	4 600	2 271	2 015

По результатам сравнения, был выбран клапан СК-12-15 ВД, так как он удовлетворяет всем требованиям и обладает наименьшей ценой.

### 6.10 Выбор генератора сигналов

Генератор сигналов необходим для подачи напряжения определенной частоты на пьезоэлемент. При выборе генератора ориентирами служили наличие интерфейса для подключения к ПК и возможность дистанционного управления, а также диапазон частот. Было рассмотрено три варианта генераторов: Atten ATF20B, Rigol DG821, АКИП-3409/2 (рисунки 6.10.1-6.10.3). Сравнение характеристик генераторов приведено в таблице 6.10.1.



Рисунок 6.10.1 – Генератор Atten ATF20B



Рисунок 6.10.2 – Генератор Rigol DG821



Рисунок 6.10.3 – Генератор АКПП-3409/2

Таблица 6.10.1 – Сравнение характеристик генераторов

Генератор	Atten ATF20B	Rigol DG821	АКПП-3409/2
Количество форм сигналов	32	До 160	5
Максимальная частота выходного сигнала, МГц	20	25	10
Погрешность установки частоты	$\pm 0,002\% + 40$ мГц	$\pm 0,0001\% + 10$ пГц	$\pm 0,01\%$
Частота дискретизации, МГц	До 125	До 125	До 125
Напряжение питания, В	220	220	220
Потребляемая мощность, Вт	27	30	-
Интерфейс	USB, RS-232	USB Host/Device, RS-232	USB, GPIB
Цена, руб	20 305	28 428	30 375

В результате анализа технико-экономических характеристик генераторов сигналов, был выбран Atten ATF20B, так как он отвечает всем требованиям и обладает наименьшей ценой.

## 6.10 Выбор контроллера

Контроллер необходим для сбора и обработки сигналов с датчиков и формирования команд для управления исполнительными. Контроллер должен иметь модульную структуру и возможность расширения. Было рассмотрено три варианта контроллеров: Modicon Premium, Овен ПЛК-160, SIMATIC s7-1200 (рисунки 6.10.1-6.10.3). Сравнение характеристик контроллеров приведено в таблице 6.10.1



Рисунок 6.10.1 – Контроллер Modicon Premium



Рисунок 6.10.2 – Контроллер Овен ПЛК 160



Рисунок 6.10.3 – Контроллер SIMATIC s7-1200

Таблица 6.10.1 – Сравнение характеристик контроллеров

Контроллер	Modicon Premium	Овен ПЛК-160	SIMATIC s7-1200
Память	256 Мб	8 Мб	- загружаемая 2Мб - расширяемая картой – 24Мб

Продолжение таблицы 6.10.1 – Сравнение характеристик контроллеров

Контроллер	Modicon Premium	Овен ПЛК-160	SIMATIC s7-1200
Время цикла, мс	1	1	5
Количество аналоговых входов	-	8	-
Количество аналоговых выходов	-	4	-
Количество дискретных входов	-	16	-
Количество дискретных выходов	-	12	-
Типы интерфейсов	RS-485, RS-485, Ethernet, Profibus	RS-485, Ethernet	1xPROFINET, RJ45
Напряжение питания, В	24	(22 – 28)	24
Потребляемая мощность, Вт	3	40	12
Температура окружающей среды, °С	от 0 до 70	от минус 10 до 55	от 0 до 55
Степень защиты	IP67	IP20	IP20
Цена, руб	89 802	33 480	28 783

В ходе анализа характеристик наиболее подходящим оказался контроллер ОВЕН-160, так как он имеет встроенный модуль ввода-вывода, меньшее время цикла, чем SIMATIC s7-1200 и меньшую цену, чем Modicon Premium.

Так как встроенного количества каналов входа/выхода недостаточно, дополнительно были выбраны модуль ввода-вывода аналогового ввода с



универсальными входами (Ethernet) MB210 и дискретного ввода/вывода (Ethernet) MK210. Характеристики модулей представлены в таблице 6.10.2.

Таблица 6.10.2 – Сравнение характеристик контроллеров

Модуль	MB210	MK210
Количество аналоговых входов	-	8
Количество аналоговых выходов	-	-
Количество дискретных входов	6	-
Количество дискретных выходов	8	-
Интерфейс конфигурирования	USB 2.0, Ethernet	USB 2.0, Ethernet
Напряжение питания, В	(10 – 48)	(10 – 48)
Потребляемая мощность, Вт	4	6
Температура окружающей среды, °С	от минус 40 до 55	от минус 40 до 55
Степень защиты	IP20	IP20
Цена, руб	8 910	7 860

## 7 Разработка схемы внешних проводок

Схема внешних электрических проводок приведена на ФЮРА.425280.001.ЭС.04. Система включает в себя следующие приборы:

- датчики температуры Метран 274;
- датчики давления Корунд-ДИ-001М;
- датчики уровня Овен ПДУ 2.1;
- трехуровневые датчики уровня раздела фаз Овен ПДУ 1.3;
- датчик плотности ДП.7.

Для передачи сигналов от перечисленных выше датчиков на щит контрольно-измерительных приборов и автоматики выбран кабель контрольный с токопроводящей медной жилой в ПВХ оболочке с ПВХ изоляцией не горящий (КВВГ нг 4х2,5), где 4 – количество жил, а 2,5 – сечение жил.

Элементы конструкции кабеля (рисунок 7.1):

- медная однопроволочная токопроводящая жила круглой формы.
- изоляция из поливинилхлоридного пластика. Изолированные жилы кабелей скручены. В каждом из них имеется счетная пара. Изолированные жилы этой пары отличаются по цвету друг от друга и от остальных жил.
- оболочка из поливинилхлоридного пластика.

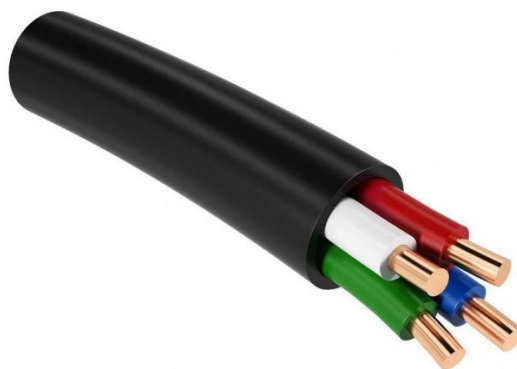


Рисунок 7.1 – Кабель КВВГ

Кабель КВВГ применяется для прокладки в каналах, туннелях в условиях агрессивной среды, в помещениях, при отсутствии механических воздействий на кабель [25].

Технические и эксплуатационные характеристики кабелей КВВГ представлены в таблице 7.1.

Таблица 7.1 – Характеристики кабеля КВВГ

Температура окружающей среды при эксплуатации	от минус 50 до 50°С
Срок службы	
– при прокладке в земле (траншеях) и на эстакадах	15 лет
– при прокладке в помещениях, каналах, туннелях	25 лет
Номинальная толщина изоляции жил	2,5 мм
Электрическое сопротивление изоляции жил КВВГ при температуре 20 °С сечением:	
– (0,75 – 1,55) мм <sup>2</sup>	Не менее 10 Мом * км
– (2,5 – 4) мм <sup>2</sup>	Не менее 9 Мом * км
– 6 мм <sup>2</sup>	Не менее 6 Мом * км
Допустимая температура нагрева жил КВВГ при эксплуатации	70 °С
Минимально допустимый радиус изгиба при прокладке (при температуре не ниже 0 °С):	
– с наружным диаметром до 10 мм включительно	3 диам. кабеля
– с наружным диаметром свыше 10 мм до 25 мм включительно	4 диам. кабеля

## **8 Разработка алгоритмов управления**

В проектируемом стенде реализовано 3 рабочих режима: статический, динамический, а также режим технического прогона для проверки работоспособности стенда и промывки емкостей.

Помимо режимов работы реализован контроль давления и температуры и уровня. Во время подготовки эмульсии, в неё вводится сжатый воздух для имитации газовой фазы, далее этот воздух выделяется из эмульсии в сепараторе, что непосредственно влияет на давление в емкостях. В случае превышения допустимых значений происходит аварийная сигнализация и отключение системы. Это же происходит при превышении температуры в смесителе и уровня в емкостях.

### **8.1 Алгоритм режима технического прогона**

Данный режим предназначен для проверки работоспособности оборудования, а также контроля наличия жидкости в емкостях.

Работа стенда начинается с приема данных со всех датчиков. Следующий шаг – проверка уровня жидкости в емкости отстойника E4. Если уровень жидкости в отстойнике не равен нулю, происходит проверка наличия слоя эмульсии. Если слой эмульсии отсутствует, то есть разница между уровнем эмульсии и уровнем воды равна нулю, то происходит перекачивание воды в емкость E3 до тех пор, пока уровень жидкости в емкости отстойника E4 не станет равным уровню нефти, а затем происходит перекачивание нефти в емкость E2 до тех пор, пока уровень жидкости в отстойнике E4 не станет равным нулю.

В случае отсутствия жидкости в отстойнике или наличия неразделившегося слоя эмульсии выводятся соответствующие сообщения и происходит переход к следующему шагу.

Далее происходит проверка уровня жидкости в емкости смесителя E5. Если уровень жидкости не равен нулю, она перекачивается в основную

емкость сепаратора E1. В случае отсутствия жидкости в емкости смесителя выводится соответствующее сообщение.

Затем происходит проверка уровня жидкости в емкости основного сепаратора E1. При её отсутствии выводится соответствующее сообщение. Если уровень жидкости в основной емкости сепаратора больше нуля, происходит проверка наличия слоя неразделившейся эмульсии. Если последний имеет место быть, то вся жидкость перекачивается в емкость отстойника E4. Если слой эмульсии отсутствует, то вода перекачивается в емкость E3, пока уровень жидкости в основной емкости сепаратора E1 не станет равным уровню нефти, а затем нефть перекачивается в емкость E2.

Результатом выполнения технического прогона является ряд сообщений, из которых делается вывод о состоянии эмульсии. В конце есть получаем 3 варианта распределения эмульсии:

- вся эмульсия находится в отстойнике,
- вся эмульсия разделилась и в виде воды и нефти находится в соответствующих емкостях,
- часть эмульсии находится в отстойнике, а часть в виде разделившихся фаз в емкостях для нефти и воды.

Дальнейшие действия определяются оператором в зависимости от конечного результата.

Блок-схема алгоритма работы стенда в режиме технического прогона представлена на ФЮРА.425280.001.ЭС.06, карта рабочего режима технического прогона, в которой представлено задействованное оборудование представлена в приложении Б.

## **8.2 Алгоритм статического режима работы**

В статическом режиме работы происходит процесс сепарации с полным заполнением, ожиданием разделения эмульсии и полным опустошением основной емкости сепаратора.

Первым шагом алгоритма является прием данных со всех датчиков. После этого происходит проверка наличия слоя жидкости в отстойнике E4. Если эмульсия в отстойнике разделилась полностью, то происходит сначала перекачивание воды в емкость E3, пока уровень жидкости в отстойнике не достигнет уровня нефти, а затем перекачивание нефти в емкость E2, пока уровень жидкости в отстойнике не станет равным нулю.

Если слой эмульсии присутствует, этот шаг пропускается и далее происходит проверка уровня нефти в емкости E2. Если уровень нефти меньше заданного, то выводится соответствующее сообщение и процесс заканчивается. Если нефти достаточно, то происходит аналогичная проверка уровня воды. В случае, когда уровень нефти и воды удовлетворяют заданным значениям, процесс переходит на стадию подготовки эмульсии.

Для подготовки эмульсии в емкость смесителя E5 перекачивается заданное количество нефти из емкости E2, а затем заданное количество воды из емкости E3, при этом основная емкость сепаратора заполняется до отметки 300мм – уровень, при котором жидкость не переливается за перегородку. Затем включается миксер С и нагреватель R, который работает до тех пор, пока температура в смесителе не достигнет заданного значения. Далее включается компрессор для подачи сжатого воздуха в эмульсию. После заданной временной задержки, компрессор и мешалка выключаются, и эмульсия перекачивается в основную емкость сепаратора E5.

При попадании в основную емкость сепаратора, эмульсия ударяется об отбойник, что способствует интенсификации процесса её разделения на фазы. Далее предусмотрена временная задержка для гравитационного разделения эмульсии.

После отстоя, отделившаяся вода перекачивается в емкость E3, далее происходит проверка наличия слоя эмульсии. Если он присутствует, то его перекачивают в емкость отстойника E5, если отсутствует, этот шаг пропускается, и отделившаяся нефть перекачивается в емкость E2. Выводятся соответствующие сообщения и на этом процесс завершается.

Блок-схема алгоритма работы стенда в статическом режиме представлена на схеме ФЮРА.425280.001.ЭС.07, карта рабочего режима, в которой представлено задействованное оборудование представлена в приложении Б.

### **8.3 Алгоритм динамического режима работы**

Данный режим работы стенда так же, как и статический режим, предназначен для имитации процесса разделения эмульсии, а также создания последней. Его отличие от статического заключается в перекачивании отделившейся воды, перелив отделившейся нефти через перегородку, а также долив эмульсии в процессе работы. Время работы при этом ограничивается заданным оператором объемом отделенной нефти или временем работы.

Так же, как и в статическом режиме происходит перекачивание отделившихся воды и нефти из отстойника, подготовка эмульсии и перекачивание её в основную емкость сепаратора Е5.

Далее алгоритм работы отличается. Происходит контроль уровня воды в основной емкости сепаратора и при превышении отметки в 50 мм происходит перекачивание воды в емкость Е3. Затем проверяется уровень отделившейся нефти и, если он будет больше нуля, происходит перекачивание эмульсии в емкость сепаратора, до тех пор, пока уровень нефти не станет равным нулю – таким образом осуществляется перелив нефти за перегородку – компенсируется объем воды, а также доливается объем разделившейся нефти.

При достижении уровня в 100мм за перегородкой нефть перекачивается в емкость Е2.

Блок-схема алгоритма регулирования уровня в динамическом режиме представлена на схеме ФЮРА.425280.001.ЭС.08, карта динамического режима работы, в которой представлено задействованное оборудование представлена в приложении Б.

## 9 Разработка имитационной модели работы стенда

Работа стенда в динамическом режиме осуществляется за счет поддержания заданных границ раздела фаз нефть-эмульсия, эмульсия-вода в основной камере сепаратора.

Граница нефть-вода поддерживается в диапазоне (270 – 299) мм, то есть при достижении уровня раздела фаз 270 миллиметров включается насос подачи эмульсии в сепаратор и нефть переливается через перегородку. Последняя, в свою очередь перекачивается в емкость сбора нефти Е1 при достижении уровня в 100 мм.

Процесс перекачки воды происходит при достижении границы раздела эмульсия-вода уровня в 50мм.

Моделирование выполнено в среде Simulink. Для формирования модели, необходимо определить передаточные функции звеньев, входящих в ее состав. Объектом управления является сепаратор, в котором осуществляется поддержание границ раздела фаз. Для наполнения сепаратора и для дальнейшей перекачки отделенной нефти и воды используются насосы, передаточная функция которых описывается апериодическим звеном первого порядка.

Время наполнения основной камеры сепаратора объемом 15 л (отметка 300 мм) насосом с производительностью 14 л/мин составляет 64 с.

Данным параметрам соответствует следующая передаточная функция:

$$W_n(s) = \frac{0.08}{s + 1} \quad (9.1)$$

Основная камера, камера сбора нефти сепаратора и емкости для сбора воды и нефти представляют собой интегратор  $\frac{1}{s}$ .

Входным значением является граница раздела фаз нефть-эмульсия  $h_1 = 300$  мм. Заполнение основной камеры сепаратора осуществляется до этой отметки и поддерживается на протяжении всего времени работы системы.



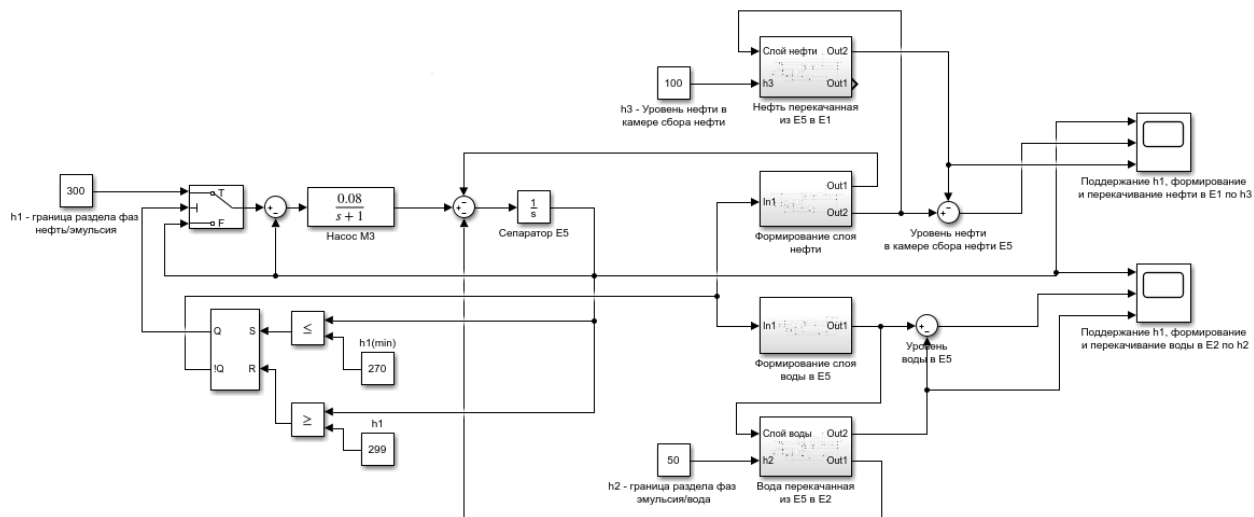


Рисунок 9.1 – Имитационная модель работы стенда, в динамическом режиме разработанная в Simulink

Полученный в ходе моделирования график поддержания границы раздела фаз  $h_1$ , а также формирования и перекачивания отделившейся воды из E5 в E2 представлен на рисунке 9.2.

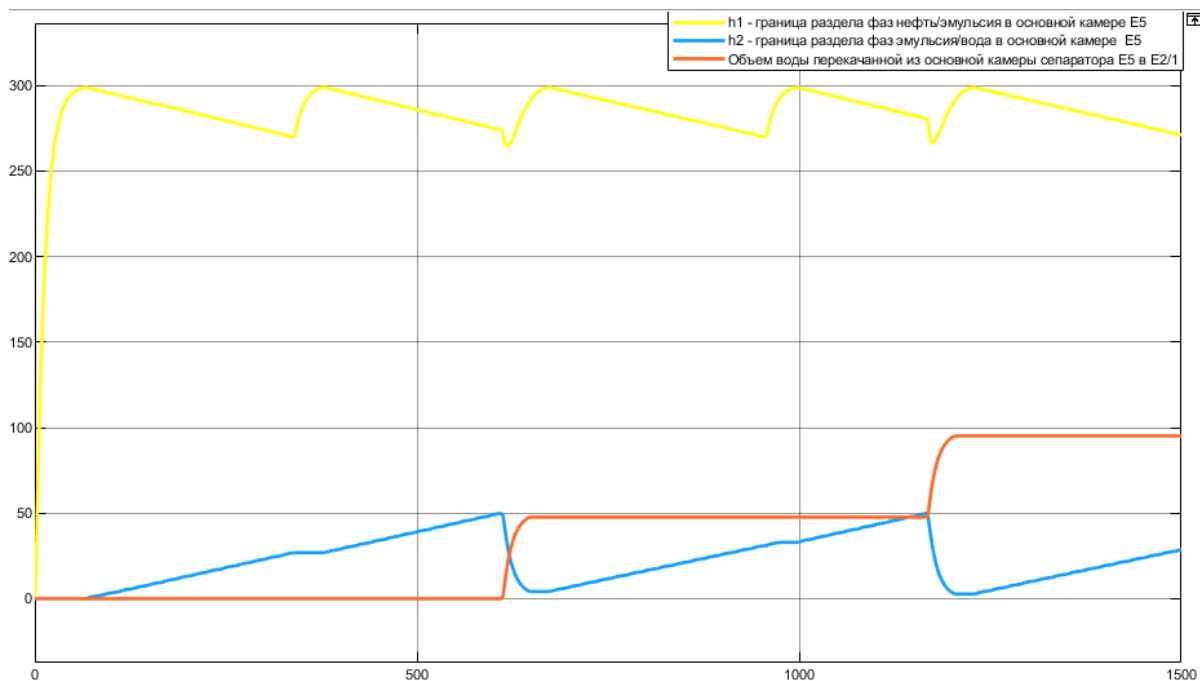


Рисунок 9.2 – Поддержание границы раздела фаз  $h_1$  и перекачивание отделившейся воды из E5 в E2

Процесс отделения нефти от эмульсии и перекачивание отделившейся нефти показано на рисунке 9.3.

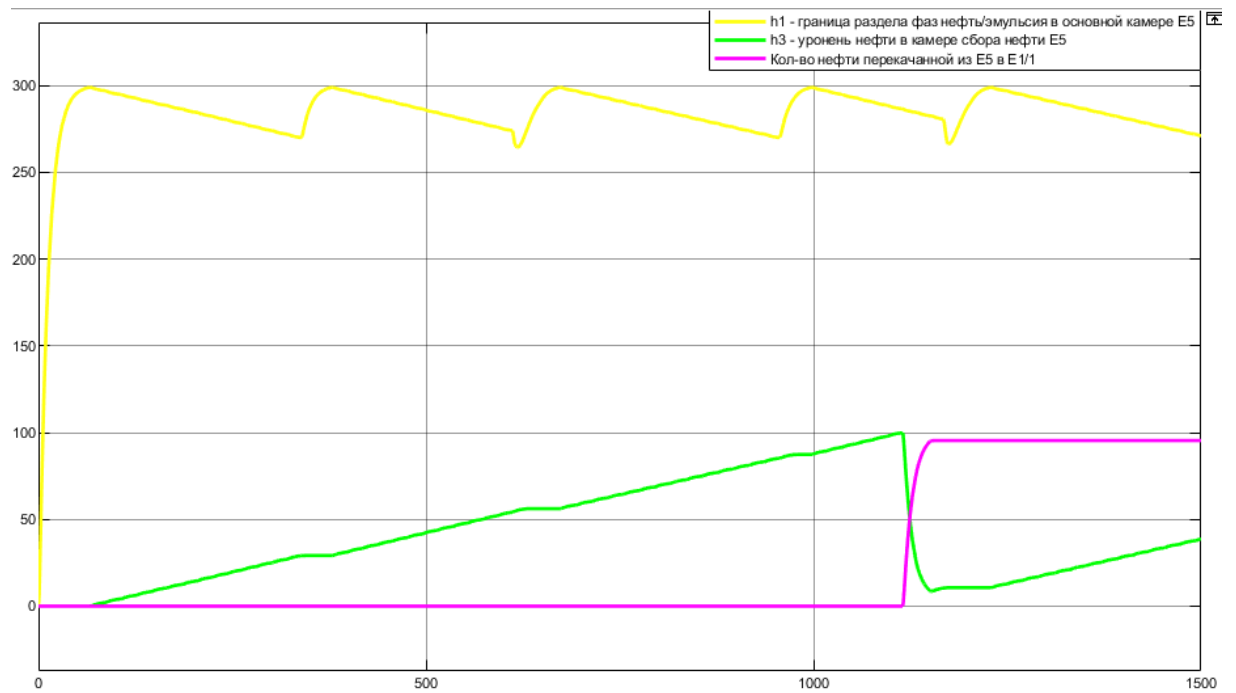


Рисунок 9.3 – Поддержание границы раздела фаз  $h_1$  и перекачивание отделившейся нефти из E5 в E1

Математические модели формирования слоев воды и нефти формировались опытно-эмпирическим путем, исходя из времени разделения и принятия допущения линейности процесса.

## **10 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение**

В разделе «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» представлено технико-экономическое обоснование разработки проекта. Целью разработки данного раздела является доказательства конкурентоспособности и ресурсоэффективности проектирования и реализации стенда физического подобию «Трёхфазный сепаратор скважинной жидкости», предназначенного для углубленного изучения процесса создания и разрушения водотопливной эмульсии, а также выявления способов интенсификации данных процессов.

### **10.1 Потенциальные потребители результатов исследования**

Потенциальными потребителями результатов исследования могут быть научно-исследовательские и образовательные учреждения, в которых происходит исследования в области нефтяной промышленности, а также организации, осуществляющие разработку и эксплуатацию оборудования для подготовки нефти.

Для анализа потребителей необходимо рассмотреть целевой рынок и провести его сегментирование. Сегментирование рынка производится по двум основным критериям: направлению деятельности и размерам организаций. Карта сегментирования приведена в таблице 10.1.1.

Таблица 10.1.1 – Карта сегментирования рынка

		Направление деятельности		
		Научные исследования	Проектирование оборудования	Образовательная деятельность
Размер	Мелкие			
	Средние			
	Крупные			

Таким образом, на основе анализа карты сегментирования, можно сделать вывод, что для реализации разработки подходят образовательные

учреждения, а также крупные организации, проводящие научные исследования и проектирование оборудования в сфере подготовки нефти, так как стенд необходим для исследований, которые подразумевают в дальнейшем обширную модернизацию оборудования и внедрение новых технологий.

## 10.2 Анализ конкурентных технических решений

Основными конкурентами среди производителей стендов физического подобию на российском рынке являются компании «Учтех-Профи» и «ProgramLab». Обе компании специализируются на производстве научно-исследовательских и учебных комплексов. Оценка конкурентоспособности технических решений представлена в таблице 10.2.1.

Таблица 10.2.1 – Сравнение конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Бф	Б <sub>к1</sub>	Б <sub>к2</sub>	Кф	К <sub>к2</sub>	К <sub>к2</sub>
<b>Технические критерии оценки ресурсоэффективности</b>							
Удобство в эксплуатации	0,06	5	4	4	0,3	0,24	0,24
Безопасность	0,06	4	4	5	0,24	0,24	0,3
Улучшение производительности	0,10	5	4	3	0,5	0,4	0,3
Надежность	0,04	4	5	5	0,16	0,2	0,2
Энергоэкономичность	0,02	4	4	4	0,08	0,08	0,08
Уровень автоматизации	0,06	5	4	3	0,3	0,24	0,18
Качество интеллектуального интерфейса	0,04	4	4	3	0,16	0,16	0,12
Возможность подключения системы к ПК	0,12	5	5	5	0,6	0,6	0,6

Продолжение таблицы 10.2.1 – Сравнение конкурентных технических решений

Экономические критерии оценки ресурсоэффективности							
Конкурентоспособность	0,12	5	4	4	0,6	0,48	0,48
Цена	0,12	5	4	5	0,6	0,48	0,6
Предполагаемый срок эксплуатации	0,10	5	5	5	0,5	0,5	0,5
Уровень проникновения на рынок	0,06	2	4	4	0,12	0,24	0,24
Срок выхода на рынок	0,04	3	5	4	0,12	0,2	0,16
Послепродажное обслуживание	0,06	4	4	4	0,24	0,24	0,24
Итого	1	61	59	58	4,52	4,3	4,24

Из полученных расчетов можно сделать вывод, что разработанный стенд не уступает конкурентам в технических критериях – превосходит в улучшении производительности и уровне автоматизации, а также составляет конкуренцию в экономических критериях, а именно в цене, но проигрывает в уровне проникновения и сроках выхода на рынок, однако техническое превосходство разработанного стенда позволит ускорить его внедрение на рынок.

### 10.3 SWOT – анализ

SWOT-анализ подразумевает выделение четырех аспектов, а именно Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы). Таким образом SWOT – это комплексный анализ всего научно-исследовательского проекта [17].

SWOT-анализ представлен в таблице 10.3.1.

Таблица 10.3.1 – SWOT-анализ внешней и внутренней среды производства

	<p>Сильные стороны:</p> <p>С1. Автоматизированный режим работы.</p> <p>С2. Наличие разных режимов работы.</p> <p>С3. Актуальность разработки.</p> <p>С4. Углубленное исследование технологического процесса.</p> <p>С5. Возможность использования стенда в учебных целях</p>	<p>Слабые стороны:</p> <p>Сл1. Отсутствие прототипа.</p> <p>Сл2. Медленный вывод на рынок разработанного стенда.</p> <p>Сл3. Большие габариты установки.</p> <p>Сл4. Наличие в составе системы компонентов импортного производства.</p> <p>Сл5. Возможность утечки нефтесодержащих жидкостей.</p>
<p>Возможности:</p> <p>В1. Исследование разных методов интенсификации разрушения эмульсии.</p> <p>В2. Разработка автоматического режима работы.</p> <p>В3. Модернизация промышленных нефтегазовых сепараторов по результатам исследований на стенде.</p> <p>В4. Использование результатов экспериментов для других проектов.</p> <p>В4. Публикация статей.</p> <p>В5. Договоры с различными фондами поддержки проектов НИ ОКР.</p>	<p>Благодаря актуальности разработки и выявлении уникальных данных, основанных на углубленном изучении процесса, проект может представлять интерес для крупных компаний нефтеперерабатывающей промышленности.</p> <p>Изучение технологического процесса даст возможность использования полученной информации для написания статей и привлечения интереса фондов поддержки проектов.</p>	<p>Большие габариты стенда и возможность утечки нефтесодержащих жидкостей могут создать трудности в процессе исследований, а также стать причиной отказа спонсирования разработки. Использование импортного оборудования может стать проблемой для внедрения разработки в отечественную промышленность.</p>

Продолжение таблицы 10.3.1 – SWOT-анализ внешней и внутренней среды производства

<p>Угрозы:          У1. Отсутствие спроса на стенд.          У2. Развивающаяся конкуренция на рынке.          У3. Малый объем рынка сбыта.          У4. Введение санкций на оборудование, используемое в стенде.</p>	<p>Актуальность разработки и отсутствие труднодоступного оборудования устранит отсутствие спроса на проект. Полученные из исследований технологического процесса данные позволят усовершенствовать стенд и выделить проект среди конкурентов, а также увеличить объем рынка сбыта. Использование стенда в учебных целях может увеличить рынок сбыта.</p>	<p>Отсутствие прототипа и медленный вывод на рынок разработанного стенда могут поспособствовать значительному отставанию от конкурентов. Конструктивные и технические недостатки могут быть весомой причиной отсутствия спроса на стенд.</p>
--	--	--

Разработанный SWOT-анализ позволил дать оценку внутренней и внешней среды проекта, выявить сильные и слабые стороны, а также определить дальнейшие пути развития. Для уменьшения угроз и борьбы со слабыми сторонами необходимо:

- для уменьшения влияния мировой экономической регрессии стремиться к замене импортных элементов системы на отечественные;
- совершенствовать степень безопасности стенда и разработать систему аварийной защиты;
- производить анализ деятельности конкурентов на рынке и действовать на опережение, расширяя функционал системы и повышая качество элементной базы.

## 10.4 Планирование научно-исследовательских работ

### 10.4.1 Структура работ в рамках научного исследования

Для реализации проекта необходимы два исполнителя – руководитель (Р) и инженер (И). Проектная работа делиться на этапы, каждый из которых

имеет своё содержание и исполнителей [17]. Этапы реализации проекта представлены в таблице 10.4.1.

Таблица 10.4.1 – Этапы реализации проекта

Основные этапы	№	Содержание работ	Исполнитель
Выбор направления исследования	1	Выбор направления научного исследования	Р, И
	2	Постановка основных целей и задач	Р
Разработка технического задания	3	Составление и утверждение технического задания	Р, И
Анализ предметной области	4	Обзор научно-технической литературы	И
	5	Календарное планирование работ	Р, И
Теоретические и экспериментальные исследования	6	Описание технологического процесса	И
	7	Разработка функциональной схемы автоматизации	И
	8	Разработка структурной схемы автоматизации	И
	9	Подбор оборудования	И
	10	Разработка алгоритмов работы	И
	11	Проведение теоретических расчетов	И
	12	Построение математической модели работы стана	И
Дополнительные разделы	13	Написание раздела «финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	И
	14	Написание раздела «социальная ответственность»	И
Проверка результатов	15	Проверка работы руководителем	Р
Оформление отчета	16	Составление пояснительной записки	И
	17	Подготовка презентации дипломного проекта	И



По итогам определения структуры работ в рамках реализации проекта, было определено 7 основных этапов, состоящих из 17 работ, при этом исполнителем большей части работ является инженер.

#### 10.4.2 Определение трудоемкости выполнения работ

Как правило, затраты на оплату труда составляют большую часть стоимости разработки, поэтому неотъемлемым действием определения ресурсоэффективности является определение трудоемкости работ участников проектирования.

Среднее значение трудоемкости  $T_{ожі}$  рассчитывается по следующей формуле [17]:

$$T_{ожі} = \frac{3 \cdot T_{mini} + 2 \cdot T_{maxi}}{5} \quad (10.4.1)$$

где  $T_{ожі}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения  $i$ -ой работы, чел/дн.

$T_{mini}$  – минимальная трудоемкость  $i$ -ой работы, чел/дн.;

$T_{maxi}$  – максимальная трудоемкость  $i$ -ой работы, чел/дн.

С помощью рассчитанной ожидаемой трудоемкости работ можно вычислить продолжительность каждой работы в рабочих днях  $T_{pi}$  с учетом параллельности выполнения работ несколькими исполнителями.

Продолжительность одной работы рассчитывается по следующей формуле [17]:

$$T_{pi} = \frac{T_{ожі}}{Ч_i}, \quad (10.4.2)$$

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

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

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

Длительность каждого из этапов работ из рабочих дней необходимо перевести в календарные дни согласно следующей формуле:

$$T_{ki} = T_{pi} * k_{\text{кал}}, \quad (10.4.3)$$

где  $T_{ki}$  – продолжительность выполнения  $i$ -й работы, календ. дн.;

$T_{pi}$  – продолжительность выполнения  $i$ -й работы, раб. дн.;

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

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}}, \quad (10.4.4)$$

Таким образом, коэффициент календарности равен:

$$k_{\text{кал}} = \frac{366}{366 - 118} = 1.48, \quad (10.4.5)$$

Расчеты по трудоемкости выполнения работ представлены в таблице 10.4.2.

Таблица 10.4.2 – Временные показатели проведения научного исследования

№ работы	Трудоемкость работ						Длительность работ в рабочих днях $T_{pi}$		Длительность работ в календарных днях $T_{ki}$	
	$T_{min}$ , чел-дни		$T_{max}$ , чел-дни		$T_{ож}$ , чел-дни					
	Инженер	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер	Руководитель
1	2	2	5	5	3,2	3,2	1,6	1,6	2,4	2,4
2	0	2	0	5	0	3,2	0	3,2	0,0	4,7
3	5	1	10	3	7	1,8	3,5	0,9	5,2	1,3
4	14	0	30	0	20,4	0	20,4	0	30,2	0,0
5	1	1	3	3	1,8	1,8	0,9	0,9	1,3	1,3
6	2	0	5	0	3,2	0	3,2	0	4,7	0,0
7	1	0	5	0	2,6	0	2,6	0	3,8	0,0

Продолжение таблицы 10.4.2 – Временные показатели проведения научного исследования

8	1	0	5	0	2,6	0	2,6	0	3,8	0,0
9	7	0	14	0	9,8	0	9,8	0	14,5	0,0
10	3	0	7	0	4,6	0	4,6	0	6,8	0,0
11	1	0	5	0	2,6	0	2,6	0	3,8	0,0
12	7	0	14	0	9,8	0	9,8	0	14,5	0,0
13	3	0	7	0	4,6	0	4,6	0	6,8	0,0
14	2	0	5	0	3,2	0	3,2	0	4,7	0,0
15	0	8	0	15	0	10,8	0	10,8	0,0	16
16	1	0	3	0	1,8	0	1,8	0	2,7	0,0
17	1	0	3	0	1,8	0	1,8	0	2,7	0,0
Итого	51	16	121	36	79	24	73	18	108	26

Таким образом, разработка стенда физического подобия «Трехфазный сепаратор скважинной жидкости» займет 102 рабочих дня инженера и 31 рабочий день руководителя.

По полученным данным была построена диаграмма Ганта, представленная на рисунке 10.4.1.

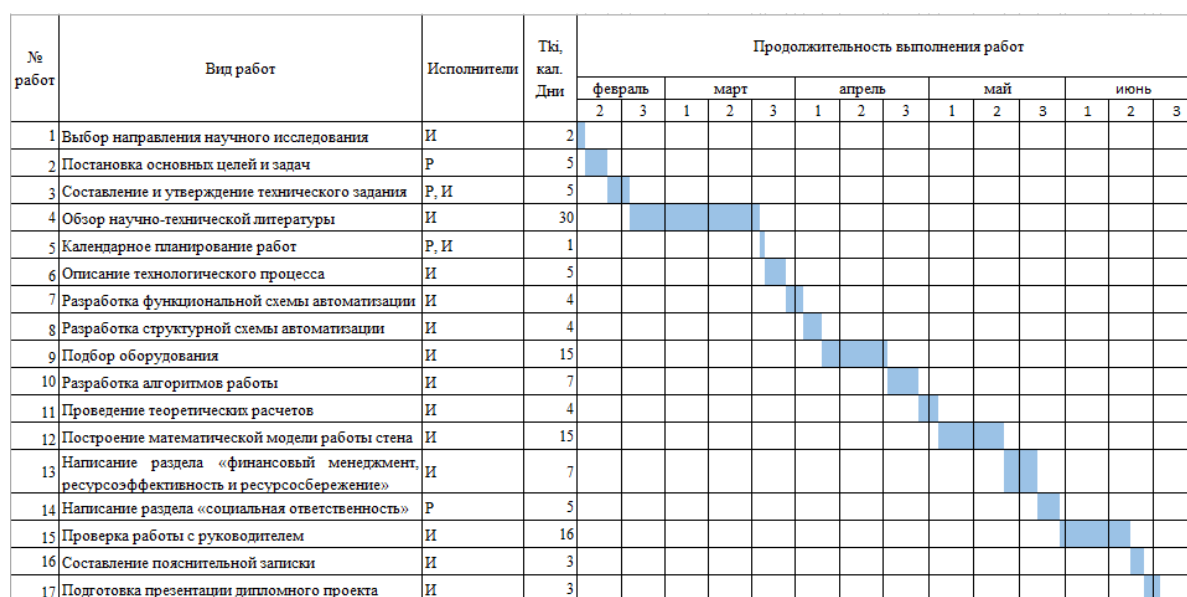


Рисунок 10.4.1 – Диаграмма Ганта

Из диаграммы Ганта видно, что значительный промежуток времени выделен на обзор научно-технической литературы. Это необходимо, так как цель проектируемого стенда связана с научно-исследовательской деятельностью, что уже на этапе его создания вносит необходимость детального изучения вариантов реализации процессов, являющихся объектом исследования.

## **10.5 Бюджет научно-технического исследования**

### **10.5.1 Расчет материальных затрат НТИ**

Материальные затраты рассчитываются по следующей формуле [17]:

$$Z_M = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{расхi}, \quad (10.5.1)$$

Где  $Z_M$  – материальные затраты, руб.;

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

$k_T$  – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

$C_i$  – цена приобретения единицы  $i$ -го вида потребляемых материальных ресурсов;

$N_{расхi}$  – количество материальных ресурсов  $i$ -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования;

Для разработки проекта необходим ПК, а также программное обеспечение. ТПУ предоставляет бесплатный доступ к разному виду ПО, в том числе необходимыми для разработки стенда программам. Материальные ресурсы, необходимые для реализации проекта представлены в таблице 10.5.1.

Таблица 10.5.1 – Материальные затраты для реализации проекта

Наименование	Количество, шт.	Цена за ед., руб.	Цена (всего), руб.
Офисная бумага, 500 листов	1	300	300
Тетрадь общая, 48 л.	2	40	80
Ручка шариковая	3	35	75
<b>Итого</b>			455
<b>Итого с учетом ТЗР (10%)</b>			550

Для реализации проектируемого стенда физического подобия «Трёхфазный сепаратор скважинной жидкости» необходимы следующие материальные ресурсы: оборудование для сборки стенда (датчики и исполнительные механизмы), расходные материалы (канцелярия, провода изоляция и т.д.). Материальные ресурсы, необходимые для реализации стенда представлены в таблице 10.5.2.

Таблица 10.5.2 – Материальные затраты для создания стенда

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Цена (всего), руб.
Датчик уровня Овен ПДУ 1.3	Шт.	2	3 720	7 440
Датчик уровня Овен ПДУ 2.1	Шт.	5	1 740	8 700
Датчик температуры Метран 274	Шт.	2	7 575	15 150
Датчик давления Корунд- ДИ-001М	Шт.	2	3 500	7 000
Датчик плотности ДП.7	Шт.	1	25 860	25 860
Компрессор КРАТОН АС- 140-8-OFS	Шт.	1	6 969	6 969
Мешалка OS20-Pro	Шт.	1	37 542	37 542

Продолжение таблицы 10.5.2 – Материальные затраты для создания стенда

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Цена (всего), руб.
Нагреватель ТЭН Polaris 01-09-01-5500	Шт.	1	818	818
Насос Singflo FP-12	Шт.	6	8 990	53 940
Клапан СК-12-15 ВД	Шт.	12	2 015	24 180
Контроллер Овен ПЛК-160	Шт.	1	33 480	33 480
Модуль ввода-вывода MB210	Шт.	1	8 910	8 910
Модуль ввода-вывода МК210	Шт.	1	7 860	7 860
Генератор Atten ATF20B	Шт.	1	20 305	20 305
Ноутбук ASUS Laptop D509BA-BR073T	Шт.	1	29 099	29 099
Прочие расходные материалы (провода, изоляция и т.д.)	Комплект	5	150	750
Итого, руб.				288 003

Материальные затраты необходимые для проектирования стенда составили 550 рублей, а для реализации – 288 003 рубля. Таким образом, материальные затраты на проектирование и реализацию стенда физического подобию «Трёхфазный сепаратор скважинной жидкости» составят 288 553 рубля.

### 10.5.2 Расчет амортизационных отчислений

Разработка проекта производится в течение 5 месяцев с использованием персонального компьютера первоначальной стоимостью 29 099 рублей. Срок его полезного использования составляет 3 года [20].

Норма амортизации рассчитывается согласно следующей формуле [17]:

$$H_A = \frac{1}{T} \cdot 100\%, \quad (10.5.2)$$

где  $T$  – срок полезного использования, лет.

Таким образом, норма амортизации для используемого ПК составит:

$$H_A = \frac{1}{3} \cdot 100\% = 33,3\% \quad (10.5.3)$$

Годовые амортизационные отчисления:

$$A_{\text{год}} = \frac{29099 \cdot 33,3}{100} = 9690 \text{ руб.} \quad (10.5.4)$$

Амортизационные отчисления за 5 месяцев составят:

$$A = \frac{9690 \cdot 5}{12} = 4037,5 \text{ руб.} \quad (10.5.5)$$

По результатам расчетов амортизационные отчисления на реализацию проекта в течение 5 месяцев составили 4 037,5 рублей.

### 10.5.3 Основная заработная плата исполнителей темы

Помимо материальных затрат, необходимо рассчитать включающую премию и доплаты заработную плату работников, которые непосредственно заняты выполнением НИИ, а также дополнительную заработную плату.

Заработная плата работников складывается из основной и дополнительной [17]:

$$Z_{\text{зп}} = Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}, \quad (10.5.6)$$

где  $Z_{\text{осн}}$  – основная заработная плата;

$Z_{\text{доп}}$  – дополнительная заработная плата.

При этом основная плата работников, непосредственно занятых выполнением НИИ равняется произведению среднедневной платы работника и количества рабочих дней:

$$Z_{\text{дн}} = Z_{\text{осн}} \cdot T_{\text{раб}} \quad (10.5.7)$$

где  $Z_{\text{дн}}$  – среднедневная заработная плата, руб.;

$T_{\text{раб}}$  – продолжительность работ, раб. дн.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{м}} * M}{F_{\text{д}}}, \quad (10.5.8)$$

где  $Z_{\text{м}}$  – месячный должностной оклад работника, руб.;

$M$  – количество месяцев работы без отпуска в течение года;

$F_{\text{д}}$  – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн.

Показатели рабочего времени для инженера и руководителя представлены в таблице 10.5.3.

Месячный должностной оклад работника рассчитывается согласно следующей формуле [17]:

$$Z_{\text{м}} = Z_{\text{тс}} * (1 + k_{\text{пр}} + k_{\text{д}}) * k_{\text{р}}, \quad (10.5.9)$$

где  $Z_{\text{тс}}$  – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

$k_{\text{пр}}$  – премиальный коэффициент, равный 0,3;

$k_{\text{д}}$  – коэффициент доплат и надбавок, равный примерно 0,2 – 0,5;

$k_{\text{р}}$  – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска) [18].

Таблица 10.5.3 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер
Календарное число дней	366	366
Количество нерабочих (выходных и праздничных) дней	119	119



Потери рабочего времени – – невыходы по болезни	рабочего отпуск	48	72
Количество месяцев без отпуска		10,4	9,6
Действительный годовой фонд рабочего времени		199	175

Таким образом, действительный годовой фонд рабочего времени составляет 199 и 175 дней для руководителя и инженера соответственно.

Расчет основной заработной платы приводится в таблице 10.5.4.

Таблица 10.5.4 – Расчет основной заработной платы

Исполнители	Оклад, руб.	$k_{пр}$	$k_{д}$	$k_{р}$	$Z_{м}$ , руб.	$Z_{дн}$ , руб.	$T_{р}$ , раб. дни	$Z_{осн}$ , руб.
Руководитель	22 221	0,3	0,2	1,3	33 332	1 742	15	26 130
Инженер	1 326	0,3	0,2	1,3	2585,7	141,8	73	10 351,4

По результатам расчётов можно заключить, что основная заработная плата за реализацию проекта составит 9 784,2 рубля для инженера и 26 130 для руководителя.

#### 10.5.4 Дополнительная заработная плата

Дополнительная заработная плата рассчитывается по следующей формуле [17]:

$$Z_{доп} = Z_{осн} * k_{доп}, \quad (10.5.10)$$

где  $k_{доп}$  – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,12 – 0,15).

Примем  $k_{доп}$  равным 0,12, тогда дополнительная плата руководителя и инженера будет рассчитываться следующим образом:

$$Z_{допР} = 26 130 * 0,12 = 3 135,6; \quad (10.5.11)$$

$$Z_{допС} = 10 351,4 * 0,12 = 1242,2. \quad (10.5.12)$$

В итоге, с учетом основной и дополнительной, заработная плата для руководителя будет составлять 29 265,6 рублей, а для инженера – 11 593,6 рублей.

### 10.5.5 Отчисления во внебюджетные фонды

Нормами законодательства Российской Федерации установлены обязательные отчисления от затрат на оплату труда работникам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС), величина которых рассчитываются по следующей формуле:

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot Z_{\text{зп}}, \quad (10.5.13)$$

Где  $k_{\text{внеб}}$  – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды.

Размер страховых взносов равен 30% от заработной платы. Сюда включены взносы на пенсионное страхование – 22%, на медицинское страхование – 5,1%, а также на соцстрахование – 2,9% [19]. Отчисления во внебюджетные фонды представлены ниже в таблице 10.5.5.

Таблица 10.5.5 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Заработная плата, руб.	Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды, %	Отчисления во внебюджетные фонды, руб.
Руководитель	29 265,6	30	8777
Инженер	11 593,6	30	3 478

В итоге, сумма отчислений во внебюджетные фонды для двух работников составила 12 255.

### 10.5.5 Накладные расходы

Накладные расходы включают в себя затраты на управление, хозяйственное обслуживание, эксплуатацию и ремонт оборудования и составляют 15-20% от суммы заработной платы и отчислений [17]:

$$C_H = k_H \cdot (Z_{зпр} + Z_{зпс}) = 0,2 \cdot (30\,049,5 + 11\,904,1) = 8\,390,7, \quad (10.5.14)$$

где  $C_H$  – накладные расходы, руб.;

$k_H$  коэффициент накладных расходов;

$Z_{зпс}$  – заработная плата инженера, руб.;

$Z_{зпр}$  – заработная плата руководителя, руб.

По результатам расчётов можно заключить, что накладные расходы на реализацию проекта составят 8 390,7 рублей.

### 10.5.6 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Затраты проекта формируются на основе рассчитанной величины затрат научно-исследовательской работы. Определение бюджета затрат на научно-исследовательскую деятельность представлено таблице 10.5.6.

Таблица 10.5.6. – Расчет бюджета затрат НИИ

Наименование статьи	Сумма, руб.
Материальные затраты НИИ	550
Амортизационные расходы	4 037,5
Затраты по заработной плате работников	
- руководитель	29 265,6
- инженер	11 593,6
Отчисления во внебюджетные фонды	
- руководитель	8 777
- инженер	3 478

Накладные расходы	8 390,7
Бюджет затрат НИИ	66 083,4

Согласно расчетам, бюджет затрат научно-исследовательской работы составил 66 083,4 рублей. Основной статьей расходов является заработная плата работников – 62%, на втором месте отчисления во внебюджетные фонды – 18,5%, после – накладные расходы – 12,6%, затем амортизационные отчисления – 6,1% и на последнем месте материальные затраты – 0,8%.

### 10.6 Определение ресурсной, финансовой и экономической эффективности исследования

Определение эффективности исследования основано на расчете интегрального показателя эффективности, который рассчитывается согласно следующей формуле [17]:

$$I_{\text{финр}}^{\text{испл.}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}}, \quad (10.6.1)$$

где  $I_{\text{финр}}^{\text{испл.}i}$  – интегральный финансовый показатель разработки;

$\Phi_{pi}$  – стоимость  $i$ -го варианта исполнения;

$\Phi_{\text{max}}$  – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

На рынке существуют следующие аналоги разрабатываемого стенда: аналог 1 – лабораторная установка «Установка сепарации нефти от газа и воды» компании «ProgramLab» стоимостью 355 880 рублей, аналог 2 – стенд учебный «Сепарация нефти» компании «Учтех-Профи» стоимостью 747 740 рублей. Реализация разрабатываемого стенда составит 353 787 рублей.

Таким образом интегральный финансовый показатель разработки относительно конкурентов составляет:

$$I_{\text{финр}}^{\text{разраб.}} = \frac{353\,787}{747\,740} = 0,473, \quad (10.6.2)$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{ан.1}} = \frac{355\,880}{747\,740} = 0,476, \quad (10.6.3)$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{ан.2}} = \frac{747\,740}{747\,740} = 1. \quad (10.6.4)$$

Разница финансовых показателей разработанного стенда и аналога 1 является несущественной, однако аналог 1 не предоставляет необходимого функционала в полном объеме, в отличие от аналога 2. В свою очередь аналог 2 более чем на 50% дороже разрабатываемого стенда.

Интегральный показатель ресурсоэффективности рассчитывается согласно следующей формуле [17]:

$$I_{pi} = \sum_{i=1}^n a_i \cdot b_i, \quad (10.6.5)$$

где  $I_{pi}$  – интегральный финансовый показатель разработки;

$a_i$  – весовой коэффициент  $i$ -го варианта исполнения;

$b_i$  – балльная оценка  $i$ -го варианта исполнения.

Расчет интегральных показателей разрабатываемого стенда (П), стенда компании «ProgramLab» (A1) и стенда компании «Учтех-Профи» (A2) приведен в таблице 10.6.1.

Таблица 10.6.1 – Сравнительная оценка характеристик

Критерий	Весовой коэффициент	Балл			Интегральный финансовый показатель		
		П	A1	A2	П	A1	A2
Функционал	0,2	5	1	3	1	0,2	0,6
Энергоэффективность	0,1	4	5	5	0,4	0,5	0,5
Простота эксплуатации	0,09	5	3	4	0,45	0,27	0,36
Помехоустойчивость	0,1	5	5	5	0,5	0,5	0,5
Надежность	0,15	3	4	4	0,45	0,6	0,6
Энергосбережение	0,07	5	5	5	0,35	0,35	0,35
Безопасность	0,1	4	5	5	0,4	0,5	0,5
Ремонтопригодность	0,12	5	4	4	0,6	0,48	0,48

Потребление ресурсов	0,07	4	4	4	0,28	0,28	0,28
Итого					4,43	3,68	4,17

Согласно полученным результатам расчетов, разрабатываемый проект является более ресурсоэффективным, чем имеющиеся на рынке аналоги.

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле [17]:

$$I_{испi} = \frac{I_{pi}}{I_{финр}}, \quad (10.6.6)$$

Сравнительная эффективность вариантов исполнения рассчитывается по формуле, представленной ниже:

$$\mathcal{E}_{ср} = \frac{I_{разраб.}}{I_{ан.i}}, \quad (10.6.7)$$

где  $\mathcal{E}_{ср}$  – сравнительная эффективность проекта;

$I_{разраб.}$  – интегральный показатель эффективности разработки;

$I_{ан.i}$  – интегральный показатель эффективности аналога.

Расчет сравнительной эффективности разработки представлен в таблице 10.6.2.

Таблица 10.6.2 – Сравнительная эффективность разработки

Показатели	Разрабатываемый проект	Аналог 1	Аналог 2
Интегральный финансовый показатель разработки	0,473	0,476	1
Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,43	3,68	4,17
Интегральный показатель эффективности	9,36	7,73	4,17

Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1	1,21	2,24
--	---	------	------

Таким образом, основываясь на расчете интегральных показателей финансов, ресурсоэффективности и эффективности, можно сделать вывод, что разрабатываемый стенд физического подобия «Трёхфазный сепаратор скважинной жидкости» превосходит своих конкурентов. Это обусловлено тем, что несмотря на самую низкую стоимость, разработанный проект обладает самым большим функционалом и техническими возможностями.

### **10.7 Выводы по разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»**

В ходе разработки данного раздела были выявлены потенциальные потребители проектируемого стенда физического подобия «Трёхфазный сепаратор скважинной жидкости». Разработанный стенд может быть применен на крупных научно-исследовательских и проектных организациях, специализирующихся на подготовке нефти, а также в образовательных учреждениях.

В процессе анализа конкурентных технических решений были определены конкуренты разработки: компании «ProgramLab» и «Учтех-Профи». Разработанная установка значительно превосходит конкурентов по функционалу, однако проигрывает по надежности и энергоэффективности.

В ходе SWOT-анализа были определены основные пути развития, основными из которых являются совершенствование системы безопасности, анализ рынка и импортозамещение.

Помимо этого, были произведены расчеты трудоемкости НТИ: поставленные задачи, необходимые для разработки проекта были соотнесены со сроком их выполнения и исполнителем. Согласно расчетам, для реализации проекта понадобится 73 дня работы инженера (что соответствует 108 календарным дням) и 18 дней работы руководителя (что соответствует 26 календарным дням).

По составленной диаграмме Ганта было выявлено, что наиболее времязатратными работами являются обзор научно-технической литературы и разработка математической модели.

Расчет затрат на разработку стенда показал, что основной статьей расходов является заработная плата работников – 40 850 рублей (62%), на втором месте отчисления во внебюджетные фонды – 12 255 рублей (18,5%), после накладные расходы – 8 390,7 рублей (12,6%), затем амортизационные отчисления – 4 037 рублей (6,1%) и на последнем месте материальные затраты – 550 рублей (0,8%). В итоге, бюджет затрат научно-исследовательской работы составил 66 083,4 рублей.

В ходе анализа ресурсной, финансовой и экономической эффективности согласно расчетам интегральных показателей ресурсоэффективности, эффективности и финансов было доказано превосходство разрабатываемого стенда над конкурентами. Сравнительная эффективность разработки относительно аналогичных установок компаний «ProgramLab» и «Учтех-Профи» составила 1,21 и 2,24 соответственно.



## **11 Социальная ответственность**

Разработка и эксплуатация объектов нефтегазовой промышленности неизбежно связаны с возможностью появления опасных производственных факторов, которые, в свою очередь, могут повлечь за собой аварийные ситуации. Поэтому невозможно отрицать важность рассмотрения безопасности эксплуатации оборудования. Данный раздел разработан с целью выявления технологических опасностей, возникновение которых возможно в процессе работы системы, а также факторов, оказывающих негативное влияние на здоровье человека во время работы с оборудованием проектируемого стенда. Кроме того, необходимо определить пути исключения или ослабления выявленных опасных факторов и опасностей.

Стенд предназначен для углубленного изучения процесса создания и разрушения водотопливной эмульсии, а также выявления способов интенсификации данных процессов. Таким образом, создание данного стенда способствует увеличению информационной базы для дальнейших исследований, а также экономии значительных средств на рассматриваемом этапе подготовки нефти.

Пользователями разработанной системы могут быть научно-исследовательские институты, а также образовательные учреждения, осуществляющие исследования в области подготовки нефти.

Стенд рассчитан на эксплуатацию одним человеком (оператором). Оператор подает на вход необходимые данные, выбирает режим работы, а также следит за показателями, выводимыми на экранных формах и контролирует процесс работы стенда.

В данном разделе будут рассмотрены выявление и предупреждение наиболее характерных для проектируемого стенда опасных и вредных факторов, а также правовые вопросы регулирования трудовых отношений.

## **11.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности**

Разработка проектируемого стенда включает в себя использование контрольно-измерительных приборов, мешалки с верхним приводом, клапанной арматуры, насосов, то есть технологического оборудования, которое, согласно статье 215 ТК РФ, должно соответствовать нормативным требованиям охраны труда. Это требование должно быть реализовано еще на стадии разработки проектной документации на эти объекты и затем — на стадии строительства, изготовления, модернизации. [21]

Рабочее место оператора стенда «Трёхфазный сепаратор скважинной жидкости» представляет собой трудовую зону, оснащенную техническими средствами, необходимыми для осуществления функций контроля и управления системой и объектом [22].

В проектируемой системе предусмотрено осуществление управления с помощью системы SCADA, то есть с использованием персонального компьютера. Поэтому выполняя планировку рабочего места необходимо учитывать следующее:

- Рекомендуемый проход справа и спереди от стола 500 мм, слева допускается проход 300 мм;
- Рабочие места с ПЭВМ при выполнении творческой работы, требующей значительного умственного напряжения или высокой концентрации внимания, рекомендуется изолировать друг от друга перегородками высотой (1,5-2,0) м. Экран видеомонитора должен находиться от глаз пользователя на расстоянии (600-700) мм, но не ближе 500 мм с учетом размеров алфавитно-цифровых знаков и символов. Конструкция рабочего стола должна удовлетворять требованиям эргономики;
- Конструкция рабочего стула (кресла) должна обеспечивать поддержание рациональной рабочей позы при работе на ПЭВМ позволять изменять позу с целью снижения статического напряжения

мышц шейно-плечевой области и спины для предупреждения развития утомления. Тип рабочего кресла следует выбирать с учетом роста пользователя, характера и продолжительности работы с ПЭВМ;

- Кресло не может располагаться непосредственно на границе площади рабочего места. Рекомендуемое расстояние от спинки стула до границы должно быть не менее 300 мм [23].

## 11.2 Производственная безопасность

Для анализа вредных и опасных факторов необходимо воспользоваться ГОСТ 12.0.003-2015 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация».

Рабочее место оператора представляет собой помещение, где располагается автоматизированный стенд физического подобия трехфазного сепаратора и ПК для управления работой стенда. Технологический процесс заключается в вводе входных данных, контроле основных параметров, а именно температуры, давления и уровня, а также реакции на выводимые сообщения. Система, управляющая процессом подготовки эмульсии и сепарации состоит из насосов, клапанов, верхнеприводной мешалки, генератора и пьезоэлементов, а также датчиков контроля и ПК. Возможные опасные и вредные факторы перечислены в таблице 11.2.1 в качестве их источников может выступать все вышеперечисленное оборудование.

Таблица 11.2.1 – Возможные опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разработка	Изготовление	Эксплуатация	
1. Отклонение показателей микроклимата	+	+	+	-
2. Превышение уровня шума	-	+	+	

Продолжение таблицы 11.2.1 – Возможные опасные и вредные факторы

3. Недостаточная освещенность рабочей зоны	+	+	+	Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 16.12.2019); - СП 60.13330.2016 Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. - СП 51.13330.2011 Защита от шума. - СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение - СП 256.1325800.2016 Электроустановки жилых и общественных зданий. - СанПиН 2.2.4/2.1.8.055-96. Электромагнитные излучения радиочастотного диапазона
4. Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека	+	+	+	
5. Превышение уровня электромагнитных излучений	-	+	+	

### 11.2.1 Отклонение показателей микроклимата

К показателям микроклимата относятся температура воздуха и поверхностей, относительная влажность и скорость движения воздуха. Оптимальные значения вышеперечисленных показателей зависят от сезона и категории физической тяжести работ. Для оператора стенда физического подобия «Трехфазный сепаратор скважинной жидкости» категория тяжести является легкой (1а), так как работа проводится сидя, без физических нагрузок.

Оптимальные показатели микроклимата для данной категории тяжести в теплый и холодный период года приведены в таблице 11.2.2.

Таблица 11.2.2 – Показатели микроклимата на рабочих местах производственных помещений для категории 1а

Период года	Температура воздуха, °С	Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Теплый	(23 – 25)	(21 – 25)	(40 – 60)	0,1
Холодный	(20-22)	(22-26)	(40-60)	0,1

Поддержание оптимальных показателей микроклимата обеспечивает создание благоприятных условий труда и повышению его производительности. Для этого должны быть предусмотрены следующие средства: центральное отопление, вентиляция (искусственная и естественная), искусственное кондиционирование.

### 11.2.2 Превышение уровня шума

Воздействие шума на организм человека негативно сказывается на нервной системе, оказывая значительное психологическое воздействие. Длительное воздействие шумов уровня (70-90) дБ может привести к заболеваниям нервной системы. Кроме того, воздействие шума способствует развитию сердечно-сосудистых заболеваний.

Основными источниками шума в проектируемом стенде являются мешалка, компрессор, насосы и ПК. Произведем расчет ожидаемого уровня шума. В процессе работы возможны разные комбинации оборудования, находящегося в рабочем режиме, сделаем расчет для максимального возможного количества одновременно работающих устройств. В динамическом режиме работы стенда возможна одновременная работа мешалки, двух насосов, компрессора и ПК. Используемый в установке компрессор обладает уровнем шума 65дБ(А), насосы 40 – дБ(А), ПК – 40 дБ(А). Уровень шума мешалки указан производителем как «низкий», аналоги имеют уровень шума около 60 дБ(А).

При нескольких источниках шума определяется разность двух максимальных уровней, затем – соответствующую этой разности добавка. Далее добавка суммируется с максимальным уровнем и полученный уровень сравнивается со следующим и так далее [24]:

$$L_1 - L_2 = 65 - 60 = 5 \text{ дБ(А)}, \quad (11.2.1)$$

где  $L_1$  – уровень шума компрессора, дБ(А);

$L_2$ - уровень шума мешалки, дБ(А).

Добавка при разности 5 дБ(А) составляет 1,2 дБ(А):

$$L_0 = 65 + 1,2 = 66,2 \text{ дБ(А)}, \quad (11.2.2)$$

$$L_0 - L_3 = 66,2 - 40 = 26,2 \text{ дБ(А)}, \quad (11.2.3)$$

где  $L_0$  – ожидаемый уровень шума, дБ(А);

$L_3$  - уровень шума насосов, дБ(А).

Допустимые показатели звукового давления в помещениях для данного типа работ представлены в таблице 11.2.3.

Таблица 11.2.3 – Допустимые уровни звука на рабочем месте оператора

Вид трудовой деятельности	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, ГЦ									Уровни эквивалентного звука, дБА
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Творческая, научная деятельность	86	71	61	54	49	45	42	40	38	50
Измерения, аналитические работы	93	84	79	70	68	57	55	52	49	60

Согласно расчетам, уровень шума превышает допустимый. Для его ослабления необходимо регулярно производить технического обслуживание оборудования: очищать от пыли, своевременно обрабатывать смазывающими веществами. Если данные меры окажутся недостаточно эффективными необходимо воспользоваться средствами индивидуальной защиты.

### 11.2.3 Недостаточная освещенность рабочей зоны

Согласно СП 52.13330.2016 отсутствие освещение или его нехватка классифицируется как вредный производственный фактор. Работа при недостаточном освещении может привести к переутомлению, усталости глаз, головным болям, что неизбежно приводит к снижению работоспособности. Управление оператором станда «Трехфазный сепаратор

скважинной жидкости» процессами с помощью ПК оценивается как зрительная работа очень высокой точности, при этом наименьший размер объекта различения ограничивается (0,15-0,3) мм (II разряд зрительной работы), требования к освещению помещений промышленных предприятий для данного разряда работ приведены в таблице 11.2.4.

Таблица 11.2.4 - Требования к освещению рабочей зоны для работ очень высокой точности

Подразряд зрительной работы	Контраст объекта с фоном	Фон	Освещенность, лк (комбинированное освещение)	КЕО е, %	
				Верхнее или комбинированное освещение	Боковое освещение
а	малый	темный	400	4,2	1,5
б	малый	средний	300		
	средний	темный			
в	малый	светлый	200		
	средний большой	средний темный			
г	средний	светлый	200		
	большой	средний			

Для соблюдения требований освещенности необходимо, чтобы рабочее место оператора располагалось в помещении с наличием источника естественного освещения. Кроме того, рабочие окна SCADA-системы должны быть контрастными, а шрифт превышать наименьший размер объекта размещения. Помимо этого, необходимо обеспечить рабочую зону источниками искусственного освещения.

### 11.2.4 Электробезопасность

Согласно ГОСТ 12.0.003-2015 поражение электрическим током относится к опасным производственным факторам. Электрический ток способен привести к острому поражению или мгновенному воздействию

относительно высокоинтенсивного воздействия, приводящий к летальному исходу.

Главной причиной поражения электрическим током в данной системе может быть прямой контакт со шкафом управления или другими электрическими приборами.

Именно питание от промышленной сети вызывает наибольшую опасность для персонала. Оборудование стенда питается как от переменного напряжения в 220 В, так и постоянного от 12 до 42В и постоянного от 12 до 42В.

Согласно ГОСТ Р 12.1.019-2017 все что питается от промышленной сети необходимо сопроводить предупреждающими знаками, чтобы персонал не делал ошибочных действий и движений.

Все токоведущие части стенда и ПК должны быть изолированы. Все оборудование должно быть заземлено. Значение сопротивления между заземляющим зажимом и каждой доступной прикосновению металлической частью, которая может оказаться под напряжением, не должно превышать 0,1 Ом.

Согласно ГОСТ Р 51350-99 «Безопасность электрических контрольно-измерительных приборов и лабораторного оборудования» электрическая изоляция цепей должна выдерживать испытательное напряжение 1 кВ переменного тока частотой 50 Гц в течение 1 мин без пробоя или перекрытия. Стенд должен быть оборудован автоматическими выключателями для защиты от короткого замыкания и перегрузок.

Согласно правилам по охране труда при эксплуатации электроустановок, утвержденным приказом Минтруда России от 24.07.2013 N 328н, управлять стендом «Трехфазный сепаратор скважинной жидкости», то есть пользоваться ПК для анализа параметров установки и проведения экспериментов может пользоваться персонал, имеющий I группу электробезопасности. При этом обслуживать стенд, производить подключения и любые манипуляции с оборудованием стенда он не может. Для присвоения



I группы электробезопасности достаточно пройти инструктаж со стороны специально назначенного лица с группой допуска не ниже III и ответить на контрольные вопросы.

Обслуживать стенд может персонал со II квалификационной группой, но без возможности произведения подключений и под присмотром персонала с III группой и выше. Персонал может быть аттестован на вторую группу допуска при отсутствии специального образования и при минимальном стаже работы в электроустановках по первой группе

Персонал, единолично обслуживающий стенд, должен иметь группу по электробезопасности не ниже третьей. III группа электробезопасности присваивается по результатам аттестации в комиссии предприятия или отделения Ростехнадзора.

Проверка знаний электротехнического персонала, работающего непосредственно со стендом физического подобию «Трехфазный сепаратор скважинной жидкости» должна проводиться ежегодно.

### **11.2.5 Превышение уровня электромагнитных излучений**

Аппаратная часть установки состоит из насосов, электромагнитных клапанов, верхнеприводной мешалки, нагревателя, компрессора, контрольно-измерительных приборов контроллера и ПК. Всё это оборудование создает электромагнитное излучение, которое возникает от любого устройства, потребляющего или создающего электроэнергию. Воздействие электромагнитного излучения наносит вред организму человека.

СанПиН 2.2.4.3359-16 устанавливает допустимые нормы электромагнитного излучения.

Проектирование АСУ предполагает, что рабочее помещение, в котором находится оператор стенда «Трехфазный сепаратор скважинной жидкости», снабжено ПК, с помощью которого требуется контролировать процесс. Кроме того, периферийные устройства также создают электромагнитное поле. В

результате продолжительной работы персонала в зоне электромагнитного излучения оборудования, у людей появляется усталость, снижение реакции, ухудшение зрения.

Допустимые уровни магнитного поля и длительность пребывания персонала без средств защиты в электромагнитном поле представлены ниже в таблице 11.2.5.

Таблица 11.2.5 – Допустимые уровни магнитного поля и длительность пребывания

Время пребывания, час	Допустимые уровни МП, [А/м] при воздействии	
	Общее воздействие	Локальное воздействие
1 и менее	1600	6400
2	800	3200
4	400	1600
8	80	800

Что касается способов защиты и уменьшения влияния электромагнитного излучения, то можно воспользоваться следующими действиями:

- смена должна длиться менее 8 часов в день;
- уменьшение времени нахождения человека в электромагнитном поле, а именно организация перерывов каждые (45 – 60) минут на (10 – 15) минут;
- увеличение расстояния от персонала до источника электромагнитных излучений;

Таким образом, воспользовавшись данными действиями дополнительные средства защиты окажутся не востребованными.

### 11.3 Экологическая безопасность

При работе со стендом производства не осуществляется, то есть, как такового, конечного продукта нет. К отходам, производимым в помещении

можно отнести бытовой мусор и периодическую замену нефти и воды в стенде. Утилизация отработанной нефти осуществляется в фирмах по утилизации отходов (масел).

Воздействие на атмосферу этой установки незначительное, так как для имитации газовой фазы в эмульсию с помощью компрессора подается воздух, он же выделяется в дальнейшем с парами воды и масла, которые не являются токсичными.

Согласно СанПиН 42-128-4690-88 «Санитарные правила содержания территорий населенных мест» оборудование, используемое в АСУ, в случае полной неработоспособности и неремонтопригодности должно быть утилизировано на полигоне твердых бытовых отходов.

#### **11.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях**

Наиболее характерной ЧС для проектируемого стенда является пожар, это обусловлено использованием нефти, которая является горючим веществом.

Для ослабления последствий пожара в здании должны находиться углекислотный огнетушитель, сухой песок и внутренние пожарные водопроводы находиться. Они предназначаются для своевременного тушения небольших локальных возгораний.

Чем больше оснащена установка автоматизированными элементами, тем более вероятен риск возникновения пожара, так как количество и функциональная сложность оборудования выше. Поэтому система совершенствуется таким образом, чтобы исключить возникновение искры в токопроводящих цепях. Для этого при достижении критических параметров, то есть предельных значений, включается аварийная сигнализация. Информация выводится на АРМ оператора, где принимаются действия по безопасной остановке технологического процесса. Кроме того, предусмотрено автоматическое выключение электропитания при достижении

верхнего и аварийного уровня давления и температуры в основной емкости сепаратора и смесителе.

Для предотвращения пожара, многие датчики были выбраны во взрывозащищенном исполнении.

Действия, которые можно предпринять для предотвращения пожара:

- организация обучения персонала правилам пожарной безопасности;
- разработка мероприятий по действиям персонала на случай возникновения пожара и организация эвакуации людей;
- назначение лица, ответственного за эвакуацию, которое должно следить за исправностью дверных проемов, окон, проходов и лестниц.

К эксплуатационным мероприятиям относятся:

- поддержание исправной изоляции проводников;
- поддержание свободного подхода к оборудованию;
- соблюдение противопожарных инструкций при прокладке электропроводок, эксплуатации оборудования, освещения.

Действия при пожаре на производстве регламентируются правилами обеспечения пожарной безопасности предприятия. Основой для подготовки инструкции по эвакуации служат Противопожарные правила, утвержденные Постановлением Правительства РФ от 25.04.2012 №390 «О противопожарном режиме». Общие правила же правила поведения при обнаружении пожара персоналом остаются неизменными:

- немедленно сообщить в пожарную службу;
- сообщить руководству предприятия;
- включить сигнализацию, систему пожаротушения;
- оказать помощь в эвакуации людей и тушении пожара.

### **11.5 Вывод по разделу социальная ответственность**

В ходе реализации данного раздела были рассмотрены организационные и правовые вопросы обеспечения безопасности, проанализированы

нормативные документы, касающиеся проектирования, реализации и эксплуатации разрабатываемого стенда физического подобия «Трехфазный сепаратор скважинной жидкости».

Был выполнен анализ вредных и опасных факторов, которым может быть подвержен оператор, эксплуатирующий установку, а также предложены меры их минимизации или полного исключения.

Кроме того, были рассмотрены экологическая безопасность и безопасность в чрезвычайных ситуациях. В качестве самой характерной для разрабатываемого стенда ЧС был выявлен пожар.

Следование предложенным в данном разделе правилам и мерам может помочь избежать чрезвычайных ситуаций, а также обеспечить сохранность здоровья персонала и состояния окружающей среды.

## Заключение

Результатом выполнения выпускной квалификационной стал спроектированный стенд физического подобия «Трёхфазный сепаратор скважинной жидкости». В ходе работы были разработаны основные схемы, такие как функциональная схема автоматизации, структурная, схема информационных потоков, соединений внешних проводок. Разработанные схемы автоматизации позволили определить состав и количество оборудования, необходимого для исполнения данной установки, а также средства и методы передачи данных.

Для обеспечения функционала автоматизированной системы были выбраны первичный КИП, контроллер и исполнительные устройства.

Проведена разработка алгоритмического обеспечения технологического процесса. Были разработаны алгоритмы динамического и статического режима работы стенда, а также алгоритм технического прогона оборудования.

Также в ходе работы были определены основные свойства водонефтяных эмульсий, способы их создания и разрушения, а также математические модели процессов каплеобразования и отстаивания. Выдвинуто предложение по использованию ультразвуковых колебаний, создаваемых посредством обратного пьезоэффекта в качестве интенсификации процесса разрушения эмульсии.

Таким образом, спроектированный стенд не только удовлетворяет текущим требованиям к системе автоматизации, но и имеет высокую гибкость, позволяющую изменять и модернизировать разработанную САУ в соответствии с возрастающими в течение всего срока эксплуатации требованиям.

## **Conclusion**

The result of the graduation qualification was the designed physical similarity stand “Three-phase well fluid separator”. In the course of the work, basic schemes were developed, such as a functional automation scheme, a structural one, a scheme of information flows, external wiring connections. The developed automation schemes made it possible to determine the composition and quantity of equipment necessary for the execution of this installation, as well as the means and methods of data transfer.

To ensure the functionality of the automated system, the primary instrumentation, controller and actuators were selected.

The development of algorithmic support for the technological process is carried out. Algorithms were developed for the dynamic and static mode of operation of the stand, as well as an algorithm for the technical run of equipment.

Also in the course of the work, the basic properties of oil-water emulsions, methods for their creation and destruction, as well as mathematical models of the processes of droplet formation and sedimentation, were determined. A proposal has been put forward for the use of ultrasonic vibrations generated by the inverse piezoelectric effect as an intensification of the process of emulsion destruction.

Thus, the designed stand not only meets the current requirements for the automation system, but also has high flexibility, allowing you to change and modernize the developed self-propelled guns in accordance with increasing requirements throughout the life of the requirements.

## Список литературы

1. Эмульсии: получение, свойства, разрушение: учебно-методическое пособие/ Л.В. Кольцов, М.А. Лосева – Самара: изд-во СамГТУ, 2017 г. – 20 с.
2. Типы эмульсий [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://info-neft.ru/index.php?action=full\\_article&id=577](https://info-neft.ru/index.php?action=full_article&id=577) – свободный (дата обращения 25.02.2020).
3. Технологические основы и моделирование процессов промышленной подготовки нефти и газа: учебное пособие / Н.В. Ушева, Е.В. Бешагина, О.Е. Мойзес, Е.А. Кузьменко, А.А. Гавриков – Томск: изд-во ТПУ, 2013 г. – 128 с.
4. Физико-химические свойства нефтяных эмульсий [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://info-neft.ru/index.php?action=full\\_article&id=579](https://info-neft.ru/index.php?action=full_article&id=579) – свободный (дата обращения 27.02.2020).
5. Приготовление и разрушение эмульсий физическими и комбинированными методами: статья/ Л.А. Кудишова, С. К. Мясников – Москва, 2010г.
6. Применение ультразвука высокой интенсивности в промышленности/ В.Н. Хмелев, А.Н. Сливин, Р.В. Барсуков, С.Н. Цыганок, А.В. Шалунов – Бийск: изд-во АлтГТУ, 2010г. – 203с.
- 7 (1). Справочник по электротехническим материалам, том 3/ Под ред. Ю.В. Корицкого, В.В. Пасынкова, Б.М. Тареева – Москва: Энергоатомиздат, 1986 г. – 368 с.
8. Ультразвуковой контроль материалов: справочник/ Й. Крауткремер, Г. Крауткремер – Москва: изд-во Металлургия, 1991 г. – 673 с.
9. Пьезокерамические актюаторы: учебное пособие/ А.Е. Панич – Ростов-на-Дону, 2008 г. – 153 с.
10. Методика решения инновационных прикладных задач механики/ Д.М. Белый, Н.Б. Овсянникова – Ульяновск: изд-во УлГТУ, 2017 г. – 44 с.
11. ПДУ поплавковые датчики уровня [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://owen.ru/product/datchiki\\_urovnya\\_poplavkovie\\_pdu](https://owen.ru/product/datchiki_urovnya_poplavkovie_pdu) – свободный (дата обращения 17.03.2020).



12. Датчик избыточного давления Корунд-ДИ-001 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.mano-term.ru/opisanie/korund-di-001> – свободный (дата обращения 19.03.2020).

13. Расчет мощности водонагревателя [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://teplo-spb.ru/stati/kak-vybrat/raschet-vremeni-nagreva-temperature-smeshannoy-vody-i-moshchnosti-vodonagrevatelya.html> – свободный (дата обращения 23.03.2020).

14. Математическое моделирование многокомпонентных химических процессов / А.В. Кравцов, Н.В. Ушева, О.Е. Мойзес, А.Ф. Фёдоров – Томск, 2010 г.–108с.

15. Технологические основы и моделирование процессов промышленной подготовки нефти и газа: учебное пособие / А.В. Кравцов, Н.В. Ушева, Е.В. Бешагина, О.Е. Мойзес, Е.А. Кузьменко, А.А. Гавриков – Томск: Изд-во ТПУ, 2012. – 128 с.

16. Исследование процесса осаждения твердых частиц в жидкостях под действием силы тяжести: учебно-методическое пособие / А.С. Кантаев, И.Д. Брус, Ф.А. Ворошилов – Томск: Изд-во ТПУ, 2012. – 24 с.

17. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: учебно-методическое пособие / Н.А. Гаврикова, И.Г. Видяев, Г.Н. Серикова, Н.В. Шаповалова – Томск: изд-во ТПУ, 2014. – 73с.

18. Районный коэффициент [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://assistentus.ru/oplata-truda/rajonnyj-koefficient/>, свободный (дата обращения 05.05.2020).

19. Федеральный закон от 24.07.2009 N 212-ФЗ "О страховых взносах в Пенсионный фонд Российской Федерации, Фонд социального страхования Российской Федерации, Федеральный фонд обязательного медицинского страхования" [Электронный ресурс] – Режим доступа: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_89925/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_89925/), свободный (дата обращения 05.05.2020).

20. Срок полезного использования офисной техники [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://praktibuh.ru/buhuchet/vneoborotnye/os/amortizatsiya/srok-poleznogo-ispolzovaniya-kompyutera.html> , свободный (дата обращения 13.05.2020).

21. Охрана труда и техника безопасности: учебник для прикладного бакалавриата / Г. И. Беляков – Москва: изд-во Юрайт, 2016 г. – 404 с.

22. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила безопасности в нефтяной и газовой промышленности» – Москва: ЗАО «Научно-технический центр исследований проблем промышленной безопасности», 2013 г. – 288 с.

23. ГОСТ 12.2.032-78 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200003913>, свободный (дата обращения 6.05.2020).

24. Суммарный уровень шума нескольких источников [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://studfile.net/preview/3940278/page:4/>, свободный (дата обращения 6.05.2020).

25. 7. Кабель КВВГ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://kps.ru/spravochnik/kabeli-kontrolnyie/s-pvx-izolyacziej-\(0,66kv\)/kvvg/](https://kps.ru/spravochnik/kabeli-kontrolnyie/s-pvx-izolyacziej-(0,66kv)/kvvg/) – свободный (дата обращения 18.05.2020).

**Приложение А**  
**(обязательное)**

**Амплитудно-частотные характеристики керамики**

Таблица П1. Амплитудно-частотные характеристики для керамики №1

Входное напряжение, В	1	2	3	4	5	6	7
Амплитуда max, А	1,8	2,8	4	5,1	6,4	7,5	8,8
Частота пика, кГц	50						
Минимум, А	0,5	0,86	1,2	1,9	2,4	3,3	3,9
Частота минимума, кГц	57,5						
Амплитуда max, А	1,9	2,8	4,1	5,2	6,5	8,4	9,6
Частота пика, кГц	124						
Минимум, А	0,54	0,86	1,2	1,9	2,4	3,3	3,9
Частота минимума, кГц	126,5						

Таблица П2. Амплитудно-частотные характеристики для керамики №2

Входное напряжение, В	1	2	3	4	5	6	7
Амплитуда max, А	2,55	4,3	5,5	7,2	9,6	11,4	13,2
Частота пика, кГц	57						
Минимум, А	1,4	2,3	3	4,2	5,2	6,1	7,1
Частота минимума, кГц	57,5						

Таблица П3. Амплитудно-частотные характеристики для керамики №3

Входное напряжение, В	1	2	3	4	5	6	7
Амплитуда max, А	1,52	2,6	3,6	4,7	5,7	6,9	7,8
Частота пика, кГц	50						
Минимум, В	0,043	0,074	0,104	0,14	0,2	0,24	0,26
Частота минимума, кГц	58						
Выходное напряжение, В	1,8	2,55	3,5	4,7	5,8	6,8	7,8
Частота пика, кГц	124						
Минимум, В	0,6	0,92	1,36	1,95	2,55	3,25	4,2
Частота минимума, кГц	127						

Таблица П4. Амплитудно-частотные характеристики для керамики №4

Входное напряжение, В	1	2	3	4	5	6	7
Выходное напряжение, В	1,9	2,7	3,8	5,2	6,4	7,3	8,6
Частота пика, кГц	50						
Минимум, В	0,047	0,072	0,104	0,16	0,2	0,255	0,305
Частота минимума, кГц	58						
Выходное напряжение, В	1,8	2,7	4	5,2	6,5	7,7	9
Частота пика, кГц	123						
Минимум, В	0,6	0,96	1,4	2,1	2,8	3,55	4,5
Частота минимума, кГц	127						

Таблица П5. Амплитудно-частотные характеристики для керамики №5

Входное напряжение, В	1	2	3	4	5	6	7
Амплитуда,	1,85	2,7	3,9	5,1	6,6	7,8	9,2
Частота пика, кГц	60						
Минимум, В	0,005	0,008	0,01	0,014	0,02	0,023	0,026
Частота минимума, кГц	71						
Выходное напряжение, В	1,7	2,55	3,4	4,7	5,8	7	8,1
Частота пика, кГц	97						
Минимум, В	0,012	0,02	0,026	0,035	0,046	0,054	0,062
Частота минимума, кГц	100,5						
Выходное напряжение, В	1,6	2,5	3,3	4,4	5,4	6,5	7,5
Частота пика, кГц	119,5						
Минимум, В	0,015	0,023	0,032	0,045	0,056	0,067	0,08
Частота минимума, кГц	121						
Выходное напряжение, В	1,85	2,85	4	5,3	6,7	8,2	9,4
Частота пика, кГц	140						
Минимум, В	0,0085	0,012	0,016	0,019	0,0225	0,028	0,03
Частота минимума, кГц	145						

## Приложение Б

(обязательное)

### Карта рабочих режимов

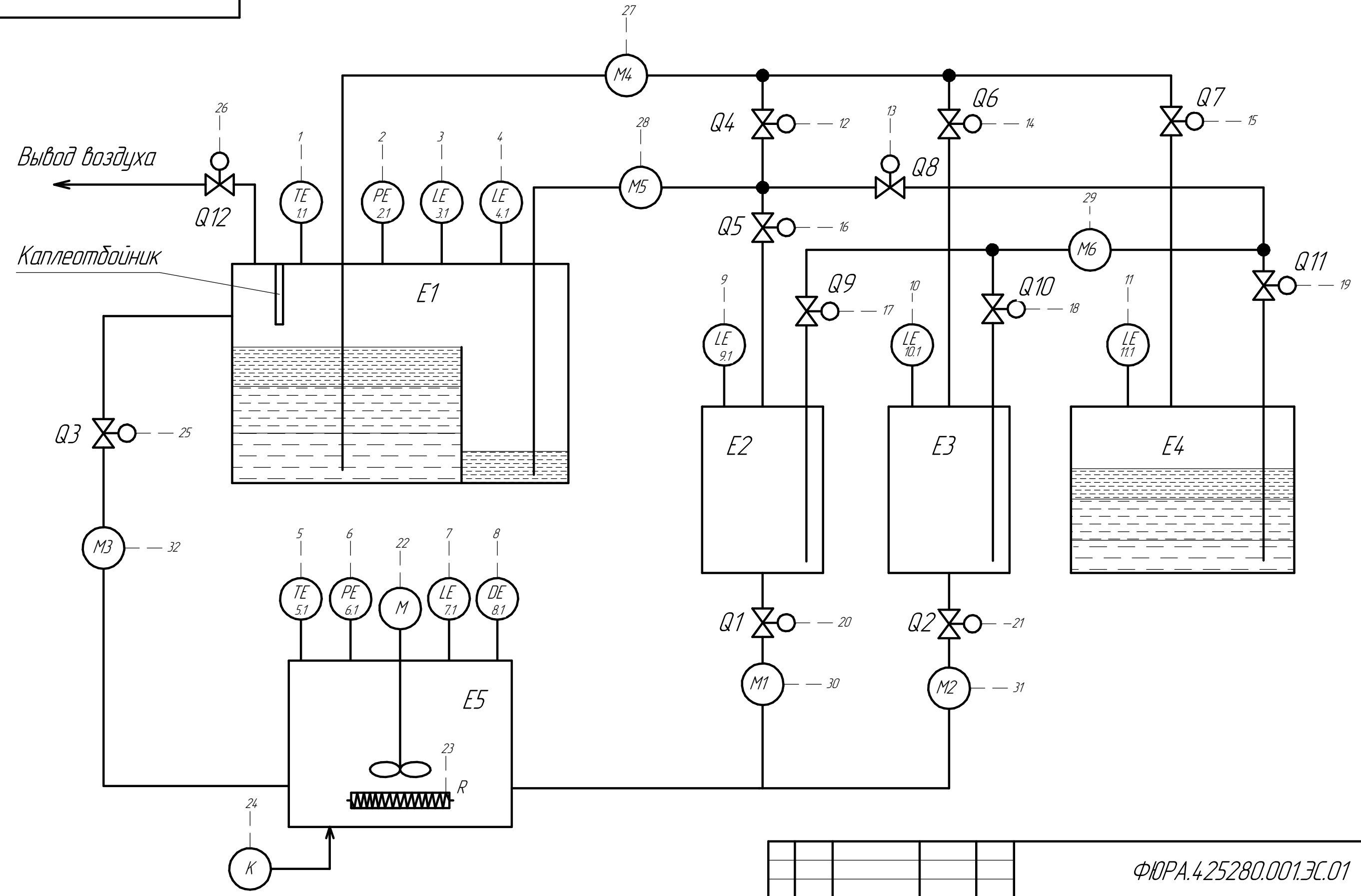
Таблица П6 – Карта рабочих режимов

	Технический прогон	Статический режим	Динамический режим
Насос М1	+	+	+
Насос М2	+	+	+
Насос М3	+	+	+
Насос М4	+	+	+
Насос М5	+	+	+
Насос М6	+	+	+
Клапан Q1	+	+	+
Клапан Q2	+	+	+
Клапан Q3	+	+	+
Клапан Q4	+	+	+
Клапан Q5	+	+	+
Клапан Q6	+	+	+
Клапан Q7	+	+	+
Клапан Q8	-	-	+
Клапан Q9	+	+	+
Клапан Q10	+	+	+
Клапан Q11	+	+	+
Датчик уровня LE1	+	+	+
Датчик уровня LE2	+	+	+
Датчик уровня LE3	+	+	+
Датчик уровня LE4	+	+	+
Датчик уровня LE5	-	+	+

Продолжение таблицы П6 – Карта рабочих режимов

Датчик уровня LE6	-	+	+
Датчик давления PE1	-	-	-
Датчик давления PE2	-	-	-
Датчик температуры TE1	-	-	-
Датчик температуры TE2	+	+	+
Датчик плотности DE1	-	-	-
Мешалка M	+	+	+
Компрессор K	+	+	+
Нагреватель R	+	+	+

Перв. примен.  
Справ. №  
Подп. и дата  
Инв. № дцкл.  
Взам. инв. №  
Подп. и дата  
Инв. № подл.



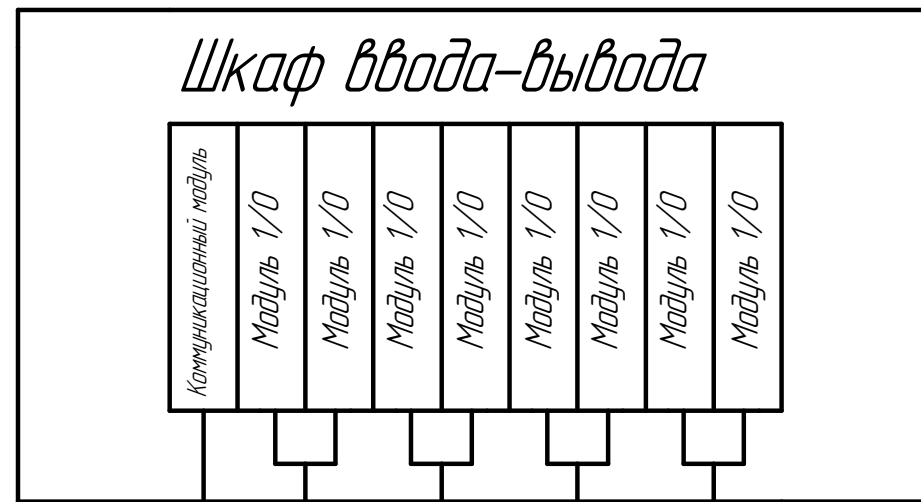
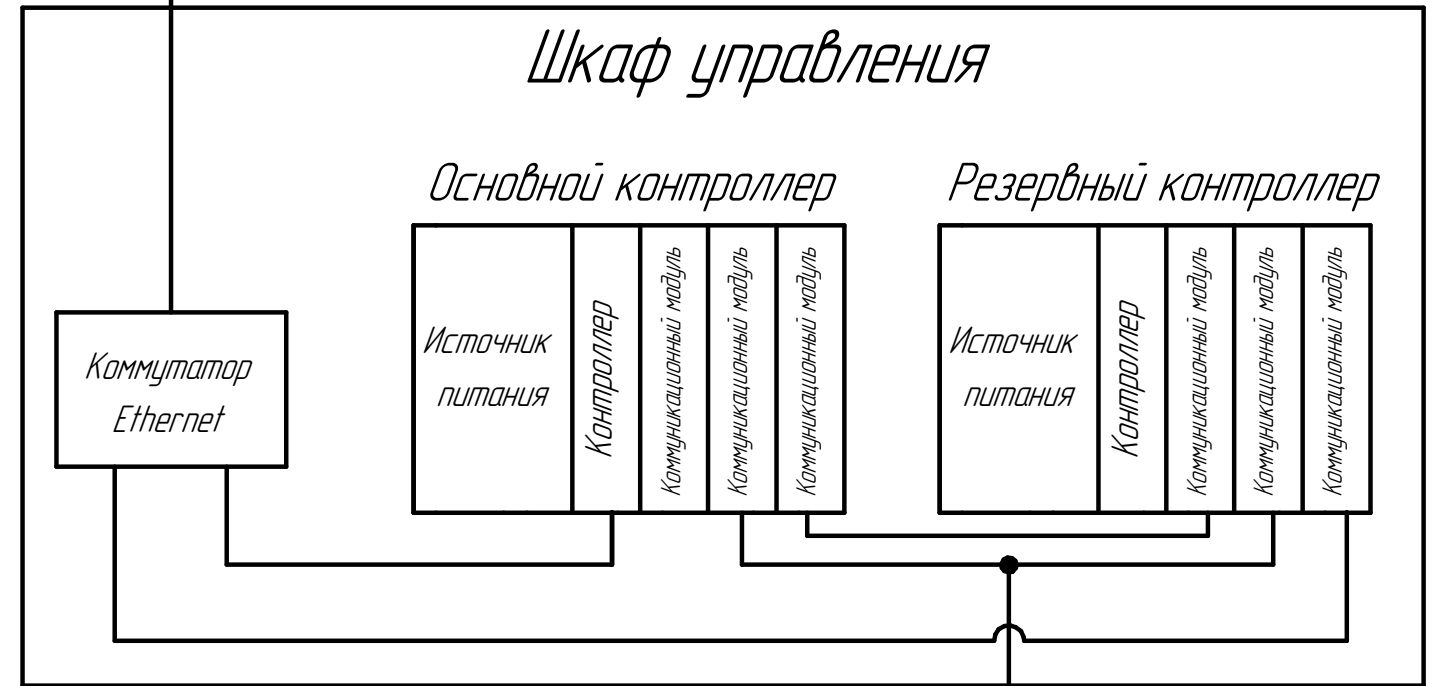
				ФЮРА.425280.001.ЭС.01				
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Разработка системы управления стандом "Трёхфазный сепаратор скважинной жидкости"	Лит.	Масса	Масштаб
Разраб.		Мигель А.В.				У		1:1
Проб.		Филипас А.А.				Лист	Листов	1
Т.контр.						ТПУ ИШИТР ОАР гр. 8Т6А		
Н.контр.					Функциональная схема автоматизации			
Утв.					Копировал			
						Формат А3		





АРМ оператора

ОРС



AI (4..20mA) HART  
 DI (10 VDC; 24VDC)  
 ModBus RTU  
 RS -485

Датчики и исполнительные устройства системы управления

					ФЮРА.425280.001.ЭС.03			
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Разработка системы управления стандом "Трёхфазный сепаратор скважной жидкости"	Лит.	Масса	Масштаб
Разраб.		Мигель А.В.				У		
Пров.		Филипас А.А.				Лист	Листов	1
Т.контр.								
Н.контр.					Структурная схема	ТПУ ИШИТР ОАР гр. 8Т6А		
Утв.								

Перв. примен.

Справ. №

Подп. и дата

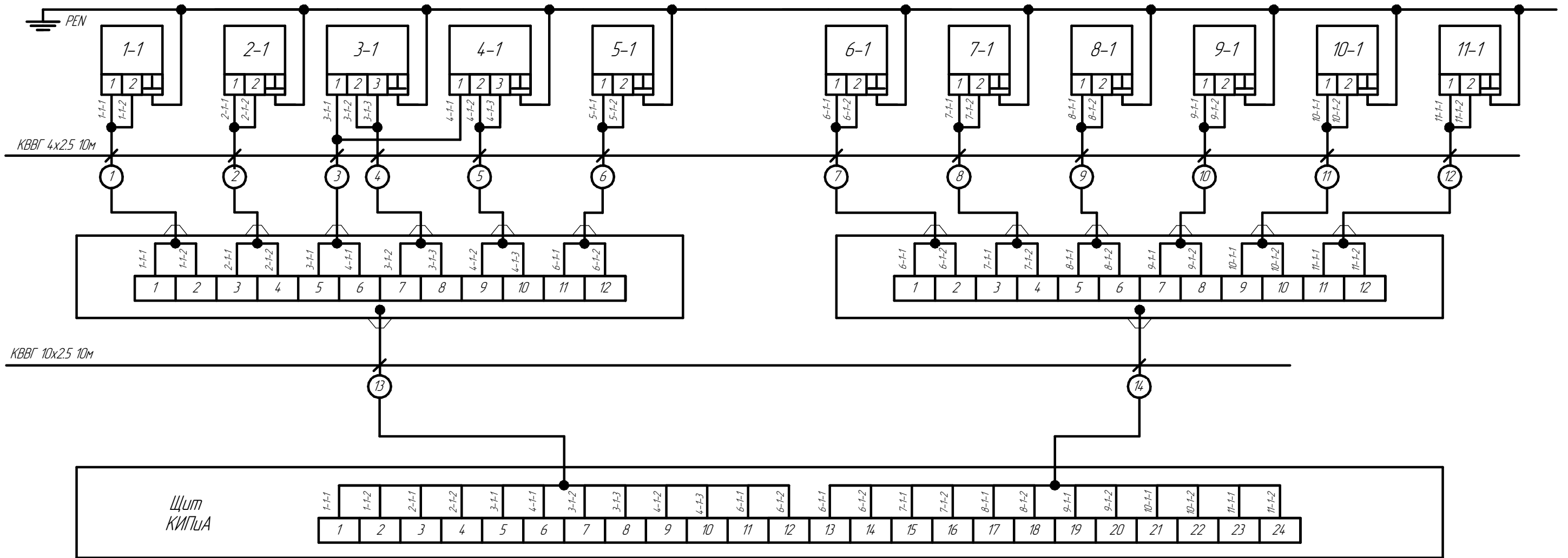
Инд. № дщдл.

Взам. инв. №

Подп. и дата

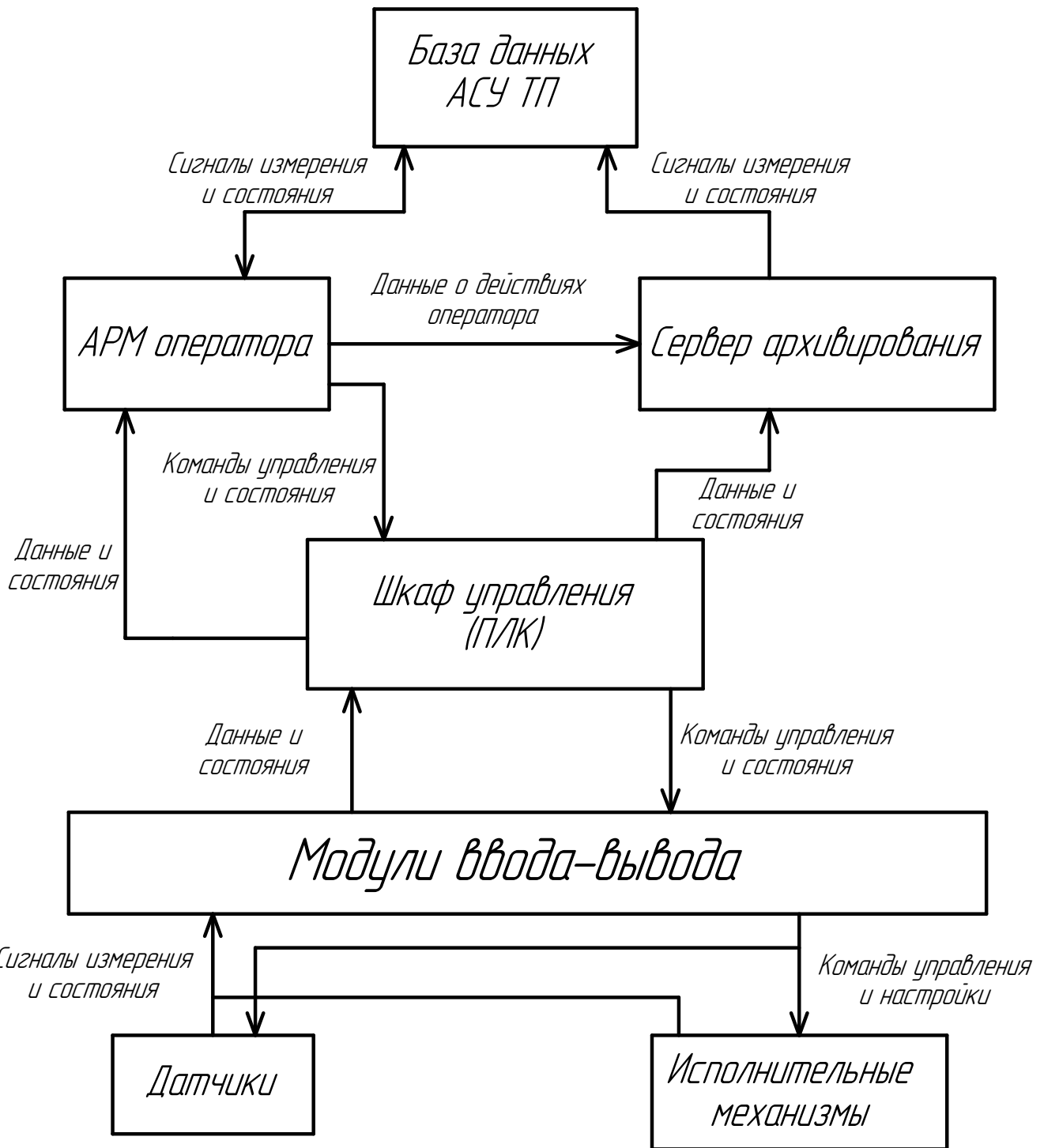
Инд. № подл.

Наименование параметра	Температура		Давление		Уровень						Плотность
	Основная ёмкость сепаратора	Смеситель	Основная ёмкость сепаратора	Смеситель	Основная ёмкость сепаратора	Основная ёмкость сепаратора (за перегардой)	Смеситель	Ёмкость E2	Ёмкость E3	Отстойник	Смеситель
Место отбора импульса											
Датчик	Метран 274	Метран 274	Корунд-ДИ-001М	Корунд-ДИ-001М	Овен ПДУ 2.1	Овен ПДУ 1.3	Овен ПДУ 1.3	Овен ПДУ 1.3	Овен ПДУ 1.3	Овен ПДУ 2.1	ДП.7
Позиция	1-1	2-1	3-1	4-1	5-1	6-1	7-1	8-1	9-1	10-1	11-1



				ФЮРА.425280.001.ЭС.04				
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Разработка системы управления стандом "Трёхфазный сепаратор скважинной жидкости"	Лит.	Масса	Масштаб
Разраб.	Мигель А.В.					у		
Пров.	Филипас А.А.					Лист	Листов	1
Т.контр.						ТПУ ИШИТР ОАР гр. 8Т6А		
Н.контр.					Схема соединений внешних проводок			
Утв.					Копировал			
						Формат А3		

ФЮРА.425280.001.ЭС.05



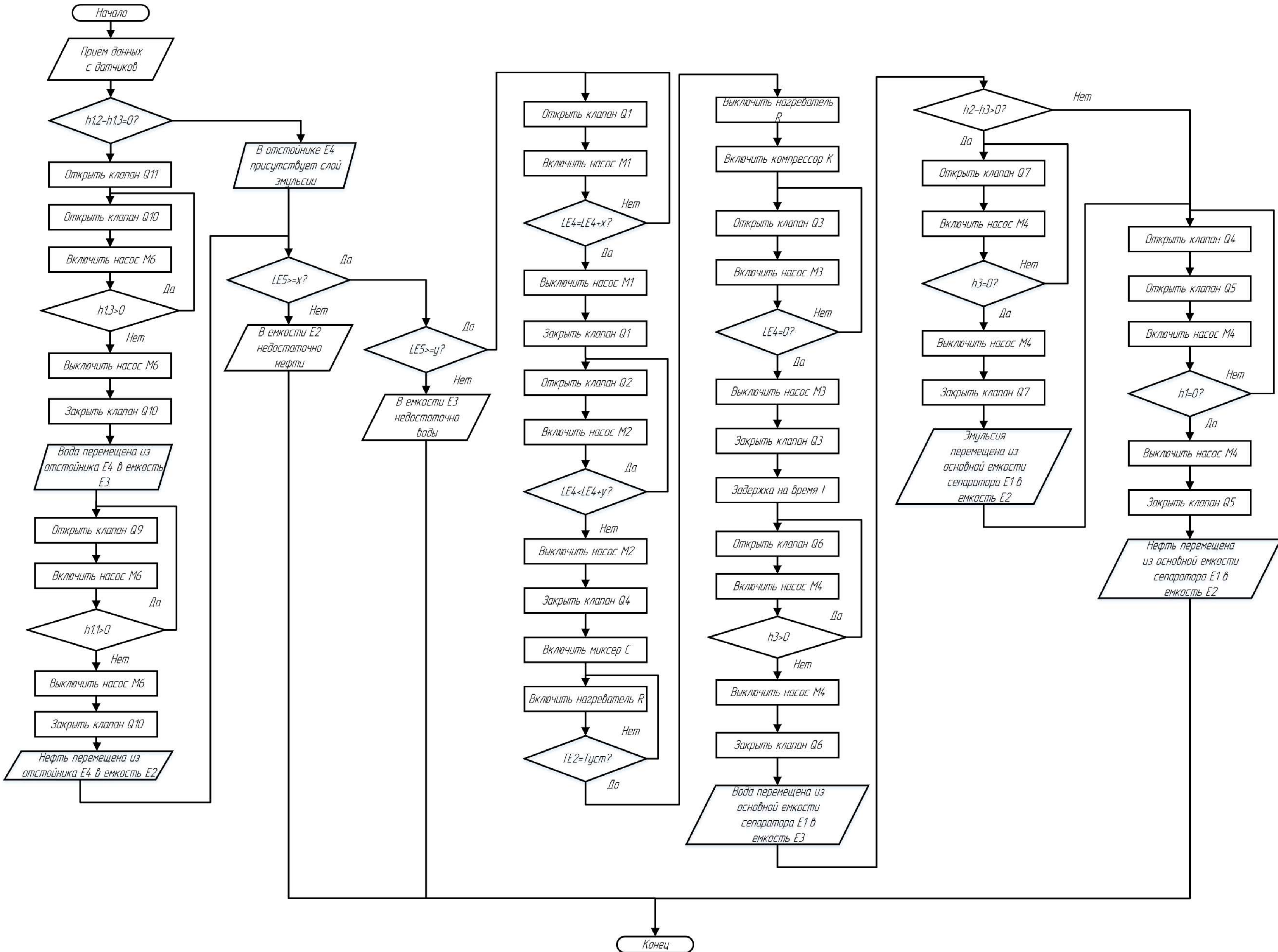
Перв. примен. / Справ. № / Подп. и дата / Инв. № дробл. / Взам. инв. № / Подп. и дата / Инв. № подл.

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.		Мигель А.В.		
Пров.		Филипас А.А.		
Т.контр.				
Н.контр.				
Утв.				

ФЮРА.425280.001.ЭС.05					
Разработка системы управления стандом "Трёхфазный сепаратор скважной жидкости"			Лит.	Масса	Масштаб
			у		
Схема информационных потоков			Лист	Листов	1
			ТПУ ИШИТР ОАР зр.8Т6А		







Перв. измен. Справ. №

Инд. № подл. Инв. № дубл. Подп. и дата. Подп. и дата. Инв. № подл.

ФЮРА.425280.001.ЭС.07				Лит	Масса	Масштаб
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	у	1:1
Разраб.	Мигель А.В.				Лист	Листов 1
Проб.	Филипас А.А.				ПЧ ИШИТР ОАР зр. 8Т6А	
Т.контр.					Копировал Формат А2	
Н.контр.						
Утв.						

ФЮРА.425280.001.ЭС.07

Разработка системы управления стендом "Трехфазный сепаратор скважинной жидкости"

Алгоритм статического режима работы

Копировал Формат А2

Перв. примен.

Справочный №

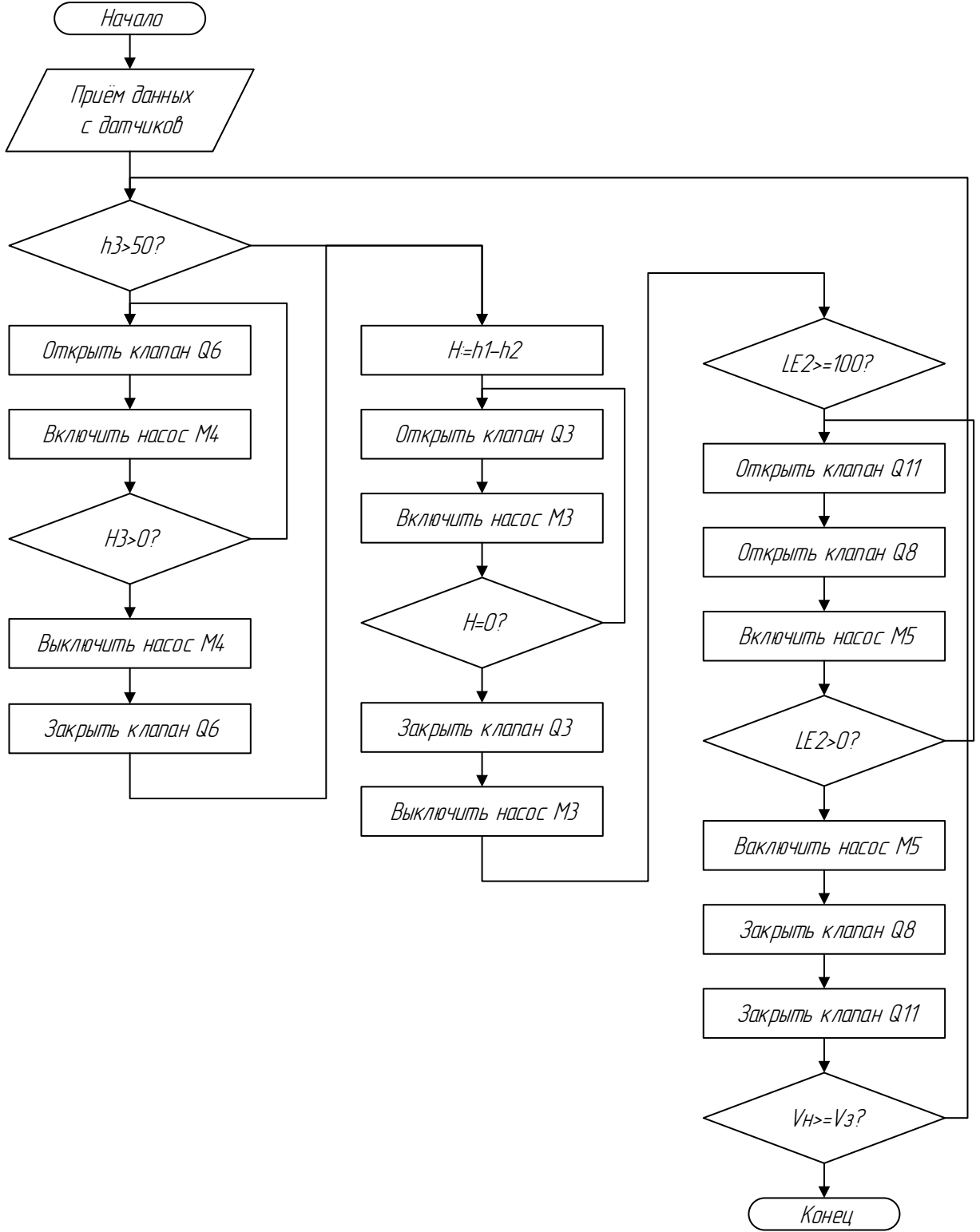
Подп. и дата

Инд. № докл.

Взам инд. №

Подп. и дата

Инд. № подл.



ФЮРА.4.25280.001.ЭС.08

Разработка системы управления стендом физического подобия «Трёхфазный сепаратор скважной жидкости»

Алгоритм регулировки уровня в динамическом режиме

Лит.	Масса	Масштаб
у		
Лист	Листов	

ТПУ ИШИТР ОАР гр. 8Т6А

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.		Мигель А.В.		
Пров.		Филипас А.А.		
Т. контр.				
Нач. отд.				
Н. контр.				
Утв.				