

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 – 15.04.04 Автоматизация технологических процессов и производств
 Отделение школы (НОЦ) – Отделение автоматизации и робототехники

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Разработка системы управления установкой физического подоби́я трехфазного сепаратора в статическом и динамическом режимах

УДК 004.895:530.17

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ТМ92	Петухов Максим Сергеевич		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Зав. кафедрой - руководитель отделения на правах кафедры, ОАР ИШИТР	Филипас Александр Александрович	К.Т.Н.		

Консультант

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ОАР ИШИТР	Цавнин Алексей Владимирович	-		

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	Сечин Андрей Александрович	К.Т.Н.		

Консультант – лингвист отделения иностранных языков ШБИП:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОИЯ ШБИП	Сидоренко Татьяна Валерьевна	к.п.н., доцент		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Гайворонский Сергей Анатольевич	к.т.н., доцент		

Томск – 2021 г.

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ

по направлению – 15.04.04 – Автоматизация технологических процессов и производств

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
<i>Профессиональные компетенции</i>	
P1	Демонстрировать 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. Уметь сочетать теорию, практику и методы для решения инженерных задач, и понимать область их применения
P2	Иметь осведомленность о передовом отечественном и зарубежном опыте в области теории, проектирования, производства и эксплуатации систем автоматизации технологических процессов и производств.
P3	Применять полученные знания для определения, формулирования и решения инженерных задач при разработке, производстве и эксплуатации современных систем автоматизации технологических процессов и производств с использованием передовых научно-технических знаний и достижений мирового уровня, современных инструментальных и программных средств.
P4	Уметь выбирать и применять соответствующие аналитические методы и методы проектирования систем автоматизации технологических процессов и обосновывать экономическую целесообразность решений.
P5	Уметь находить необходимую литературу, базы данных и другие источники информации для автоматизации технологических процессов и производств.
P6	Уметь планировать и проводить эксперимент, интерпретировать данные и их использовать для ведения инновационной инженерной деятельности в области автоматизации технологических процессов и производств.
P7	Уметь выбирать и использовать подходящее программно-техническое оборудование, оснащение и инструменты для решения задач автоматизации технологических процессов и производств.
<i>Универсальные компетенции</i>	
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	Понимать необходимость и уметь самостоятельно учиться и повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности.

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 – 15.04.04 Автоматизация технологических процессов и производств
 Отделение школы (НОЦ) – Отделение автоматизации и робототехники
 Период выполнения – весенний семестр 2020/2021 учебного года

Форма представления работы:

Магистерской диссертации

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
	Основная часть	60
21.05.2021	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	20
17.05.2021	Социальная ответственность	20

СОСТАВИЛ:

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Зав. кафедрой - руководитель отделения на правах кафедры, ОАР ИШИТР	Филипас Александр Александрович	к.т.н.		

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Гайворонский Сергей Анатольевич	к.т.н., доцент		

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 – 15.04.04 Автоматизация технологических процессов и производств
 Отделение школы (НОЦ) – Отделение автоматизации и робототехники

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП

 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

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

Студенту:

Группа	ФИО
8ТМ92	Петухов Максим Сергеевич

Тема работы:

Разработка системы управления установкой физического подобию трехфазного сепаратора в статическом и динамическом режимах	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№ 50-10/с от 19.02.2021

Срок сдачи студентом выполненной работы:	01.06.2021
--	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i>	Объектом исследования является стенд физического подобию трехфазного сепаратора, на основе которого необходимо разработать автоматизированную систему управления.
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Разработка структурной схемы стенда; 2. Разработка комплекса технических средств; 3. Разработка схем электрических принципиальных; 4. Разработка алгоритмов стенда; 5. Выбор оборудования; 6. Разработка структуры информационно-измерительной системы; 7. Разработка имитационной модели.

Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>		–
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i>		
Раздел	Консультант	
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Трубченко Татьяна Григорьевна, Доцент отделения социально-гуманитарных наук, кандидат экономических наук	
Социальная ответственность	Сечин Андрей Александрович, доцент отделения общетехнических дисциплин, кандидат технических наук	
Раздел на иностранном языке	Сидоренко Татьяна Валерьевна, доцент отделения иностранных языков, кандидат педагогических наук	
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:		
Аналитический обзор существующих систем		

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	01.03.2021
---	------------

Задание выдал руководитель / консультант (при наличии):

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Зав. кафедрой - руководитель отделения на правах кафедры, ОАР ИШИТР	Филипас Александр Александрович	К.Т.Н.		

Консультант:

Ассистент ОАР ИШИТР	Цавнин Алексей Владимирович	–		
------------------------	--------------------------------	---	--	--

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ТМ92	Петухов Максим Сергеевич		

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

Студенту:

Группа	ФИО
8ТМ92	Петухову Максиму Сергеевичу

Школа	ИШИТР	Отделение школы (НОЦ)	ОАР
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	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, финансовых и человеческих	Бюджет проекта – 923 342,71 руб.; В реализации проекта задействованы два человека: руководитель, инженер.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Премиальный коэффициент 30 %; Коэффициент доплат и надбавок 20 %; Районный коэффициент 30 %; Накладные расходы 16 %; Минимальный размер оплаты труда (на 01.01.2021) 12 792 руб.
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений	Налог во внебюджетные фонды 30 %

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ	Оценка потенциальных потребителей исследования, анализ конкурентных решений, SWOT – анализ.
2. Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок	Описание потенциальных потребителей, анализ конкурентных технических решений, SWOT-анализ
3. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности и потенциальных рисков	Оценка сравнительной эффективности исследования. Интегральный показатель ресурсоэффективности – 4,6 Интегральный показатель эффективности – 5,23 Сравнительная эффективность проекта – 1,00

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)

1. Сегментирование рынка,
2. Оценочная карта конкурентных технических решений,
3. Матрица SWOT,
4. Диаграмма Ганта,
5. Расчет бюджета затрат,
6. Основные показатели эффективности ИП,
7. Основные мероприятия по снижению рисков.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Трубченко Т. Г.	Канд.экон.наук, доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ТМ92	Петухов Максим Сергеевич		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
8ТМ92	Петухову Максиму Сергеевичу

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

Тема ВКР:

Разработка системы управления физического подобия трехфазного сепаратора в статическом и динамическом режимах	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Объектом исследования является автоматизированный стенд физического подобия, реализуемый с целью выявления более эффективных методов сепарации нефти. Стенд включает в себя аппаратную и программную часть. Аппаратная часть включает в себя сепаратор, технологические ёмкости, исполнительные механизмы и блок автоматики. Программная часть осуществляет управление, сбор данных и формирование отчетов. Область применения системы - лабораторные и учебные помещения организаций, осуществляющих исследования в области подготовки и транспортировки нефти.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: 1.1 Специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; 1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Трудовой кодекс РФ от 30.12.2001 № 197-ФЗ; 2. Закон о санитарно-эпидемиологическом благополучии от 30.03.1999 № 52-ФЗ; 3. ППБ 01-93; 4. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03; 5. СП. 5.13130.2009.
2. Производственная безопасность: 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов; 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия.	<ul style="list-style-type: none"> – Отклонение показателей микроклимата; – Превышение уровня шума; – Недостаточная освещенность рабочей зоны; – Превышение уровня электромагнитных излучений.
3. Экологическая безопасность:	– Анализ воздействия на литосферу: образование отходов при утилизации нефти в емкостях стенда и поломке ПК.
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	– Существует вероятность возникновения пожара.

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ООД ШБИП	Сечин Андрей Александрович	К.Т.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ТМ92	Петухов Максим Сергеевич		

Реферат

Пояснительная записка содержит 116 страниц машинописного текста, 25 рисунка, 28 таблиц, 30 источников литературы, 6 приложений.

Ключевые слова: автоматизация, исполнительный механизм, система управления, сепарация, стенд.

Объектом работы является установка физического подобия трехфазного сепаратора нефти.

Целью проекта является разработка системы управления установкой физического подобия трехфазного сепаратора для исследования динамики сепарации жидкости.

В результате исследования разработаны установка физического подобия трехфазного сепаратора нефти, а также система управления данной установкой в статическом и динамическом режимах работы.

В данной работе представлены 3D модель стенда, выбор оборудования, схемы электрические принципиальные, структурная схема установки, схема структуры информационно-измерительной системы, имитационная модель стенда.

Разработанное решение позволяет исследовать процесс разделения фаз нефтяной эмульсии, а также воздействовать на данный процесс с целью его усовершенствования.

Потенциальными потребителями результатов исследования являются учебные заведения, коммерческие организации в нефтегазовой отрасли, в частности предприятия, занимающиеся подготовкой нефтяной продукции к транспорту.

Для выполнения выпускной квалификационной работы использовались такие программные продукты, как MS Word, Autodesk Inventor 2019, CoDeSys V3.

Определения и обозначения

В данной работе применены следующие термины с соответствующими определениями.

автоматизированная система (АС): Это комплекс аппаратных и программных средств, предназначенный для управления различными процессами в рамках технологического процесса. Термин автоматизированная, в отличие от термина автоматическая подчеркивает сохранение за человеком–оператором некоторых функций, либо наиболее общего, целеполагающего характера, либо не поддающихся автоматизации;

объект управления (ОУ): Обобщающий термин кибернетики и теории автоматического управления, обозначающий устройство или динамический процесс, управление поведением которого является целью создания системы автоматического управления;

программируемый логический контроллер (ПЛК): Специализированное компьютеризированное устройство, используемое для автоматизации технологических процессов. В отличие от компьютеров общего назначения, ПЛК имеют развитые устройства ввода–вывода сигналов датчиков и исполнительных механизмов, приспособлены для длительной работы без серьёзного обслуживания, а также для работы в неблагоприятных условиях окружающей среды. ПЛК являются устройствами реального времени;

автоматизированная система управления технологическим процессом (АСУ ТП): Комплекс программных и технических средств, предназначенный для автоматизации управления технологическим оборудованием на предприятиях. Под АСУ ТП, как правило, понимается комплексное решение, которое обеспечивает автоматизацию основных технологических операций на производстве в целом или каком–то его участке, выпускающем относительно завершённый продукт.

Обозначения и сокращения

КТС – комплекс технических средств;

ПО – программное обеспечение;

АСУ – автоматизированная система управления;

ГЗЖ – газо-жидкостная смесь;

ПО – программное обеспечение;

АС – автоматизированная система;

СИ – средства измерения;

ДНС – дожимная насосная станция;

ПК – персональный компьютер;

ЭВМ – электронно-вычислительная машина;

ИМ – исполнительный механизм.

Оглавление

Определения и обозначения.....	9
Введение.....	14
1 Техническое задание.....	16
1.1 Полное название.....	16
1.2 Краткая характеристика области применения	16
1.3 Основные задачи и цели создания АСУ ТП.....	16
1.4 Требования к системе в целом.....	16
1.5 Требования к техническому обеспечению	17
1.6 Требования к математическому обеспечению	17
1.7 Требования к программной документации	18
2 Аналитический обзор существующих систем	19
2.1 Промысловая подготовка нефти.....	19
2.2 Подготовка нефти к транспорту	19
2.3 Сепарация нефти	21
2.3.1 Принципы работы нефтяного сепаратора	23
2.3.2 Образование эмульсий.....	26
2.3.3 Физико-химические свойства нефтяных эмульсий.....	26
3 Устройство и принцип работы стенда	29
3.1 Конструкция стенда	29
3.2 Описание комплекса технических средств	30
3.3 Подбор оборудования.....	31
3.3.1 Выбор клапанов.....	31
3.3.2 Выбор насоса	32
3.3.3 Выбор контроллера.....	33
3.4 Разработка принципиальных электрических схем	35
4 Принцип работы стенда.....	37
4.1 Разработка алгоритмов работы стенда	39
4.1.1 Алгоритм работы стенда в статическом режиме.....	39
4.1.2 Алгоритм работы стенда в динамическом режиме	41

4.1.3	Алгоритм технологического прогона	43
4.2	Компьютерное зрение.....	43
4.3	Структура информационно-измерительной системы	44
5	Разработка имитационной модели стенда.....	46
5.1	Имитационная модель в Matlab SimHydraulics.....	46
5.2	Связь имитационной модели с ПЛК	50
6	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	51
6.1	Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности	51
6.1.1	Потенциальные потребители результатов исследования	51
6.1.2	Анализ конкурентных технических решений.....	52
6.1.3	SWOT – анализ	54
6.2	Планирование научно-исследовательских работ	56
6.2.1	Структура работ в рамках научного исследования.....	56
6.2.2	Определение трудоемкости выполнения работ	57
6.2.3	Разработка графика проведения научного исследования.....	58
6.3	Бюджет научно-технического исследования (НТИ)	62
6.3.1	Расчет материальных затрат	62
6.3.2	Расчет материальных затрат НТИ.....	62
6.3.3	Основная заработная плата исполнителей темы	64
6.3.4	Дополнительная заработная плата исполнителей темы	66
6.3.5	Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления).....	66
6.3.6	Накладные расходы	67
6.3.7	Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта	67
6.4	Определение ресурсной, финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.....	68
6.5	Риски разработки.....	70
7	Социальная ответственность	73

7.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	74
7.1.1 Специальные правовые нормы трудового законодательства....	74
7.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны	75
7.2 Производственная безопасность	77
7.2.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов.....	77
7.2.2 Обоснование мероприятий по снижению уровней воздействия опасных и вредных факторов на исследователя (работающего)	78
Повышенный уровень шума	78
Отклонение показателей микроклимата.....	79
Производственное освещение	82
Уровень электромагнитных излучений	84
Опасность поражения электрическим током	84
7.3 Экологическая безопасность.....	86
Анализ влияния процесса исследования на окружающую среду	87
7.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	87
7.4.1 Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований	88
7.4.2 Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС	89
Выводы по разделу социальная ответственность.....	90
Заключение	91
Список использованных источников	92
Приложение А. Development of a three-phase separator control system.....	96
Приложение Б. Схемы электрические принципиальные	109
Приложение В. Блок-схема работы стенда в статическом режиме	120
Приложение Г. Блок-схема работы стенда в динамическом режиме.....	122
Приложение Д. Блок-схема технологического прогона оборудования ..	124
Приложение Е. Имитационная модель	126

Введение

Изначально автоматизация применялась лишь к отдельным операциям технологического процесса, но со временем, в процессе развития во многих сферах производства появилось понятие автоматизации, которое распространилось как на основные, так и на вспомогательные процессы технологических производств.

Автоматизация технологических процессов позволяет использовать доступные ресурсы на производстве более экономно и рационально. Она влияет на повышение качества выпускаемой продукции, на повышение производительности труда, увеличение эффективности предприятия.

Актуальность данного проекта обусловлена необходимостью усовершенствования технологии и техники подготовки нефти, в связи с увеличением количества добываемого нефтепродукта в России.

Объектом исследования является автоматизированная установка физического подобия трехфазного сепаратора нефти.

Целью проекта является разработка установки физического подобия трехфазного сепаратора, а также системы управления для исследования динамики сепарации жидкости.

На основе разработанной системы управления нефтедобывающие компании, а также образовательные учреждения способны проводить исследования по дегазации, а также разделению фаз нефтяной эмульсии в статическом и динамическом режимах работы.

Для достижения цели необходимо решить следующие задачи:

1. провести комплекс научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ для исследования технологического процесса сепарации нефти.

2. разработать алгоритмы автоматизированного управления разделением нефтесодержащей смеси в различных режимах.

3. разработать имитационную модель станда, позволяющую в совокупности с ПЛК производить управление работой станда на основе разработанных режимов.

4. произвести сборку установки, а также проверку целостности конструкции и корректности подключения.

1 Техническое задание

1.1 Полное название

Разработка системы управления физического подобия трехфазного сепаратора в статическом и динамическом режимах.

1.2 Краткая характеристика области применения

Данная система предназначена для управления установкой трехфазного сепаратора в различных режимах работ с целью выявления более эффективных методов сепарации нефти.

1.3 Основные задачи и цели создания АСУ ТП

- управление установкой трехфазного сепаратора в статическом и динамическом режимах работы;
- исследование процесса сепарации нефти с целью его усовершенствования;
- использование стенда в учебных целях (разработка различных алгоритмов, а также программы управления).

1.4 Требования к системе в целом

Разрабатываемый стенд должен работать в статическом и динамическом режимах, а также иметь режим технологического прогона, используемый для промывки и проверки работоспособности установленного оборудования.

Статический режим работы стенда подразумевает под собой следующие действия:

1. подготовка исследуемой скважиной жидкости в смесителе;
2. заполнение сепаратора подготовленной нефтяной эмульсией;
3. разделение нефтепродукта на фазы гравитационным методом;
4. перекачка разделенных фаз в ёмкости для воды и нефти.

Динамический режим отличается от статического тем, что все вышеперечисленные действия выполняются одновременно.

1.5 Требования к техническому обеспечению

АСУ ТП обязана обеспечивать передачу и обработку информации от средств автоматизации, поставляемых совместно с технологическим оборудованием.

Комплекс технических средств (КТС) совместно с программным обеспечением (ПО) должен обеспечивать реализацию всех функций, оговоренных в данном техническом задании.

В состав КТС должны входить:

- датчики;
- контроллер;
- исполнительные механизмы;
- средства дистанционного управления, программно-технические средства обработки, хранения и передачи информации.

Контроллеры должны иметь модульную архитектуру, позволяющую свободную компоновку каналов ввода/вывода.

Выбор фирмы-поставщика исполнительных механизмов и датчиков должен основываться на альтернативном выборе и иметь технико-экономическое обоснование.

1.6 Требования к математическому обеспечению

Математическое обеспечение должно представлять собой совокупность математических методов, моделей и алгоритмов обработки информации, используемых при создании и эксплуатации АС, и позволять реализовывать различные компоненты АС средствами единого математического аппарата.

Реализация функций первичной обработки сигналов должна осуществляться с использованием стандартных алгоритмов масштабирования, сглаживания, фильтрации и линеаризации.

1.7 Требования к программной документации

В комплект программной документации программно-инструментального средства должно входить:

- техническое задание;
- пояснительная записка;
- приложения.

Документация должна быть представлена в печатном и в электронном виде в формате Microsoft Word.

2 Аналитический обзор существующих систем

2.1 Промысловая подготовка нефти

Скважинная продукция нефтяных месторождений является многофазной системой – нефтью и газом. Также вместе с нефтью из скважин поступают пластовая вода, нефтяной попутный газ, механические примеси (затвердевший цемент, горные породы и т.д.). Таким образом, скважинная продукция является многокомпонентной системой.

При всем этом, качество товарной нефти должно соответствовать требованиям действующих нормативно-технических документов. Для этого нефть на пути от скважины до товарного резервуара подвергается специальной обработке, включающей в себя удаление лёгких углеводородных газов, находящихся в растворённом либо свободном состояниях, отделение воды, а также извлечение растворённых солей.

Первичная подготовка нефти происходит прямо на объектах ее добычи и включает в себя:

- дегазацию – удаление газа из нефтепродукта;
- стабилизацию – удаление лишних легких фракций;
- обезвоживание – отделение фракции воды от нефти;
- обессоливание – удаление избытка солей.

Пластовая вода, которая содержится в добываемой нефти, является средой с высоким содержанием солей и минералов. Это способствует образованию коррозии трубопроводов и резервуаров, при этом твердые частицы механических примесей приводят к преждевременному износу.

Качественная подготовка нефти к переработке минимизирует вредоносное влияние на оборудование. [6]

2.2 Подготовка нефти к транспорту

Подготовка нефти к транспортировке заключается в удалении из добытого нефтепродукта всех компонентов, затрудняющих его перевозку и дальнейшую переработку.

Газожидкостная смесь со скважин поступает на групповую замерную установку, с помощью которой возможен автоматический замер дебита каждой добывающей скважины.

Замерная установка состоит из распределительного устройства (РУ), сепарационной емкости и трубопроводной обвязки. Газожидкостная смесь после распределительного устройства поступает в сепаратор, в котором проходит процесс сепарирования на три составляющие: газ, нефть и вода. Параметры нефти, полученной при данном этапе сепарации, зачастую не соответствуют требуемым. Поэтому после групповой замерной установки нефть поступает на центральный пункт сбора нефти, где подвергается полному циклу предварительной обработки, который состоит из трехступенчатого разгазирования в сепараторах. Помимо этого, полученное сырье подвергают обессоливанию и обезвоживанию. С помощью этих этапов обработки нефти возможно получение желаемых параметров добываемой нефти.

Из соображений эффективности, экономии и безопасности, предпочтительным методом транспортировки большого количества нефтепродукта являются подземные трубопроводы. По причине потерь на трение жидкости, проходящей по трубопроводу, давление по всей длине трубопровода падает. Для решения этой проблемы, чтобы транспортировать нефтепродукты до центрального пункта сбора, сооружают дожимную насосную станцию (ДНС). Ее задачей является предоставление дополнительной энергии сырья для ее транспортировки на большие расстояния. [1]

Упрощенная схема системы сбора скважинной продукции на кустовых площадках представлена на рисунке 1.

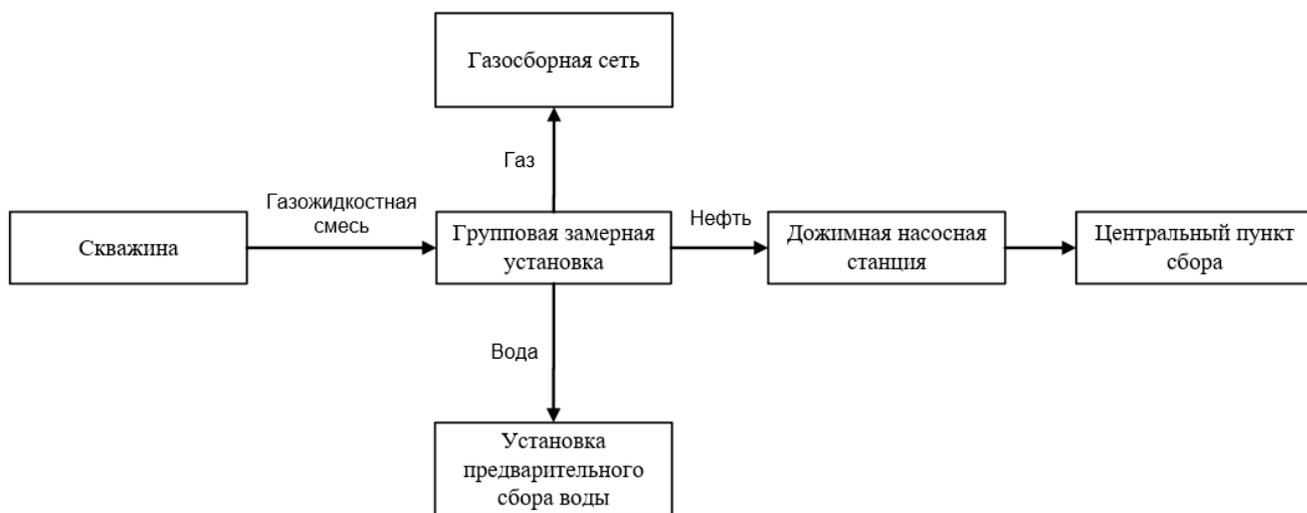


Рисунок 1 – Принципиальная схема системы сбора скважинной продукции

Дожимные насосные станции состоят из:

- сепараторы, выполняющие функцию отделения от нефтепродукта воды и газа;
- технологические подогреватели жидкости;
- отстойники, отделяющие воду от нефти;
- отстойники, отделяющие нефть от воды;
- насосная внешней перекачки нефти.

2.3 Сепарация нефти

Первым этапом нефтепереработки является разделение сырой нефти на её основные компоненты. После добычи из скважины сырая нефть состоит из смеси углеводородных соединений, включая парафиновые, нафтеновые и ароматические углеводороды, а также небольшое количество примесей серы, азота, кислорода и т.д. [2]

Подготовка нефти включает в себя следующие этапы:

1. Дегазация – процесс отделения газа от нефти в сепараторе. Дегазация имеет несколько ступеней сепарации, от количества которых зависит объем извлечения дегазированного продукта из одного и того же количества пластовой эмульсии. С увеличением количества этапов сепарации увеличивается выход дегазированной нефти.

При этом возникает проблема стабилизации. Данный процесс представляет собой отделение легких летучих компонентов от нефти с целью получения пригодного для хранения и транспортировки продукта без значительных потерь. Сложностью организации этого процесса является совмещение двух условий: достижение максимального объема товарной нефти на выходе, при этом соблюдение всех требований нормативных документов по давлению насыщенных паров. [29, 30]

По этой причине весь технологический процесс от сепарации до ректификации и вторичной перегонки довольно усложняется. [3]

2. Обезвоживание – представляет собой процесс отделения воды от нефтепродуктов. Суть данного процесса состоит в укрупнении капель воды, так называемой коагуляции, и перевода их в пленочное состояние с последующим отводом образовавшейся пленки в виде непрерывного потока однородной жидкости.

Данный процесс осуществляется различными методами: гравитационное холодное разделение под действием поля центробежных сил, либо термическое, термохимическое или электрическое воздействия.

3. Обессоливание – процесс удаления минеральных солей из нефтепродукта. В качестве сырья процесса обессоливания обычно является сырая нефть с месторождений, либо с нефтеперекачивающих станций.

Наиболее типичными методами обессоливания сырой нефти являются:

1. Химическое обессоливание – смешивание нефти с водой и химическими поверхностно-активными веществами. Полученная смесь нагревается, соли и другие примеси растворяются и присоединяются к молекулам воды. Далее нагретый раствор отстаивается в резервуаре, в котором осаждаются примеси.

2. Электростатическое обессоливание – создание электростатического высокого напряжения, в результате чего взвешенные капли воды концентрируются на дне отстойника.

2.3.1 Принципы работы нефтяного сепаратора

Нефтегазовый сепаратор представляет собой устройство для отделения нефти от попутного газа и воды. В основном данное устройство применяется в нефтеперерабатывающих, нефтехимических и других сферах, где требуется получить дегазированную и обезвоженную нефть.

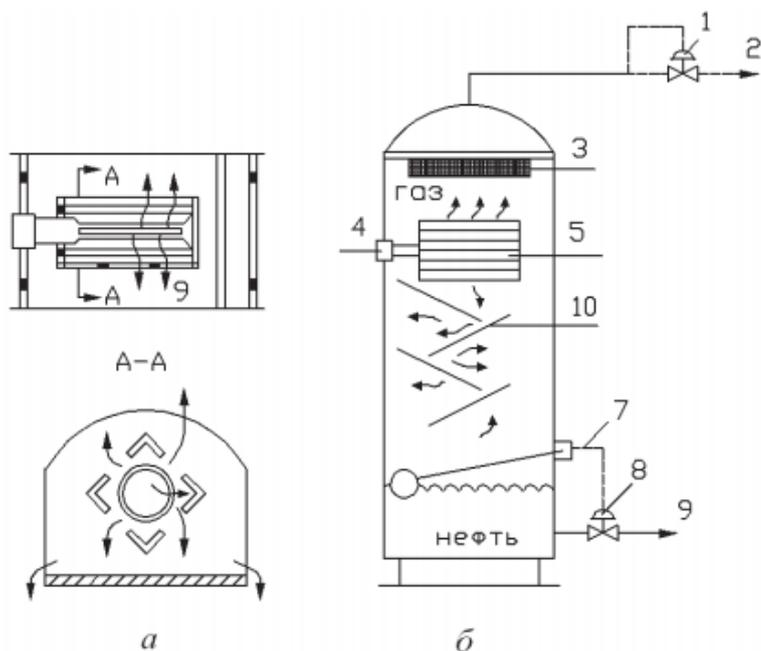
Процесс сепарирования нефти осуществляется в несколько этапов. Количество этих этапов зависит от того объема товарной нефти, который нужно получить из пластовой жидкости. Принципы работы данных сепараторов основывается на действии центробежной силы, разделяющей жидкости жидкую и твердую фазы.

Сепараторы, применяемые в нефтяных промыслах, условно можно разделить на категории, которые представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Виды сепараторов

По назначению	– сепарирующие; – замерно-сепарирующие.
По геометрической форме и положению в пространстве	– цилиндрические; – сферические; – вертикальные; – горизонтальные; – наклонные.
По принципу действия	– гравитационные; – инерционные; – центробежные (гидроциклонные).
По рабочему давлению	– высокого давления (6,4 МПа); – среднего давления (2,5 МПа); – низкого давления (0,6 МПа); – вакуумные.
По числу ступеней сепарации	– первой ступени; – второй ступени; – третьей ступени и т.д.
По разделению фаз	– двухфазный (нефть + газ); – трехфазный (нефть + вода + газ).

В нефтяных сепараторах любого вида различают 4 секции, как представлено на рисунке 2.



а – выход продукции скважины в сепараторе; б – газоотделитель для пенной нефти; 1 – регулятор давления; 2 – вывод газа; 3 – насадка для пленочной сепарации; 4 – ввод продукции скважины; 5 – отбойник газа; 6 – конструктивный узел отбойника газа; 7 – регулятор уровня нефти; 8 – диафрагменный исполнительный клапан; 9 – нефть; 10 – дефлекторы для улучшения отделения газа.

Рисунок 2 – Вертикальный сепаратор

1. В основной секции сепаратора происходит отделение газа от нефтепродукта. Скважинная продукция вводится в основную секцию тангенциально и ударяется об отбойник. Это способствует выделению некоторого количества газа. При этом газ поднимается вверх, а жидкость стекает в нижнюю камеру.

2. В осадительной секции происходит дополнительное отделение газа, который не успел выделиться в основной камере. В данной секции жидкость стекает по дефлекторам, которые необходимы для улучшенного отделения газа.

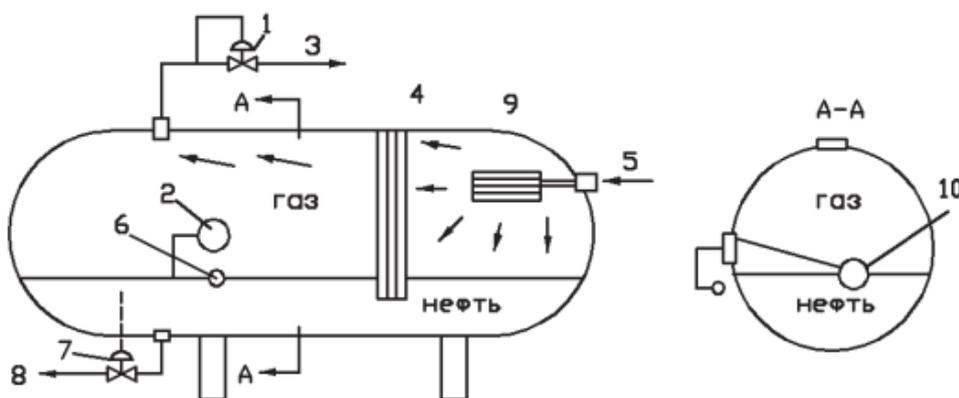
3. В секции сбора жидкости происходит полный сбор дегазированной нефти под определенными давлением и температурой, поддерживаемыми в сепараторе. Обычно данная секция состоит из двух частей. Одна из них служит

для сбора нефти, вторая для воды. При этом слой находящейся в секции жидкости поддерживается поплавковым уровнедержателем.

4. Влагуловительная секция находится в верхней части сепаратора. При выделении газа из нефтепродукта, частицы жидкости задерживаются вместе с потоком и устремляются вверх. Данная секция предназначена для улавливания этих частиц. [4]

Для первой ступени сепарации обычно используют горизонтальные сепараторы. Данный сепаратор отличается повышенной пропускной способностью, лучшим качеством сепарации нефти. При всем этом горизонтальный сепаратор прост в техническом обслуживании и использовании.

Строение горизонтального сепаратора представлено на рисунке 3.



1 – регулятор давления газа; 2 – поплавок; 3 – вывод газа; 4 – поверхность пленочной сепарации лопастного типа; 5 – ввод продукции скважины; 6 – регулятор уровня; 7 – диафрагменный исполнительный клапан; 8 – вывод нефти; 9 – отбойник газа; 10 – поплавок.

Рисунок 3 – Горизонтальный сепаратор

Горизонтальный сепаратор отличается повышенной пропускной способностью, лучшим качеством сепарации нефти. При всем этом данный сепаратор прост в техническом обслуживании и использовании. Они нашли широкое применение как на первой ступени сепарации нефти, так и на последующих. [10]

В разработанной установке используется сепаратор гравитационного типа. В основе работы сепаратора гравитационного типа лежит принцип разделения потока эмульсии на фракции под действием силы тяжести. На скорость процесса сепарации, а также на объем выходной нефти влияют такие показатели, как температура и давление в сепараторе, период цикла, а также особенностями рабочей среды.

2.3.2 Образование эмульсий

В результате поступления к скважине пластовой воды, а также при закачке воды в пласт для поддержания давления возникает эмульсия, состоящая из нефти и воды.

Эмульсия состоит из дисперсной системы двух жидкостей, которые либо нерастворимы, либо малорастворимы друг в друге. Также эти жидкости могут находиться в виде маленьких частиц во взвешенном состоянии.

По характеру дисперсной среды и дисперсной фазы разделяют эмульсию на два типа:

- прямого типа – неполярная жидкость к полярной (нефтеводная);
- обратного типа – полярная жидкость к неполярной (водонефтяная).

2.3.3 Физико-химические свойства нефтяных эмульсий

Перед выбором метода разрушения нефтяной эмульсии, необходимо узнать её физико-химические свойства. К основным свойствам относят:

1. Дисперсность эмульсий представляет собой степень раздробленности дисперсной фазы в дисперсной среде. Данная характеристика является основной для определения свойства эмульсий.

2. Вязкость эмульсии зависит от вязкости самой нефти, количества воды в ней, присутствия механических примесей, а также от температуры, при которой образуется данная эмульсия.

С увеличением обводнённости до определённого значения вязкость эмульсии возрастает и достигает максимума при критической обводнённости,

характерной для данного месторождения. При дальнейшем увеличении обводнённости вязкость эмульсии резко уменьшается. Критическое значение коэффициента обводнения называется точкой инверсии, при которой происходит обращение фаз, т.е. эмульсия типа В/Н превращается в эмульсию типа Н/В. Значение точки инверсии для разных месторождений колеблется от 0,5 до 0,95 г. [5]

3. Плотность эмульсии определяется плотностью воды и нефти, а также их содержанием в эмульсии:

$$\rho_{\text{э}} = \rho_{\text{н}} \cdot (1 - W) + \rho_{\text{в}} \cdot W, \quad (1)$$

где $\rho_{\text{э}}$ – плотность эмульсии, кг/м³;

$\rho_{\text{н}}$ – плотность нефти, кг/м³;

$\rho_{\text{в}}$ – плотность воды, кг/м³;

W – содержание воды в объёмных долях.

Так как вода и нефть в чистом виде являются диэлектриками, электропроводимость нефтяной эмульсии обуславливается как количеством содержащейся в ней воды и степенью её дисперсности, так и количеством растворенных в этой среде солей и кислот. [28]

4. Температура эмульсии, влияющая на её вязкость, как говорилось выше. Уменьшение вязкости нефти приводит к уменьшению устойчивости эмульсии. С понижением температуры частиц парафина в парафинистой нефти адсорбируются на поверхности водяных капель, при этом повышая стойкость эмульсии. Поэтому на нефтяных месторождениях, находящихся в районах Крайнего Севера, наблюдаются трудности в связи с резким увеличением устойчивости эмульсий.

5. Способность эмульсии не разрушаться в течение определенного времени и не разделяться на нефть и воду характеризует устойчивость нефтяной эмульсии. [26]

На данное свойство влияет множество показателей: дисперсность системы, физико-химические свойства эмульгаторов, образующих на поверхности раздела фаз адсорбционные защитные оболочки, наличие на

капельках дисперсной фазы двойного электрического заряда, температура и время существования эмульсии.

Эмульсия имеет способность к «старению», Данный процесс обусловлен повышением устойчивости со временем, который в начальный период проходит интенсивно, а затем постепенно замедляется. Так как свежие нефтяные эмульсии легче поддаются разрушению, подготовку нефти, включающую в себя обессоливание и обезвоживание, проводится на промыслах. [27]

Выводы к главе

1. Для приведения нефти к товарному виду необходима её промысловая подготовка. Одним из важнейших процессов при подготовке нефтепродукта является его разделение на нефть, воду и газ. Данный технологический процесс происходит в сепарационной установке.

2. Промысловая подготовка нефти к транспорту и дальнейшему использованию основывается на множестве процессов, включающих в себя дегазацию, обезвоживание и обессоливание.

3. В данной работе был выбран трехфазный сепаратор горизонтального типа с гравитационным способом разделения фаз нефтепродукта. Данная конструкция является наиболее распространённой в промышленности.

4. Для эффективного разделения нефтяной эмульсии на фракции необходимо учитывать физико-химические свойства эмульсий.

5. На данный момент не решена и остаётся актуальной важная научно-техническая задача управления процессом сепарации, позволяющим учитывать время расслоения нефтесодержащей смеси, что имеет ключевое значение для повышения производительности при сохранении качества товарной нефти.

3 Устройство и принцип работы стенда

3.1 Конструкция стенда

Конструкцию стенда можно поделить на несколько частей:

1. ёмкости для жидкостей;
2. сепаратор;
3. система трубопроводов;
4. исполнительные механизмы.

В конструкции установки присутствуют 4 ёмкости, как показано на рисунке 4.

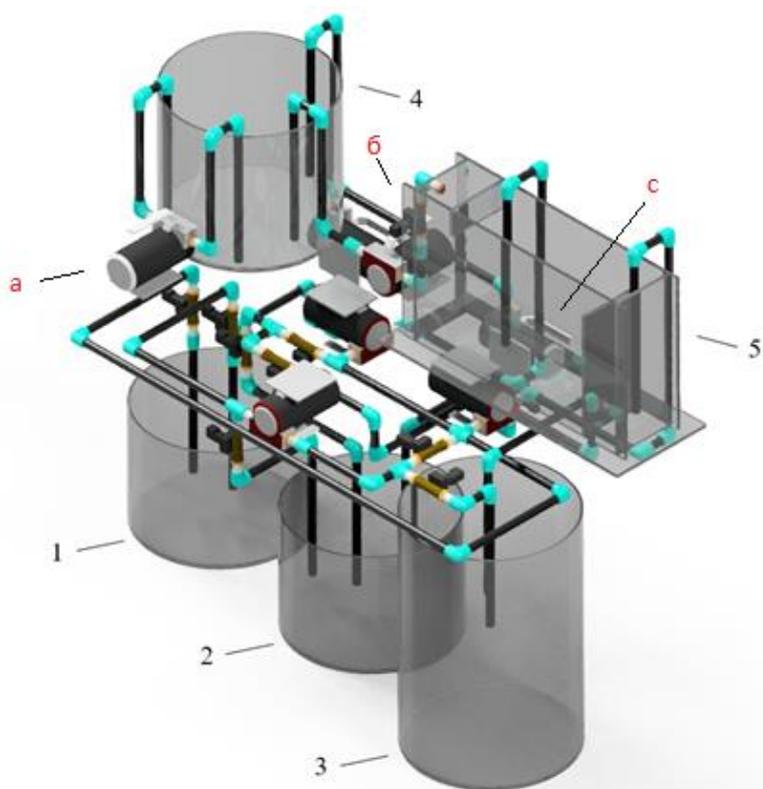


Рисунок 4 – 3D модель стенда

Ёмкости 1 и 2 предназначены для хранения нефти и воды. Ёмкость 3 является технологическим отстойником, для «грубого» отделения нефти, эмульсии и воды, и последующего использования. Ёмкость 4 является смесителем, где с помощью насоса «а» происходит перемешивание нефти и воды, взятых из ёмкостей 1 и 2.

Ёмкость 5 является сепаратором, где происходит разделение нефти на фракции. Насос «б» перекачивает полученную эмульсию в сепаратор для

дальнейшего разделения. После завершения процесса сепарации, разделенные вода и нефть выкачиваются обратно в ёмкости 1 и 2.

Далее на рисунке 5 представлен собранный стенд физического подобия трехфазного сепаратора.



Рисунок 5 – Разработанный стенд

3.2 Описание комплекса технических средств

Используемый в разработанной системе комплекс технических средств должен быть минимально достаточным для обеспечения функций, указанных в техническом задании.

Построение комплекса проводится на базе нижеуказанных программно-технических комплексов:

1. контрольно-измерительные приборы и автоматика (датчики, исполнительные механизмы, управляемые регуляторы и т.д.);
2. контроллеры или подсистемы управления;
3. станция оператора;
4. средства архивирования данных;
5. сетевое оборудование.

Средства измерения, используемые в данном комплексе, должны иметь стандартные сигналы диапазоном 4-20 мА. Для обработки поступающих с СИ сигналов и управления заданными параметрами, подсистемы управления должны быть оснащены следующими модулями:

1. ввода сигналов диапазона 4-20мА;
2. ввода дискретных сигналов;
3. вывода аналоговых токовых сигналов (модуль управляющих воздействий);
4. вывода дискретных управляющих сигналов (модуль управляющих воздействий).

3.3 Подбор оборудования

3.3.1 Выбор клапанов

В условиях данного проекта выбор осуществлялся среди электромагнитных клапанов. Данные клапаны устанавливаются на трубопроводы для дистанционного управления потоком рабочей среды. Для корректной работы стенда применимы двухлинейные (один вход и один выход), двухпозиционные (состояния открыто/закрыто) клапаны. При этом необходимы нормально закрытые клапаны, открывающиеся при подаче напряжения).

В качестве клапанов были рассмотрены:

- электромагнитный клапан SLP-10;
- электромагнитный клапан SMART SF62322 DN15.

Данные клапаны представлены на рисунках 6 и 7.



Рисунок 6 – Клапан SLP-10



Рисунок 7 – Клапан SMART SF62322

Для того, чтобы определиться с выбором, необходимо сравнить некоторые характеристики данных клапанов. Далее представлена сравнительная таблица.

Таблица 2 – Сравнительная таблица электромагнитных клапанов

Наименование параметра	Клапан SLP-10	Клапана SMART SF62322
Напряжение питания, В	(12 – 24 – 220)	(12 – 24 – 220)
Тип клапана	2/2 нормально закрытый	нормально закрытый
Максимальное рабочее давление, бар	13	10
Температура окружающей среды, °С	от минус 40 до 80	от 0 до 65
Температура рабочей среды, °С	от минус 20 до 120	от 0 до плюс 65
Рабочая среда	Воздух, вода, растворы легких масел, нефтепродукты, другие неагрессивные жидкости и газы	Вода, воздух, растворы, и др. неагрессивные газы и жидкости
Цена, руб.	2312	1949

Как видно из таблицы 2, клапана SMART SF62322 подходит под условия эксплуатации разработанного стенда, имеет характеристики, соответствующие необходимым требованиям, а также низкую стоимость, по сравнению с его конкурентом.

3.3.2 Выбор насоса

Насосное оборудование, входящее в устройство установки трехфазного сепаратора, должно применяться для перекачки воды/нефти по трубопроводу, диаметром 0,02 м из одной емкости в другую.

В качестве насосов были рассмотрены экземпляры, представленные на рисунках 8 и 9.



Рисунок 8 – Насос SOP24V



Рисунок 9 – Насос БелАК Стандарт
БАК.11024

Далее представлена сравнительная характеристика насосов.

Таблица 3 – Сравнительная характеристика насосов

Наименование параметра	Характеристики насоса SOP24V	Характеристики насоса БелАК Стандарт БАК.11024
Рабочая среда	Моторные, гидравлические и разделительные масла	Дизель, керосин
Напряжение, В	12/24	24
Мощность, Вт	960	175
Скорость потока, л/мин	10	50
Реверс	Да	Да
Подъем жидкости, м	2	3-5
Рабочий цикл, мин	30	30
Вес, кг	3,8	4,4
Цена, руб.	16 860	4 774

Как видно из таблицы 3, характеристики насоса БелАК Стандарт БАК.11024 соответствуют необходимым требованиям. Стоимость данного насоса значительно ниже, по сравнению с ценой его конкурента.

3.3.3 Выбор контроллера

Одним из основных элементов проектируемого стенда является программируемый логический контроллер. В данном проекте необходимо подобрать контроллер для управления исполнительными механизмами на основании полученной информации от системы компьютерного зрения.

ПЛК должен соответствовать следующим требованиям:

- работать в неблагоприятных условиях;

- работать без длительного обслуживания;
- поддерживать периферию (модули).

ПЛК реализует сбор информации с датчиков и формирует команды управления для исполнительных механизмов, таких как насосы, осуществляющие перекачку жидкости, переключение положения клапанов и т.д.

Для сравнения выберем 3 контроллера соответствующие требованиям и обеспечивающие нужную производительность:

- Modicon Premium;
- SIEMENS S7-1200;
- ОВЕН ПЛК160.



Рисунок 10 – Modicon Premium



Рисунок 11 – SIEMENS S7-1200



Рисунок 12 – ОВЕН ПЛК200

Далее представлена сравнительная характеристика данных ПЛК.

Таблица 4 – Сравнительная характеристика ПЛК

Наименование параметра	Характеристики контроллера Modicon Premium	Характеристики контроллера SIMATIC S7-1200	Характеристики контроллера ПЛК200
Процессор	TSX H57 24М/44М	CPU 1214C	RISC-процессор Texas Instruments Sitara AM3358, 800 МГц
Память	256 Мбайт	- рабочая 50 кБайт; - загружаемая 2 Мбайт; - расширяемая картой 24 МБайта.	256 Мб, 1 Мб для кода, 128 кб для переменных

Продолжение таблицы 4 – Сравнительная характеристика ПЛК

Наименование параметра	Характеристики контроллера Modicon Premium	Характеристики контроллера SIMATIC S7-1200	Характеристики контроллера ПЛК200
Период опроса аналоговых входов, мс	-	-	10
Время цикла, мс	1	5	3
Количество каналов ввода/вывода	1024	388	Встроенных 40 DI- 16, DO- 14, AI-8, AO-4
Типы интерфейсов	RS 485, RS 232, Ethernet, Profibus	1xPROFINET, RJ45	RS-485, Ethernet 100 Base-T
Напряжение питания, В	24	24	от 10 до 48
Потребляемая мощность, Вт	3	12	40
Диапазон рабочих температур, °С	от 0 до 70	От минус 0 до плюс 55	от минус 40 до плюс 55
Степень защиты	IP67	IP20	IP20
Цена, руб.	89 802	32638	25 200

В соответствии с таблицей выше выбран контроллер ПЛК200 т.к. данный контроллер имеет необходимые показатели, при этом его цена значительно меньше конкурентов.

Дополнительно к контроллеру ПЛК200 выберем модуль ввода-вывода МУ210, т.к. базового количества дискретных входов модуля CPU недостаточно.

3.4 Разработка принципиальных электрических схем

На основе комплекса технических средств были разработаны принципиальные электрические схемы управления электродвигателями насосов и клапанов. Схемы электрические принципиальные представлены в приложении Б.

Данные схемы отражают в себе все электрические элементы и устройства, необходимые для управления и контроля процесса работы установки. Принципиальные электрические схемы были разработаны на основе оборудования из п. 3.3.

На основе разработанных схем была собрана система автоматики, отвечающая за автоматический контроль и управление процесса работы станда, а также питание исполнительных механизмов и контроллера. Данный блок представлен на рисунке 13.



Рисунок 13 – Система автоматики станда

4 Принцип работы стенда

Разработанная установка физического подобия трехфазного сепаратора необходима для проведения исследований по разделению нефтяной продукции на фракции. Данный стенд является передвижным, что упрощает его эксплуатацию. Далее на рисунке 13 представлена сама установка.



Рисунок 13 – Установка физического подобия трехфазного сепаратора

Блок автоматики отвечает за управление исполнительных механизмов, а также за их питание. Контроллер отвечает за автоматическую систему контроля и управления технологическим процессом.

Сепаратор установки представляет собой прозрачную ёмкость из оргстекла, как показано на рисунке 14.

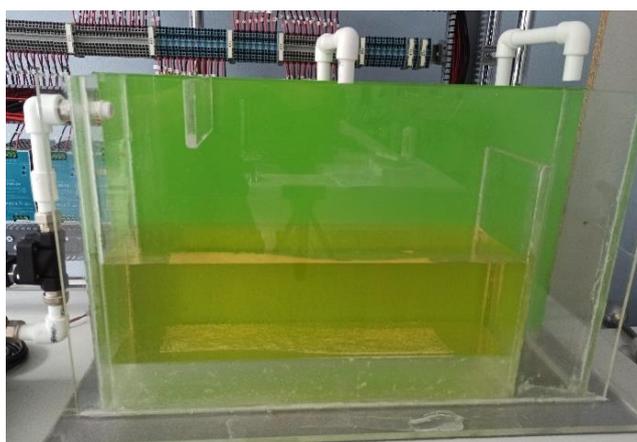


Рисунок 14 – Ёмкость сепаратора

В состав сепаратора входят:

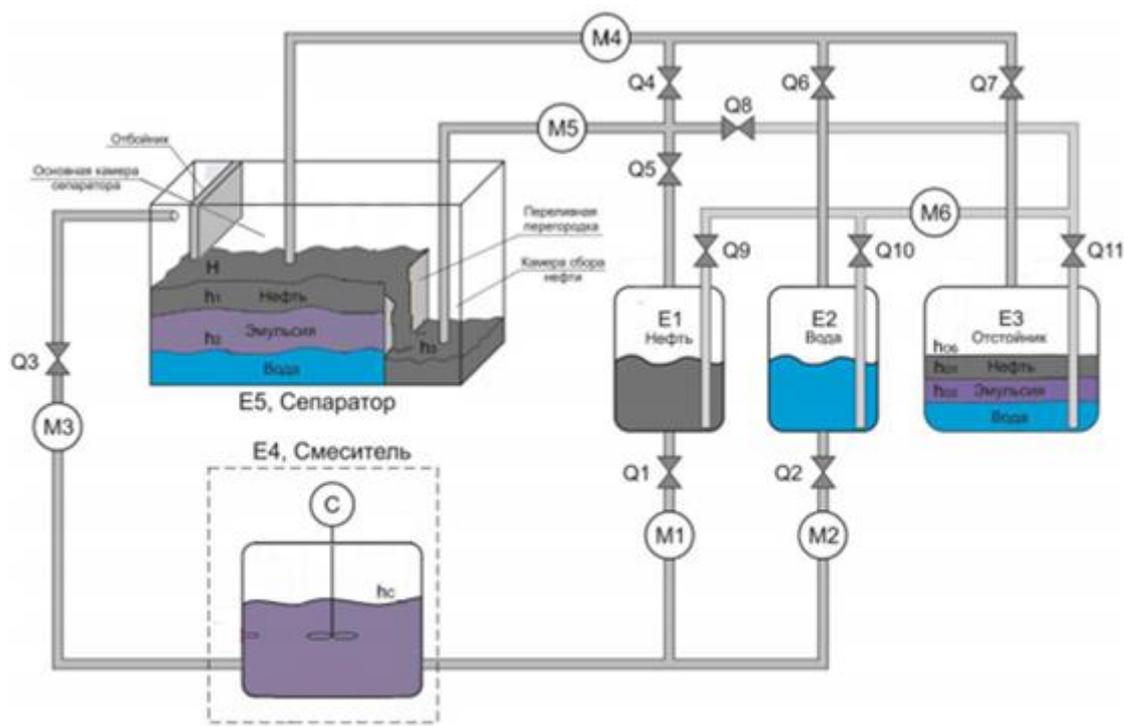
- основание;
- боковые части;

- разделительная перегородка;
- отбойник.

Сепаратор оснащен отбойником, с помощью которого производится первичное отделение попутного газа от потока рабочей жидкости.

В основной камере сепаратора происходит разделение нефти на фракции под давлением силы тяжести. Разделительная перегородка служит для отделения основной камеры от камеры сбора сепарированной нефти.

На рисунке 15 представлена структурная схема стенда.



M1-M6 – насосы; Q1-Q11 – электромагнитные клапаны, R – нагревательный элемент; C – смеситель; Н – уровень жидкости в сепараторе; h1 – граница раздела фаз нефть/эмульсия в сепараторе; h2 – граница раздела фаз эмульсия /вода в сепараторе; h3 – уровень жидкости в камере сбора нефти; h_с – уровень жидкости в смесителе; h_{об} – уровень жидкости в отстойнике; h_{о1} – граница раздела фаз нефть/эмульсия в отстойнике; h_{о2} – граница раздела фаз эмульсия/вода в отстойнике.

Рисунок 15 – Структурная схема стенда

4.1 Разработка алгоритмов работы стенда

Разработанный стенд должен работать в двух режимах:

- статический режим;
- динамический режим.

При этом, для обеспечения проверки работоспособности оборудования установки разработан режим технологического прогона.

4.1.1 Алгоритм работы стенда в статическом режиме

Запуск работы стенда в статическом режиме начинается с проверки наличия жидкости в отстойнике, смесителе и сепараторе (E3, E4, E5). При условии наличия в них разделенной на фракции жидкости, вода перекачивается в ёмкость E2, а нефть в ёмкость E1. Если в ёмкостях E4 и E5 имеется неразделенная эмульсия, то она перекачивается в отстойник E3, в котором происходит её отстаивания до полного разделения. После этого разделенные фракции воды и нефти переливаются в ёмкость E2 и E1.

После того, как ёмкости сепаратора E5 и смесителя E4 опустошены, осуществляется наполнение ёмкости смесителя E4 нефтью и водой, посредством включения насосов M1 и M2, а также открытия клапанов Q1 и Q2 соответственно. Объем жидкостей зависит от эксперимента и выбирается пользователем.

Далее в ёмкости смесителя E4 происходит перемешивание жидкости. Чтобы исключить появления осадков эмульсии, а также добиться одинаковой концентрации во всех точках пространства ёмкости, в качестве смесителя используется перекачивающий насос, как показано на рисунке 16.



Рисунок 16 – Смеситель

Подготовленная эмульсия перекачивается в основную камеру ёмкости сепаратора E5, посредством включения насоса M3 и открытия клапана Q3. При этом, поток эмульсии ударяется об отбойник, что приводит к отделению попутного газа, как показано на рисунке 17.

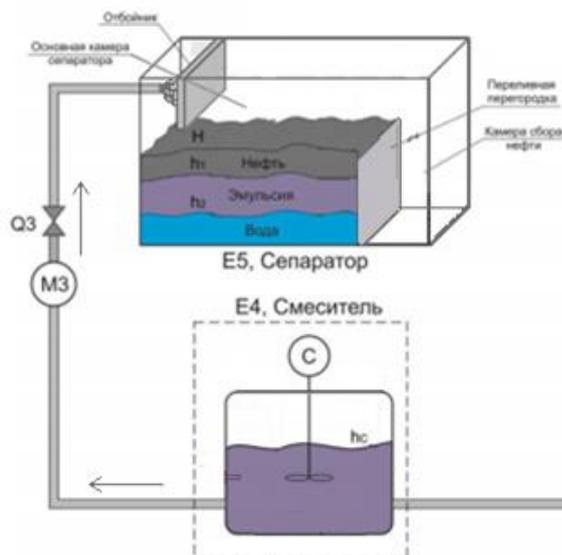


Рисунок 17 – Перекачка эмульсии в сепаратор

После заполнения основной камеры сепаратора, насос M3 отключается, клапан Q3 закрывается. Нужно заметить, что переливная перегородка не дает перекаченной эмульсии попасть в камеру сбора нефти.

Далее начинается процесс разделения фаз нефть/эмульсия и эмульсия/вода. Данный процесс исследуется с помощью компьютерного зрения, о котором говорится в следующих разделах.

После проведения эксперимента отделенная вода перекачивается из сепаратора в ёмкость E2 посредством включения насоса M4 и открытия клапана Q6. При наличии слоя водонефтяной эмульсии осуществляется его перекачивание в ёмкость отстойника E3 (происходит включение насоса M4 и открытия клапана Q7). Данная эмульсия отстаивается до полного разделения на нефть и воду и дальнейшей эксплуатации.

Оставшаяся в ёмкости E5 сепарированная нефть перекачивается в ёмкость E1 посредством включения насоса M4 и открытия клапанов Q4 и Q5. На данном моменте процесс завершается.

Блок-схема алгоритма работы данного режима представлена в приложении В.

4.1.2 Алгоритм работы стенда в динамическом режиме

Работа стенда в динамическом режиме схожа с работой в статическом. Их отличие состоит в том, что процессы подготовки эмульсии в смесителе E4, заполнения сепаратора E5, разделения нефтепродукта на фракции, а также процесс перекачки продукта из ёмкости сепаратора осуществляются одновременно. При этом в сепараторе происходит переливание сепарированной нефти через переливную перегородку в камеру сбора нефти с последующей её перекачкой в ёмкость E1 (включается насос M5 и открывается клапан Q5), как показано на рисунке 18.

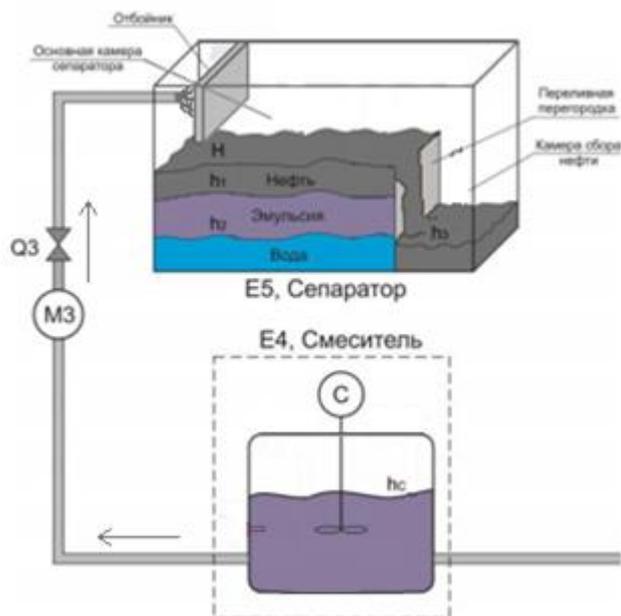


Рисунок 18 – Перекачка нефтепродукта в динамическом режиме

Основная камера ёмкости сепаратора заполняется эмульсией аналогично заполнению в статическом режиме. Далее происходит разделение нефтепродукта на фазы. Слой нефти образуется над слоем эмульсии и переливается через переливную перегородку в камеру сбора нефти.

При поддержании уровня жидкости в сепараторе E5 на одном уровне, образующийся слой нефти накапливается и переливается в камеру сбора нефти. При этом из данной камеры происходит откачка сепарированной нефти в ёмкость E1.

Время работы стенда задается пользователем, либо продолжается, пока не будет перекачан определенный объем нефти из сепаратора E5.

Далее весь процесс аналогичен статическому режиму. Вода из основной камеры сепаратора E5 перекачивается в ёмкость E2 посредством включения насоса M4 и открытия клапана Q6. Эмульсия перекачивается в отстойник E3. Остаток нефти в основной камере перекачивается в ёмкость E1 (включается насос E4 и клапана Q4 и Q5).

Блок схема алгоритма работы установки в динамическом режиме представлена в приложении Г.

4.1.3 Алгоритм технологического прогона

Для проверки работоспособности исполнительных механизмов разработан режим технологического прогона.

Если в отстойнике E3 присутствует жидкость, проверятся наличие разделенных фаз (воды и нефти). Если вода и нефть разделены, происходит их перекачка в ёмкости E2 и E. Для перекачки воды в ёмкость E2 включается насос M6 и открываются клапана Q11 и Q10. Для перекачки нефти в ёмкость E1 включается насос M6 и открываются клапана Q11 и Q9.

Далее проверяется наличие жидкости в ёмкости смесителя E4. При наличии жидкости происходит её перекачка в сепаратор E5, путём включения насоса M3 и открытия клапана Q3. Затем осуществляется проверка наличия границ раздела фаз в сепараторе. Если нефтепродукт, находящийся в сепараторе, не разделился на фракции, его перекачивают в отстойник E3 (включается насос M4 и открывается клапан Q7). При наличии в сепараторе разделенных фракций, вода перекачивается в ёмкость E2, а нефть в ёмкость E1 (путём включения насоса M4 и открытия клапанов Q6 и Q4, Q5 соответственно).

Далее повторно проверяется наличие жидкости в отстойнике E3. При её наличии процесс технологического прогона завершается. После отстаивания и перекачки отделенной воды и нефти из отстойника E3 в ёмкости E1 и E2 происходит возобновление технологического прогона. Отсутствие жидкости в ёмкости E3 говорит о полном заполнении ёмкостей E1 и E2 и отсутствии жидкости в других технологических ёмкостях установки.

Блок схема алгоритма технологического прогона оборудования представлена в приложении Д.

4.2 Компьютерное зрение

Основным назначением стенда физического подобия трехфазного сепаратора является исследование процесса сепарации. Для исследования динамики разложения нефтепродукта на фракции в данной работе используется технология компьютерного зрения.

Методика компьютерного зрения основывается на анализе изображений и извлечении необходимой информации из этих данных. Для извлечения необходимой информации используется алгоритм сегментации изображения посредством обучения нейронной сети. Данный алгоритм используется для решения задачи сегментации цифрового изображения на основе данных о значении интенсивности пикселей, получаемых из потока изображений. [8]

В качестве устройства для обработки информации с изображений используется микрокомпьютер NVIDIA Jetson Nano. Данное устройство в совокупности с алгоритмом функционирования разработанной системы позволяет осуществлять автоматизированное наблюдение за процессом протекания эксперимента с фиксацией таких показателей, как объёмные соотношения фракций нефтепродукта со временем. Принципиальная схема эксперимента представлена на рисунке 19.

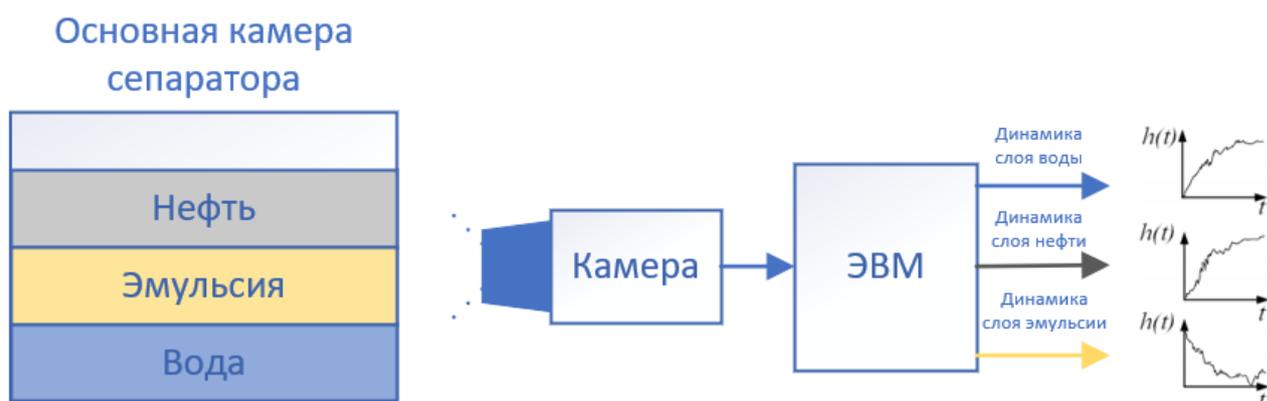


Рисунок 19 – Принципиальная схема эксперимента

4.3 Структура информационно-измерительной системы

В общем случае информационно-измерительная система представляет собой совокупность средств измерений, а также вспомогательных устройств, соединенных между собой каналами связи. Данная система предназначена для передачи и обработки автоматически полученной измерительной информации.

Далее на рисунке 20 представлена структура информационно-измерительной системы.

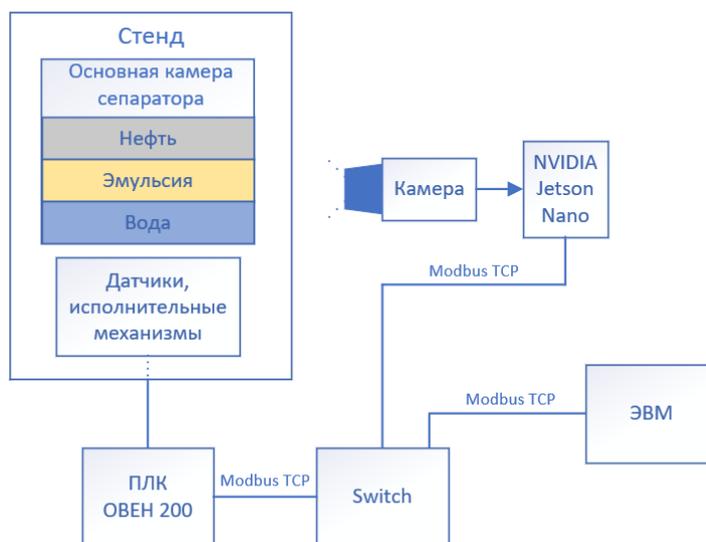


Рисунок 20 – Структура информационно-измерительной системы

Все составляющие информационно-измерительной системы связаны между собой через сетевой коммутатор (Switch) с помощью протокола Modbus TCP.

Протокол Modbus TCP использует кодирование данных в двоичный формат. Разделителем пакетов данных являются временные интервалы. TCP-пакеты передаются по IP-сетям. При этом все устройства Modbus взаимодействуют по модели master-slave. Master-устройство инициирует запросы, а slave-устройства отвечают на запросы. [14]

Разработанный стенд имеет датчики и исполнительные механизмы. Сигналы от датчиков поступают на дискретные/аналоговые входы ПЛК ОВЕН 200. С помощью данного контроллера происходит сбор данных, а также управление исполнительными механизмами, такими как насосы и клапана. Для управления подключенными устройствами используются дискретные выходы ПЛК.

ЭВМ в данной системе используется для анализа полученных данных в результате проведения эксперимента на основе компьютерного зрения. На основе данных, полученных в результате проведения эксперимента с помощью компьютерного зрения, в ЭВМ формируется алгоритм работы установкой. Так, при завершении эксперимента запускается один из режимов работы стенда, описанных ранее.

5 Разработка имитационной модели стенда

5.1 Имитационная модель в Matlab SimHydraulics

SimHydraulics является библиотекой компонентов для симуляции и моделирования гидравлических систем. Библиотека включает в себя модели разных технологических объектов, средств контрольно-измерительных приборов и автоматики, исполнительных механизмов, трубопроводов и т.д. Из данных компонентов можно создавать модели гидравлических систем как обособленных объектов, так и систем технологических процессов, с подачей топлива.

Также модели данной библиотеки используются в разработке систем управления. Возможность проведения исследований поведения разработанных систем в разных условиях эксплуатации. Также данная библиотека имеет возможность соединения и работы с другими компонентами программного пакета MATLAB Simulink, такими как электрические, пневматические, механические и т.д. [9]

Главные особенности данной библиотеки представлены ниже:

- содержит большое количество моделей насосов;
- содержит множество клапанов для управления потоком и давлением исследуемой жидкости, а также направляющих клапанов, включая запорные;
- модели поступательных и вращательных приводов, включающие опционально дополнительные силы трения и центробежные силы;
- модели резервуаров и труб с эффектами подъема для моделирования систем транспортировки жидкости;
- настраиваемая библиотека типичных гидравлических жидкостей;
- возможность расширения библиотеки новыми компонентами при помощи языка Simscape.

При помощи SimHydraulics можно оптимизировать работу системных уровней и создавать модели объектов управления для проектирования управления.

Управляющими сигналами в данной работе являются выходные параметры расхода нефти и воды в установке. Данные сигналы являются задающими для приводов насосов и клапанов, перекачивающих сырье по трубопроводу.

Физическая модель разработанной системы состоит из двух частей, так как в рамках данного проекта газ не учитывается. Моделирование процесса транспортировки воды, полученной после сепарации, имитируется с помощью термодинамических блоков. На рисунке 21 представлена часть модели, отвечающая за имитацию транспортировки воды ёмкости с водой в ёмкость отстойника.

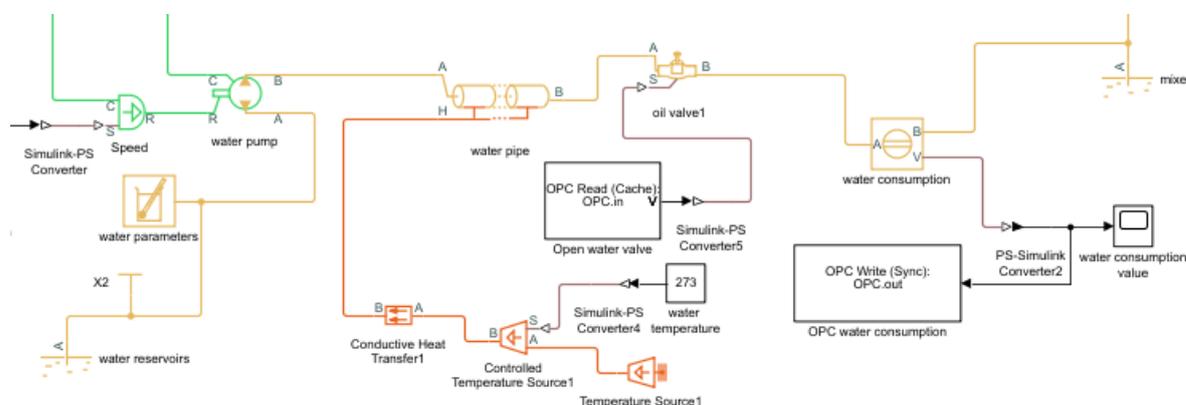


Рисунок 21 – Схема транспортировки воды

Источником воды является блок Constant Head Tank, имитирующий источник жидкости, образовавшейся после сепарации нефти.

1. Блок Constant Head Tank представляется собой гидравлический резервуар, в котором давление и уровень жидкости остаются постоянными независимо от изменения объема. Блок учитывает изменение уровня жидкости относительно дна резервуара, а также изменение давления в соединительной трубе, которая может быть вызвана разными факторами.

В данном блоке задан начальный уровень жидкости относительно дна резервуара, равный 0.4 м.

2. Блок Centrifugal Pump представляет собой центробежный насос с несколькими доступными вариантами работы. Входным параметром данного блока является угловая скорость, вырабатываемая блоком Angular Velocity

Source. Данный блок преобразует входной управляющий сигнал, поступающий из сепаратора, генерируя на своих клеммах разность скоростей.

3. При моделировании данной части модели были учтены потери давления в трубопроводе с помощью блока Hydraulic Pipeline. В данном блоке можно установить параметры трубопровода, его протяженность, форму исполнения, а также множество других параметров. Так как в рамках данной выпускной работы присутствует цель имитации реального технологического процесса, параметрами трубопровода являются:

- цилиндрическая форма;
- длиной 20 м;
- диаметром 0,02 м.

4. Исполнительным механизмом является клапан, который представляется блоком Valve. Данный клапан также используется при имитации транспортировки нефти. Данный блок моделирует клапан, состоящий из круглого отверстия в корпусе клапана и плоского затвора, который перемещается перпендикулярно оси отверстия. Отверстие в затворе имеет тот же диаметр, что и отверстие в корпусе.

Скорость потока через клапан пропорциональна открытию клапана и перепаду давления на клапане. Диаметр отверстия клапана соответствует диаметру трубопровода и равно 0,02 м. Начальное открытие клапана равняется 0. Коэффициент пропускной способности клапана задается из расчета геометрических свойств отверстия и равняется 0,65. Значение параметра площади утечки клапана в полностью закрытом положении остается по умолчанию. [12]

Физическая модель транспортировки нефти составлена аналогично модели транспортировки воды, за исключением параметров жидкости.

Плотность жидкости в данной работе равна $900 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$. Объемный модуль упругости нефти примерно равен значению по умолчанию. Относительное количество растворенного в жидкости воздуха взято по умолчанию. [13]

В данной случае блок трубопровода учитывает не только потери давления, но и теплообмен с окружающей средой. Поэтому для оказания возмущающего воздействия на трубопровод, была создана модель, изображенная на рисунке 22.

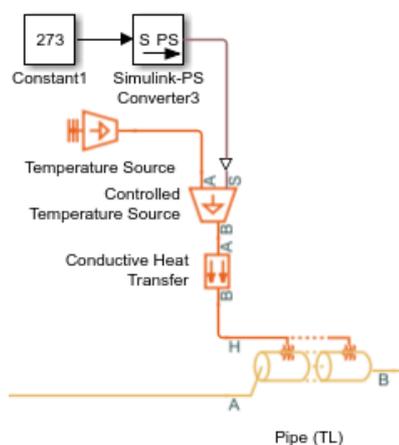


Рисунок 22 – Схема теплообменника

Данная система представляет собой идеальный источник энергии, поддерживающий контролируемую разницу температур. В тепловой сети происходит теплопередача путем проводимости через слой материала.

Также блок трубопровода Pipe может состоять из нескольких сегментов, каждый из которых имеет фиксированный объем, давление и температуру исследуемой жидкости.

Диаметр трубы аналогичен диаметру трубы для воды и составляет 0.02 м.

Клапан регулирования потока нефти является аналогичным вышеописанному.

Полная часть модели транспортировки нефти представлена на рисунке 23.

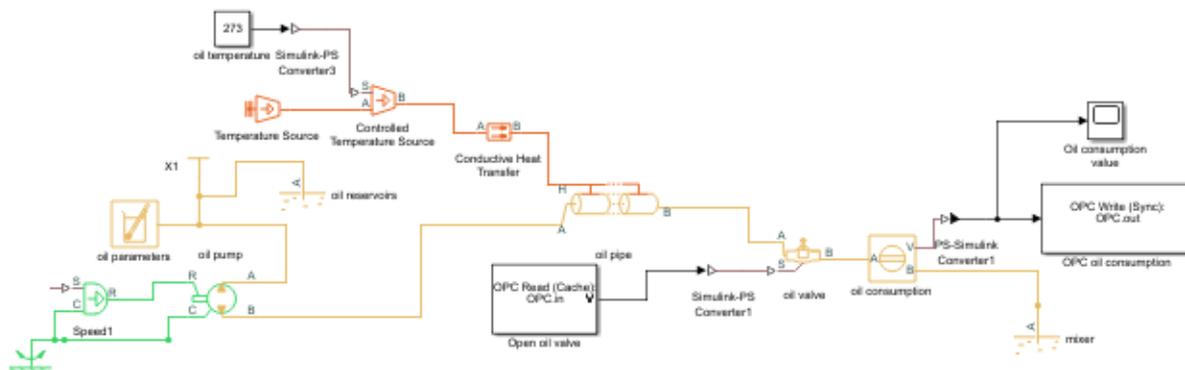


Рисунок 23 – Схема модели транспортировки нефти

В данном случае блоки также учитывают теплообмен, поэтому моделирование трубопровода было выполнено аналогично трубопроводу с водой. Все исследуемые выходные параметры были сгруппированы в единый блок OUT values.

Полная схема имитационной модели представлена в приложении Е.

5.2 Связь имитационной модели с ПЛК

Связь ПЛК с имитационной моделью разработанной системы осуществляется с помощью OPC-сервера. OPC – это промышленный стандарт, описывающий интерфейс обмена данными между устройствами управления технологическими процессами. [7]

Полученные данные от датчиков и исполнительных механизмов стенда передаются на ПЛК. Программное обеспечение обрабатывает эти данные, генерирует управляющие сигналы на исполнительные механизмы. При этом полученные данные через OPC-сервер передаются в имитационную модель, где также формируется управление исполнительными механизмами и запускаются процессы работы стенда.

Полученные данные в результате работы имитационной модели записываются в переменные, созданные на сервере, которые используются далее в работе ПЛК. При этом данные записываются в переменные области М контроллера, а считываются из переменных Q области входов.

Схема подключения представлена на рисунке 24.



Рисунок 24 – Схема подключения

6 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

6.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности

В данной работе затрагивается такая проблема, как связь аппаратной части разработанной установки с программным обеспечением для удаленного доступа. Для контроля значений параметров процесса сепарации нефти, а также автоматизированного управления исполнительными механизмами в разных режимах работы, служит контроллер ПЛК ОВЕН 200.

Автоматизация технологических процессов позволяет использовать доступные ресурсы на производстве более экономно и рационально. Она влияет на повышение качества выпускаемой продукции, на повышение производительности труда, увеличение эффективности предприятия.

Для создания проекта, соответствующего требованиям ресурсоэффективности и ресурсосбережения, выявления лучших качеств, по сравнению с аналогичными конкурентными разработками, служит раздел «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение».

6.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Потенциальными потребителями результатов исследования являются коммерческие организации в нефтегазовой отрасли, в частности нефтедобывающие предприятия, занимающиеся подготовкой нефтепродукта к использованию и транспортировке.

Данное научное исследование рассчитано на проектные организации, которые специализируются на обустройстве нефтяных месторождений, предприятия, осуществляющие разработку и эксплуатацию оборудования для подготовки нефти, учебные заведения, осуществляющие исследования в нефтегазовой отрасли.

В таблице 5 приведены основные сегменты рынка по следующим критериям: размер компании-заказчика, направление деятельности.

Таблица 5 – Основные сегменты рынка

		Направление деятельности				
		Проектная работа	Научно-исследовательская работа	Инженерные изыскания	Реализация проектов	Образовательные услуги
Размер компании	Мелкие	1	1	2	3	4
	Средние	5	6	5	5	6
	Крупные	7	7	7	7	7

6.1.2 Анализ конкурентных технических решений

Детальный анализ конкурирующих разработок, существующих на рынке, необходимо проводить систематически, поскольку рынки пребывают в постоянном движении. Такой анализ помогает вносить коррективы в научное исследование, чтобы успешнее противостоять своим конкурентам. Важно реалистично оценить сильные и слабые стороны разработок конкурентов.

С этой целью может быть использована вся имеющаяся информация о конкурентных разработках:

- технические характеристики разработки;
- конкурентоспособность разработки;
- уровень завершенности научного исследования (наличие макета, прототипа и т.п.);
- бюджет разработки;
- уровень проникновения на рынок;
- финансовое положение конкурентов, тенденции его изменения и т.д.

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку сравнительной эффективности научной разработки и определить направления для ее будущего повышения.

Анализ проводится с помощью оценочной карты. Для этого отберем две конкурентные разработки.

Конкурентами являются стенд «Сепарация нефти» компании «Учтех-Профи» (конкурент 1) и лабораторная установка по изучению сепарации нефтепродуктов компании «measlab» (конкурент 2).

Позиция разработки и конкурентов оценивается по каждому показателю экспертным путем по пятибалльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 5 – наиболее сильная. Веса показателей, определяемые экспертным путем, в сумме должны составлять 8. Оценочная карта представлена в таблице 6.

Таблица 6– Оценочная карта

Критерий оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б _ф	Б _{к1}	Б _{к2}	К _ф	К _{к1}	К _{к2}
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Повышение производительности труда пользователя	0,08	5	3	4	0,4	0,24	0,32
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,08	5	3	4	0,4	0,24	0,32
3. Простота устройства системы	0,01	4	4	3	0,04	0,04	0,03
4. Надежность	0,06	4	5	5	0,24	0,3	0,3
5. Уровень шума	0,05	4	4	4	0,2	0,2	0,2
6. Безопасность	0,1	4	3	4	0,4	0,3	0,4
7. Потребление ресурсов	0,01	5	5	5	0,05	0,05	0,05
8. Энергоэкономичность	0,1	4	4	3	0,4	0,4	0,3
9. Функциональная мощность (предоставляемые возможности)	0,1	5	3	4	0,5	0,3	0,4
10. Качество интеллектуального интерфейса	0,05	4	4	4	0,2	0,2	0,2

Продолжение таблицы 6– Оценочная карта

Критерий оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б _ф	Б _{к1}	Б _{к2}	К _ф	К _{к1}	К _{к2}
11. Качество интеллектуального интерфейса	0,05	4	4	4	0,2	0,2	0,2
12. Возможность подключения в сеть ЭВМ	0,05	5	5	5	0,25	0,25	0,25
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Уровень проникновения на рынок	0,06	2	4	4	0,12	0,24	0,24
2. Цена	0,07	4	5	3	0,28	0,35	0,21
3. Конкурентоспособность	0,05	5	3	4	0,25	0,15	0,2
4. Предполагаемый срок эксплуатации	0,04	5	5	4	0,2	0,2	0,16
5. Послепродажное обслуживание	0,02	5	4	4	0,1	0,08	0,08
6. Финансирование научной разработки	0,03	5	4	5	0,15	0,12	0,15
7. Срок выхода на рынок	0,04	3	5	5	0,12	0,2	0,2
Итого	1	78	73	74	4,3	3,86	4,01

Анализируя количество баллов видно, что разработанный стенд не уступает разработкам конкурентов, но по некоторым позициям разработки конкурентов превосходят разработанный стенд. Превосходство разработанного стенда по техническим характеристикам ускорит его внедрение на рынок.

6.1.3 SWOT – анализ

На основе анализа рынка и конкурентных технических решений, была составлена матрица SWOT анализа. Матрица показывает сильные и слабые стороны проекта, потенциальные возможности и угрозы для разработки. Матрица SWOT анализа представлена в таблице 7.

Таблица 7 – Матрица SWOT анализа

	<p><u>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</u> S1. Снижение человеческого фактора при проведении исследования; S2. Проведение исследований в автоматизированных режимах; S3. Использование современного оборудования и специализированного ПО; S4. Отсутствие необходимости задействования специалистов; S5. Изменение режимов работы и создание собственного ПО для стенда.</p>	<p><u>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</u> W1. Большие габариты стенда, в том числе большие объемы жидкости в нем; W2. Отсутствие отечественных дешевых аналогов (некоторые контрольно-измерительные приборы); W3. Отсутствие прототипа разрабатываемого стенда; W4. Утечка жидкости, в которой содержится нефть; W5. Отсутствие автоматического режима работы.</p>
<p><u>Возможности:</u> O1. Исследовать более эффективные методы подготовки нефти; O2. Получить гранты на исследования; O3. Модернизировать оборудование подготовки нефти (нефтегазовых сепараторов); O4. Заменить сложное лабораторное оборудование в области исследования подготовки нефти; O5. Использовать стенд для изучения автоматизации технологических процессов.</p>	<p>O1S1S2S3S5 - Исследование методов подготовки нефти позволит снизить затраты на данный процесс и при этом сократить влияние человеческого фактора. O2S3S5 – Использование специализированного ПО и различных режимов работ позволяют исследовать новые методы и, соответственно, получить гранты на данные исследования. O4S1S4 – Снижение человеческого фактора, а также отсутствие необходимости задействования специалистов, дает возможность проводить эксперименты без сложных лабораторных установок; O5S5 – Загрузка в блок управления стенда пользовательского ПО, дает возможность использовать стенд, для изучения автоматизации технологических процессов.</p>	<p>O1W1W4W5 – Габариты установки, вероятность утечки жидкости и отсутствие полностью автоматического режима работы создают трудности в эксплуатации стенда, что может стать причиной отказа от использования данного стенда; O4W2W5 – Отсутствие отечественных аналогов составляющих компонентов, что влечет за собой удорожание установки, а также отсутствие автоматического режима работы могут способствовать снижению спроса на стенд; O5W5 – Отсутствие автоматического режима работы ограничивает применение стенда в области изучения автоматизации технологических процессов.</p>

Продолжение таблицы 7 – Матрица SWOT анализа

<p>Угрозы: Т1. Малый объем рынка сбыта для научно-исследовательского проекта; Т2. Рост конкуренции на рынке; Т3. Появление новых технологий на рынке подготовки нефти, кардинально отличающихся от современных; Т4. Введение санкций на импортное оборудование, используемое в стенде; Т5. Отсутствие спроса на разработку.</p>	<p>T1S1S2S4 – Снижение человеческого фактора возможность проведения исследований в автоматизированном режиме, отсутствие задействовать специалистов знающих лабораторное оборудование повышают спрос на рынке сбыта; T1S5 – Возможность использования стенда в учебных целях для создания собственного ПО увеличивают целевую аудиторию; T3S5 - При отсутствии необходимости исследовать технологический процесс стенд можно использовать в целях изучения автоматизации технологических процессов; T5S1S2S3S4S5 - Стоимость стенда оправдывают перспективы исследований, так же все сильные стороны разработки способствуют образованию спроса на рынке.</p>	<p>T1W2 – Отсутствие дешевых отечественных аналогов используемых в стенде компонентов приводит к удорожанию и снижению спроса. T2W1W3W4W5 – Все конструктивные, технологические недостатки необходимо устранить в ближайшее время т.к. они могут быть учтены в оборудовании конкурентов. T2W2 – Конкуренты могут разработать более дешевое оборудование или найти более дешевые аналоги. T4W2 – Без зарубежного оборудования невозможно осуществлять измерения в некоторых технологических параметров в процессе сепарации, следовательно, серийный выпуск оборудования невозможен.</p>
---	--	--

6.2 Планирование научно-исследовательских работ

6.2.1 Структура работ в рамках научного исследования

Для организации и систематизации работы выпускника был сформирован план работ. Данный этап обеспечил своевременное и эффективное выполнение задания выпускной магистерской работы. Для осуществления разработки, был сформирован ряд работ и назначены исполнители для каждого этапа работы, представленный в таблице 8.

Таблица 8 – Этапы НИР и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб.	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение темы магистерской работы	Р, И
Определение целей, задач, исходных данных	2	Составление календарного плана-графика выполнения магистерской работы	Р
	3	Подбор и изучение литературы по теме магистерской работы	И
	4	Определение технологических параметров исследования	Р, И
	5	Определение совокупности исследуемых объектов	Р, И
	6	Описание технологического процесса	И
Определение целей, задач, исходных данных	7	Подбор средств измерения, контроллерного оборудования и исполнительных механизмов	Р, И
Разработка и сборка установки	8	Разработка функциональной схемы автоматизации по ГОСТ и ANSI/ISA	И
	9	Разработка 3D модели сепаратора	И
	10	Разработка системы трубопровода	И
	11	Закупка компонентов и сборка установки	И
	12	Подключение ПЛК установки к ПО	И
	13	Разработка схем внешних проводок	Р, И
	14	Запуск установки с устранением первичных неисправностей	Р, И
	15	Написание программного кода для нескольких режимов работы стенда	И
	16	Отладка программного кода на установке	И
Оформление отчета	17	Проверка работы руководителем	Р
	18	Подведение итогов, оформление работы	Р, И

6.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ

Для того чтобы определить трудоемкость работ, используются следующие показатели:

- ожидаемое значение трудоемкости,
- продолжительность каждой работы,
- продолжительность выполнения *i*-ой работы в календарных днях,
- коэффициент календарности.

Расчет ожидаемого значения продолжительности работ $t_{ож}$ осуществляется согласно формуле 2:

$$t_{ож} = \frac{3 \cdot t_{min} + 2 \cdot t_{max}}{5}, \quad (2)$$

где t_{min} – минимально возможная трудоемкость i -ой работы, чел.-дни,
 t_{max} – максимально возможная трудоемкость i -ой работы, чел.-дни.

Далее по формуле 3 определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях T_{pi} , которая учитывает параллельность выполнения работ несколькими исполнителями:

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

где T_{pi} – продолжительность одной работы, раб. дни,
 $t_{ожi}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дни,
 $Ч_i$ – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

6.2.3 Разработка графика проведения научного исследования

Для построения графика, осуществляется перевод длительности каждого из этапов работ из рабочих дней в календарные дни по следующей формуле (4):

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

где T_{ki} – продолжительность выполнения i -й работы в календарных днях,
 T_{pi} – продолжительность выполнения i -й работы в рабочих днях,
 $k_{кал}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле (5):

$$k_{кал} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - T_{вых} - T_{пр}} = \frac{365}{365 - 118} = 1,48, \quad (5)$$

где $T_{кал}$ – количество календарных дней в году,
 $T_{вых}$ – количество выходных дней в году,

$T_{пр}$ – количество праздничных дней в году.

Согласно производственному календарю (для 6-дневной рабочей недели) в 2021 году 365 календарных дней, из них 118 выходных или праздничных дней, следовательно, $k_{кал} = 1,48$.

Расчеты по трудоемкости выполнения работ представлены в таблице 9. Диаграмма Ганта, построенная по рассчитанным показателям, представлена на рисунке 25.

Таблица 9 – Временные показатели проведения научного исследования

Название работы		Трудоёмкость работ						Длительность работ в раб. 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	Составление и утверждение темы бакалаврской работы	1	1	2	2	1,4	1,4	0,7	0,7	1	1
2	Составление календарного плана-графика выполнения бакалаврской работы		2		3		2,4		2,4		4
3	Подбор и изучение литературы по теме бакалаврской работы	7		10		8,2		8,2		12	
4	Определение технологических параметров исследования	2	2	4	4	2,8	2,8	1,4	1,4	2	2
5	Определение совокупности исследуемых объектов	2	2	4	4	2,8	2,8	1,4	1,4	2	2
6	Описание технологического процесса	1		2		1,4		1,4		2	

Продолжение таблицы 9 – Временные показатели проведения научного исследования

Название работы		Трудоёмкость 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} i, чел-дни					
		Инженер	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер	Руководитель
7	Подбор средств КИПиА, ПЛК и исполнительных механизмов	8	8	10	10	8,8	8,8	4,4	4,4	7	7
8	Разработка функциональной схемы автоматизации	4		8		5,6		5,6		8	
9	Разработка 3D модели сепаратора	6		9		7,2		7,2		11	
10	Разработка системы трубопровода	4		6		4,8		4,8		7	
11	Закупка компонентов и сборка установки	8		12		9,6		9,6		14	
12	Подключение ПЛК установки к ПО	6		7		6,4		6,4		9	
13	Разработка схем внешних проводок	1	1	3	3	1,8	1,8	0,9	0,9	1	1
14	Запуск установки с устранением неисправностей	1	1	3	3	1,8	1,8	0,9	0,9	1	1
15	Написание программного кода для режимов работы стенда	3		6		4,2		4,2		6	
16	Отладка программного кода на установке	6		8		6,8		6,8		10	
17	Проверка работы руководителем		3		5		3,8		3,8		6
18	Подведение итогов, оформление работы	3	3	5	5	3,8	3,8	1,9	1,9	3	3
	Итого									96	27

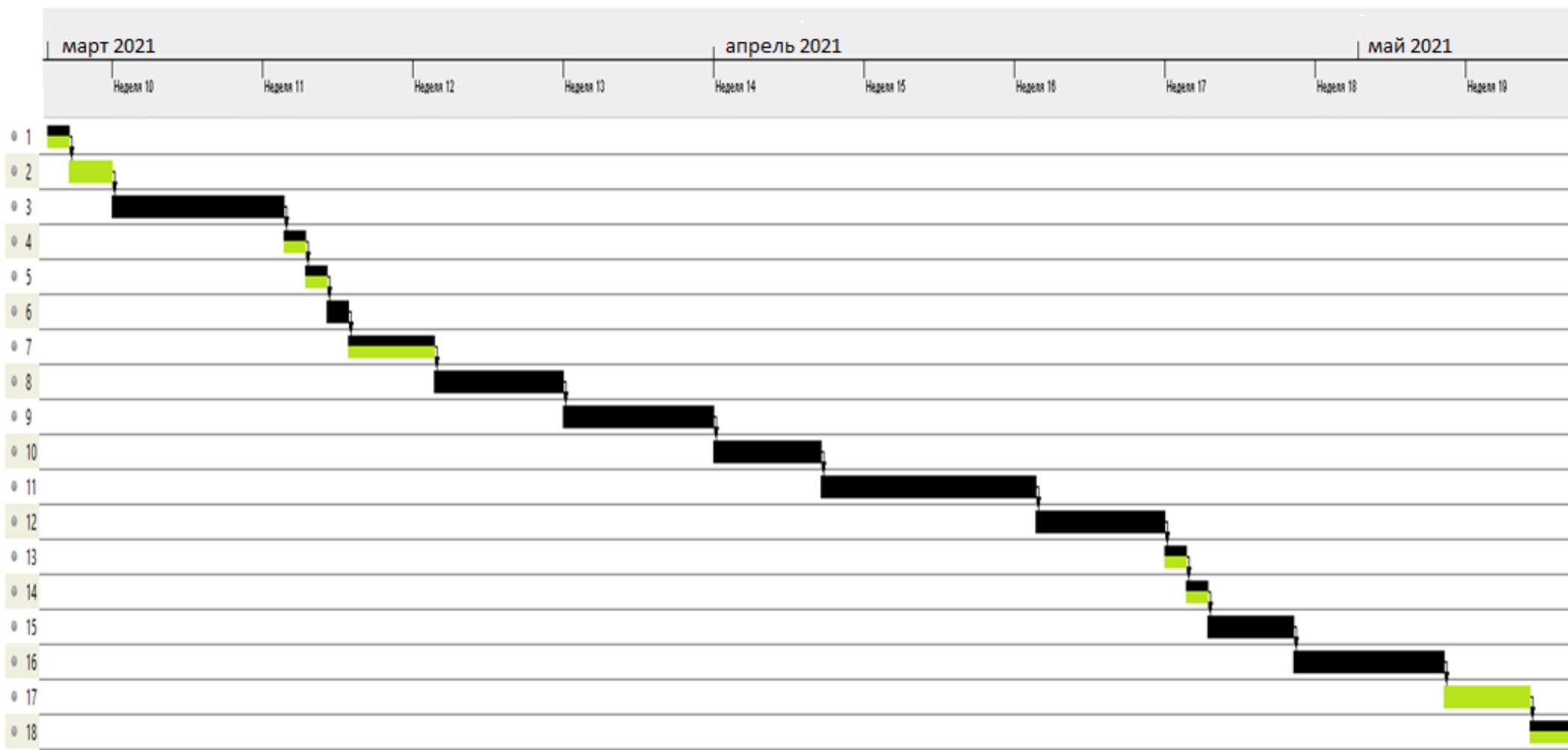


Рисунок 25 – Диаграмма Гантта: инженер (черный), руководитель (зеленый)

6.3 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

6.3.1 Расчет материальных затрат

Бюджет научно-технического исследования должен быть основан на достоверном отображении всех видов расходов, связанных выполнением проекта. В процессе формирования бюджета разработки используется следующая группировка затрат по статьям:

- материальные затраты НТИ;
- затраты на специальное оборудование для научных работ;
- основная заработная плата исполнителей темы;
- дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- затраты на научные и производственные командировки;
- накладные расходы.

6.3.2 Расчет материальных затрат НТИ

Для вычисления материальных затрат воспользуемся следующей формулой 6:

$$Z_m = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{расxi}, \quad (6)$$

где m – количество видов материальных ресурсов;

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

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

k_T – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

Для разработки данного научного проекта необходимы следующие материальные ресурсы: потребляемая электроэнергия и расходные материалы (канцелярские товары и печатная бумага) и комплектующие для стенда (контрольно-измерительные приборы, исполнительные механизмы).

Длительность работ составляет 96 дней, для расчёта потребляемой энергии примем, что в день для проведения исследования тратится около 4 часов работы за компьютером. Компьютер потребляет в среднем 60 Вт в час. Зная стоимость электроэнергии по городу Томск, можно рассчитать сумму, которую необходимо для этого потратить, что показано в таблице 10.

Таблица 10 – Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Кол-во	Цена (руб.)
Двигатель ММ392	Шт.	1	3065
Клапан EV210B	Шт.	11	1754
Насос Singflo FP-12	Шт.	6	2799
Драйвер IRF3205	Шт.	3	976
Датчик уровня FineTek EB5201	Шт.	2	7000
Уровнемер Rosemount 3302	Шт.	3	100000
Сигнализатор уровня ПДУ-Н231-97	Шт.	5	1351
Датчик давления КОРУНД-ДИ-001М	Шт.	2	3500
Компрессор COLT 190/24 Set	Шт.	1	6599
Нагреватель ТЭН 68.18.17.005	Шт.	1	499
Контроллера ПЛК160	Шт.	1	28709
Модуль MB110-224.2A	Шт.	1	4740
Электроэнергия	кВт	24	62
Канцелярские товары	Шт.	1	200
Печатаная бумага	Пачка	1	350
Итого (руб.)			411019

Основными средствами для проведения исследования являются: компьютер и программное обеспечение (MS Office, Matlab). Поскольку ТПУ предоставляет бесплатный доступ к разному виду программного обеспечения, в том числе (Matlab, AutoCad), следовательно, затратами на основные средства будут является покупка ноутбука и стандартного пакета Microsoft Office. Основные средства проведения исследования приведены в таблице 11.

Таблица 11 – Основные средства проведения исследования

№ п/п	Наименование	Единица измерения	Цена (руб.)
1	Ноутбук Acer Aspire A315-53-57YW черный	Шт.	32999
2	Microsoft Office 2016 Home and Student RU	Шт.	4500
3	Итого (руб.)		37490

6.3.3 Основная заработная плата исполнителей темы

Данная статья расходов включает основную заработную плату с учетом премий и доплат для исполнителей проекта: студента и научного руководителя.

Заработная плата работников, непосредственно занятых выполнением научно-техническим исследованием рассчитывается по формуле (7):

$$Z_{зп} = Z_{осн} \cdot Z_{доп}, \quad (7)$$

где $Z_{доп}$ – дополнительная заработная плата (12-20% от $Z_{осн}$),

$Z_{осн}$ – основная заработная плата.

Основная заработная плата ($Z_{осн}$) руководителя (лаборанта, инженера) от предприятия (при наличии руководителя от предприятия) рассчитывается по следующей формуле 8:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_{раб}, \quad (8)$$

где $Z_{дн}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.,

$Z_{осн}$ – основная заработная плата,

$T_{раб}$ – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле 9:

$$Z_{дн} = \frac{Z_M \cdot M}{F_D}, \quad (9)$$

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

Z_M – месячный должностной оклад работника, руб.,

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

- при отпуске в 24 раб. дня $M = 11,2$ месяца, 5-дневная неделя;
- при отпуске в 48 раб. дней $M = 10,4$ месяца, 6-дневная неделя;
- при отпуске в 72 раб. дней $M = 9,6$;

F_d – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн. Баланс рабочего времени представлен в таблице 12.

Таблица 12 – Баланс рабочего времени (для 6-дневной недели)

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер
Календарные дни	365	365
Нерабочие дни (праздники/выходные)	118	118
Потери рабочего времени (отпуск/невыходы по болезни)	48	72
M , количество месяцев работы без отпуска в течение года	10,4	9,6
F_d , действительный годовой фонд рабочего времени	198	174

Месячный должностной оклад работника (формула 1):

$$Z_m = Z_{TC} \cdot (1 + K_{пр} + K_d) \cdot K_p, \quad (11)$$

где Z_{TC} – заработная плата по тарифной ставке, руб.,

$K_{пр}$ – премиальный коэффициент, равный 0,3 (т.е. 30% от Z_{TC}),

K_d – коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,2 – 0,5 (в НИИ и на промышленных предприятиях – за расширение сфер обслуживания, за профессиональное мастерство, за вредные условия: 15-20% от Z_{TC}),

K_p – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Расчет основной заработной платы приведён в таблице 13.

Таблица 13 – Расчет основной заработной платы

Исполнители	Оклад	$K_{пр}$	K_d	K_p	Z_m , руб.	$Z_{дн}$, руб.	T_p , раб. дн.	$Z_{осн}$, руб.
Руководитель	33 664	0,3	0,2	1,3	65 644,8	1 768,2	27	47 741,67
Инженер	12 664	0,3	0,2	1,3	24 694,8	698,7	96	67 075,20
Итого:								114 816,87

6.3.4 Дополнительная заработная плата исполнителей темы

В данную статью расходов входит заработная плата, начисленная рабочим и служащим не за фактически выполненные работы или проработанное время, а в соответствии с действующим законодательством, в том числе оплата очередных отпусков рабочих, времени, связанного с выполнением государственных и общественных обязанностей.

Зная основную заработную плату, можно рассчитать дополнительную заработную плату в размере 12 % от основной:

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}}, \quad (12)$$

где $k_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительная заработная плата,

$Z_{\text{осн}}$ – основная заработная плата.

Расчет дополнительной заработной платы представлен в таблице 14.

Таблица 14 – Расчет дополнительной заработной платы

Исполнители	$K_{\text{доп}}$	$Z_{\text{осн}}$, руб.	$Z_{\text{доп}}$, руб.
Инженер	0,12	47 741,67	5 729,0
Научный руководитель	0,12	67 075,20	8 049,02
Итого:			13 328,02

6.3.5 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

В данную статью затрат включаются отчисления в органы социального страхования, пенсионные фонды и отчисления медицинского страхования.

Отчисления во внебюджетные фонды рассчитываются по формуле 13:

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}), \quad (13)$$

где $k_{\text{внеб}}$ – коэффициент внебюджетные фонды; в 2021 г., в соответствии с Федеральным законом для учреждений, осуществляющих образовательную и научную деятельность, используется пониженная ставка – 30%,

$Z_{\text{осн}}$ – основная заработная плата,

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

В таблице 15 представлен расчет страховых отчислений.

Таблица 15 – Расчет страховых отчислений

Исполнители	$k_{внеб}$	$Z_{доп. руб.}$	$Z_{осн. руб.}$	$Z_{внеб. руб.}$
Инженер	0,3	5 729,0	47 741,67	16 041,2
Научный руководитель	0,3	8 049,02	67 075,20	22 537,27
Итого:				38 578,47

6.3.6 Накладные расходы

В эту статью включаются затраты на управление и хозяйственное обслуживание, которые могут быть отнесены непосредственно на конкретную тему. Кроме того, сюда относятся расходы по содержанию, эксплуатации и ремонту оборудования, производственного инструмента и инвентаря, зданий, сооружений и др.

Накладные расходы составляют от 15 до 20 % от суммы основной и дополнительной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнении темы, рассчитываются по формуле 14.

$$Z_{накл} = k_{накл} \cdot (Z_{осн} + Z_{доп}), \quad (14)$$

где $k_{накл}$ – коэффициент накладных расходов, принятый за 16 %.

Накладные расходы представлены в таблице 16.

Таблица 16 – Расчет накладных расходов

Исполнители	$Z_{доп. руб.}$	$Z_{осн. руб.}$	$Z_{накл. руб.}$
Инженер	5 729,0	47 741,67	8 555,3
Научный руководитель	8 049,02	67 075,20	12 019,87

6.3.7 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Рассчитанные величины затрат научно-исследовательской работы являются основой для формирования бюджета затрат проекта. Результаты составления итогового бюджета разработки представлены в таблице 17.

Таблица 17 – Бюджет затрат на разработку

Наименование работ	Рассмотренный проект	Аналог 1	Аналог 2
Сырье, материалы (за вычетом возвратных отходов), покупные изделия и полуфабрикаты	411019,61 руб.	622561,8 руб.	678021 руб.
Специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	37490 руб.	82841 руб.	150203 руб.
Затраты на основную заработную плату	114 816,87 руб.	110281 руб.	98624 руб.
Затраты на дополнительную заработную плату	13 328,02 руб.	22056,2 руб.	19724,8 руб.
Затраты на отчисления во внебюджетные фонды	38 578,47 руб.	11281 руб.	14793,6 руб.
Накладные расходы	12 019,87 руб.	12 019,87	6874,6
Общий бюджет	615 232,97 руб.	861 040,87 руб.	968241 руб.

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

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального финансового показателя, определяемого по следующей формуле 18:

$$I_{фин.р}^{исп.і} = \frac{\Phi_{р.і}}{\Phi_{max}}, \quad (18)$$

где $I_{фин.р}^{исп.і}$ – интегральный финансовый показатель разработки;

$\Phi_{р.і}$ – стоимость i -го варианта исполнения;

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта.

Φ_{max} зависит от сложности проекта для которого разрабатывается АСУ как представлено в формуле 19.

$$I_{фин.р}^{исп.і} = \frac{615233}{968241} = 0,64. \quad (19)$$

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить по формуле 20.

$$I_{p,i} = \sum a_i \cdot b_i \quad (20)$$

где $I_{p,i}$ – интегральный показатель ресурсоэффективности для i -го варианта исполнения разработки;

a_i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки;

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

n – число параметров сравнения.

Сравнительный анализ приведен в таблице 18.

Таблица 18 - Сравнительная оценка вариантов исполнения

Критерии	Весовой коэффициент	Проект	Аналог 1	Аналог 2
Энергоэффективность	0,16	4	5	4
Помехоустойчивость	0,18	5	5	5
Надежность	0,17	4	3	4
Уровень шума	0,15	4	4	4
Безопасность	0,05	5	4	5
Простота эксплуатации	0,18	5	3	4
Ремонтопригодность	0,09	5	4	5
Потребление ресурсов	0,02	5	4	5
Итого	1	4,6	3,99	4,42

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки ($I_{фин.p}^p$) и аналога ($I_{фин.ai}^{a.i}$) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по следующим формулам 19 и 20.

$$I_{фин.p}^p = \frac{I_m^p}{I_{фин.p}^p}, \quad (19)$$

$$I_{фин.i}^{a.i} = \frac{I_m^{a.i}}{I_{фин.ai}^{a.i}}, \quad (20)$$

Все необходимые параметры для оценки ресурсоэффективности сведены и рассчитаны в таблице 19.

Таблица 19 – Сравнение показателей эффективности

№	Показатели	Разработка	Аналог 1	Аналог 2
1	Интегральный финансовый показатель	0,51	0,77	0,99
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,6	3,99	4,42
3	Интегральный показатель эффективности	9,02	5,18	4,46
4	Сравнение эффективности вариантов исполнения	1,00	1,74	2,02

Таким образом, основываясь на определении ресурсосберегающей, финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования, проведя необходимый сравнительный анализ, можно сделать вывод об очевидном превосходстве разработки над аналогами 1 и 2. Такая разница обуславливается тем, что аналоги имеют ряд недостатков по сравнению с собственной разработкой. Разработанный стенд имеет превосходство по техническим характеристикам и режимам работы.

6.5 Риски разработки

Проведение любого научно-исследовательского проекта сопряжено с возникновением различных рисков. Предварительное определение рисков помогает своевременному принятию мер по предотвращению возникновения угроз или минимизации их последствий. В таблице 20 приведены возможные риски проекта с их описанием.

Таблица 20 – Определение рисков

№ п/п	Наименование риска	Описание риска
1	Политические	Риск поставки зарубежных комплектующих установки в связи с обострением политической обстановки и введением санкций.
2	Технологические	Безвозвратная потеря большого процента исходных данных разделения фаз жидкости в процессе сепарации, на которые опирается дальнейшее исследование.
3	Финансовые	Прекращение финансирования проекта.
4	Технические	Сбой в хранилище базы данных.

Далее в таблице 21 представлена оценка вероятности наступления вышеупомянутых рисков.

Таблица 21 – Оценка вероятности рисков

№ п/п	Наименование риска	Оценка вероятности риска (низкая, средняя, высокая)
1	Политические	Низкая
2	Технологические	Средняя
3	Финансовые	Низкая
4	Технические	Низкая

В таблице 22 представлена информация об оценке уровня потерь, которые могут возникнуть в результате возникновения вышеупомянутых угроз.

Таблица 22 – Оценка уровня потерь

№ п/п	Наименование риска	Оценка уровня потерь (низкая, средняя, высокая)
1	Политические	Средний
2	Технологические	Средний
3	Финансовые	Низкий
4	Технические	Низкий

Далее в таблице 23 представлены основные мероприятия по снижению рисков.

Таблица 23 – Мероприятия по снижению рисков

№ п/п	Наименование риска	Мероприятия по снижению рисков
1	Политические	Переход на отечественные комплектующие позволит добиться независимости от зарубежных производителей.
2	Технологические	Разграничение уровня доступа пользователей к основным данным. Создание бэкапов данных.
3	Финансовые	Своевременное принятие мер по подготовке отчетности по текущим работам и подача заявки на новые.
4	Технические	Репликация базы данных. Архивирование наиболее ценной информации.

Основными рисками при выполнении разработки систем управления установки физического подобия трехфазного сепаратора являются политические и технологические. Политические риски повлекут за собой переход на отечественные комплектующие, в том числе аппаратной части и программного

обеспечения. Это повлияет на конфигурацию стенда, а также на результаты исследований. Помимо этого, технологические риски ведут за собой потерю большого количества времени, т.к. исследование вернется к исходной точке. Среди прочих рисков стоит отметить, что финансовые риски связаны, в основном, с финансированием. Предотвращения данного риска возможно в случае своевременного предоставления релевантной документации в научные фонды.

7 Социальная ответственность

Одним из важнейших условий эффективного производства является безопасность человека в процессе трудовой деятельности. В данном разделе осуществлен поиск отрицательных факторов, влияющих на здоровье человека во время работы со стендом и технологических опасностей, возникающих в процессе эксплуатации установки, а также путей ослабления, либо исключения этих факторов и опасностей.

В данной работе рассматривается автоматизированный стенд физического подобия, аппаратная часть которого включает в себя сепаратор, технологические ёмкости, исполнительные механизмы, а также блок автоматики. Программная часть осуществляет управление исполнительными механизмами, сбор данных и формирование отчетов.

Стенд предназначен для исследования процесса сепарации нефти с целью выявления методов, позволяющих увеличить скорость и качество процесса сепарации в статическом и динамическом режимах работы.

Пользователями данной системы являются проектные институты, инжиниринговые компании, образовательные учреждения, осуществляющие исследования в области подготовки нефти к эксплуатации и транспортировке.

Стенд рассчитан на эксплуатацию одним человеком, который должен выбрать необходимый режим работы, указать входные данные, контролировать работу стенда.

Исследование процесса сепарации нефти позволит усовершенствовать этот процесс, тем самым экономить значительные средства на данном этапе подготовки.

В разделе социальная ответственность рассматриваются вопросы обнаружения и анализа вредных и опасных факторов, присутствующих при работе с установкой. К основным факторам можно отнести производственный шум, короткое замыкание, а также поражение электрическим током. В данном разделе также будут рассмотрены правовые вопросы регулирования трудовых отношений.

7.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Правовой основой законодательства в области обеспечения безопасности жизнедеятельности, в том числе и в техносфере, является Конституция – основной закон государства. Законы и иные правовые акты, принимаемые в Российской Федерации, не должны ей противоречить.

Другими источниками права в области обеспечения безопасности жизнедеятельности в техносфере являются:

- федеральные законы;
- указы Президента Российской Федерации;
- постановления Правительства Российской Федерации;
- приказы, директивы, инструкции, наставления и другие нормативные акты министерств и ведомств;
- правовые акты субъектов Российской Федерации и муниципальных образований (указы, постановления);
- приказы (распоряжения) руководителя.

7.1.1 Специальные правовые нормы трудового законодательства

В связи с тем, что в данной работе рассматривается автоматизированная установка, предполагается, что пользователями данного стенда являются инжиниринговые компании, проектные институты, а также учебные учреждения.

Государственный надзор и контроль в организациях осуществляют специально уполномоченные на то государственные органы и инспекции в соответствии с федеральными законами.

Законодательством РФ регулируются отношения между организацией и работниками, касающиеся оплаты труда, трудового распорядка, социальных отношений, особенности регулирования труда женщин, детей, людей с ограниченными способностями и др.

Продолжительность рабочего дня не должна превышать 40 часов в неделю. Для работников до 16 лет – не более 24 часов в неделю, от 16 до 18 лет

– не более 35 часов, как и для инвалидов I и II группы. Для работников, работающих на местах, отнесенных к вредным условиям труда 3 и 4 степени – не более 36 часов.

Организация обязана предоставлять ежегодные отпуска продолжительностью 28 календарных дней. Для работников, занятых на работах с опасными или вредными условиями, предусматривается дополнительный отпуск.

Работнику в течение рабочего дня должен предоставляться перерыв не более двух часов и не менее 30 минут, который в рабочее время не включается. Всем работникам предоставляются выходные дни, работа в выходные дни производится только с письменного согласия работника.

Организация выплачивает заработную плату работникам. Возможно удержание заработной платы, в случаях, предусмотренных ТК РФ ст. 137. В случае задержки заработной платы более чем на 15 дней работник имеет право приостановить работу, письменно уведомив работодателя.

Законодательством РФ запрещены дискриминация по любым признакам, а также принудительный труд [11].

7.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны

В производственных условиях рабочее место представляет собой в общем случае пространство, в котором может находиться человек при выполнении производственного процесса.

Стенд должен быть установлен в месте, защищенном от попадания прямых солнечных лучей, так как это прямым образом влияет на процесс разделения фаз нефтепродукта.

Также пользователь в процессе эксплуатации установки использует персональную электронно-вычислительную машину (ПЭВМ). Рабочее место пользователя с ПЭВМ необходимо оборудовать подставкой для ног, имеющей ширину не менее 300 мм, глубину не менее 400 мм, регулировку по высоте в пределах до 150 мм и по углу наклона опорной поверхности подставки до 20°.

Поверхность подставки должна быть рифленой и иметь по переднему краю бортик высотой 10 мм. Клавиатуру следует располагать на поверхности стола на расстоянии 100-300 мм от края, обращенного к пользователю или на специальной, регулируемой по высоте рабочей поверхности, отделенной от основной столешницы. [17]

Выполняя планировку рабочего места, необходимо учитывать следующее:

– рекомендуемый проход слева, справа и спереди от установки 500 мм. Слева от установки допускается проход 300 мм;

– рабочие места с ПЭВМ при выполнении творческой (научно-исследовательской) 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 [16].

7.2 Производственная безопасность

7.2.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов

Разработка и эксплуатация стенда осуществляется в закрытом помещении с помощью персонального компьютера, который будет являться главным источником вредных факторов во время рабочего процесса.

Для выбора факторов необходимо использовать ГОСТ 12.0.003-2015 [14]. Перечень опасных и вредных факторов, характерных для проектируемой производственной среды представлен в таблице 24.

Таблица 24 – Возможные опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разработка	Изготовление	Эксплуатация	
1. Отклонение показателей микроклимата	+	+	+	– Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 01.04.2019); – СП 2.2.2.1327-03 Гигиенические требования к организации технологических процессов, производственному оборудованию и рабочему инструменту; – СанПиН 2.2.4.548-96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений;
2. Превышение уровня шума	-	+	+	– СанПиН 2.2.4.3359-16 Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах;
2. Движущиеся твердые, жидкие или газообразные объекты, наносящие удар по телу работающего	-	+	-	– СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы;
3. Превышение уровня электромагнитных излучений	-	+	+	

Продолжение таблицы 24 – Возможные опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разработка	Изготовление	Эксплуатация	
4. Риск поражения электрическим током	+	+	+	–ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования; –ГОСТ 12.1.010-76 ССБТ. Взрывобезопасность. Общие требования; –ГОСТ Р ИСО 12100-2013 Безопасность машин –МР 2.2.8.0017-10 Режимы труда и отдыха работающих в нагревающем микроклимате в производственном помещении и на открытой местности в теплый период года – СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение;
5. Недостаточная освещенность рабочей зоны	+	+	+	– НПБ 105-03 Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности.

7.2.2 Обоснование мероприятий по снижению уровней воздействия опасных и вредных факторов на исследователя (работающего)

Повышенный уровень шума

Одной из важных характеристик производственных помещений является уровень шума. Основными источниками шума в помещении являются:

- система охлаждения центральных процессоров;
- жесткие диски;
- шум с улицы;
- насосы;
- шум потока жидкости;
- блоки питания;
- привод смесителя.

Работа со стендом осуществляется с помощью ПЭВМ. При выполнении основной работы на ПЭВМ уровень шума на рабочем месте не должен превышать 50 дБА. Допустимые уровни звукового давления в помещениях для персонала, осуществляющего эксплуатацию ЭВМ при разных значениях частот, приведены в таблице 25.

Таблица 25 – Допустимые уровни звука на рабочем месте

Вид трудовой деятельности, рабочее место	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровни звука и эквивалентного звука (в дБА)
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Конструкторские бюро, программисты, лаборатории	86	71	61	54	49	45	42	40	38	50

Основными источникам шума стенда являются насосы, шум потока жидкости, привод смесителя и ПЭВМ. Другие источники хорошо изолированы от внешней среды. На человека данный шум не представляет опасности, однако можно снизить воздействие уровня шума можно при помощи средств индивидуальной защиты.

Для снижения уровня шума, производимого ПК и стендом рекомендуется регулярно проводить их техническое обслуживание: чистка от пыли, замена смазывающих веществ; также применяются звукопоглощающие материалы.

Отклонение показателей микроклимата

Для создания благоприятных условий работы, соответствующих физиологическим потребностям человеческого организма, санитарные нормы устанавливают оптимальные и допустимые метеорологические условия в рабочей зоне помещения.

Микроклимат производственных помещений – метеорологические условия внутренней среды помещений, которые определяются действующими на организм человека сочетаниями температуры, влажности, скорости движения воздуха и теплового излучения; комплекс физических факторов, оказывающих влияние на теплообмен человека с окружающей средой, на тепловое состояние

человека и определяющих самочувствие, работоспособность, здоровье и производительность труда. К параметрам микроклимата относятся: температура воздуха, температура поверхностей, относительная влажность воздуха, скорость движения воздуха.

Оптимальные значения этих характеристик зависят от сезона (холодный, тёплый), а также от категории физической тяжести работы. Для инженера она является лёгкой (1а), так как работа проводится сидя, без систематических физических нагрузок.

Оптимальные величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений, в соответствии с периодом года и категорией работ, согласно [18], предоставлены в таблице 26.

Таблица 26 – Оптимальные параметры микроклимата на рабочих местах производственных помещений

Период года	Категория работ по уровню энергозатрат, Вт	Температура воздуха, °С	Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	Категория Ia (до 139)	от 23 до 25	от 21 до 25	от 40 до 60	0,1
Теплый	Категория Ia (до 139)	от 20 до 22	от 22 до 26	от 40 до 60	0,1

Для создания благоприятных условий труда и повышения производительности, необходимо поддерживать оптимальные параметры микроклимата в помещении. Для этого должны быть предусмотрены следующие средства: центральное отопление, вентиляция (искусственная и естественная), искусственное кондиционирование. Допустимые параметры микроклимата представлены в таблице 27.

Таблица 27 – Допустимые параметры микроклимата на рабочих местах производственных помещений

Период года	Категория работ по уровню энергозатрат, Вт	Температура воздуха, °С	Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	Категория Ia (до 139)	от 20 до 21,9	от 19 до 26	от 15 до 75	0,1
Теплый	Категория Ia (до 139)	от 21 до 22,9	от 20 до 29	от 15 до 75	0,1

Методы обеспечения нормальных микроклиматических условий.

1. Отопление – совокупность конструктивных элементов со связями между ними, предназначенных для получения, переноса и передачи необходимого количества теплоты в обогреваемых помещениях.

2. Защита от теплового излучения:

– теплоизоляция – температура нагретых поверхностей оборудования, коммуникаций и ограждений на рабочих местах не должна превышать 45°С, а для оборудования, внутри которого температура равна или ниже 100 °С – не должна превышать 35°С (в качестве теплоизоляционных используются мастичные, оберточные и засыпные материалы);

– экранирование – использование теплоотражающих, теплопоглощающих и теплоотводящих экранов;

– мелкодисперсное распыление воды – водяные завесы;

– воздушное душирование рабочих мест;

– оптимальное размещение оборудования и рабочих мест.

3. Герметизация помещений – улучшение плотности подгонки дверей, рам, заслонок и т.п.; двойное застекление; оборудование шлюзов; устройство тепловых воздушных завес.

4. Кондиционирование – искусственная автоматическая обработка воздуха с целью поддержания в помещениях заранее заданных метеорологических условий, независимо от изменения наружных условий и режимов внутри помещения.

5. Рациональные режимы труда и отдыха – организация дополнительных перерывов в рабочей смене для обогрева или охлаждения работников в специально оборудованных для этой цели помещениях.

6. Рациональный питьевой режим и медицинские средства профилактики.

Производственное освещение

Качественное освещение производственных помещений обеспечивает возможность нормальной производственной деятельности. От освещения в значительной степени зависят: сохранность зрения работника, состояние его центральной нервной системы, безопасность на производстве, производительность труда.

Воздействие естественного света на человеческий организм представляет собой высокую гигиеническую и биологическую ценность, поскольку естественный свет благодаря своему спектральному составу положительно влияет на психику человека, сохраняя ощущение его связи с окружающим миром. Отсутствие естественного освещения, как и его нехватка, классифицируется как вредный производственный фактор.

В соответствии с [19] работа за компьютером с относительной продолжительностью зрительной работы менее 70 % относится к разряду II, подразряду Б.

В помещениях, предназначенных для работы с ПЭВМ, освещенность рабочей поверхности от систем общего освещения E_n должна быть не менее 300 лк. Коэффициент пульсации освещенности K_n не должен превышать 5 %, коэффициент естественной освещенности не должен превышать 2,1 % в соответствии с [20] и [21].

Расчет искусственного освещения для учебной аудитории:

- размеры помещения: $A = 12$ м; $B = 7$ м; $H = 2,9$ м; $S = 84$ м²;
- количество рядов светильников $N = 3$;
- высота рабочей поверхности $h_p = 0,7$ м;

- коэффициент отражения стен $\rho_{ст} = 50 \%$, при условии, что стены бетонные или побелены в серых помещениях;
- коэффициент отражения потолка $\rho_{п} = 70 \%$, при условии, что потолки свежепобелены;
- коэффициент запаса для помещения с малым выделением пыли $K_3 = 1,5$;
- коэффициент неравномерности освещения $Z = 1,1$;
- параметр для светильника типа ОДР с защитной решеткой $\lambda = 1,1-1,3$;
- световой поток одной лампы $\Phi_1 = 2500$ лм.

Далее рассчитаем индекс помещения i по формуле (21):

$$i = \frac{S}{H \cdot (A + B)} = \frac{84}{2,9 \cdot (12 + 7)} = 1,5. \quad (21)$$

В результате вычислений полученное значение индекса помещения $i = 1,5$. Исходя из полученного значения определим коэффициент использования светового потока $\eta = 51 \%$. Требуемый световой поток рассчитывается по формуле (22):

$$\Phi = \frac{E_n \cdot S \cdot K_3 \cdot Z \cdot 100\%}{N \cdot \eta} = \frac{300 \cdot 84 \cdot 1,5 \cdot 1,1 \cdot 100}{3 \cdot 51} = 27720(\text{лм}), \quad (22)$$

В результате вычислений полученное значение светового потока равняется $\Phi = 27720$ лм. В каждом светильнике 4 лампы со световым потоком 2500 лм. Таким образом, необходимое число светильников в ряду должно быть равно трем. На основании полученного значения рассчитали фактическое значение освещения в помещении по формуле (23):

$$E_{\text{факт}} = \frac{\Phi \cdot N \cdot \eta}{S \cdot K_3 \cdot Z \cdot 100\%} = \frac{27720 \cdot 3 \cdot 51}{84 \cdot 1,5 \cdot 1,1 \cdot 100} = 306(\text{лк}), \quad (23)$$

В результате получили значение $E_{\text{факт}} = 306$ лк. На основании проделанных расчетов можно сделать вывод, что помещение удовлетворяет нормам освещения.

Уровень электромагнитных излучений

Электромагнитное поле оказывает негативное воздействие на наиболее чувствительные системы организма человека: нервную, иммунную, эндокринную и половую. Негативный эффект электромагнитного поля в условиях длительного воздействия накапливается, в результате возможно развитие отдаленных последствий, включая дегенеративные процессы центральной нервной системы, рак крови (лейкозы), опухоли мозга, гормональные заболевания. При работе с ПК пользователь находится в непосредственной близости к монитору, что вызывает воздействие электромагнитных полей (ЭМП). Вредное влияние переменных магнитных полей должно быть учтено при организации рабочего места с ПЭВМ.

Работа со стендом проводится на современном ПК, где значения электромагнитного излучения малы и отвечают требованиям, которые приведены в таблице 28, согласно [22].

Таблица 28 – Временно допустимые уровни ЭМП, создаваемых ПЭВМ на рабочих местах

Наименование параметров		ВДУ
Напряженность электрического поля	в диапазоне частот от 5 Гц до 2 кГц	25 В/м
	в диапазоне частот от 2 кГц до 400 кГц	2,5 В/м
Плотность магнитного потока	в диапазоне частот от 5 Гц до 2 кГц	250 нТл
	в диапазоне частот от 2 кГц до 400 кГц	25 нТл
Электростатический потенциал экрана видеомонитора		500

Для обеспечения нормальной деятельности пользователя с учетом норм предельно допустимой напряженности ЭМП экран монитора должен находиться на расстоянии от 0,6 до 0,7 м, но не ближе, чем 0,5 м от глаз.

Опасность поражения электрическим током

Основным фактором поражения электрическим током при работе со стенда является контактирование человека со шкафом автоматики или другими электрическими приборами (насосами, клапанами, контроллером и т.д.).

Защитное заземление должно обеспечивать защиту людей от поражения электрическим током при прикосновении к металлическим нетоковедущим частям, которые могут оказаться под напряжением в результате повреждения изоляции.

Защитное заземление или зануление следует выполнять в установках при номинальных напряжениях 380В и выше переменного тока и 440В и выше постоянного тока – во всех случаях.

Исходя из ГОСТ Р 50571.10-96 можно сделать заключение, что наше устройство должно соприкасаться с заземлителем, которыми могут являться:

- металлические стержни или трубы;
- металлические полосы или проволока;
- металлические плиты, пластины или листы;
- фундаментные заземлители;
- стальная арматура железобетона.

Площадь сечения проводника выбирается исходя из тока короткого замыкания.

Исходя из ГОСТ 12.1.038-82 предельное допустимое напряжение прикосновения не должно превышать 65В.

Различают два основных вида поражения электрическим током: электрические травмы и электрические удары.

Поражение электрическим током может произойти:

- при двухполюсном источнике питания прикосновение к токоведущим частям электрического оборудования;
- при однополюсном прикосновении человека к незащищённым токоведущим частям;
- при контакте человека с заземлёнными частями;
- при поражении электричеством человеческого тела под действием шагового напряжения.

Основные мероприятия по обеспечению электробезопасности являются:

- наличие защитного отключения;

- заземления оборудования;
- наличие изолирующего ограждения, информационных таблиц;
- наличие у сотрудников средств индивидуальной защиты.

Конструкция установки должна обеспечивать возможность надежного электрического соединения всех доступных прикосновению металлических нетоковедущих частей изделия, которые могут оказаться под напряжением с элементами заземления. Возле элемента заземления должен быть помещен нестираемый при эксплуатации знак заземления по ГОСТ 21130 - 75. Заземление составных частей стенда должно выполняться гибкими проводниками. Значение сопротивления между заземляющим зажимом (болтом) и каждой доступной прикосновению металлической токоведущей частью, которая может оказаться под напряжением, не должно превышать 0,1 Ом. Каждая часть изделия, оборудованная элементом для заземления, должна быть выполнена так, чтобы была возможность ее независимого присоединения к заземляющей магистрали посредством отдельного ответвления, чтобы при снятии какой-либо заземленной части изделия (например, для текущего ремонта) цепи заземления других частей не прерывались.

Сопротивление изоляции электрически изолированных цепей стенда при нормальных климатических условиях должно быть не менее 10 МОм.

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, а также устройствами защитного отключения (УЗО) для защиты от короткого замыкания и перегрузок.

7.3 Экологическая безопасность

В данном подразделе рассматривается характер воздействия проектируемого решения на окружающую среду. Необходимо последовательно рассмотреть, как проектируемое решение, а также используемые для его

создания вещества и материалы, будут влиять на атмосферу, гидросферу и литосферу и предложить решения по обеспечению экологической безопасности.

Анализ влияния процесса исследования на окружающую среду

Основным инструментом работы при разработке и эксплуатации является ПК и установка, потребляющие электроэнергию. Для удовлетворения потребности в электроэнергии, в настоящее время приходится увеличивать мощность и количество электростанций. Это приводит к нарушению экологической обстановки, так как электростанции в своей деятельности используют различные виды топлива, водные ресурсы, а также являются источником вредных выбросов в атмосферу.

Данная проблема является мировой. На сегодняшний день во многих странах внедрены альтернативные источники энергии (солнечные батареи, энергия ветра). Еще одним способом решения данной проблемы является использование энергосберегающих систем.

При работе со стендом производства не осуществляется. К отходам, производимым в помещении, можно отнести бытовой мусор и периодическую замену нефти и воды в стенде. При этом утилизация отработанной нефти осуществляется в фирмах по утилизации отходов (масел).

Основной вид мусора – это отходы печати, бытовой мусор (в т. ч. люминесцентные лампы), неисправное электрооборудование, коробки от техники, использованная бумага, ветошь. Утилизация отходов печати вместе с бытовым мусором происходит в обычном порядке.

7.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Прежде всего, рассматриваются вероятные источники ЧС, которые могут возникнуть в результате реализации разработанных в ВКР проектных решений. Далее необходимо разработать превентивные меры по предупреждению возникновения ЧС.

7.4.1 Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований

Наиболее характерной ЧС для помещения, в котором установлен стенд, является пожар. Основы пожарной безопасности определены по [23] и [24].

Пожарная опасность установки обусловлена наличием в ней нефти, а также масел, являющихся горючими веществами.

Пожарная опасность блока автоматики стенда и ПЭВМ, обусловлена наличием в применяемом электрооборудовании горючих изоляционных материалов. Горючими являются изоляция обмоток соединительных проводов и кабелей.

Согласно определению категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной безопасности [25] производства подразделяются по пожарной и взрывной опасности на категории А, Б, В, Г, Д.

Помещение, используемое для реализации ВКР, по пожарной и взрывной опасности относят к категории Г (умеренная пожароопасность), характеризующейся отсутствием легковоспламеняющихся веществ и материалов в горячем состоянии.

При строительстве зданий и сооружений с учётом категории производства применяют строительные материалы и конструкции, которые подразделяются на три группы:

- сгораемые;
- трудносгораемые;
- несгораемые.

Здание, в котором находится помещение относится к несгораемым.

Тушение горящего электрооборудования под напряжением должно осуществляться имеющимися огнетушителями ОУ-5. Чтобы предотвратить пожар необходимо соблюдение организационных мероприятий:

- правильная эксплуатация приборов, установок;
- правильное содержание помещения;
- противопожарный инструктаж сотрудников аудитории;

- издание приказов по вопросам усиления ПБ;
- организация добровольных пожарных дружин, пожарно-технических комиссий;

- наличие наглядных пособий и т.п.

Рассмотрим некоторые чрезвычайные ситуации в работе со стендом.

Чрезвычайная ситуация может возникнуть при утечке нефти т.к. нефть является горючей жидкостью, и открытый огонь может привести к возгоранию. Чем выше температура нефти, тем проще вызвать ее возгорание.

Помещение, в котором эксплуатируется стенд должно быть оборудовано системой обнаружения и оповещения о пожаре, в соответствии с требованиями СП 5.13130-09. В случае возникновения пожара на пожарный пост (в диспетчерскую) должен поступать сигнал.

7.4.2 Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС

Во избежание возникновения пожара необходимо выполнение следующих требований:

- выполнение работ в аудитории только с исправным оборудованием и электропроводки;
- наличие средств тушения пожара;
- огнетушителей;
- свободный доступ к средствам тушения и выходу из помещения;
- подключение только одного потребителя электроэнергии к одному источнику электропитания;
- знание плана эвакуации и места расположения средств пожаротушения;
- недопустимость курения и разведения открытого огня в аудитории.

Соблюдение данных требований позволит избежать чрезвычайных ситуаций.

Выводы по разделу социальная ответственность

При выполнении раздела «Социальная ответственность» рассмотрены организационные и правовые вопросы обеспечения безопасности, которых позволяют осуществить проанализировать основные нормативные документы, регулирующие и регламентирующие производственную деятельность инженера.

Выполнен анализ факторов на предмет выявления основных техносферных опасностей и вредностей, предложены методы минимизации их воздействий и защиты от них.

Так же рассмотрены вопросы экологической безопасности и безопасности в чрезвычайных ситуациях при использовании разработанного стенда. Следование правилам, описанным в данном разделе, помогут помочь избежать чрезвычайных ситуаций, а также обеспечить здоровье персонала и сохранность окружающей среды.

Заключение

Результатом выполнения магистерской диссертации стала разработанная система управления стендом физического подобия трехфазного сепаратора в статическом и динамическом режимах работы. В ходе выполнения были разработаны структурная схема стенда, схема электрическая принципиальная, а также схема структуры информационно-измерительной системы. Также произведен подбор оборудования, что в совокупности с вышеупомянутым позволило собрать стенд.

Также результатом работы стала имитационная модель стенда, позволяющая производить исследования процессов, приближенных к реальным. Основной задачей установки является сепарация нефтепродукта в статическом и динамическом режимах работы. Динамика разделения фаз жидкости в емкости сепаратора анализируется с помощью компьютерного зрения. На основании полученных данных производится регулирование процесса сепарации по разработанным алгоритмам.

На основе разработанного стенда в совокупности с программным обеспечением образовательные учреждения, а также научно-исследовательские институты способны проводить исследования по разделению нефтяных эмульсий на фракции при различных условиях.

Выполненная работа удовлетворяет требованиям к системе автоматизации. Данная система имеет возможность расширения и модернизации.

Список использованных источников

1. Crude oil pumping station [Электронный ресурс] – Режим доступа – URL: <https://www.pscengineering.com/task-crude-oil-pumping-station-en.php>. – (дата обращения: 02.06.2021)
2. Atmospheric Distillation [Электронный ресурс] – Режим доступа – URL: https://www3.epa.gov/ttn/chief/old/ap42/ch05/s01/final/c05s01_jan1995.pdf. – (дата обращения: 31.05.2021)
3. Дегазация нефти как основной этап подготовки к транспорту [Электронный ресурс] – Режим доступа – URL: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_36882972_20057656.pdf. – (дата обращения: 04.06.2021)
4. Техника и технологии сбора и подготовки нефти и газа: учебник. / Земенков Ю.Д., Александров М.А., Маркова Л.М., Дудин С.М., Подорожников С.Ю., Никитина А.В./ — Тюмень: Издательство, 2015 — 160 с.
5. Кварцов С.А. Разработка эмульсионных буровых растворов методом механохимической активации: Автореф. дис. на соис. учен. степ. канд. тех. наук. – Москва: ВНИИГАЗ, 2011. – 25 с.
6. Влияние технологических параметров на процессы обезвоживания и обессоливания нефти Ушева [и др.] // Известия высших учебных заведений. Химия и химическая технология. – 2014. – №11. – С. 99-101. – URL: <https://rucont.ru/efd/413140> (дата обращения: 04.06.2021)
7. Зориктуев, В.Ц. Синтез математической модели процесса сепарации нефти в системе промысловой подготовки нефти [Текст] / В.Ц. Зориктуев, Ю.М. Дребская, Ю.М., Рошупкин // Вестник УГАТУ. Уфа: УГАТУ, 2009. – Том 13, № 2 (35). – С. 78 – 82.
8. Адаптивная информационно-измерительная система для мониторинга протекания физико-химического процесса [Электронный ресурс] – Режим доступа – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=44167412> – (дата обращения: 04.06.2021)

9. Simscape Fluids [Электронный ресурс] – Режим доступа – URL: <https://docs.exponenta.ru/physmod/hydro/index.html> – (дата обращения: 21.05.2021)
10. Горизонтальные аппараты ГЭЭ с эллиптическими днищами [Электронный ресурс] – Режим доступа – URL: https://sarrz.ru/produkcija/apparaty_emkostnye/apparat_gee.html. – (дата обращения: 04.03.2021)
11. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 № 197-ФЗ (ред. от 01.04.2019). – М.: Эксмо, 2019. – 224 с. – (Законы и кодексы)
12. ГОСТ 633-80 Трубы насосно-компрессионные и муфты к ним. Технические условия (с Изменениями № 1, 2, 3) – М.: Стандартиформ, 2010. – 32 с.
13. ГОСТ 10585-75 Топливо нефтяное. Мазут. Технические условия (с Изменениями № 1-5). – М.: Издательство стандартов, 1993. – 8 с.
14. Промышленный Ethernet [Электронный ресурс] – Режим доступа – URL: http://www.bookasutp.ru/Chapter2_9.aspx (дата обращения: 4.05.2021)
15. ГОСТ 12.0.003-2015 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Опасные и вредные производственные факторы. Классификация. – М.: Стандартиформ, 2016. – 16 с.
16. ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования. М.: Изд-во стандартов, 1986. – 9 с.
17. Свод правил: СП 2.2.2.1327-03 Гигиенические требования к организации технологических процессов, производственному оборудованию и рабочему инструменту. М.: Минздрав России, 2003. – 52 с/
18. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. Санитарные правила и нормы. СанПиН 2.2.4.548-96. – М. Информационно-издательский центр Минздрава России, 2001. – 20 с.
19. СП 52.13330.2011. Свод правил. Естественное и искусственное освещение. Актуализованная редакция СНиП 23-05-95 (утв. Приказом Минрегиона РФ от 27.12.2010 № 783)

20. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы: СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий. М.: Минздрав России, 2003. – 27 с.
21. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы: СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы. М.: Минздрав России, 2003. – 56 с.
22. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы: СанПиН 2.2.4.3359-16 Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах. М.: Минюст РФ, 2016. – 72 с.
23. ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования (с Изменением № 1). – М.: Стандартинформ, 2006. – 68 с.
24. ГОСТ 12.1.010-76 ССБТ. Взрывобезопасность. Общие требования. – М.: Изд-во стандартов, 2003. – 6 с.
25. СН 2.2.4/2.1.8.562-96. Нормы пожарной безопасности: НПБ 105-03 Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности. – М.: МЧС России, 2003. – 26 с.
26. Эмульсии [Текст] / Под редакцией А.А. Абрамзона // М.:Наука, 1972. – 321 с.
27. Щодро, А. И. Система автоматизированного управления нефтегазосепаратором с контролем плотности нефтесодержащей смеси [Текст] / В.А. Зеленский, Д.Б. Жмуров, А.И. Щодро // Вестник Самарского государственного технического университета. – 2016. – Серия «Технические науки», № 1(49). – С. 15–23.
28. Щодро, А. И. Определение скорости всплытия глобул в нефтесодержащей смеси высокой степени обводнённости [Текст] / В.А. Зеленский, А.И. Щодро, Д.А. Никитин Д.А. // Актуальные проблемы радиоэлектроники и телекоммуникаций: тр. Всероссийской научно-технической конференции. – Самара: Изд-во СГАУ, 2016. – С. 109–111.

29. Техническое обеспечение мероприятий по повышению уровня добычи нефти и газа и снижению себестоимости [Текст] / А.И. Щербинин, В.А. Назаров, А.Г. Соколов и др. // Сфера. Нефть и Газ. – 2012, № 3. - с. 166 – 168.

30. Поздышев, Г.Н. Стабилизация и разрушение эмульсий [Текст] / Г.Н. Поздышев. - М.: Недра, 1982. – 222 с.

Приложение А

(обязательное)

Development of a three-phase separator control system

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ТМ92	Петухов Максим Сергеевич		

Руководитель ВКР

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

Консультант-лингвист отделения иностранных языков ШБИП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ОИЯ ШБИП	Сидоренко Татьяна Валерьевна	к.п.н.		

2 Literature review

2.1 Field preparation of oil

Well production of oil fields is a multiphase system - oil and gas. Also, formation water, associated petroleum gas, mechanical impurities come together with oil from wells. Thus, well production is a multicomponent system.

At the same time, the quality of commercial oil must meet the requirements of the current regulatory and technical documents. The oil undergoes a special treatment, which includes the separation of water, the extraction of dissolved salts, as well as the removal of light hydrocarbon gases. These gases are in a dissolved state.

Primary oil treatment takes place at the facilities of its production. Primary oil processing includes:

- degassing – removal of gases from raw materials;
- stabilization – removal of unnecessary light fractions;
- dehydration – separation of oil from water;
- desalination – removal of excess salts from the energy resource.

Produced water, which is contained in the produced oil, is a medium with a high content of salts and minerals. This leads to corrosion in pipelines and tanks. Solid mechanical impurities lead to premature wear of the equipment.

High-quality preparation of oil for processing minimizes the harmful effect on equipment.

2.2 Block diagram of oil production complex

The oil field consists of the following set of facilities:

- well cluster;
- oil, water and gas collection and treatment points;
- tank farm;
- external oil pumping;
- reservoir pressure maintenance system;
- cluster pumping stations.

Block diagram of the oil complex is shown in Figure 1.

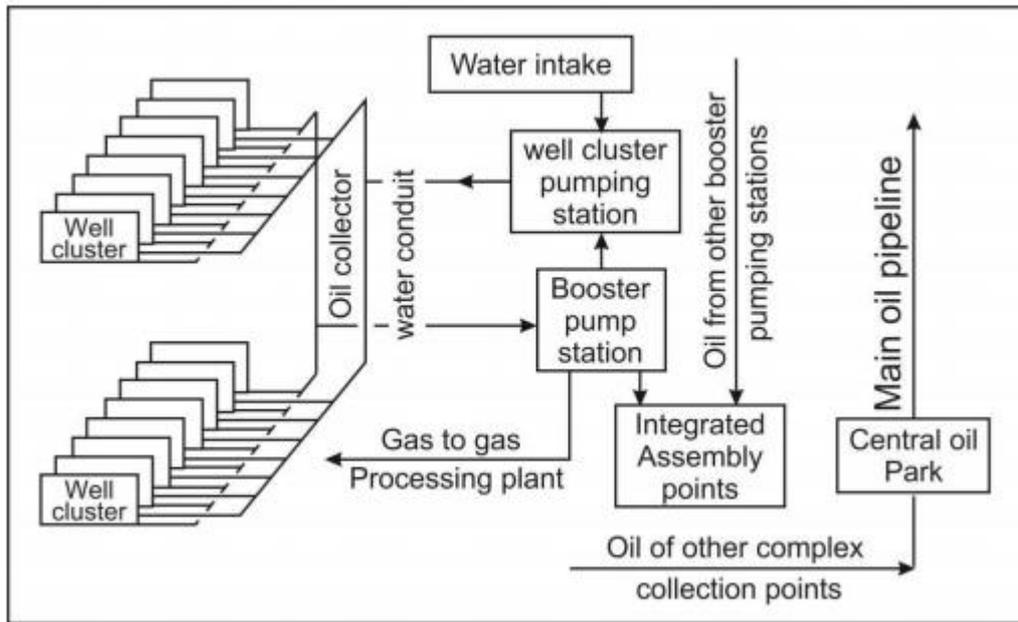


Figure 1 – Block diagram of the oil production complex

2.3 Oil preparation for transportation

Preparation of oil for transportation consists of the removal of all components from the raw material that may complicate its transportation and further processing.

The gas-liquid mixture from the wells is fed to a group metering unit, with the help of which it is possible to automatically measure the flow rate of each production well. The metering unit consists of a switchgear, separation tank and piping. The gas-liquid mixture after the distribution device enters the separator. The separators separate the gas-liquid mixture into three components: gas, oil and water. With these parameters of oil usually do not correspond to the required parameters. Therefore, the oil enters the central oil collection point and undergoes a full processing cycle. In addition, the resulting raw material is subjected to desalination and dehydration.

For reasons of efficiency, economy, and safety, the preferred method of moving large quantities of petroleum or petroleum products on land is by dedicated, large diameter, buried, transmission pipeline. Due to the friction loss created by liquids moving through the piping the pipelines experience pressure losses over the length of the piping. To address this pumping stations are located at regular intervals along the pipeline to boost the pressure to desired levels.

A simplified well production collection scheme at well pads is shown in Figure 2.

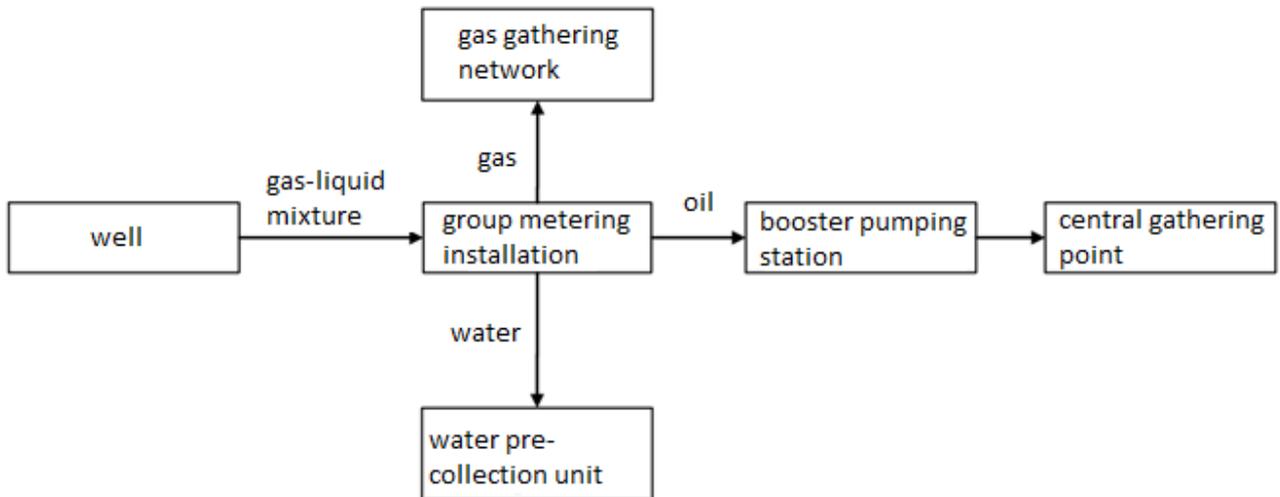


Figure 2 – Schematic diagram of a well production gathering system

To improve efficiency, primary treatment (separation of water from crude oil) is carried out at the collection and preparation points of the DNS and subsequent injection by cluster pumping stations through a system of water distribution pipelines back into the oil reservoir, which will exclude water intake from other sources.

The booster pump station includes:

- separators separating the mixture into oil and water gas;
- process liquid heaters;
- settling tanks that separate water from oil;
- settling tanks that separate oil from water;
- pump external oil.

2.3 Oil separation

The first phase in petroleum refining operations is the separation of crude oil into its major constituents using 3 petroleum separation processes: atmospheric distillation, vacuum distillation, and light ends recovery (gas processing). Crude oil consists of a mixture of hydrocarbon compounds including paraffinic, naphthenic, and aromatic hydrocarbons with small amounts of impurities including sulfur, nitrogen,

oxygen, and metals. Refinery separation processes separate these crude oil constituents into common boiling-point fractions.

Treating processes - oil treating processes stabilize and upgrade oil products by separating them from less desirable products and by removing objectionable elements. Undesirable elements such as sulfur, nitrogen, and oxygen are removed by hydrodesulfurization, hydrotreating, chemical sweetening, and acid gas removal. Treating processes, employed primarily for the separation of petroleum products, include such processes as deasphalting. Desalting is used to remove salt, minerals, grit, and water from crude oil feedstocks before refining. Asphalt blowing is used for polymerizing and stabilizing asphalt to improve its weathering characteristics.

Oil preparation includes the following stages:

1. Degassing is the process of separating gas from oil in a separator. Degassing has several stages of separation. The volume of degassed oil product depends on the number of separation stages. If the number of stages of separation increases, then the yield of degassed oil increases.

In this case, the problem of stabilization appears. Stabilization is the process of separating light volatile components from oil to produce a suitable oil product. This process is complex. It is necessary to reach the maximum volume of marketable oil. At the same time, the quality of commercial oil must meet the requirements of the current regulatory and technical documents.

2. Dehydration is the process of separating water from oil. During this process, the water droplets become large, this is called coagulation. After that, the water droplets form a membrane that flows as a liquid stream. This process has various methods: gravitational separation by centrifugal force field and thermal, thermochemical or electrical effects.

3. Desalting is the process of removing mineral salts from a petroleum product. Typically, crude oil or field oil is used for this process.

The most typical methods for desalting crude oil are:

1. Chemical desalting is the mixing of oil with water and chemical surfactants. The resulting mixture heats up, salts and other impurities dissolve or attach to water molecules. The heated solution settles in a tank in which impurities are precipitated.

2. Electrostatic desalination is the process of creating an electrostatic high voltage, as a result of which suspended water droplets flow down to the bottom of the sump.

2.3.1 Oil separator working principles

An oil separator is a device that separates gas and water from oil because liquids have different densities. The main areas of application of oil separators: petrochemical, oil refining and other areas where separation of oil emulsions is required. Table 1 shows the types of separators.

Table 1 – Types of separators.

By appointment	<ul style="list-style-type: none"> – separating; – metering-separating.
By geometric shape and position in space	<ul style="list-style-type: none"> – cylindrical; – spherical; – vertical; – horizontal; – slanted.
By principle of operation	<ul style="list-style-type: none"> – gravitational; – inertial; – centrifugal.
By operating pressure	<ul style="list-style-type: none"> – high pressure (6,4 MPa); – medium pressure (2,5 MPa); – low pressure (0,6 MPa); – vacuum.
By the number of separation stages	<ul style="list-style-type: none"> – first stage; – second stage; – third stage, etc.
By phase separation	<ul style="list-style-type: none"> – two-phase (oil + gas); – three-phase (oil + water + gas).

According to the shape of the body, oil and gas separators can be in the form of a cylinder or a ball, and according to the angle of inclination to the surface of the earth – horizontal, vertical and inclined. [4]

In any oil and gas separators, four sections are distinguished. The separation section serves to separate the main part of the liquid from the gas-liquid mixture entering the separator. To increase the efficiency of separation and uniform distribution of flow over the cross section of the apparatus, special structural devices are used:

- tangential inlet – under the action of centrifugal force, the liquid is scattered on the walls of the vessel and flows down them, the gas is distributed over the cross section of the separator, and then removed from it;
- reflective devices (rectangular or round plates, hemispheres), which are installed at the entrance to the oil and gas separator;
- designs that allow for the separate introduction of gas and liquid into the separator.

Oil separators have 4 sections as shown in Figure 3:

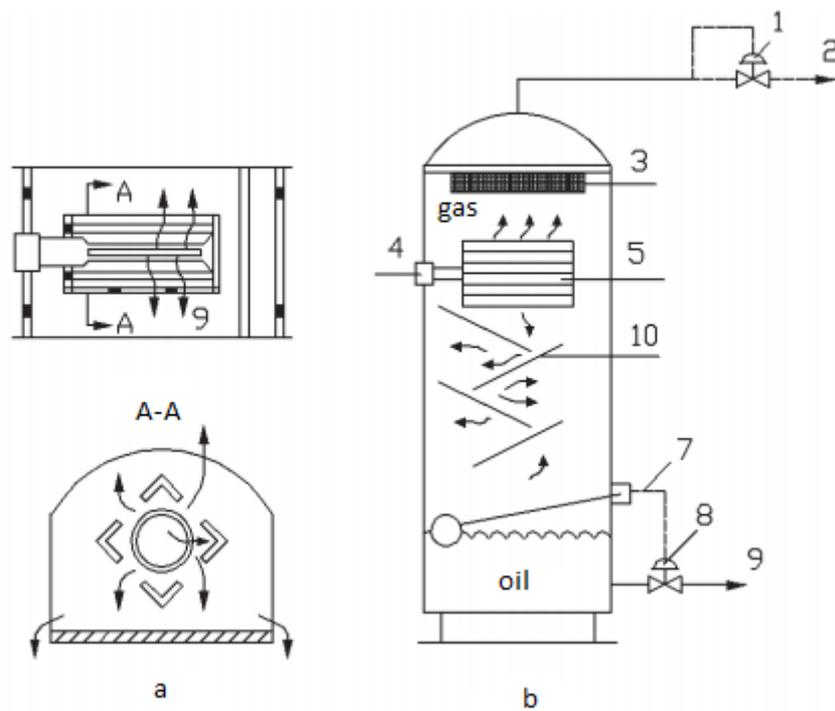


Figure 3 – Vertical separator:

a - well production output in the separator; b - gas separator for foam oil; 1 - pressure regulator; 2 - gas outlet; 3 - nozzle for film separation; 4 - well production input; 5 - gas baffle; 6 - structural unit of the gas baffle; 7 - oil level regulator; 8 - diaphragm control valve; 9 - oil; 10 - deflectors to improve gas separation.

In oil and gas separators, inclined planes are used to increase the efficiency of gas extraction from oil. On these planes, the fluid flow should smoothly merge into the lower part of the separator.

In the collection section, liquid is collected, from which gas in the previous section was almost completely released. The volume of this section is chosen so that it allows you to hold the separated liquid for the time required for the release of gas bubbles to the surface and the secondary entry into the gas stream. But despite this, in fact, the dissolved oil and free gas are contained in the oil leaving the separator.

Depending on the separation conditions and on the perfection of the design of the oil and gas separator, the ratio of dissolved and free gas in the composition of the gas carried away with the oil may be more or less. At the same time, increasing the contact area of the phases (the surface of the apparatus or drain shelves) up to 5-6 times makes it possible to additionally isolate from oil only 10-15% of the total amount of gas remaining in it.

An increase in the residence time of oil in the separator by 5–6 times also practically does not increase gas extraction. If the dissolved gas that was supposed to be released from the oil under the given thermodynamic conditions of separation did not stand out when the oil was moving in a thin layer on the surface of the apparatus or the drain shelves, then it gets slightly released into the oil phase under the liquid layer.

The drip collection section is required to capture liquid droplets in the gas that leaves the oil and gas separator. A section usually consists of various horizontal and vertical drop eliminators. The criterion for the effectiveness of the separation of the dropping liquid from the gas is the specific ablation of the liquid from 1 m³ of gas.

The efficiency of the droplet eliminators depends on the permissible velocity of the gas, the amount of liquid supplied with the gas, the uniform loading of the droplet collector over its cross-sectional area.

For the first stage of separation, horizontal separators are usually used (Figure 4).

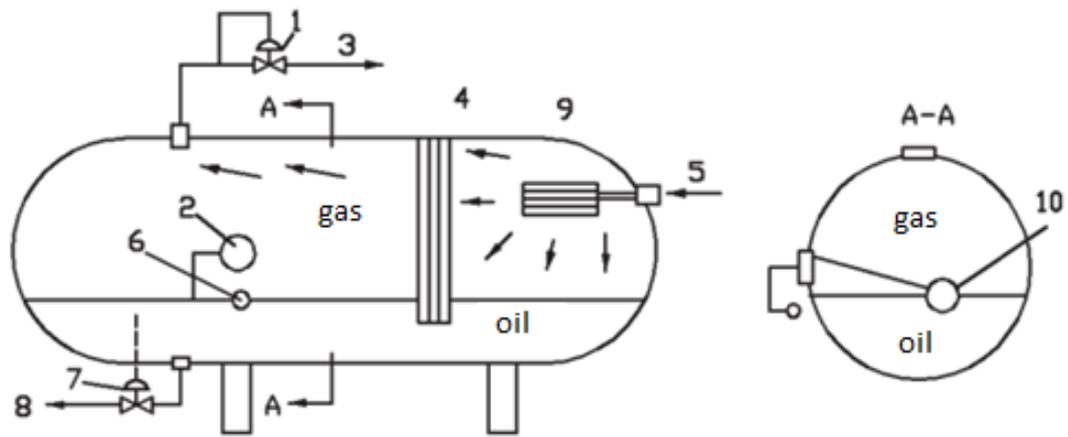


Figure 4 – Horizontal separator:

1 - gas pressure regulator; 2 - float; 3 - gas outlet; 4 - blade-type film separation surface; 5 - well production input; 6 - level regulator; 7 - diaphragm control valve; 8 - oil withdrawal; 9 - gas baffle; 10 - float.

The horizontal separator is characterized by increased throughput and better quality of oil separation. With all this, this separator is easy to maintain and use. This type of separator has found wide application both in the first stage of oil separation and in subsequent stages.

The horizontal oil and gas separator (Figure 4) work as follows: a gas-liquid mixture is supplied to the pipe 5, after which it enters the gas dispersant 9, where the oil and gas mixture is crushed. Dispersion of the liquid leads to a significant increase in the gas-liquid contact surface; as a result, intense gas evolution from oil occurs.

After the dispersant under the influence of gravitational forces, a significant part of the droplet liquid from the gas settles on the inclined plane, and a small part of it in the form of droplets is carried away by the gas stream. The gas stream containing small particles of liquid that did not have time to settle under the action of gravity enters the drop collector, in which there is an additional separation of liquid droplets from the gas. Then the liquid flows into the sump, from which through the pipe 8 it falls under the liquid level in the separator. The developed installation uses a gravity-type separator.

2.3.2 Emulsion formation

An emulsion is a dispersed system of two liquids, completely insoluble or slightly soluble. These liquids can be in the form of small droplets. By the nature of the dispersed medium and dispersed phase, the emulsion is divided into two types:

- direct type - non-polar liquid to polar (oil-water);
- reverse type - polar liquid to non-polar (water-oil).

2.3.3 Physical and chemical properties of oil emulsions

Oil is a mixture of hydrocarbons and more than 100 different compounds containing nitrogen and sulfur. Physical properties of oil and chemical characteristics vary widely and depend on its composition. The composition of this liquid can vary from light and gas-saturated to thick and heavy, with a high content of resins. The color of oil can also vary from light, almost transparent to dark brown, almost black.

These properties of oil determines the content in the composition of this hydrocarbon mixture of light low-molecular compounds, or complexly constructed heavy compounds with high molecular weight. Oil and its use for the production of various goods, called petroleum products, make this mineral the most important energy carrier in the modern world.

The composition of oil includes:

- Carbon (79-88%);
- Hydrogen (11-14%);
- Sulfur (0,1-15%);
- Oxygen, nitrogen, etc. (8-15%).

Chemical properties of oil and gas determines the chemical structure of their composition. The main elements are carbon (C) and hydrogen (H). The carbon content of oil is from 83 to 89 percent, and hydrogen – from 12 to 14 percent. The oil also contains a small amount of nitrogen, sulfur, oxygen and impurities of various metals.

Oil is a combustible oily liquid, and its color can vary from light yellow to black. The composition of oil is determined mainly by hydrocarbon compounds.

The solution differs from the main mixture in that the components contained in the solution can interact with each other from a chemical and physical point of view, as a result of which the solution can acquire new properties that were not in the original compounds.

The main physical characteristics of oil are:

- density;
- viscosity;
- the sulfur content of the oil;
- paraffinicity;
- gas content;
- saturation pressure;
- compressibility;
- thermal expansion coefficient;
- volume ratio;
- pour;
- optical oil properties.

1. The dispersion of emulsions is the degree of fragmentation of the dispersed phase in a dispersed medium. This characteristic is the main one for determining the properties of emulsions.

2. The viscosity of the emulsion depends on the viscosity of the oil itself, the amount of water, mechanical impurities, and also on the temperature.

3. The density of the emulsion is determined by the density of water and oil, as well as their content in the emulsion:

$$p_3 = p_u \cdot (1 - W) + p_e \cdot W, \quad (1)$$

where p_3 – oil density, kg/m^3 ;

p_B – water density, kg/m^3 ;

W – water content by volume.

4. The temperature of the emulsion affects its viscosity. A decrease in oil viscosity leads to a decrease in emulsion stability.

5. The stability of oil emulsions is determined by the ability of the emulsion not to break down over time and not separate into oil and water.

The stability of oil emulsions is influenced by: the dispersion of the system, the physicochemical properties of emulsifiers, the presence of a double electric charge on the droplets of the dispersed phase, the temperature and lifetime of the emulsion.

CONCLUSION

Thus, as a result of studying and evaluating the existing designs of two-phase oil and gas separators according to the training, reference and normative, it has been established that the most common type of three-phase separators are horizontal separators.

In connection with the foregoing, an urgent task is to increase the productivity of a horizontal three-phase oil and gas separator for separating the emulsion into oil and water while maintaining the quality of the product.

Приложение Б

(обязательное)

Схемы электрические принципиальные

Приложение В

(обязательное)

Блок-схема алгоритма работы стенда в статическом режиме

Приложение Г

(обязательное)

Блок-схема алгоритма работы стенда в динамическом режиме

Приложение Д

(обязательное)

Блок-схема алгоритма технологического прогона оборудования стенда

Приложение Е
(обязательное)
Имитационная модель