

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
Автоматизация стенда физического подобия «Трехфазный сепаратор»

УДК 681.51:004.421:622.276.054.5

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8TM81	Миронова Екатерина Владимировна		

Руководитель ВКР

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

Консультант

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

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Концепция стартап-проекта»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ШИП	Юдахина Ольга Борисовна	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ООД ШБИП	Горбенко Михаил Владимирович	к.т.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Ефимов Семен Викторович	к.т.н.		

Томск – 2020 г.

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ

15.04.04 «Автоматизация технологических процессов и производств»

Код рез-та	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
<i>Профессиональные</i>		
P1	применять глубокие естественнонаучные, математические знания в области анализа, синтеза и проектирования для решения научных и инженерных задач производства и эксплуатации автоматизированных систем, включая подсистемы управления и их программное обеспечение.	Требования ФГОС (ПК-1, ПК-3, ОПК-1, ОПК-4, ОК-1, ОК-9), Критерий 5 АИОР (п. 1.1), согласованный с требованиями международных стандартов EURACE и FEANI
P2	воспринимать, обрабатывать, анализировать и обобщать научно-техническую и формацию, передовой отечественный и зарубежный опыт в области теории, проектирования, производства и эксплуатации автоматизированных систем, принимать участие в командах по разработке и эксплуатации таких устройств и подсистем.	Требования ФГОС (ПК-3, ПК-4, ПК-7, ОПК-1, ОПК-3, ОК-1, ОК-4, ОК-5, ОК-6, ОК-9), Критерий 5 АИОР (пп. 1.1, 1.2), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P3	применять и интегрировать полученные знания для решения инженерных задач при разработке, производстве и эксплуатации современных автоматизированных систем и подсистем (в том числе интеллектуальных) с использованием технологий машинного обучения, современных инструментальных и программных средств.	Требования ФГОС (ПК-2, ПК-3, ПК-4, ПК-5, ПК-15, ПК-18, ОПК-3, ОПК-6, ОК-1, ОК-5, ОК-6, ОК-7), Критерий 5 АИОР (пп. 1.2), согласованный с требованиями международных стандартов EURACE и FEANI
P4	определять, систематизировать и получать необходимую информацию в области проектирования, производства, исследований и эксплуатации автоматизированных систем, устройств и подсистем.	Требования ФГОС (ПК-7, ПК-10, ПК-11, ПК-12, ПК-18, ОПК-4, ОПК-6, ОК-1, ОК-4, ОК-6, ОК-8), Критерий 5 АИОР (п.1.3), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P5	планировать и проводить аналитические, имитационные и экспериментальные исследования для целей проектирования, производства и эксплуатации систем управления технологическим процессом и подсистем (в том числе интеллектуальных) с использованием передового отечественного и зарубежного опыта, уметь критически оценивать полученные теоретические и	Требования ФГОС (ПК-1, ПК-2, ПК-3, ПК-4, ПК-5, ПК-6, ПК-13, ПК-17, ПК-18, ОПК-2, ОПК-3, ОК-1, ОК-3, ОК-4, ОК-6, ОК-7, ОК-8, ОК-9), Критерий 5 АИОР (п. 1.4), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI

	экспериментальные данные и делать выводы.	
P6	понимать используемые современные методы, алгоритмы, модели и технические решения в автоматизированных системах и знать области их применения, в том числе в составе безлюдного производства.	Требования ФГОС (ПК-1, ПК-2 ПК-3, ПК-7, ОПК-1, ОПК-3, ОПК-4, ОК-5, ОК-9, ОК-10), Критерий 5 АИОР (п.2.1), согласованный с требованиями международных стандартов EURACE и FEANI
<i>Универсальные</i>		
P7	эффективно работать в профессиональной деятельности индивидуально и в качестве члена команды	Требования ФГОС (ПК-1, ПК-2 ПК-7, ПК-8, ПК-16, ПК-17, ОК-1, ОК-2, ОК-4, ОК-6, ОК-9), Критерий 5АИОР (п.2.1), согласованный с требованиями международных стандартов EURACE и FEANI
P8	владеть иностранным языком на уровне, позволяющем работать в интернациональной среде с пониманием культурных, языковых и социально-экономических различий	Требования ФГОС (ПК-4, ПК-8, ПК-9, ПК-16, ОПК-4, ОК-5), Критерий 5 АИОР (п. 2.2), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P9	проявлять широкую эрудицию, в том числе знание и понимание современных общественных и политических проблем, демонстрировать понимание вопросов безопасности и охраны здоровья сотрудников, юридических аспектов, ответственности за инженерную деятельность, влияния инженерных решений на социальный контекст и окружающую среду	Требования ФГОС (ПК-5, ПК-8, ПК-15, ПК-16, ПК-18,ОПК-1, ОПК-4, ОПК-5, ОК-3, ОК-4, ОК-5, ОК-6, ОК-8, ОК-9), Критерий 5 АИОР (пп. 1.6, 2.3,), согласованный с требованиями международных стандартов EURACE и FEAN
P10	следовать кодексу профессиональной этики и ответственности и международным нормам инженерной деятельности	Требования ФГОС (ПК-8, ПК-11, ПК-16, ОПК-3, ОПК-6, ОК-4), Критерий 5АИОР (пп. 2.4, 2.5), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P11	понимать необходимость и уметь самостоятельно учиться и повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (ПК-4, ПК-8, ОПК-3, ОПК-4, ОК-5, ОК-6, ОК-7, ОК-8), Критерий 5 АИОР (2.6), согласованный с требованиями международных стандартов EURACE и FEANI.

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
 _____ Ефимов С.В.
 (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
8TM81	Миронова Екатерина Владимировна

Тема работы:

Автоматизация стенда физического подобия «Трехфазный сепаратор»

Утверждена приказом директора (дата, номер)	от 28.02.2020 приказ № 59-41
---	------------------------------

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Объектом исследования является трехфазный сепаратор нефти, на основе которого необходимо разработать автоматизированный стенд физического подобия «3-х фазный сепаратор нефти».
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	1. Разработка структурной схемы стенда; 2. Разработка комплекса технических средств; 3. Разработка схем электрических принципиальных; 4. Разработка алгоритмов работы стенда; 5. Разработка конструкции сепаратора стенда; 6. Выбор оборудования; 7. Разработка имитационной модели работы стенда.

Перечень графического материала	–
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Концепция стартап-проекта	Юдахина Ольга Борисовна
Социальная ответственность	Горбенко Михаил Владимирович
Раздел, выполняемый на иностранном языке	Пичугова Инна Леонидовна
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
Аналитическая часть	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	24.02.2020
---	-------------------

Задание выдал руководитель:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8TM81	Миронова Екатерина Владимировна		

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

Школа Инженерная школа информационных технологий и робототехники
 Направление подготовки 15.04.04. Автоматизация технологических процессов и производств
 Уровень образования Магистратура
 Отделение школы (НОЦ) Отделение автоматизации и робототехники
 Период выполнения осенний / весенний семестр 2019 /2020 учебного года

Форма представления работы:

Магистерская диссертация

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

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
24.04.2020	Основная часть	60
15.05.2020	Концепция стартап-проекта	20
20.05.2020	Социальная ответственность	20

СОСТАВИЛ:

Руководитель ВКР

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

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Ефимов Семен Викторович	к.т.н.		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «КОНЦЕПЦИЯ СТАРТАП-ПРОЕКТА»

Студенту:

Группа	ФИО
8TM81	Миронова Екатерина Владимировна

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

Перечень вопросов, подлежащих разработке:	
<i>Проблема конечного потребителя, которую решает продукт, который создается в результате выполнения НИОКР</i>	Стенд позволяет изучить основные узлы и элементы сепараторов, принцип функционирования и режимы работы, а также сформировать первоначальные навыки по обслуживанию у студентов и работников, относящихся к нефтяной сфере.
<i>Способы защиты интеллектуальной собственности</i>	Для разработанных программно-аппаратных решений и для полученных научных результатов предполагается оформление патента на полезную модель на программно-аппаратный комплекс «Трехфазный сепаратор»
<i>Объем и емкость рынка</i>	Емкость рынка нефтяных компаний в РФ составляет 104 850 тыс. руб.
<i>Современное состояние и перспективы отрасли, к которой принадлежит представленный в ВКР продукт</i>	Проведенный обзор аналогичных изделий показал, что из доступных решений на российском рынке имеется два стенда физического подобия, позволяющие исследовать различные способы сепарации нефти в различных режимах, с их ручным или автоматическим заданием и конфигурированием. К данным разработкам относятся: – лабораторная установка "Установка сепарации нефти от газа и воды" от компании «Учтех-Профи»; – лабораторная установка по изучению сепарации нефтепродуктов от компании «Measlab»
<i>Себестоимость продукта</i>	Себестоимость продукта составляет 361,166 тыс. руб.
<i>Конкурентные преимущества создаваемого продукта</i>	Ключевыми недостатками вышеперечисленных решений является их недостаточная степень автоматизации, т.е. наличие исполнительных механизмов, приводимых в действие мануально, что снижает уровень точности настройки, а также не позволяет однозначно обеспечить какой-либо режим работы повторно.
<i>Сравнение технико-экономических характеристик продукта с отечественными и мировыми аналогами</i>	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.

<i>Целевые сегменты потребителей создаваемого продукта</i>	Основным целевым сегментом потребителей являются нефтедобывающие компании.
<i>Бизнес-модель проекта</i>	В результате исследований создается универсальная модель, позволяющая встраивать ее в локальную систему управления сепаратора и систему управления участком подготовки товарной нефти на месторождении с учетом индивидуальных параметров отдельно взятого месторождения. Внедрение в систему управления участка подготовки товарной нефти на месторождении цифрового двойника и настроек регуляторов системы управления трехфазным сепаратором с целью оптимизации технологической схемы и режимов работы отдельных сепараторов позволит: • снизить энергозатраты процессов разделения нефти на фракции; • за счет изменения закона регулирования снизить нагрузку на исполнительное оборудование тем самым продлевая его ресурс; • задавать (произвольные) плавающие показатели качества товарной нефти; • повысить производительность системы при минимальном количестве сепараторов в технологической схеме; • по косвенным показателям контуров регулирования и технологической схемы прогнозировать параметры скважной жидкости и характеристики скважины.
<i>План продаж</i>	Способы продвижения продукта: 1. расширение партнерских связей; 2. участие в выставках газового и нефтяного оборудования; 3. создание статей, видео для привлечения внимания к использованию сепаратора; 4. обучение пользования оборудованием; 5. создание сайта.
Перечень графического материала:	
<i>При необходимости представить эскизные графические материалы</i>	Бизнес-модель проекта по А,Остервальдеру и И,Пинье

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

Задание выдал консультант по разделу «Концепция стартап-проекта» (со-руководитель ВКР):

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ШИП	Юдахина Ольга Борисовна	к.э.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8TM81	Миронова Екатерина Владимировна		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
8ТМ81	Миронова Екатерина Владимировна

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

Тема диссертации:

Автоматизация стенда Физического подобия «Трехфазный сепаратор»	
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, смеситель и блок управления. Программная часть осуществляет управление, сбор данных и формирование отчетов Область применения системы - лабораторные и учебные помещения организаций, осуществляющих исследования в области подготовки нефти.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: 1.1. Специальные правовые нормы трудового законодательства 1.2. Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны 1.3. Организационные мероприятия обеспечения безопасности	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. Профессиональная социальная безопасность: 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия	– 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, содержащейся в стенде и поломке компьютера.
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	Существует вероятность возникновения пожара.

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ООД ШБИП	Горбенко Михаил Владимирович	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ТМ81	Миронова Екатерина Владимировна		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа состоит из 140 страниц, 40 рисунков, 25 таблиц, 37 источников, 8 приложений.

Ключевые слова: проект, нефтегазовый сепаратор, трехфазный сепаратор нефти, стенд, сепаратор, датчики, подготовка нефти.

Объектом исследования является трехфазный сепаратор нефти технологического процесса подготовки товарной нефти на месторождении.

Цель работы: автоматизация стенда физического подобия трехфазного сепаратора нефти.

В результате исследования был автоматизирован стенд физического подобия “Трехфазный сепаратор нефти” осуществлен выбор оборудования, разработана конструкция сепаратора стенда, разработаны схема комплекса технических средств и схемы электрические принципиальные, также были разработаны алгоритмы работы стенда в статическом и динамическом режиме и алгоритм технологического прогона оборудования стенда, разработана имитационная модель работы стенда с использованием специализированного программного обеспечения.

Данная разработка может найти отклик в таких направлениях деятельности, как проектная работа, научно-исследовательская работа, инженерные изыскания, реализация проектов и образовательные услуги.

Для выполнения выпускной квалификационной работы использовались программные продукты Matlab 2019b, AutoCad, MS Office.

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

Содержание

Введение	14
1 Аналитическая часть	17
1.1 Характеристика скважинной продукции и сепарированной нефти	17
1.1.1 Промысловая подготовка нефти	17
1.1.2 Правильная подготовка нефти – обязательный показатель ее качества	17
1.1.3 Подготовка нефти к транспортировке	18
1.1.4 Процессы подготовки нефти	19
1.1.5 Сепарация нефти	20
1.1.6 Классификация и конструктивные особенности сепараторов	22
1.2 Обзор физико-химических технологий разделения водонефтяных эмульсий	32
1.2.1 Эмульсии	32
1.2.2 Физико-химические свойства нефтяных эмульсий	37
Выводы к главе	42
2 Конструкторско-технологический раздел	43
2.1 Разработка принципиальной технологической схемы сепаратора	43
2.2 Анализ практического опыта управления процессом сепарации	45
2.3 Разработка конструкции сепаратора	46
2.4 Описание комплекса технических средств	47
2.5 Разработка принципиальных электрических схем	48
3 Имитационное моделирование процесса сепарации	50
3.1 Имитационный эксперимент	50
4 Разработка алгоритмов работы стенда	55
4.1 Алгоритм технологического прогона оборудования	55
4.2 Алгоритм работы стенда в статическом режиме	57
4.3 Алгоритм работы стенда в динамическом режиме	59

5	Разработка имитационной модели работы стенда.....	61
6	Выбор оборудования	67
6.1	Выбор клапанов.....	67
6.2	Выбор уровнемеров.....	68
6.3	Выбор датчика температуры	69
6.4	Выбор датчика давления.....	71
6.5	Выбор компрессора.....	72
6.6	Выбор нагревателя	73
6.7	Выбор контроллера	75
7	Концепция стартап-проекта.....	77
7.1	Название.....	77
7.2	Описание продукта как результата НИР.....	77
7.3	Интеллектуальная собственность.....	78
7.4	Объем и емкость рынка.....	78
7.5	Анализ современного состояния и перспектив развития отрасли.....	80
7.6	Планируемая стоимость продукта.....	82
7.7	Конкурентные преимущества создаваемого продукта, сравнение технико-экономических характеристик с отечественными и мировыми аналогами.	87
7.8	Целевые сегменты потребителей создаваемого продукта	88
7.9	Бизнес-модели проекта. Производственный план и план продаж	89
7.10	Стратегия продвижения продукта на рынок.....	91
8	Социальная ответственность	92
8.1	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	93
8.2	Специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства	93
8.3	Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны	95
8.4	Производственная безопасность	96
8.5	Отклонение показателей микроклимата	98
8.6	Производственный шум.....	100
8.7	Отсутствие или недостаток естественного света.....	101

8.8 Повышенный уровень электромагнитных излучений.....	103
8.9 Опасность поражения электрическим током	104
8.10 Экологическая безопасность	106
8.11 Анализ влияния процесса исследования на окружающую среду	107
8.12 Обоснование мероприятий по защите окружающей среды	107
8.13 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	108
8.14 Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований.	108
8.15 Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС	110
8.16 Выводы по разделу социальная ответственность	111
Список литературы	112
Приложение А (обязательное) Automation of the physical similarity bench “Three-phase oil separator”	117
Приложение Б (обязательное) Конструкция стенда сепаратора	130
Приложение В (обязательное) Комплекс технических средств	131
Приложение Г (обязательное) Схемы электрические принципиальные.....	132
Приложение Д (обязательное) Блок-схема алгоритма технологического прогона оборудования стенда	135
Приложение Е (обязательное) Блок-схема алгоритма работы стенда в статическом режиме.....	136
Приложение Ж (обязательное) Блок-схема алгоритма работы стенда в динамическом режиме	137
Приложение Е (обязательное) Результаты проведенных опытов	138

Введение

Актуальность исследования. При рассмотрении основных приоритетов нефтегазового сегмента российской экономики, выделяются такие факторы как повышение эффективности и рентабельности. Специфические особенности, связанные с высокой степенью заболачивания скважин (Среднее Поволжье, Южный Урал), подталкивают к выявлению новых методов автоматизированного управления технологическим процессом разделения нефтесодержащей смеси. В процессе сепарации необходимо обеспечить производительность (количество продукта на единицу времени), а также качество товарной нефти, определяемое по ГОСТ Р 51858 - 2002. Представленные задачи определяют необходимость оптимизации технических решений и научных подходов изучения нефти – значимой составляющей современного мира. Подтверждая, что разработка и исследование новых способов управления технологическим процессом сепарации нефти актуальное научно-техническое направление.

Следует отметить, что научные достижения в этой области требуют дополнительного рассмотрения и дальнейшего развития. В частности, не решены вопросы разработки и исследования новых принципов автоматизированного управления на основе надежных математических моделей разделения нефтесодержащей смеси. Уровень готовности существующих научных разработок не позволяет разрешить вопрос повышения производительности обработки нефти, добываемой из скважин с высоким содержанием воды, при сохранении качества выходного продукта.

Объект исследования. Трехфазный сепаратор нефти технологического процесса подготовки товарной нефти на месторождении.

Предмет исследования. Способ, модели, алгоритмы контроля и регулирования разделения на фазы нефтесодержащей смеси.

Цель диссертационной работы. Автоматизация модели физического подобия «Трехфазный сепаратор» для повышения производительности процесса сепарации нефтесодержащей смеси.

Для достижения цели необходимо решить следующие основные задачи:

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

2. Разработать алгоритмы автоматизированного контроля разделения нефтесодержащей смеси в различных режимах.

3. Разработать имитационную модель в ПП «Matlab» на основе полученных результатов во время проведения опытов и исследовать её адекватность, сходимость и чувствительность.

4. Провести экспериментальную проверку данных, полученных путём теоретического анализа, расчётов и имитационного моделирования.

Научная новизна:

1. Предложен способ автоматизированного контроля разделения нефтесодержащей смеси на фазы, основанный на проведенных опытах.

2. Разработана математическая модель трехфазного нефтегазового сепаратора, которая позволяет отслеживать процесс разделения нефти и воды, а также дает понимание процесса сепарации.

3. Проведены опыты по ускорению разделения фаз воды и нефти при помощи пьезоэлемента.

4. По образованию сплошных фазовых слоев была разработана имитационная модель, которая позволяет определить время оптимально для сепарации, не потеряв качество выходного продукта.

Практическая ценность:

1. Предложенные технические решения позволяют реализовать автоматизированное управление технологическим процессом сепарации нефтесодержащей смеси.

2. Для повышения производительности товарной нефти с сохранением ее качества предложена методика определения оптимального времени сепарации.

3. Разработанные алгоритмы позволяют регулировать разделение на фазы нефтесодержащей смеси. Проведенные опыты обеспечивают достоверность выводов, сформулированных в данной работе.

1 Аналитическая часть

1.1 Характеристика скважинной продукции и сепарированной нефти

1.1.1 Промысловая подготовка нефти

Подготовка нефтяных месторождений необходима для того, чтобы обеспечить надлежащее качество энергии перед ее отправкой на промышленные предприятия.

Эта процедура также сводит к минимуму присутствие вредных веществ в сырье, что гарантирует длительный срок службы нефтепроводов. Его суть заключается в обезвоживании и опреснении продукта.

Плохая подготовка сырья может привести к значительным дополнительным затратам. Речь идет о высокой стоимости транспортировки, если продукт не очищается от ненужных веществ, придавая ему дополнительный объем и вес. А также о финансовых вложениях в оборудование. Ведь нефть, из которой не удаляются соли, может очень быстро повредить трубопровод, и тогда потребуются ее замена.

1.1.2 Правильная подготовка нефти – обязательный показатель ее качества

Первичная подготовка нефти происходит непосредственно на объектах ее добычи.

Первичная обработка нефти включает в себя:

- дегазацию – удаление газов из сырья;
- стабилизацию – удаление ненужных легких фракций;
- обезвоживание – отделение нефти от воды;
- обессоливание – удаление избытка солей из энергоресурса.

Если подготовка нефти к переработке проведена качественно, то сырье почти не оказывает вредоносного влияния на оборудование.

Большая часть примесей, вызывающих коррозию металла, находится в остатках пластовой воды. Следовательно, основной задачей обессоливания является удаления из нефти капель данной жидкости. Это очень сложный процесс, так как количество мелких капель в энергоресурсе достаточно велико.

Самым простым из методов обессоливания на сегодняшний день считается избавление от капель воды путем отстаивания.

Плотность воды значительно больше, чем у нефти, поэтому капли просто оседают во время этого процесса в нижнюю часть специального аппарата.

При низкой температуре отстой капель воды практически не происходит, и нефть приходится нагревать.

С увеличением температуры сырья понижается его вязкость. Это приводит к возрастанию разницы показателей плотности воды и энергоресурса.

Для того чтобы ускорить разделение, процедуру проводят в рамках электрического поля. С целью полного удаления из нефти солевых капель в сырье вводится промывочная вода, вместе с которой в итоге выходят все ненужные компоненты.

1.1.3 Подготовка нефти к транспортировке

Подготовка нефти к транспортировке представляет собой удаление из сырья всех компонентов, которые могут затруднить его перевозку и дальнейшую переработку.

Если в энергоресурсе содержится большое количество воды, это увеличивает объем нефти, из-за чего повышается цена на ее перемещение.

От минеральной соли стоит избавиться во избежание повреждений оборудования, которое может поддаваться коррозии.

Когда в топливном ресурсе находится большое количество механических примесей, это грозит значительным ухудшением качества исходного нефтепродукта. Подобные примеси мешают технологическому режиму переработки сырья.

Если система сбора, транспортировки или хранения плохо герметизирована, то в процессе испарения могут выветриться легкие углеводороды.

Существуют комплексные установки по обезвоживанию, обессоливанию и стабилизации нефти.

1.1.4 Процессы подготовки нефти

Подготовка нефти – это важный, необходимый процесс, так как ее качество должно соответствовать ГОСТу.

Существует определенная последовательность выполнения операций по подготовке энергоресурса:

- из скважины нефть попадает в специальную установку, сюда же подается горячая вода, в которой содержится деэмульгатор;
- под воздействием воды и находящегося в ней вещества сырье частично отделяется от воды и газа;
- оставшаяся нефть подогревается;

- затем в специальном отстойнике топливный ресурс окончательно отделяется от остатков воды;
- для полного освобождения нефти от соли в нее вливается пресная вода;
- смесь направляется в отстойник, где достигает необходимого содержания солей.

Если после всех проделанных процедур количество вредных веществ в нефти не достигает нормы, ее направляют в электродегидратор. Или же, если с показателями соли все в порядке, в вакуумный сепаратор.

1.1.5 Сепарация нефти

Сепарация является первым этапом переработки нефти после ее добычи из скважины. Еще до того, как подготовить добытое сырье к перегонке, его необходимо очистить от "лишних" частиц газа и воды и механических примесей. И только потом можно запустить процесс подготовки к первичной переработке нефтепродуктов.

Состав добываемой нефти

Сырая нефть имеет многокомпонентную структуру из смеси углеводородов, минеральных частиц и воды. В ее состав входит около 1000 веществ, основную часть которых представляют жидкие углеводороды, органические и металлоорганические соединения, углеводородные газы, вода, соли и, конечно же, механические примеси.

Промысловая подготовка нефти включает в себя такие этапы:

1. Дегазация – проводится в сепараторах для отделения газа от нефти. От количества ступеней сепарации зависит объем извлечения дегазированного продукта из одного и того же количества пластовой эмульсии. Обычно достаточно провести очистку два-три раза.

2. Обезвоживание – осуществляется различными методами: или гравитационным холодным разделением в действии поля центробежных сил или под термическим термохимическим, электрическим воздействием.

3. Обессоливание путем смешения обезвоженной нефти с пресной водой и повторение этой операции с вновь полученной эмульсией. В связи с тем, что даже после проведения дегидратации некоторое количество воды, содержащей раствор солей, все равно продолжает содержаться в нефти. При смешении с пресной водой соли распределяются по всему ее объему, и, следовательно, их средняя концентрация в воде уменьшается.

4. Стабилизация – отделение от нефтепродукта легких фракций бензина, пропана и бутана для снижения показателя потерь нефти при ее дальнейшей транспортировке.

Перед транспортировкой и использованием продукту требуется очистка:

1. От механических примесей. Чтобы не повредить трубопровод, проводится аффинирование методом или «мокрого» улавливания пыли, используемым в масляных пылеуловителях, или «сухого» отделения, характерным для циклонных пылеуловителей.

2. От пластовой воды. Для того чтобы избежать коррозии и образования гидратов в трубопроводах. Может осуществляться методами охлаждения, абсорбции и адсорбции.

3. От сероводорода. Ядовитая примесь совместно с влагой способна образовывать растворы сернистой и серной кислот, резко увеличивающих скорость коррозии труб, арматуры и оборудования. Может проводиться как методом адсорбции с использованием гидрата окиси железа и активированного угля, так и с использованием абсорбента, который вступает в химическую реакцию с сероводородом, забирая продукт реакции с собой. Очищенный газ при такой схеме в конце проходит через скрубберную установку для улавливания капель абсорбента.

4. От углекислого газа. Чтобы не дать понизиться температуре сгорания газа и воспрепятствовать коррозии оборудования. Чаще всего очистка газа от CO_2 проводится в то же время, что и фильтрация от сероводорода.

1.1.6 Классификация и конструктивные особенности сепараторов

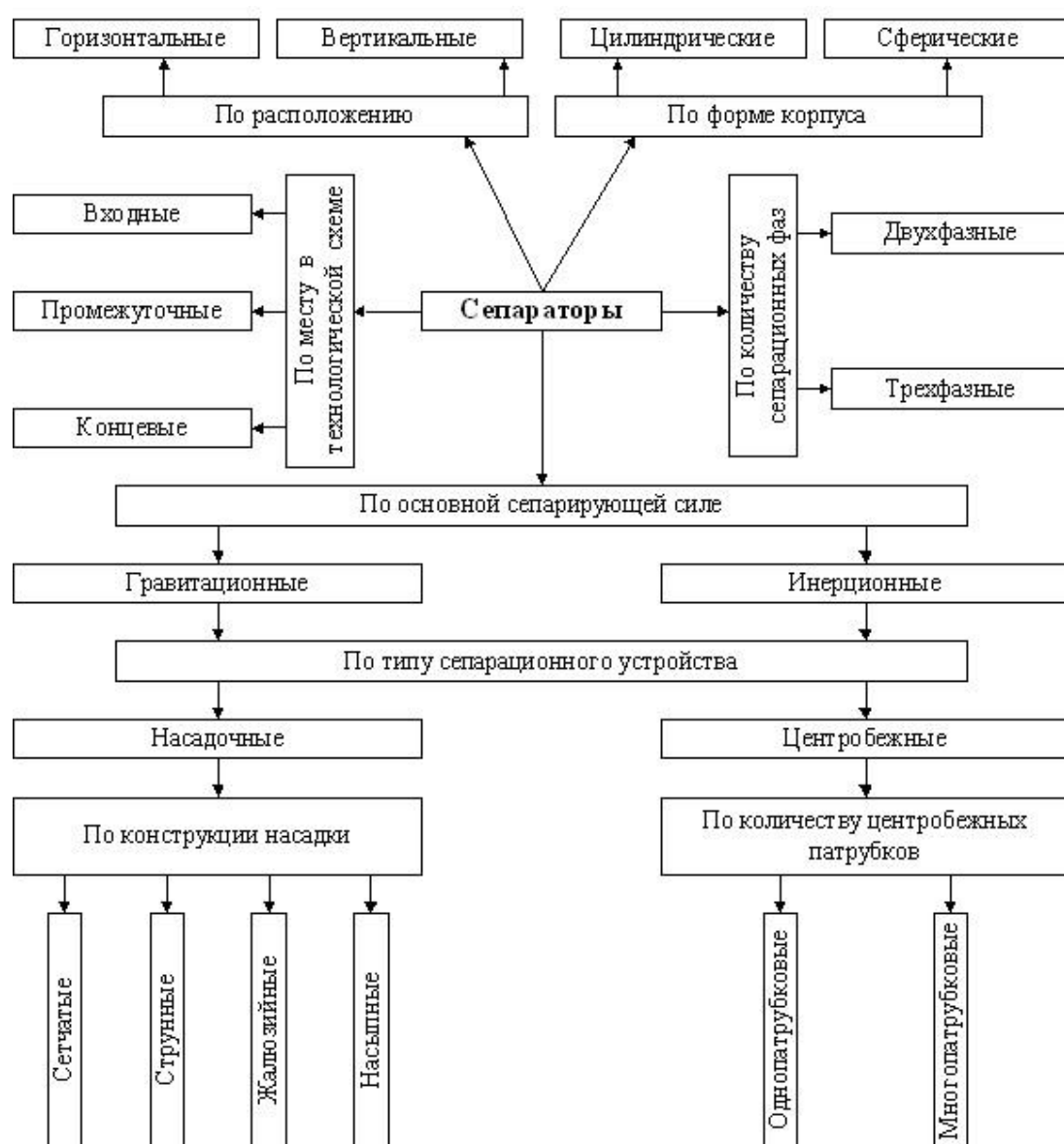


Рисунок 1.1 – Классификация сепараторов по основным функциональным и конструктивным признакам

Сепараторы являются обязательным элементом любой технологической схемы промышленной подготовки нефти и газа на нефтяных, газовых и газоконденсатных месторождениях, а также применяются в процессах переработки нефти, газа и газового конденсата.

В зависимости от вида обрабатываемой продукции они делятся на:

- газонефтяные (применяют для разделения нефти и нефтяного газа);
- газовые (для отделения природного газа от капель и пленки конденсата, воды и твердых частиц).

Сепараторы классифицируются по основным функциональным и конструктивным признакам (рисунок 2.1).

В установках подготовки нефти наиболее распространены горизонтальные сепараторы (рисунок 1.2а). Их устанавливают как на первых, так и на конечных ступенях сепарации. Основное преимущество горизонтальных цилиндрических сепараторов состоит в том, что они могут быть большой единичной мощности. Эти сепараторы предназначены для разделения газожидкостной смеси с высоким содержанием жидкости или для разделения жидкостей, склонных к пенообразованию. Недостатком является трудность вывода из сепаратора твердых примесей и большая занимаемая площадь. Известно, что в газонефтяной смеси, поступающей на центральный пункт сбора (ЦПС), содержится значительное количество механических примесей. В этих условиях наиболее рационально применение вертикальных сепараторов, имеющих хороший естественный сток 1.2б. Эллиптическое днище этих сепараторов обеспечивает сток жидкости и твердых примесей в нижнюю часть аппарата и их отвод в дренажную систему. Кроме того, в вертикальных сепараторах удобно регулировать уровень жидкости. Такие сепараторы требуют мало места для установки, однако значительная высота создает трудности при монтаже и эксплуатации.

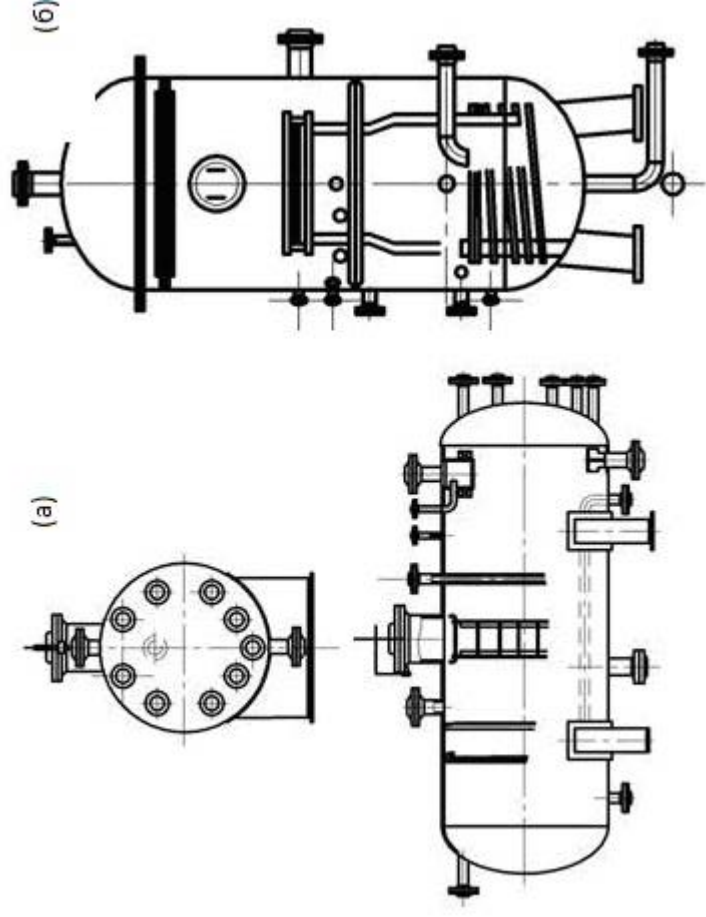


Рисунок 1.2 – Горизонтальный (а) и вертикальный (б) сепараторы

Сепараторы, как правило, состоят из четырех секций, каждая из которых выполняет определенные функции.

Основная сепарационная секция служит для основного разделения продукции скважины на газ и жидкость. Ввод сырья в секцию осуществляется тангенциально или нормально, но с применением специальных конструкций газоотбойника (дефлектора). Секция ввода газожидкостных смесей обеспечивает максимальное отделение крупнодисперсной фазы, особенно при высоком начальном содержании жидкой фазы, а также равномерный ввод газожидкостной смеси в аппарат, в том числе в секцию окончательной очистки газа от капель жидкости.

Газ, выделившийся из продукции скважины, а также дополнительно под влиянием центробежной силы и в результате изменения направления движения потока жидкости, поднимается вверх и выводится из сепаратора, отделившаяся жидкость опускается вниз.

Осадительная секция. В ней происходит дополнительное выделение пузырьков газа, содержащихся в нефти в состоянии окклюзии, т.е. поглощенные ею или не успевшие из нее выделиться. В осадительной секции

происходит выделение газа из нефти, которое усиливается, если нефть будет стекать по одной или нескольким наклонно расположенным плоскостям, называемым дефлекторами, и плавно без брызг сливаться в слой, расположенный в нижней части сепаратора.

Секция сбора жидкости служит для сбора жидкости, из которой почти полностью выделился газ при давлении и температуре, поддерживаемых в сепараторе. Однако некоторое количество окклюдированного газа в ней еще имеется. Эта секция может быть разделена на две: первая – верхняя предназначена для нефти, нижняя – для воды, обе имеют самостоятельные выводы из сепаратора.

Влагоуловительная секция расположена в верхней части сепаратора. Ее назначение улавливать частицы жидкости, увлекаемые потоком газа. Конструктивно может быть различной, и работа её может основываться на одном или нескольких принципах, например:

- столкновение потока газа с различного рода препятствиями: прилипание капель жидкости, силы адгезии;
 - изменение направления потока: силы инерции;
 - изменение скорости потока;
 - использование центробежной силы;
 - использование коалесцирующей набивки (металлические сетки)
- для слияния мелких капель жидкости в более крупные.

Несмотря на большое разнообразие конструкций сепараторов, их можно условно разделить на два класса в соответствии с физическими принципами разделения газожидкостных смесей: гравитационные и инерционные.

В гравитационных сепараторах, представляющих собой большие горизонтальные или вертикальные емкости, разделение фаз происходит за счет силы тяжести. Поскольку размеры капель, попадающих в сепаратор из подводящего трубопровода, малы, то для их эффективного удаления из потока

только за счет силы тяжести требуется длительное время и, как следствие этого, сепараторы имеют большие размеры.

В инерционных сепараторах разделение фаз происходит за счет сил инерции при обтекании газожидкостной смесью различных препятствий – входных элементов, насадок различной конструкции, каплеотбойников (рис.3,4), при закручивании потока в центробежных патрубках – циклонах.

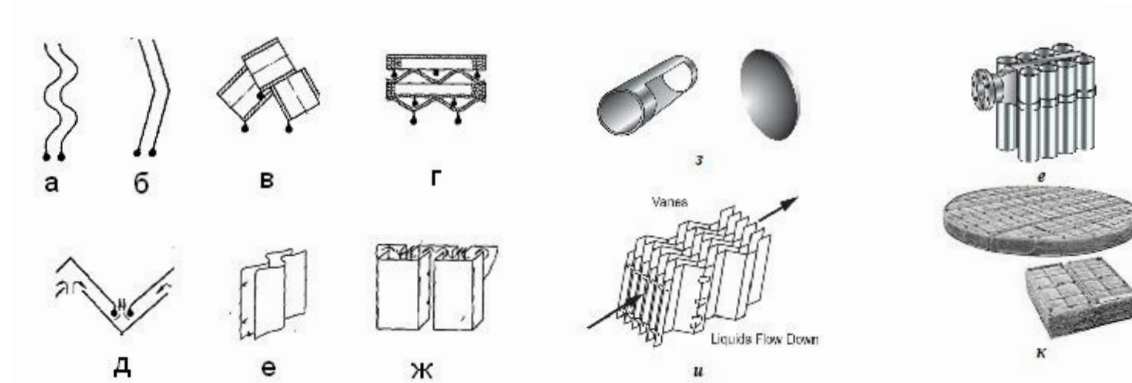


Рисунок 1.3 – Насадки и дополнительные элементы сепаратора: а, б, е – жалюзийные; в – кольца Рашига; г – сетчатые; д, ж – уголкового; з – входная перегородка, е - центробежное входное устройство, и – лопастной каплеотбойник, к – сетчатый каплеотбойник

Не меньший вклад вносит, так называемая, пленочная сепарация.

Пленочная сепарация капель нефти может возникать в газосепараторе за счет действия инерционных (центробежных) сил и в результате действия турбулентных пульсаций, имеющих место в потоке газа. Турбулентные пульсации, перемешивая капли жидкости в потоке газа, смещают их в радиальном направлении к внутренней поверхности газосепаратора. Отдельные капли, достигая этой поверхности, смачивают ее и образуют на ней плотную жидкостную плёнку. Жидкость на этой пленке держится достаточно хорошо и при достижении определенной толщины начинает непрерывно опускаться вниз. Эффект пленочной сепарации имеет место в той или иной степени во всех газосепараторах. Он увеличивается с повышением относительной величины пленочных поверхностей и зависит от формы и

взаимного их расположения. Вследствие этого необходимо в газосепараторах предусматривать пленочные поверхности.

Степень разделения газожидкостной смеси в сепараторах зависит от расхода газа, термобарических условий, а также от среднего радиуса капель, вносимых в сепаратор с потоком газа из подводящего трубопровода, который, в свою очередь, зависит от параметров трубопровода, а также от наличия установки предварительной конденсации перед сепаратором.

Рассмотрим некоторые конструкции газосепараторов.

Газосепаратор с центробежными патрубками.

Аппарат (рис. 4) предназначен для очистки природного газа от жидкости и механических примесей на входных, промежуточных и концевых ступенях сепарации установок осушки, низкотемпературной сепарации, переработки газа [18].

Преимущества:

- высокая эффективность очистки от жидкости в большом интервале изменения производительности и давления;
- простота конструкции и эксплуатации;
- пониженное гидродинамическое сопротивление аппарата;
- съемные легкозаменяемые центробежные элементы;

Технические характеристики:

Эффективность очистки:

- при начальном содержании жидкости до 200 г/м³ 99,5 %;
- унос жидкости из концевых ступеней, г/м³ до 0,02;
- гидравлическое сопротивление, Мпа до 0,015.

Сепараторы снабжены:

- эффективными узлами входа, выполняющими функции предварительной сепарации жидкости улавливания мехпримесей;
- коагулятором мелкодисперсного аэрозоля (для концевых ступеней сепарации);

— высокоэффективными центробежными элементами прямоточной конструкции (для концевых ступеней сепарации).

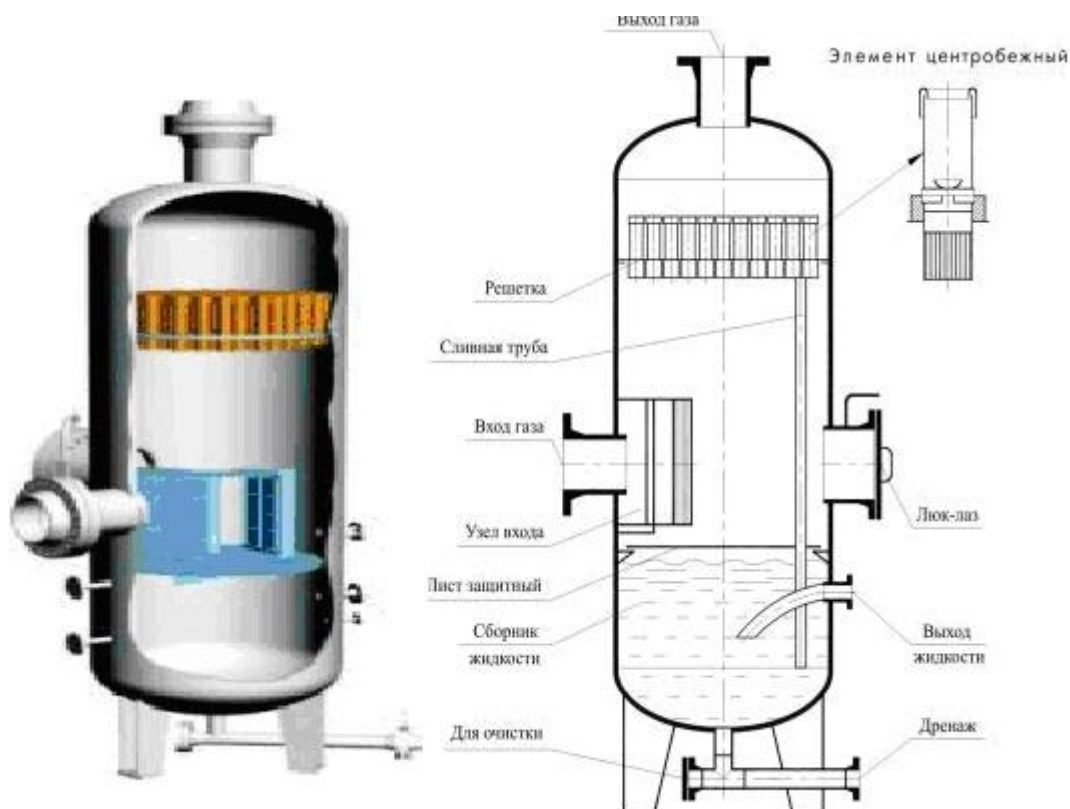


Рисунок 1.4 – Газосепаратор с центробежными элементами

Газосепаратор тонкой очистки газов.

Аппарат (рис.5.) предназначен для высокоэффективной очистки газа от капельной жидкости и механических примесей.

Преимущества:

- высокая степень очистки от механических примесей и жидкости;
- съемные центробежные и сепарационные элементы.

Эффективность очистки:

- | | |
|---|-------------|
| — унос жидкости, не более, г/м ³ | 0,005-0,01; |
| — унос мехпримесей, г/м ³ | 0,04; |
| — содержание жидкости в газе на входе, г/м ³ | 200; |
| — гидравлическое сопротивление, МПа | 0,03. |

Неочищенный газ поступает в аппарат через радиально расположенный штуцер на отбойную пластину узла входа газа для частичного отделения

крупных капель жидкости, сетчатый коагулятор позволяет укрупнить более мелкие капли жидкости. За счет центробежного эффекта, созданного узлом входа газа, на корпусе аппарата осаждаются капли жидкости и механические частицы, которые стекают в сборник примесей через кольцевую щель между корпусом и защитным листом. После предварительной очистки газ проходит тарелку с центробежными элементами, где происходит отделение капельной жидкости и механических примесей от газа за счет центробежных сил. Очищенный газ выходит из верхней части элементов, а жидкость и механические примеси опускаются в бункер, откуда выводятся через трубу слива в сборник примесей аппарата. Газ после центробежных элементов проходит решетку с сепарационными элементами, где происходит окончательная очистка газа. Жидкость, унесенная газом на верхнюю сепарационную тарелку, стекает через сливную трубу в сборник жидкости. При необходимости аппарат может быть снабжен внутренним или наружным подогревателем.

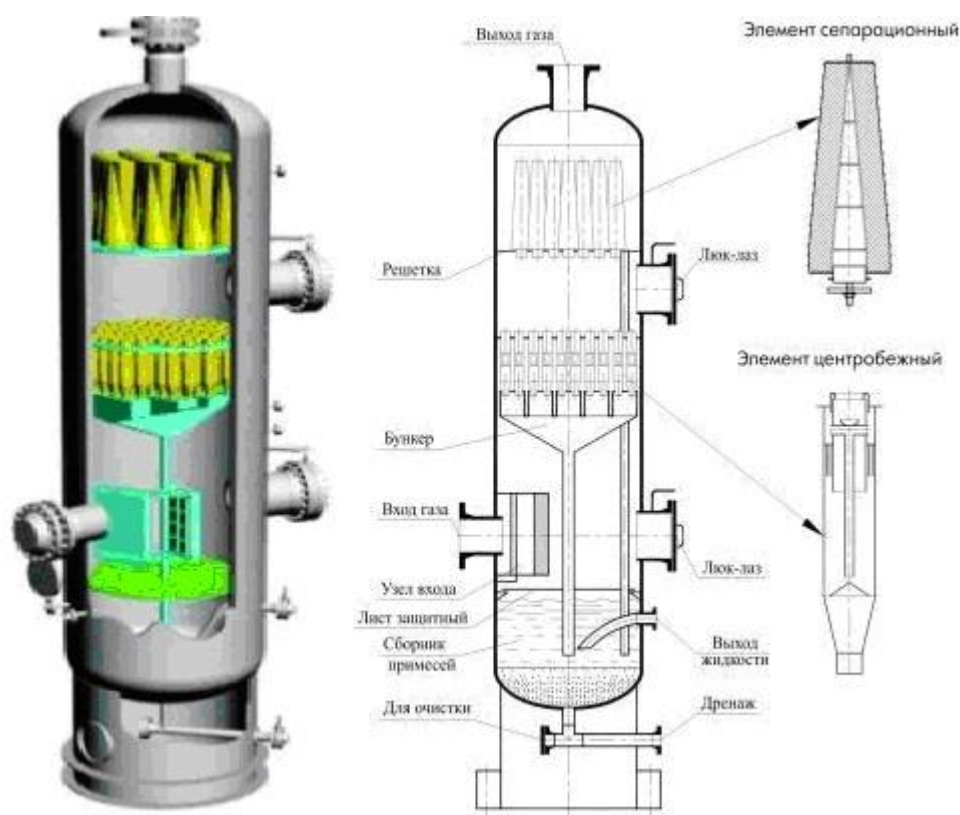


Рисунок 1.5 - Газосепаратор тонкой очистки газов

Газосепаратор сетчатый.

Аппарат (рис.6) предназначен для окончательной очистки природного и нефтяного попутного газа от жидкости (конденсата, ингибитора гидратообразования, воды) в промышленных установках подготовки газа к транспорту на газо- и нефтеперерабатывающие заводы.

Преимущества:

- высокая эффективность очистки от жидкости в большом интервале изменения производительности и давлений;

- простота конструкции и эксплуатации;

Эффективность очистки:

– унос жидкости, не более, г/м	0,015;
– содержание жидкости в газе на входе, не более, г/м	200;
– гидравлическое сопротивление, Мпа	до
– диаметр, мм	0,015;
	от 300
	до 2400.

Неочищенный газ поступает в аппарат через радиально расположенный штуцер на отбойную пластину узла входа газа для частичного отделения крупных капель жидкости. Сетчатый коагулятор позволяет укрупнить более мелкие капли жидкости. За счет центробежного эффекта, созданного узлом входа газа, на корпусе аппарата осаждаются капельки жидкости, которые стекают в сборник жидкости через кольцевую щель между корпусом и защитным листом. После предварительной очистки газ проходит сепарационную насадку, где происходит отделение капельной жидкости от газа. Очищенный газ выводится из аппарата через штуцер выхода газа. Жидкость собирается в нижней части аппарата.

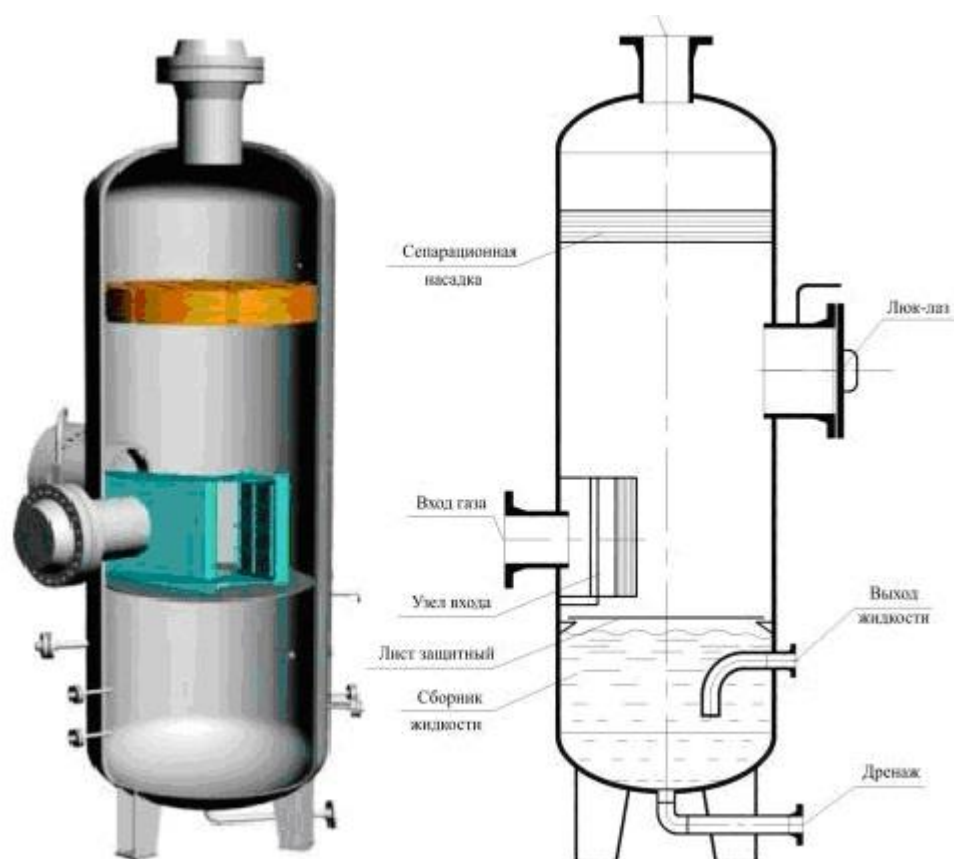


Рисунок 1.6 – Газосепаратор сетчатый

1.2 Обзор физико-химических технологий разделения водонефтяных эмульсий

1.2.1 Эмульсии

Эмульсия – дисперсная система, состоящая из взаимно нерастворимых жидкостей, одна из которых распределена в другой в виде капель. Жидкость, в которой распределяются капли, является дисперсной средой, а распределяемая – дисперсной фазой [1].

Эмульсии являются микрогетерогенными системами, которые состоят из двух почти взаимно нерастворимых жидкостей, отличающихся между собой по характеру молекул. В случае, когда одна из жидкостей полярна, как, например, вода, то вторая – неполярна либо малополярна, как, например, органические жидкости [4].

Малополярные органические жидкости – бензин, керосин, бензол, анилин, и др.- независимо от их химической природы, называют маслом.

1.2.1.1 Классификация эмульсий

Эмульсии имеют следующую классификацию:

- 1) по концентрации дисперсной фазы:
 - разбавленные (дисперсная фаза занимает не более 0,1% объёма),
 - концентрированные (дисперсная фаза занимает от 0,1% до 74% объёма),
 - высококонцентрированные (дисперсная фаза занимает более 74% объёма) [1];
- 2) по полярности дисперсной фазы и дисперсной среды:
 - прямые – капли неполярной жидкости распределены в полярной (масло в воде),

- обратные – капли полярной жидкости распределены в неполярной (вода в масле),
- множественные – в масле в сравнительно крупных каплях воды находятся глобулы масла или в воде в сравнительно крупных каплях масла находятся глобулы воды [2].

1.2.1.2 Характеристики эмульсий

Для оценки свойств эмульсий существует несколько характеристик, основными из которых являются:

- дисперсность эмульсии;
- устойчивость во времени;
- концентрация дисперсной фазы.

Дисперсность эмульсии определяется размерами частиц дисперсной фазы. Если эмульсии полидисперсна, то для её характеристики указывают распределение частиц по размерам, чаще всего в виде гистограммы.

Содержание дисперсной фазы выражается через объемную концентрацию:

$$V_{об} = \frac{V_{д.ф.}}{V_{д.с.}} \cdot 100 = \frac{V_{д.ф.}}{V_{д.ф.} + V_p} \cdot 100, \quad 1.1)$$

где $V_{д.ф.}$, V_p , $V_{д.с.}$ – объем дисперсной фазы, дисперсионной среды (растворителя) и дисперсной системы.

Устойчивость во времени обычно характеризуется одной из двух величин – скоростью расслоения эмульсии и временем жизни отдельных капель в контакте с другими.

Скорость расслоения эмульсии рассчитывают, измеряя высоту (объем) отслоившейся фазы через определенные промежутки времени после получения эмульсии.

Время жизни отдельных капель определяют путём микроскопических наблюдений за каплей, помещённой на межфазную границу. Например, капля

масла подводится к границе раздела со стороны воды и измеряется время, через которое она сольётся с фазой масла.

Под устойчивостью дисперсных систем понимают постоянство их свойств во времени, в первую очередь дисперсности, распределения по объёму частиц дисперсной фазы и межчастичного взаимодействия. Согласно классической классификации Н. П. Пескова, устойчивость лиофобных дисперсных систем, к которым относятся эмульсии, можно разделить на два вида: устойчивость к осаждению дисперсной фазы (седиментационная устойчивость) и устойчивость к агрегации частиц дисперсной фазы (агрегативная устойчивость) [27]. При этом в идеальном случае, системы, устойчивые седиментационно, могут быть агрегативно неустойчивы и наоборот.

Однако для реальных систем наблюдается тесная взаимосвязь между процессами, вызванными потерей седиментационной и/или агрегативной устойчивости. Некоторые из них далее будут рассмотрены более подробно. Седиментационная устойчивость характеризует способность дисперсной системы сохранять равномерное распределение частиц дисперсной фазы по объёму [27]. В случае эмульсий, вследствие разности плотностей двух жидкостей, более лёгкая фаза стремится подняться наверх в то время, как тяжёлая фаза движется вниз. В данной работе эмульсия состоит из масла, плотность которого меньше, чем плотность воды [9, 18], поэтому наблюдается обратная седиментация - масляные капли дисперсной фазы всплывают, коалесцируют и образуют верхний слой.

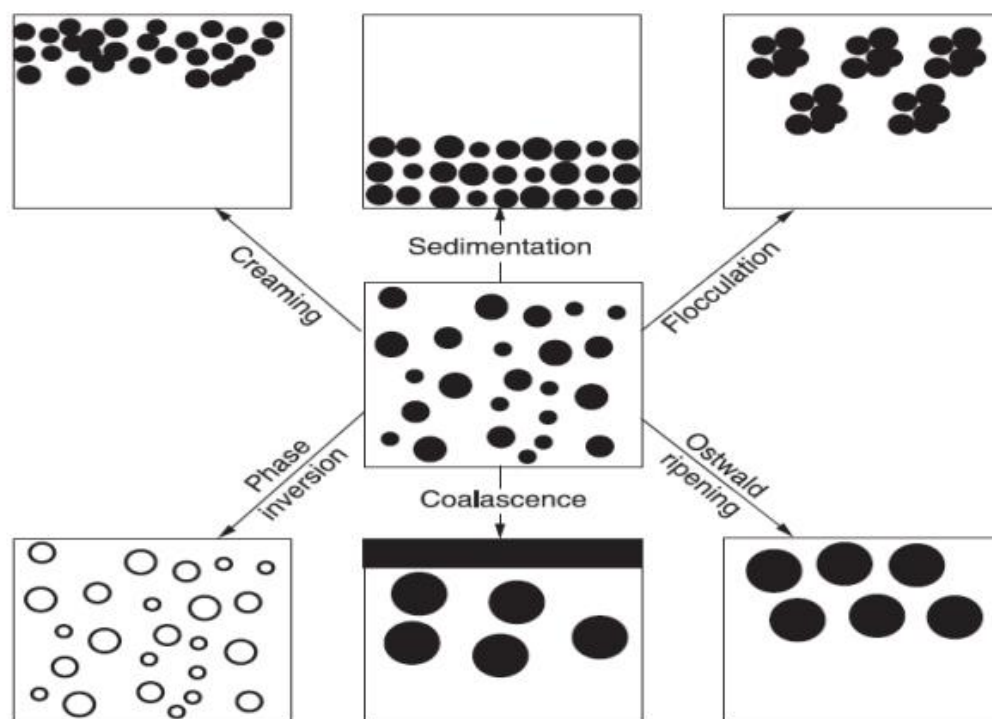


Рисунок 1.7 - Схематичное изображение возможных процессов в эмульсии

При наличии агрегативной устойчивости (стабилизированных каким-либо способом капель дисперсной фазы) образовавшийся защитный слой будет представлять собой регулярную или нерегулярную плотную упаковку стабилизированных отдельных капель дисперсной фазы, тогда как в отсутствие агрегативной устойчивости будет наблюдаться слияние капель (коалесценция).

Устойчивость капель дисперсной фазы прямых эмульсий к обратному осаждению (всплыванию) в первую очередь зависит от их размера. В случае высокодисперсных эмульсий – от 50 до 500 нм (в зарубежной литературе часто встречается термин «наноэмульсии» [17-20, 27-34]), капли дисперсной фазы участвуют в броуновском движении и седиментации практически не наблюдается [35].

Однако седиментационно-неустойчивыми могут быть и высокодисперсные системы, если в них со временем происходит формирование крупных капель, оседающих в данной среде. В случае эмульсий образование подобных крупных образований может проходить несколькими

способами: за счет коалесценции, за счет флокуляции, за счет Оствальдова созревания или же за счет одновременного протекания нескольких процессов. Здесь необходимо обратить внимание на то, что при описании протекания таких процессов возможно употребление двух терминов – коалесценция (слияние) и коагуляция (слипание). Коалесценция представляет собой процесс, наиболее вероятно протекающих в эмульсиях, когда защитный слой (адсорбционный, адсорбционно-сольватный, двойной электрический и т.д.) не обладает большой механической прочностью и не препятствует слиянию капель. Коагуляция возможна в том случае, когда прочные защитные слои (например, при стабилизации высокодисперсными порошками) вокруг капель практически образуют твердую защитную оболочку вокруг капель. Такие капли представляют собой, по сути, твердые частицы с жидкой внутренней фазой, при сближении которых происходит слипание частиц - коагуляция.

Концентрация дисперсной фазы.

1. Свойства разбавленных эмульсий ($C_d < 0,1$ % об). Такие эмульсии, как правило, тонкодисперсны и близки по свойствам к лиофобным золям. В таких эмульсиях из-за малых размеров капель наблюдаются броуновское движение, диффузия, рассеяние света и так далее. Эти эмульсии являются седиментационно устойчивыми. Их агрегативная устойчивость так же, как в лиофобных золях, определяется наличием двойных электрических слоев (ДЭС). Коагуляция под действием электролитов подчиняется правилу Шульце-Гарди. К разбавленным эмульсиям приложима теория устойчивости лиофобных золь. Известный пример разбавленной эмульсии – конденсат отработанного пара в паровой машине, в ней диспергированы мельчайшие капельки машинного масла, сырая нефть, в которой капельки воды образуют эмульсию II рода;

2. Свойства высококонцентрированных эмульсий. Для таких систем вопросы, связанные с движением частиц (диффузия, седиментация), отпадают, и эмульсии по своим свойствам сходны со структурированными коллоидными системами – гелями. Когда концентрация капель приближается к 100%,

дисперсионная среда принимает вид очень тонких прослоек жидкости – эмульсионных плёнок. Такие эмульсии по своей структуре аналогичны пенам, их свойства определяются, в первую очередь, свойствами эмульсионных плёнок, стабилизированных эмульгаторами;

3. Свойства концентрированных эмульсий. В таких эмульсиях капли достаточно крупные и видны в оптический микроскоп. Концентрированные эмульсии седиментационно неустойчивы. Вследствие высокой концентрации капли находятся в постоянном контакте и легко наступает коалесценция. Устойчивость таких эмульсий полностью зависит от эмульгатора.

1.2.2 Физико-химические свойства нефтяных эмульсий

Главнейшей характеристикой эмульсии является дисперсность – это степень раздробленности дисперсной фазы в дисперсионной среде. От дисперсности зависят многие другие свойства эмульсий. Мерой дисперсности является удельная межфазная поверхность:

$S_{уд} = \frac{S}{V}$ – отношение суммарной поверхности капелек к общему их объёму (при диспергировании – поверхность S увеличивается, а объём системы V не изменяется).

$$S_{уд} = \frac{S}{V} = \frac{\pi d^2}{\pi d^3 / 6} = \frac{6}{d}, \quad 1.2)$$

Таким образом дисперсность – это величина обратная диаметру капли: $D \sim 1/d$, где d – диаметр капли.

Промысловые эмульсии никогда не бывают монодисперсны. Они всегда полидисперсны, т.е. содержат капли дисперсной фазы разных диаметров.

Размер капель пропорционален количеству затраченной энергии: чем больше затрачено энергии, тем меньше диаметр капель и больше их суммарная поверхность:

$$F \uparrow \rightarrow d \downarrow \rightarrow D \uparrow \rightarrow S \uparrow$$

По дисперсности нефтяные эмульсии подразделяются на:

Ø Мелкодисперсные – $dK = 0.2 - 20$ мкм;

Ø Среднедисперсные – $dK = 20 - 50$ мкм;

Ø Грубодисперсные – $dK = 50 - 300$ мкм.

Диапазон размера капель в нефтяных эмульсиях: $10^{-5} - 10^{-2}$ см (0.1 – 100 мкм), т.е. нефтяные эмульсии содержат капли всех трех размеров, т.е. нефтяные эмульсии - полидисперсны.

Знание вязкости необходимо при проектировании промысловых трубопроводов, по которым нефть со скважин перекачивается на установку ее подготовки, а также при выборе отстойной аппаратуры и режима ее работы. Вязкость нефтяной эмульсии не является аддитивным свойством, т.е. не равна сумме вязкости нефти и воды. Вязкость сырой нефти (т.е. нефти, содержащей капельки воды) зависит от многих факторов:

- количества воды, содержащейся в нефти;
- температуры, при которой получена эмульсия;
- присутствия механических примесей (особенно сульфида железа FeS) и pH воды.

Причем, дисперсность и содержание воды в эмульсии в процессе сбора продукции непрерывно изменяются. Кроме того, нефтяные эмульсии, как и парафинистые нефти, является неньютоновской жидкостью, поэтому их вязкость при движении по трубопроводам будет зависеть от градиента скорости:

$$\mu = \frac{dv}{dr}, \quad 1.3)$$

т.е. $\mu_{\text{э}}$ – кажущаяся вязкость, поэтому

$$\mu_{\text{э}}^* = f \left(\mu_H, \mu_B, T, W, D, pH, s, \frac{dv}{dr} \right). \quad 1.4)$$

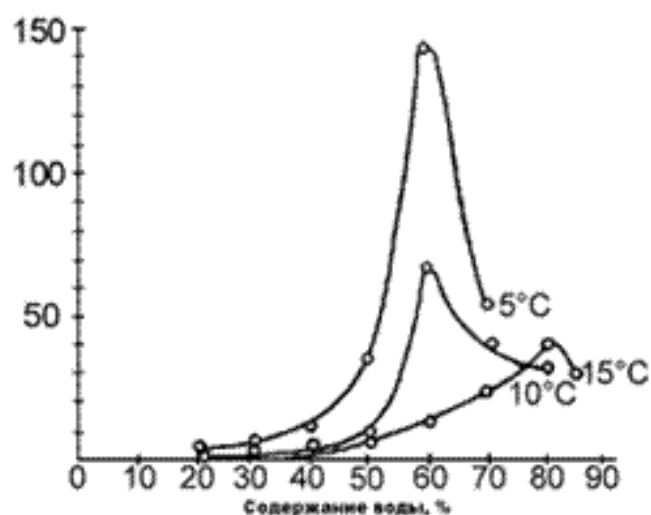


Рисунок 1.8 - Зависимость кажущейся вязкости эмульсии от содержания воды в нефти и температуры смещения

Содержание воды как дисперсной фазы в водонефтяной эмульсии может колебаться от следов до 80-85%.

Из анализа кривых рисунка 2.1. следует, что увеличение содержания воды в нефтяной эмульсии до определенного предела увеличивает кажущуюся вязкость $\mu_{\text{э}}^*$ эмульсии, а, следовательно, и увеличивает энергетические затраты на перекачку такой эмульсии.

Критическая концентрация воды $W_{\text{кр}}$ называется точкой инверсии. В точке инверсии происходит обращение фаз и дисперсная фаза (вода) становится дисперсионной средой, а дисперсионная среда (нефть) – дисперсной фазой. Т.е. эмульсия меняет свой тип с В/Н на тип Н/В.

Обращение фаз нефтяных эмульсий имеет исключительно большое практическое значение. Эмульсия типа Н/В транспортируется при меньших энергетических затратах, чем эмульсия типа В/Н. Поэтому при транспортировании эмульсии выгодно, чтобы внешней фазой была вода, при этом трубопроводы должны быть защищены от коррозии. Кроме того, этот прием используется в процессе подготовки нефти для лучшей очистки ее от воды.

Для нефтей разных месторождений $0,5 < W_{\text{кр}} < 0,9$. В большинстве случаев $W_{\text{кр}} \gg 0,71$. (Сравните, величина $C_d = 74 \%$).

Такой диапазон значений $W_{кр}$ объясняется различием физико-химических свойств компонентов эмульсии и в первую очередь присутствием в этой эмульсии различных эмульгаторов – веществ, способствующих образованию эмульсии, стабилизирующих ее.

Из рисунка 2.2 следует, что уменьшение размеров капель до некоторой величины не влияет на вязкость. После достижения порового значения (зависящего, в свою очередь, от объемной концентрации дисперсной фазы) дальнейшее уменьшение размера капель ведет к появлению и последующему усилению зависимости вязкости от размера капель.

Для оценки вязкости используются эмпирические уравнения. А.Эйнштейн предложил следующую формулу:

$$\mu_{\Sigma} = \mu_H (1 + 2,5B), \quad 1.5)$$

где B – объемная доля воды в эмульсии. Эта формула справедлива при низких концентрациях диспергированного вещества (воды).

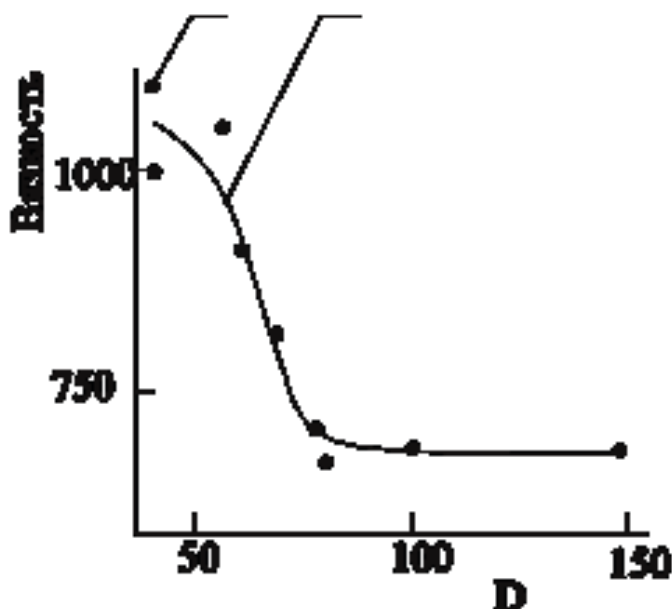


Рисунок 1.9 - Зависимость вязкости эмульсии (мПа*с) от максимального диаметра капель (мкм)

Формула. Тейлора:

$$\mu_{\text{Э}} = \mu_{\text{Н}} \left(1 + 2,5B \cdot \frac{\mu_{\text{В}} + \frac{2}{5}\mu_{\text{Н}}}{\mu_{\text{В}} + \mu_{\text{Н}}} \right). \quad 1.6)$$

Плотность эмульсии – величина почти аддитивная, поэтому рассчитывается относительно легко исходя из значений плотностей нефти и воды с учетом их процентного содержания:

$$\rho_{\text{Э}} = \frac{1}{\frac{0,01g}{\rho_{\text{В}}} + \frac{1-0,01g}{\rho_{\text{Н}}}}, \quad 1.7)$$

где $\rho_{\text{Э}}$, $\rho_{\text{Н}}$, $\rho_{\text{В}}$ – соответственно плотности эмульсии, нефти и воды; g – массовая доля воды в эмульсии:

$$g = \frac{g_0}{1 - 0,01X}, \quad 1.8)$$

где g_0 – массовая доля чистой воды в эмульсии; X – содержание растворенных солей в воде, % масс.

Если известна плотность пластовой воды, плотность добываемой нефти и плотность образованной эмульсии, то обводненность можно определить:

$$W = \frac{\rho_{\text{В}}(\rho_{\text{Э}} - \rho_{\text{Н}})}{\rho_{\text{Э}}(\rho_{\text{В}} - \rho_{\text{Н}})} \cdot 100, \% \text{ масс.} \quad 1.9)$$

Электрические свойства эмульсий. Нефть и вода в чистом виде – диэлектрики. Проводимость нефти $10^{-10} - 10^{-15} \text{ (Ом*см)}^{-1}$, воды $10^{-7} - 10^{-8} \text{ (Ом*см)}^{-1}$. Однако даже при незначительном содержании в воде растворенных солей или кислот электропроводность ее увеличивается в десятки раз. Поэтому электропроводность нефтяной эмульсии обуславливается не только количеством содержащейся воды и степенью ее дисперсности, но и количеством растворенных в этой воде солей и кислот.

Экспериментально установлено, что в нефтяной эмульсии, помещенной в электрическое поле, диполи воды ориентируются вдоль его силовых линий. Это приводит к резкому увеличению электропроводности эмульсий.

Свойство капель воды в эмульсиях располагаться вдоль силовых линий электрического поля послужило основой использования электрических полей для разрушения эмульсий типа В/Н в процессе подготовки нефтей.

Физико-химические свойства природных эмульгаторов. Для образования эмульсий недостаточно только перемешивания двух несмешивающихся жидкостей. Действительно, при интенсивном встряхивании бензола или растительного масла с водой, эмульсия существует лишь во время встряхивания или в момент его окончания, после чего сразу же начинается коалесценция, быстро приводящая к разделению системы на два жидких слоя. Длительное существование эмульсий обеспечивается лишь в условиях стабилизации за счет образования адсорбционно-сольватного слоя на межфазной границе.

Выводы к главе

1. Сепарация нефтесодержащей смеси является важнейшим технологическим процессом в системе подготовки нефти. Технологический процесс происходит в устройстве сепарации.

2. В качестве базовой конструкции устройства сепарации выбран трёхфазный горизонтальный нефтегазосепаратор с гравитационным разделением фаз. Данная конструкция является наиболее распространённой в промышленности.

3. Недостатком предлагаемых способов сепарации является несовершенство физико-химических и математических моделей разделения фазовых слоёв, которые положены в основу управления процессом.

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

2 Конструкторско-технологический раздел

2.1 Разработка принципиальной технологической схемы сепаратора

Упрощенная технологическая схема процесса сепарирования приведена на рисунке 2.1. Она включает в себя: Е1 - сепаратор нефтегазовый со сбросом воды, FE - датчик расхода по газу, LC - прямоходный исполнительный механизм типа МЭПК регулирующего клапана КМР, LS - сигнализатор верхнего аварийного уровня, LT - уровнемер (уровень нефти и уровень раздела фаз в 1 отсеке и уровень во 2 отсеке), PC - регулятор давления прямого действия, PT - датчик давления. Нефтегазовая смесь из сборного коллектора через патрубок поступает в НГС.

Отделившаяся в первом отсеке НГС нефть перетекает во второй отсек, а вода из первого отсека отправляется на блочную кустовую насосную станцию (БКНС). Откачка воды регулируется положением уровня раздела сред. Откачка нефти из второго отсека регулируется уровнем разлива в этом отсеке. Традиционным решением задачи управления процессом сепарации является оснащение НГС набором датчиков, равных количеству контролируемых параметров. Для установки таких датчиков требуется не меньше четырех люков для уровнемеров и сигнализатора предельного уровня и фланцевое соединение для датчика давления.

Традиционным решением задачи управления технологическим процессом сепарации является оснащение НГС набором датчиков, равных количеству контролируемых параметров. Для установки датчиков требуется не меньше четырех люков для уровнемеров и сигнализатора предельного уровня, а также фланцевое соединение для датчика давления.

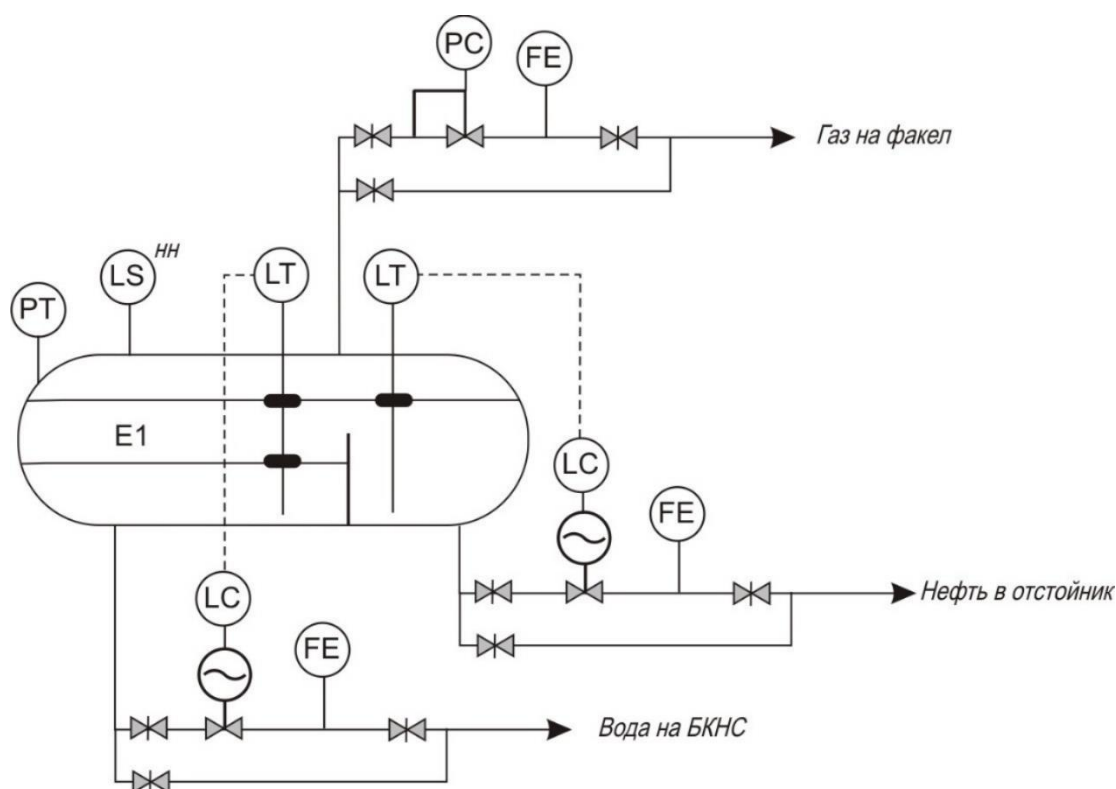


Рисунок 2.1 – Упрощенная технологическая схема процесса сепарации

Для моделирования каждого из процессов и аппаратов использованы математические модели, объединенные в единую расчетную модель. Математическая модель нефтегазосепаратора включает в себя соответственно модель процесса сепарации и модели процессов образования глобул и отстаивания. При моделировании процесса сепарации уравнения для расчета составов газовой и жидкой фазы получают совместным решением уравнения материального баланса:

$$\sum_{i=1}^m x_i = \sum_{i=1}^m \frac{u_i}{1 + e(k_i - 1)} = 1, \quad (2.1)$$

где u_i , x_i – мольные доли i -го компонента в жидком сырье, в полученных жидкой и паровой фазах соответственно; e – мольная доля пара; m – число компонентов жидкой смеси; k_i – константа фазового равновесия. После расчета доли отгона определяют составы равновесных фаз. Расчет констант фазового равновесия проводился по методике Гофмана-Крампа-Хеккота [23]. Математическое описание процесса отстаивания основывается на известных законах осаждения глобул воды под действием гравитационных сил, а также на

дифференциальных уравнениях, описывающих физико-химические свойства материальных потоков как функции технологических параметров процесса обезвоживания нефти.

В то же время, данные модели и расчёты на их основе в известных источниках не приводятся. Представлены только конечные результаты, в основном касающиеся выбросов предельных углеводородов. Отсутствие моделей гравитационной сепарации нефтесодержащей смеси в горизонтальном сепараторе затрудняет определение времени сепарации.

2.2 Анализ практического опыта управления процессом сепарации

Попытки проектирования систем управления процессом сепарации описаны авторами ряда публикаций. В работе [17] рассмотрены вопросы представления нефтегазосепаратора в качестве устройства системы автоматизированного управления. На языке формального описания представлены основные датчики, исполнительные устройства, каналы движения воды, газа и нефти. Однако отсутствуют данные о моделировании самого процесса сепарации и не содержатся расчёты времени разделения нефтегазовой смеси.

В работе [17], приводятся теоретические положения применительно к разделению нефтегазовой смеси на нефть и воду. Разработана структурная схема устройства с учётом изменения уровня жидкости в установке. На основе приведённых данных рассчитать время, необходимое для разделения нефтесодержащей смеси не представляется возможным. В уже упомянутой работе [21] приведены модульные математические модели процесса сепарации жидкости и газа. Схема процесса сепарации нефтесодержащей смеси представлена на рисунке 2.2.

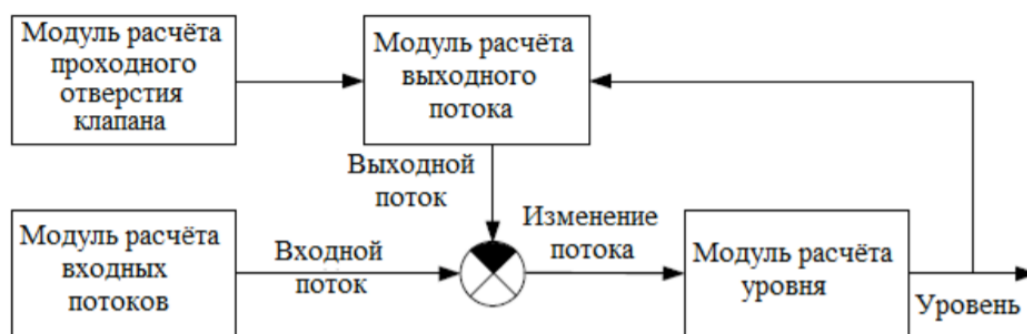


Рисунок 2.2 - Схема процесса сепарации нефтесодержащей смеси

2.3 Разработка конструкции сепаратора

Основными составными частями стенда обеспечивающими его функционирование являются: емкость для нефти, емкость для воды, отстойник, смеситель, сепаратор, контрольно-измерительные приборы и исполнительные механизмы.

Стенд физического подобия «Трёхфазный сепаратор нефти» представляет собой прозрачную емкость из оргстекла размером 600х400х200, в состав которой входят:

- крышка;
- основание;
- боковые части;
- отбойник;
- разделительная перегородка;

Толщина крышки и основания составляет 10 мм. Толщина боковых частей 10 мм. Глубина пазов составляет 2 мм ширина 2 мм

Разделительная перегородка разделяет рабочий объем сепаратора на основную камеру и камеру сбора нефти. В основной камере осуществляется разделение эмульсии. В камере сбора нефти скапливается отделившаяся нефть.

В приложении Б представлен чертеж общего вида с нанесенными на него размерами.

2.4 Описание комплекса технических средств

Комплекс используемых в системе технических средств должен быть минимально достаточным для обеспечения функций, указанных в ТЗ. 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.

СИ, 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).

Система представляет собой единую многоуровневую иерархическую информационно-управляющую распределенную и масштабируемую систему сбора, обработки, передачи, хранения, представления информации по заложенным алгоритмам.

Система иерархически представляет собой трехуровневую автоматизированную систему, включающую следующие уровни:

- нулевой уровень – уровень получения первичными преобразователями информации о протекании технологических процессов;
- первый уровень – уровень сбора информации с нулевого уровня, и передачи/приема данных на второй уровень;
- второй уровень – уровень хранения информации об объекте автоматизации и управления Системой в целом; формирование отчетов.

Структурная схема комплекса технических средств Системы представлена в приложении В.

2.5 Разработка принципиальных электрических схем

На основе комплекса технических средств были разработаны принципиальные электрические схемы управления электродвигателем насоса, электродвигателем клапана и электрообогревом. Схемы электрические принципиальные представлены в приложении Г.

На принципиальной схеме изображают все электрические элементы или устройства, необходимые для осуществления и контроля в изделии установленных электрических процессов, все электрические взаимосвязи между ними, а также электрические элементы (соединители, клеммы и т.д.), которыми заканчиваются входные и выходные цепи.

Для разработки принципиальной электрической схемы было выбрано следующее оборудование:

- электромагнитный клапан SMART SF62322 DN15 G1/2";
- циркуляционный насос шестеренчатый топливный SINGFLO FP-12;
- нагреватель ТЭН 68.18.17.005;
- контроллера ПЛК160;

– блок питания ОВЕН БП60К-24.

3 Имитационное моделирование процесса сепарации

3.1 Имитационный эксперимент

В данной работе были проведены эксперименты по получению эмульсии вода-масло двумя способами:

- а) самопроизвольное разделение двух сред;
- б) эмульгирование ультразвуком при помощи пьезоэлемента при частотах от 1 кГц до 100 кГц.

Из полученных данных при проведении опытов был составлен график разделения масла от воды без пьезоэлемента (выделен толстой линией на графике) и с пьезоэлементом при частотах 1 кГц, 2 кГц, 3 кГц, 4 кГц, 5 кГц, 6 кГц, 7 кГц, 8 кГц, 9 кГц, 10 кГц, 20 кГц, 30 кГц, 40 кГц, 50 кГц, 60 кГц, 70 кГц, 80 кГц, 90 кГц и 100 кГц. Результаты опытов в виде графика приведены в приложении 3.

Эмульгирование ультразвуком – это образование эмульсий при интенсивном ультразвуковом воздействии. Впервые это явление наблюдали Вуд и Лукис (1927), которые работали с кварцевым генератором большой мощности и частотой 200 кГц. Ультразвуковая область частот лежит выше предела слышимости человека (более 15 кГц) и распространяется вплоть до $9 \cdot 10^7$ Гц. Для эмульгирования должен применяться ультразвук большей мощности, наиболее эффективной является область частот 20-50 кГц.

При колебании пьезокварцевой пластинки, помещенной между двумя электродами, связанными с осциллятором высокой частоты, образуются ультразвуковые волны с частотами порядка $10^5 - 5 \cdot 10^5$ колебаний в секунду. Пьезокварцевая пластинка и электроды погружаются в масляную баню. Интенсивные звуковые волны проходят через масло в подвешенный в бане сосуд с системой, подвергаемой эмульгированию.

Системы, состоящие из нескольких ультразвуковых процессоров мощностью до 16 кВт каждый, обеспечивают производительность, необходимую для превращения этого лабораторного применения в эффективные производственный метод с целью получения окончательно диспергированных эмульсий в сплошном потоке или в какой-либо порции материала. При этом достигаются результаты, сравнимые с теми, которые получают сегодня на наилучших гомогенизаторах высокого давления, например, с новым диафрагменным клапаном.

Для протекания ультразвукового эмульгирования необходима кавитация, условия возникновения и протекания которой определяют основные зависимости эмульгирования от интенсивности и частоты ультразвука, температуры, давления, наличия растворенных газов и т.п.

Детальный механизм образования капель эмульсии под действием кавитации не известен, существуют лишь гипотезы.

В соответствии с первой из них кавитационная полость в одной из жидкостей вблизи раздела двух фаз в стадии захлопывания увлекает и отрывает капельки от общей массы другой жидкости.

Другая гипотеза объясняет образование эмульсии распадом на капельки кумулятивных струй, образовавшихся при несимметричном захлопывании кавитационных полостей. Эмульгирование начинается, когда интенсивность ультразвука превышает некоторое значение I_{th} , ниже которого процесс не протекает. Например, I_p для систем масло - вода на частоте 25 кГц лежит в пределах от долей Вт/см² до нескольких Вт/см². Величина I_{th} снижается, если эмульгирование протекает вблизи поверхности твердой фазы, инициирующей образование кавитации. При $I > I_{th}$ скорость образования эмульсии растет с увеличением интенсивности ультразвука. С увеличением времени экспонирования концентрация эмульсии возрастает, достигая некоторого предельного значения. Существование предельной концентрации обусловлено одновременным протеканием процесса противоположного направления -

акустической коагуляции - и изменением в ходе процесса условий для возникновения кавитации.

Выражение, описывающее кинетику ультразвукового эмульгирования с учетом протекания коагуляции, имеет вид:

$$\frac{\partial(V \cdot C)}{\partial t} = A\alpha - \beta VC^n, \quad (3.1)$$

где V – объем рассматриваемой эмульсии; C – концентрация; A – площадь границы раздела двух жидких фаз; α, β – параметры, зависящие от акустического поля, свойств границы раздела и др. условий; $A\alpha$ – скорость образования дисперсной фазы; βVC^n – скорость коагуляции; n – показатель коагуляции, равный числу взаимодействующих частиц.

Эмульгирование может протекать в широком диапазоне частот; практически используемые частоты не превышают 2...3 МГц. Диаметр капель дисперсной фазы не зависит от интенсивности ультразвука и незначительно зависит от частоты. Так, например, при увеличении частоты ультразвука с 20 КГц до 2 МГц диаметр капель уменьшается лишь вдвое. Минимальный размер капель при ультразвуковом эмульгировании 0,1 мкм.

Образование дисперсной фазы облегчается с понижением вязкости исходных компонентов. С уменьшением межфазного натяжения снижается значение I_{th} , а при заданных надпороговых значениях I получают более концентрированные эмульсии.

При высоких частотах пьезоэлемента скорость осаждения частиц масла постепенно снижается и становится равной скорости осаждения более мелких ее фракций. В результате на соответствующем уровне масло-вода эмульсии наступает момент «уплотнения» частиц масла, что связано с началом образования так называемого «слоеного пирога», то есть слоистого расположения воды в обезвоживаемой нефти.

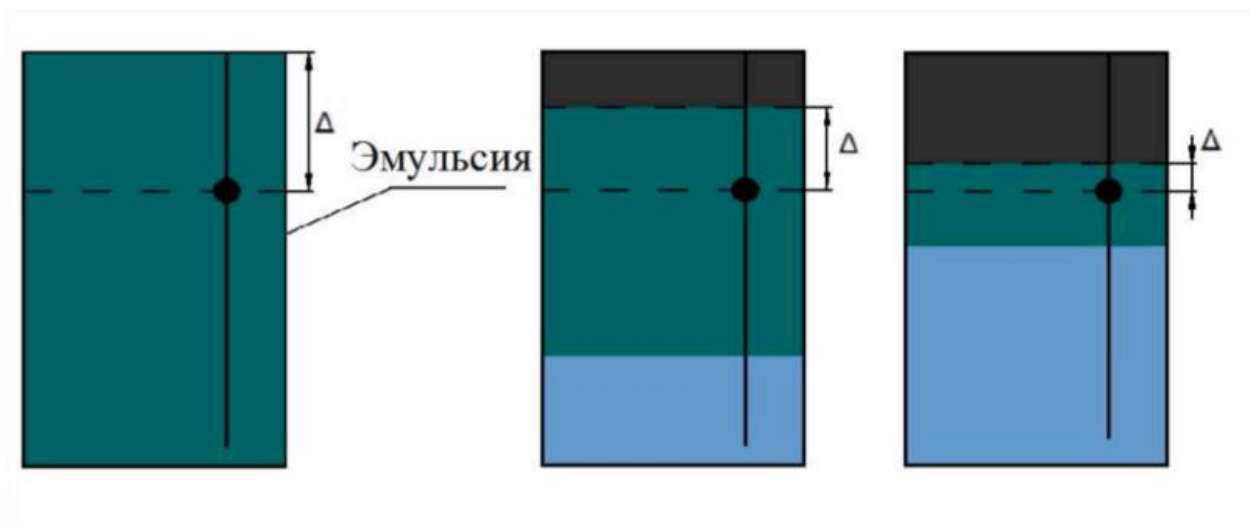


Рисунок 3.1 - Процесс разделения эмульсии на масло и воду

Управление процессом сепарации происходит на основе информации, получаемой от мультфазного датчика уровня жидкости (уровнемера) [20]. Мультфазные уровнемеры предназначены для определения межфазного уровня масло-вода. Однако, между маслом и водой существует переходная эмульсионная зона – промышленный слой (промслой). Наличие промслая делает достаточно условной и размытой границу фазового перехода масло-воды. В условиях технологических процессов с малой динамикой данное допущение может оказаться не критичным в виду стабильности «промслая».

В работах [18, 19] разработана и исследована модель подготовки нефти, основанная на иерархическом подходе к построению математических моделей, который предполагает декомпозицию сложного процесса на отдельные составляющие. Получено математическое описание технологического процесса, основанное на уравнениях, характеризующих фазовое равновесие в системах газ-жидкость [18]. Расчет процесса отстаивания основывается на законах осаждения глобул воды под силой гравитации, с учетом скорости стесненного осаждения, а также эмпирических уравнениях, описывающих физико-химические свойства материальных потоков как функции технологических параметров процесса обезвоживания нефти [17].

Авторы отмечают, что применение разработанной моделирующей системы позволило выявить особенности протекающих процессов, оценить

влияние технологических параметров, таких, как расход нефти, содержание воды на входе в сепаратор, температуры потоков на остаточную обводнённость нефти [22].

В то же время, проведённый анализ показывает, что предложенная модель не позволяет определить зависимость времени сепарации от величины обводнённости нефтегазовой смеси. В работе [21] с точки зрения процессного подхода рассмотрены проблемы управлением процессом сепарации нефти, произведен анализ работы НГС, как объекта управления, составлена структура универсальной модульной математической модели процесса, синтезирована математическая модель каждого модуля. Обоснован выбор способа управления процессом.

4 Разработка алгоритмов работы стенда

Разрабатываемый стенд может работать в двух режимах:

- статический режим;
- динамический режим.

Так же для обеспечения проверки работоспособности оборудования стенда разработан режим технологической прогона.

4.1 Алгоритм технологического прогона оборудования

Блок-схема алгоритма технологического прогона оборудования стенда представлена в приложении Д.

Технологический прогон оборудования предназначен для проверки работоспособности оборудования стенда.

Для технологического прогона оборудования используются следующие параметры:

- объем воды – 10 л;
- объем нефти – 10 л;
- температура нагрева эмульсии – 50 °С;
- давление сжатого воздуха – 1 атм;
- продолжительность подачи сжатого воздуха – 2 мин.

Работа стенда начинается с проверки наличие жидкости в отстойнике ЕЗ (уровнемер LE1). Если в нем есть жидкость и отсутствует граница раздела фаз, отделенная вода и нефть перекачиваются в емкости Е2 (включается насос М6 открываются клапана Q10, Q11) и Е1 (включается насос М6 и открываются клапана Q9, Q10). При наличии границы раздела фаз данный шаг пропускается т.к. разделение эмульсии выполнено не в полном объеме. Далее проверяется

уровень жидкости в смесителе E4 (уровнемер LE2). При наличии, жидкость перекачивается в сепаратор E5 (включается насос M3 и открывается клапан Q3).

Далее осуществляется проверка уровня жидкости в сепараторе E5 (уровнемер LE4). При наличии жидкости осуществляется проверка границ раздела фаз. При наличии границы, жидкость перекачивается в E3 (включается насос M3 и открывается клапан Q3) и работа стенда завершается т.к. для технологического прогона нужно 20 литров эмульсии. При отсутствии границы отделенная вода и нефть перекачиваются в емкость E2 (включается насос M6 открываются клапана Q10, Q11) и E1 (включается насос M6 и открываются клапана Q9, Q10).

Далее повторно проверяется жидкость в E3 (уровнемер LE1). При ее наличии работа завершается, и возобновление технологического прогона оборудования станет возможно после отстаивания и перекачки отделенной воды и нефти из E3 в емкости E2 и E1.

Отсутствие жидкости в E3 говорит о том, что емкости E1 и E2 полностью заполнены и в других емкостях стенда жидкость отсутствует.

Проверка отсутствия жидкости в рабочих емкостях стенда необходима, потому что работа может завершиться в аварийном режиме из-за отключения электроэнергии и других сбоев в работе стенда.

После проведения подготовки стенда к работе осуществляется заполнение смесителя E4 нефтью из емкости E1 (включается насос M1 открываются клапана Q1) и водой (включается насос M2 открываются клапана Q2). Далее включаются нагрев (включается R) и подача воздуха в эмульсию (включается K). Затем эмульсия из смесителя E4 перекачивается в сепаратор E5 (включается насос M3 и открывается клапан Q3). Эмульсия заполняет основную камеру сепаратора и камеру сбора нефти.

Далее из основной камеры сепаратора перекачивается 5 литров эмульсии в емкость E1 (включается насос M4 открываются клапана Q4, Q5) и 5 литров в емкость E2 (включается насос M4 открываются клапан Q6) и в емкость E3 перекачиваются оставшиеся эмульсия (включается насос M4 по очереди

открываются клапана Q7). Затем эмульсия из емкости для нефти перекачивается в отстойник E3 (включается насос M6 и открываются клапана Q9, Q11). Далее эмульсия из емкости для воды E2 перекачивается в отстойник E3 (включается насос M6 и открываются клапана Q10, Q11)

В процессе работы осуществляется снятие показаний с датчиков и соответственно проверка их работоспособности.

После завершения работы стенда осуществляется формирование отчета.

Так же используя данный режим можно осуществить промывку емкостей стенда, для этого необходимо слить нефть и воду и залить растворитель в емкости для сбора нефти E1 и воды E2 и запустить технологическую прогонку оборудования стенда.

4.2 Алгоритм работы стенда в статическом режиме

Блок-схема алгоритма работы стенда в статическом режиме представлена в приложении Е.

Для проведения эксперимента в статическом режиме необходимо ввести следующие данные:

- объем воды;
- объем нефти;
- температуру нагрева эмульсии в смесителе;
- давление сжатого воздуха;
- продолжительность подачи сжатого воздуха;
- время сепарации эмульсии.

При запуске стенда в статическом режиме, проверяется наличие жидкости в емкостях E3, E4, E5 и если жидкости есть, то они перекачиваются в емкости E1, E2. При наличии эмульсии в E4, E5 она перекачивается в емкость

Е3. Если в Е3 осталась не разделившаяся эмульсия, то она продолжает отстаиваться до полного разделения.

Далее осуществляется наполнение смесителя Е4 ($h_c = 15$ л) нефтью (включается насос М1 и открывается клапан Q1), затем водой (включается насос М2 и открывается клапан Q2). Затем в зависимости от настроек введенными пользователем осуществляется нагрев (включается нагреватель R), и подача сжатого воздуха в эмульсию (включается компрессор К).

Подготовленная эмульсия перекачивается в основную камеру сепаратора Е5 (включается насос М3 и открывается клапан Q3). Попадая в сепаратор, эмульсия ударяется об отбойник, что способствует разделению воды нефти и воздуха.

Основная емкость сепаратора заполняется до отметки 300 мм (15 л). При этом жидкость через заградительную перегородку не переливается.

Границы раздела фаз нефть/эмульсия и эмульсия/вода в основной камере сепаратора контролируется уровнемером (LE4).

В процессе сепарации осуществляется считывание данных с датчиков основной камеры сепаратора (LE4, LSA7, PE2, TE2), на основании которых по завершению эксперимента формируется отчет.

После проведения эксперимента отделенная вода перекачивается из основной камеры сепаратора Е5 в емкость Е2 (включается насос М4 и открывается клапан Q6).

При наличии слоя эмульсии (смесь воды и нефти) осуществляется его перекачивание в отстойник Е3 (включается насос М4 и открывается клапан Q7) и отстаивание до полного разделения воды и нефти.

Оставшаяся нефть перекачивается в емкость Е1 (включается насос М4 и открываются клапаны Q4 и Q5).

При повторном запуске стенда в любом режиме и полном разделении эмульсии в Е3 осуществится перекачка отделенной воды и нефти из Е3 в емкости Е2 (включается насос М6 и открывается клапан Q10, Q11) и Е1 (включается насос М6 и открывается клапан Q9, Q11).

4.3 Алгоритм работы стенда в динамическом режиме

Блок-схема алгоритма работы стенда в динамическом режиме представлена в приложении Ж.

Для проведения эксперимента в динамическом режиме необходимо ввести следующие данные:

- объем воды;
- объем нефти;
- температуру нагрева эмульсии в смесителе;
- давление сжатого воздуха;
- продолжительность подачи сжатого воздуха;
- продолжительность работы стенда;
- выбор правил остановки стенда (время, объем нефти).

Работа стенда в динамическом режиме отличается от статического тем, что подготовка эмульсии в смесителе (Е4), заполнение сепаратора (Е5), разделение и удаление продукта осуществляется одновременно за исключением того, что в сепараторе осуществляется переливание отделенной нефти через переливную перегородку и ее последующая перекачка в емкость Е1 (включается насос М5 и открывается клапан Q5).

Заполнение основной камеры сепаратора эмульсией осуществляется до отметки ($h_1 = 270$ мм). Далее осуществляется разделение эмульсии на нефть и воду. Слой нефти образуется над слоем эмульсии, и начинает переливаться через переливную перегородку. Слой воды образуется под слоем эмульсии. При достижении границы раздела фаз эмульсия/вода уровня ($h_2 = 50$ мм) включается насос М4 и открывается клапан Q6, вода перекачивается в емкость Е2.

При поддержании h_1 на одном уровне образующийся слой нефти накапливается и начинает переливаться через переливную перегородку. Достигнув отметки $h_3 = 100$ мм нефть перекачивается в емкость Е1.

Работа стенда продолжается пока время работы стенда $T_{\text{раб}}$ не достигнет времени заданного оператором T_3 или пока не будет перекачан определенный объем нефти из сепаратора ($V_n > V_3$).

Далее из основной камеры сепаратора вода перекачивается в емкость E2 (включается насос M4 и открывается клапан Q6), эмульсия в отстойник E3 (включается насос M4 и открывается клапан Q7), нефть в емкость E1 (включается насос M4 и открываются клапаны Q4, Q5). Оставшаяся нефть из камеры сбора нефти перекачивается в емкость E1 (включается насос M5 и открываются клапан Q5).

Далее осуществляется вывод данных и формирование отчета.

При повторном запуске стенда в любом режиме и полном разделении эмульсии в E3 осуществится перекачка отделенной воды и нефти из E3 в емкости E2 (включается насос M6 и открывается клапан Q10, Q11) и E1 (включается насос M6 и открывается клапан Q9, Q11).

5 Разработка имитационной модели работы стенда

В работе [16] представлена модель работы НГС, основанная на скачкообразных, дискретных переходах между слоями нефти, эмульсии и воды в первой камере. Однако эмульсия неоднородна по составу и плотности, а переходы между фазами носят не дискретный, а непрерывный характер с градиентом, определяемым действием сил гравитации. Данные обстоятельства затрудняют управление процессом сепарации только с помощью мультифазного датчика уровня. Недостатком известной модели является игнорирование факта непрерывных переходов между фазами, взаимного проникновения слоёв нефти, эмульсии и воды. В рамках известной модели сложно обеспечить эффективную сепарацию, достичь максимальной производительности устройства сепарации при сохранении качества товарной нефти.

Согласно гидравлическому парадоксу, независимо от формы резервуара сила давления на дно зависит только от площади поверхности, испытывающей давление, глубины заполнения $h_{жс}$ и плотности жидкости ρ , т.е. не зависит от количества жидкости в НГС [39]. Для случая плоского дна горизонтального сепаратора справедливо выражение:

$$P_{\partial} = P_n + \rho g h_{жс}, \quad (5.1)$$

где P_{∂} – давление на дне, P_n – давление на поверхности, g – ускорение свободного падения.

Структурная схема автоматизированного управления технологическим процессом сепарации, основанная на контроле и регулировании плотности нефтесодержащей смеси представлена на рисунке .

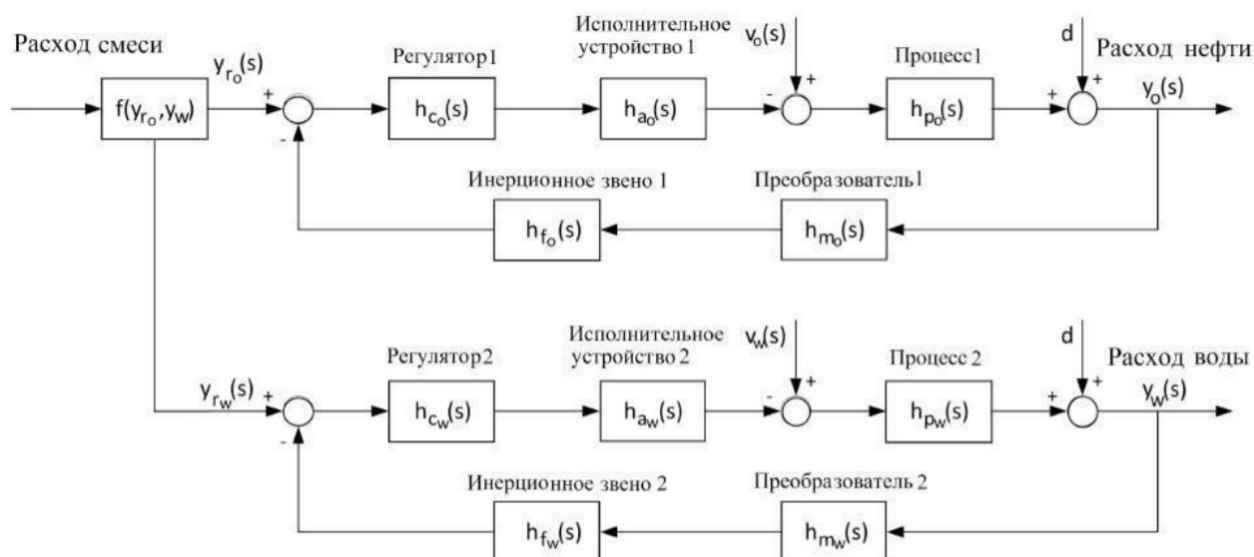


Рисунок 5.1 - Структурная схема управления технологическим процессом

Для математического моделирования работы НГС необходимо определить передаточную функцию объекта.

Определение передаточной функции объекта в соответствии с имеющейся априорной информацией проводится методом идентификации объекта по его переходной характеристике, представляющей реакцию системы на ступенчатое входное воздействие.

$$W_s = \frac{Y_s}{X_s}, \quad (5.2)$$

где Y_s - изображение по Лапласу выходной величины; X_s - изображение по Лапласу входной величины.

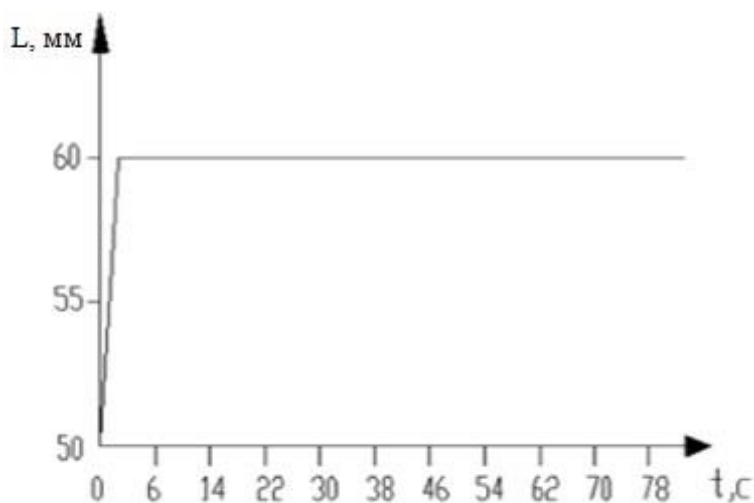


Рисунок 5.2 - Задающее воздействие

Для нахождения передаточной функции объекта используем графики (рисунок 14, рисунок 15) переходных характеристик сепаратора для системы регулирования уровня отсепарированной водонефтяной эмульсии при ступенчатом изменении регулирующего органа [3].

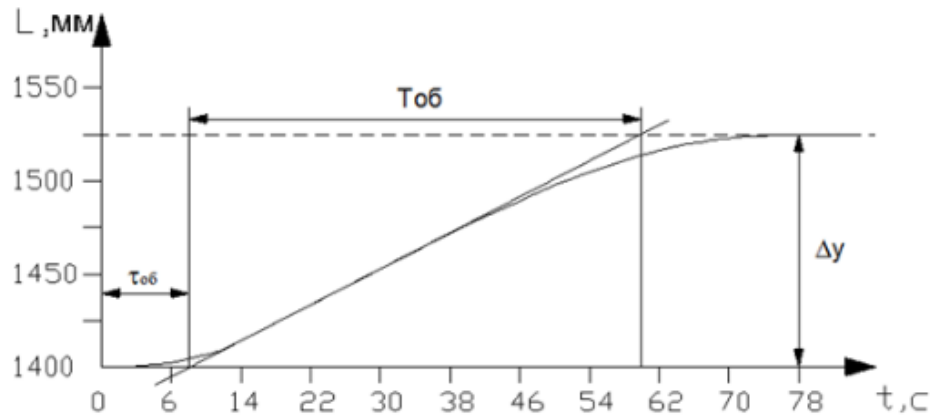


Рисунок 5.3 - Переходная характеристика

Для объектов нефтяной и газовой промышленности передаточная функция объекта аппроксимируется апериодическим звеном I порядка с запаздыванием, то есть передаточная функция будет иметь вид:

$$W_{об}(s) = \frac{K_{об}}{T_{об}s + 1} \cdot e^{-s\tau_{об}}, \quad (5.3)$$

где $K_{об}$ - коэффициент усиления объекта регулирования, $T_{об}$ - постоянная времени объекта; $\tau_{об}$ - время запаздывания объекта.

Вышеприведенные параметры являются динамическими параметрами объекта регулирования и определяются графически по виду переходной характеристики.

Относительное изменение регулируемого параметра объекта.

$$\Delta G = \frac{\Delta Y_{уст} - Y_{ном}}{Y_{ном}} \cdot 100 = \frac{1525 - 1400}{1400} \cdot 100 = 8,9\%, \quad (5.4)$$

где ΔG - относительное изменение выходной величины, $Y_{уст}$ - установившееся значение температуры воды, $Y_{ном}$ - номинальное значение температуры воды.

Относительное изменение положения регулирующего органа.

$$\mu = H_{\max} - H_0 = 60 - 50 = 10\%, \quad (5.6)$$

где H_{max} - максимальное значение положения регулирующего органа, $H_{ном}$ - номинальное значение положения регулирующего органа.

Безразмерный коэффициент передачи:

$$K_{об} = \frac{\Delta G}{\mu} \cdot 100 = \frac{8,9}{10} = 0,89, \quad (5.5)$$

где m – относительное изменение входной величины.

Постоянная времени объекта $T_{об} = 52 \text{ с}$, время запаздывания $\tau_{об} = 8 \text{ с}$.

Передаточная функция объекта:

$$W_{об}(s) = \frac{0,89}{52s + 1} \cdot e^{-8s}, \quad (5.6)$$

Разрабатываемый стенд позволит уточнить математическую модель сепаратора нефти.

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

Данным параметрам соответствует следующая передаточная функция:

$$W_n(s) = \frac{0,08}{Ts + 1}, \quad (5.7)$$

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

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

Полученные формулы использованы в имитационной модели управления процессом сепарации, выполненной с помощью модуля Simulink пакета программ Matlab. В процессе создания модели были приняты следующие допущения:

1. работа двигателя подачи жидкости происходит в линейной части механической характеристики;
2. пренебрегаем электромагнитными процессами в двигателе;

3. большое передаточное число позволяет не учитывать момент инерции нагрузки.

В этом случае получается имитационная модель, представленная на рисунке 16.

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

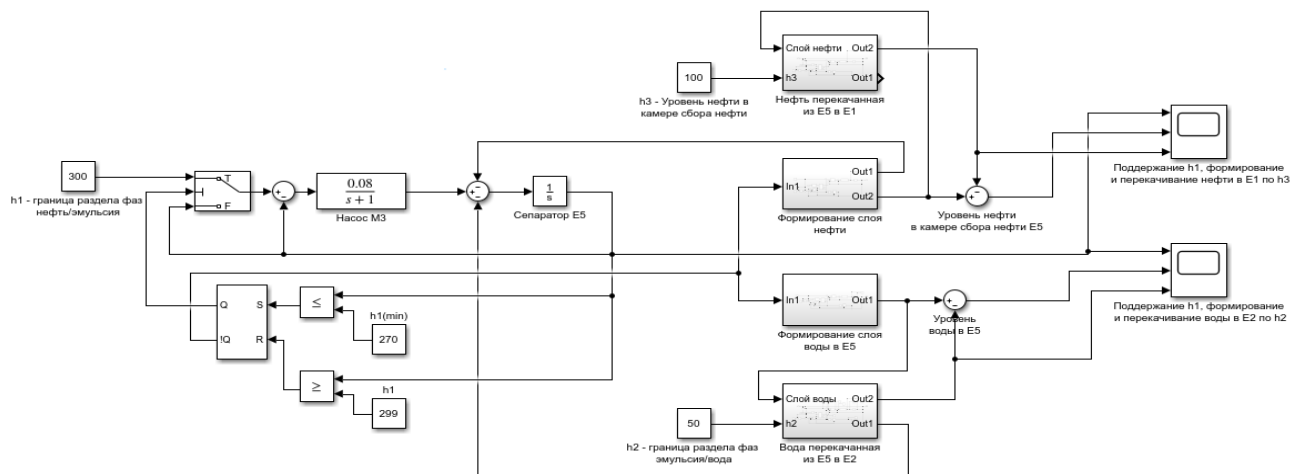


Рисунок 5.4 – Имитационная модель работы станда, в динамическом режиме разработанная в Simulink

Полученный в ходе моделирования график поддержания границы раздела фаз h_1 , а также формирования и перекачивания отделившейся воды из E5 в E2 представлен на рисунке 35.

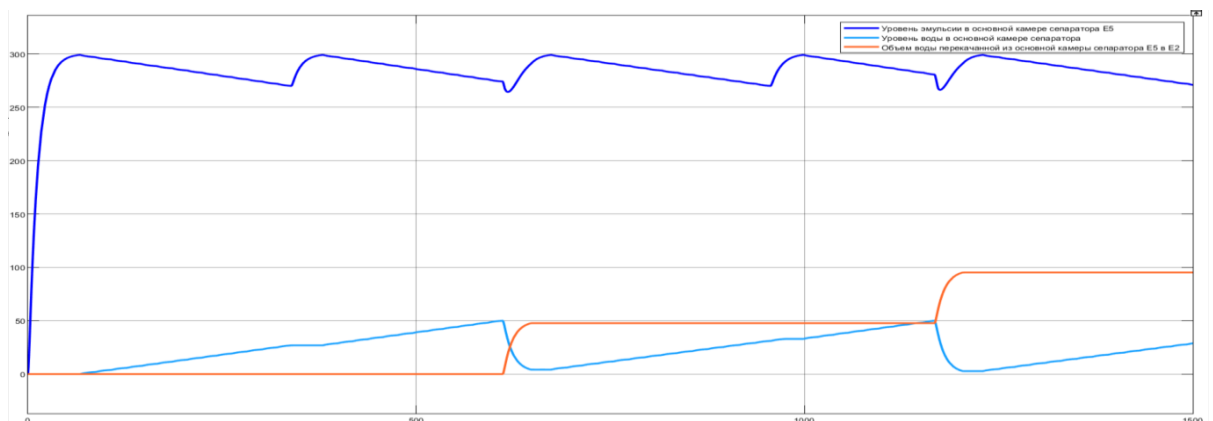


Рисунок 5.5 - Поддержание границы раздела фаз h_1 и перекачивание отделившейся воды из E5 в E2

На данном рисунке отображено заполнение основной камеры сепаратора и поддержание h_1 в диапазоне от 270 до 300 мм. При отделении нефти от эмульсии h_1 уменьшается. При достижении h_1 отметки 270 мм осуществляется наполнение эмульсией основной камеры сепаратора E5 из смесителя E4 до h_1 .

Так же на графике показан процесс формирования слоя воды в основной камере сепаратора E5. При достижении воды h_2 отделившаяся вода перекачивается в емкость E2. Процесс перекачивания воды влечет за собой уменьшение границы раздела фаз h_1 , что видно на графике. Так же на графике отображен объем воды, перекачанной в емкость E2.

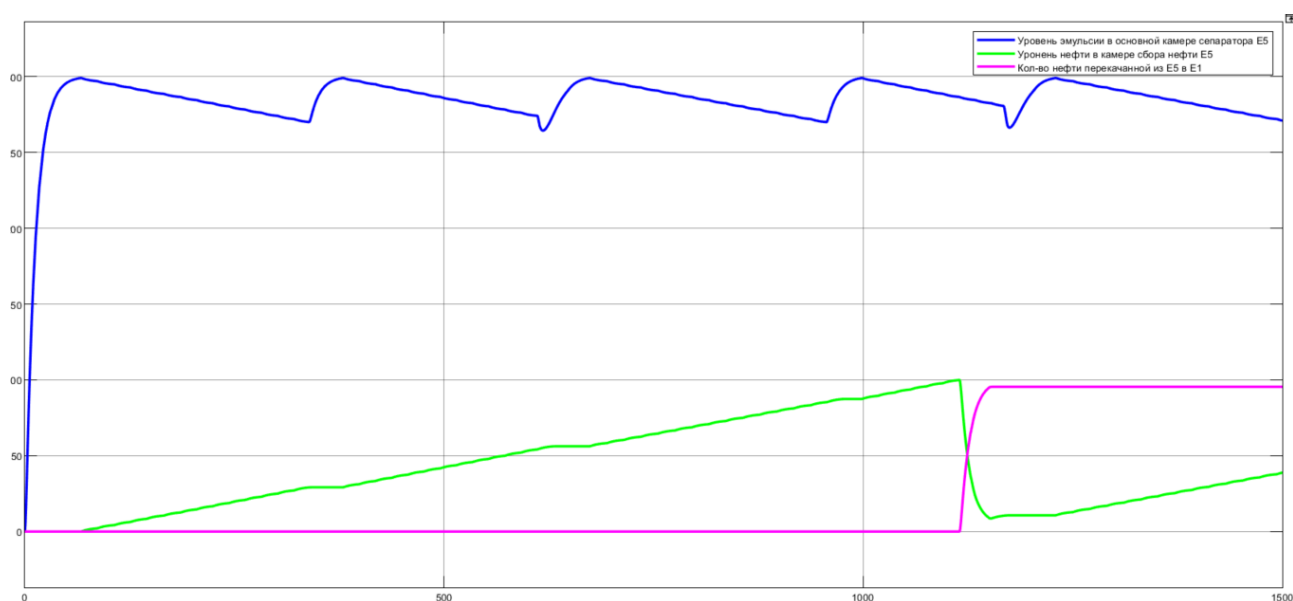


Рисунок 5.6 - Поддержание границы раздела фаз h_1 и перекачивание отделившейся нефти из E5 в E1

Процесс отделения нефти от эмульсии и перекачивание отделившейся нефти показано на рисунке 36.

На данном рисунке аналогично предыдущему отображено заполнение основной камеры сепаратора и поддержание h_1 в диапазоне от 270 до 300 мм. Отделившаяся нефть накапливается в камере сбора нефти сепаратора E5 и при достижении отметки h_3 (100 мм) перекачивается в емкость E1.

Так же на графике отображено количество перекачанной нефти в емкость E1.

6 Выбор оборудования

6.1 Выбор клапанов

Электромагнитные (соленоидные) клапаны устанавливаются на трубопроводы для дистанционного управления открытием или закрытием потока рабочей среды. Для стенда применим клапаны 2/2 (2-линейные, т.е. 1 вход и 1 выход, 2-позиционные, т.е. открытое и закрытое состояние). Для работы стенда больше подходят нормально закрытые клапаны (без подачи напряжения закрыт при подаче напряжения открывается).

В качестве клапанов были рассмотрены:

- электромагнитный клапан SLP-10;
- электромагнитный клапан SMART SF62322 DN15 G1/2".



Рисунок 6.1 – Клапан SLP-10



Рисунок 6.2 – Клапан SMART
SF62322

Таблица 1 – Сравнение характеристик 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 °С	от 0 до 65 °С

Таблица 2 – Сравнение характеристик электромагнитных клапанов
(продолжение)

Температура рабочей среды, °С	от минус 20 до 120	от 0 до плюс 65 °С
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

В качестве клапана открытия/закрытия потока выбран SMART SF62322 т.к. его стоимость меньше и характеристики соответствуют требованиям.

6.2 Выбор уровнемеров

Датчики уровня устанавливаются в смесителе и сепараторе для контроля уровня жидкостей (вода, нефть, эмульсия). Для этого необходимо использовать непрерывный датчик уровня.

В качестве датчиков температуры для рассмотрения были выбраны:

- MPM436W;
- DLM–35N.



Рисунок 6.3 – Датчик уровня MPM436W



Рисунок 6.4 - Датчик уровня DLM–35N

Таблица 3 – Сравнение характеристик датчиков уровня

Наименование параметра	Датчик уровня МРМ436W	Датчик уровня DLM–35N
Напряжение питания, В	15...30	12...34
Область применения	Пищевая, химическая промышленность	Пищевая, химическая промышленность
Диапазон измерения уровня, мм	0...500	2000
Точность измерений, %	0,5...1	0,05...1
Выходные данные	0-10В (аналоговый) 4 - 20 мА, 0 - 10/20 мА	4 – 20 мА, 0-10 В
Температура рабочей среды, °С	от минус 40 до плюс 100 °С	от 0 до 200 °С
Температура окружающей среды, °С	от минус 30 до плюс 60 °С	от минус 40 до плюс 85 °С
Уровень защиты	IP68	IP68
Цена, руб	4680	35000

В результате сравнения выбран датчик DLM–35N, так как у него выше диапазон измерения уровня и температура рабочей среды.

6.3 Выбор датчика температуры

При подготовке эмульсии в смесителе и разделения в сепараторе необходимо контролировать температуру.

В качестве датчиков температуры для рассмотрения были выбраны термопреобразователи сопротивления ТСП Метран-274 и ТС5008.



Рисунок 6.5 – Датчик температуры Метран 274



Рисунок 6.6 – Датчик температуры ТС5008

Таблица 4 – Сравнение характеристик датчиков температуры

Наименование параметра	Датчик температуры ТСП Метран 274	Датчик температуры ТС5008ex
Выходной сигнал, мА	(4 – 20)	(4 – 20), (0 – 5)
Предел допустимой погрешности, %	$\pm 0,25$	$\pm 0,5$
Измеряемый диапазон температур, °С	от минус 50 до 180	от минус 50 до 400
Степень защиты	IP65	IP65
Взрывозащита	Есть	Есть
Время обновления показаний, с	0,5	0,5
Цена, руб	7575	7690

После проведённого анализа выбран датчик температуры Метран 274, так как он имеет меньшую стоимость и предел допустимой погрешности.

6.4 Выбор датчика давления

При подготовке эмульсии в смесителе осуществляется подача воздуха. Для контроля давления в смесителе и сепараторе необходимо установить датчики давления.

На сегодняшний день существует огромный ассортимент датчиков давления с различными принципами измерений, приспособленные к определенным условиям. Среди этого большого множества выделим два наиболее подходящих:

- ОВЕН ПД100И;
- КОРУНД-ДИ-001М.



Рисунок 6.7 – Датчик давления ОВЕН ПД100И



Рисунок 6.8 – Датчик давления КОРУНД-ДИ-001М

Таблица 5 – Сравнение характеристик датчиков давления

Наименование параметра	Датчик давления ОВЕН ПД100И	Датчика давления КОРУНД-ДИ-001М
Напряжение питания, В	12...24 В	9...36 В
Измеряемые величины	Избыточное давление, разность давлений	Избыточное давление, разность давлений
Рабочая среда	Жидкая, газообразная и агрессивные среды	Вода, воздух, бензин, масла и т.д.
Основная приведенная погрешность, %	$\pm 0,25$	$\pm 0,25$
Давление рабочей среды	66...106,7 кПа	0,25 кПа — 160 МПа
Выходной сигнал	4...20 мА, 2-проводная схема	4 - 20мА, 0 - 5В

Таблица 6 – Сравнение характеристик датчиков давления (продолжение)

Диапазон температур, °C	рабочих	от минус 40 до плюс 100 °C	от минус 40 до плюс 125 °C
Температура окружающей среды, °C	окружающей	от минус 40 до плюс 80 °C	от минус 40 до плюс 80 °C
Взрывозащита		Exi	Exi
Цена, руб.		7320	9976

Из рассмотренных датчиков выбран датчик ОВЕН ПД100И, т.к. его характеристики соответствуют требованиям и его стоимость значительно ниже.

6.5 Выбор компрессора

Для приближения эмульсии, используемой в стенде к реальной скважинной жидкости, необходимо добавить к ней газ. Это осуществляется с помощью компрессора, который подает сжатый воздух в смеситель, тем самым увеличивая содержание газа в эмульсии.

Сравним следующие компрессоры:

- FUBAG Easy Air;
- COLT 190/24 Set 4.



Рисунок 6.9 – Компрессор
FUBAG Easy Air



Рисунок 6.10 – Компрессор
COLT 190/24 Set 4

Таблица 7 – Сравнение характеристик компрессоров

Наименование параметра	Компрессор FUBAG Easy Air	Компрессор COLT 190/24 Set 4
Вес брутто, кг	5	26
Вес нетто, кг	5	24
Макс. Давление, бар	8	8
Макс. производительность компрессора, л/мин	180	190
Мин. Давление, бар	8	1
Мощность, Вт	1100	1500
Тип компрессора	Поршневой безмасляный	Поршневой безмасляный
Напряжение, В	220	220
Объем ресивера	-	24
Цена	6610	6599

Выбираем компрессор COLT 190/24 Set 4 т.к. у него есть ресивер, который позволит регулировать давление воздуха, подаваемого в смеситель.

6.6 Выбор нагревателя

Нагреватель осуществляет подогрев эмульсии в сепараторе. Изменяя температуру эмульсии, изменяется и скорость отделения нефти от воды.

Осуществим расчет нагревателя для воды т.к. в смесителе будет подготавливаться жидкость в разных пропорциях и точный расчет выполнить невозможно.

$$P = \frac{0,0011 \cdot V \cdot (t_k - t_n)}{T}, \quad (6.1)$$

где P - мощность ТЭНа, кВт; V - объем нагреваемой воды, л; t_k - конечная температура воды, °С; t_n - начальная температура воды, °С; T - время нагрева воды, ч.

В смесителе необходимо нагреть жидкость объемом 15 литров комнатной температуры 20 °С до 100 °С за 30 минут.

Рассчитаем мощность нагревателя:

$$P = \frac{0,0011 \cdot 15 \cdot (100 - 20)}{0,5} = 2,64 \text{ кВт}, \quad (6.2)$$

В качестве нагревателей для рассмотрения выбраны:

- ТЭН 125.05.000;
- ТЭН 68.18.17.005.



Рисунок 6.11 – Нагреватель
ТЭН 125.05.000



Рисунок 6.12 – Нагреватель
ТЭН 68.18.17.005

Таблица 8 – Сравнение характеристик нагревателей

Наименование параметра	Нагреватель ТЭН 125.05.000	Нагреватель ТЭН 68.18.17.005
Мощность, кВт	2,7	2,75
Напряжение, В	220	220
Материал	н/сталь	н/сталь
Масса, кг	0,51	0,35
Диаметр оболочки, мм	8	10
Резьба штуцеров	M14x1,5	M14x1,5
Резьба контактных стержней	M3	M4
Цена, руб	819,91	499,61

В соответствии с таблицей выше выбран нагреватель ТЭН 68.18.17.005, т.к. он имеет меньшую стоимость.

6.7 Выбор контроллера

Одним из основных элементов проектируемого стенда является программируемый логический контроллер. Для данной задачи необходимо подобрать контроллер для обработки данных с датчиков, управления исполнительными механизмами на основании полученной информации и сигнализации состояния. 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, например, на насосы, осуществляющие перекачку жидкости, включение привода миксера и т.д.

Для сравнения выберем следующие контроллеры, соответствующие требованиям и обеспечивающие нужную производительность:

- SIEMENS S7-1200;
- ОВЕН ПЛК160.



Рисунок 6.13 – SIEMENS S7-1200



Рисунок 6.14 – ОВЕН ПЛК160

Таблица 9 – Сравнение характеристик контроллеров

Наименование параметра	Контроллер SIMATIC S7-1200	Контроллер ПЛК160
Процессор	CPU 1214C	RISC-процессор на базе ядра ARM-9, 32 разряда, 180МГц
Память	-рабочая 50 кБайт; - загружаемая 2 Мбайт; - расширяемая картой 24 МБайта.	8 Мб, 1 Мб для кода, 128 кб для переменных
Период опроса аналоговых входов, мс	-	10
Время цикла, мс	5	1
Количество каналов ввода/вывода	388	Встроенных 40 DI- 16, DO- 12, AI-8, AO-4
Типы интерфейсов	1xPROFINET, RJ45, 10/100 МБит/с	RS-485, Ethernet 100 Base-T
Напряжение питания, В	24	(22 - 28)
Потребляемая мощность, Вт	12	40
Диапазон рабочих температур, °С	От минус 0 до плюс 55 °С	от минус 10 до плюс 55 °С
Степень защиты	IP20	IP20
Цена, руб	32638	31320

В соответствии с таблицей выше выбран контроллер ПЛК160, т.к. данный контроллер имеет меньшую стоимость по сравнению с контроллером SIMATIC S7-1200.

7 Концепция стартап-проекта

7.1 Название

Объектом разработки 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, смеситель и блок управления. Программная часть осуществляет управление, сбор данных и формирование отчетов.

Область применения системы – лабораторные и учебные помещения организаций, осуществляющих исследования в области подготовки нефти.

7.2 Описание продукта как результата НИР

По запасам нефти Россия занимает одно из лидирующих мест в мире. При добыче нефти осуществляется отделение нефти от воды и газа посредством пропускания скважной жидкости через сепаратор. В данной работе разрабатывается автоматизированный стенд физического подобия «3-х фазный сепаратор нефти».

Процесс сепарации нефти на месторождении является слабым звеном в системе. Исследуя процесс сепарации нефти, можно его усовершенствовать, увеличив скорость и качество товарной нефти на месторождении.

Объектом исследования является 3-х фазный сепаратор нефти технологического процесса подготовки товарной нефти на месторождении.

Основное внимание уделяется разработке автоматизированного стенда физического подобия.

Цель работы: разработка автоматизированного стенда физического подобия на основе 3-х фазного сепаратора нефти.

Данная разработка будет полезна нефтедобывающим компаниям и образовательным учреждениям для проведения исследований сепарации нефти.

7.3 Интеллектуальная собственность

Создается патент, а также производится комплекс научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ по созданию описанной системы, научным коллективом в Национальном исследовательском Томском политехническом университете под руководством кандидата технических наук отделения автоматизации и робототехники, доцента Филипаса Александра Александровича.

7.4 Объем и емкость рынка

В качестве определения потенциальных потребителей был рассмотрен целевой рынок, затем произведено его сегментирование.

Объем добычи нефти в России по 9 крупнейшим компаниям в 2017 году представлен в таблице 8.

Таблица 10 – Объем добычи нефти и количество учебных центров нефтегазовых компаний

№ п/п	Наименование компании	Объем добычи, млн тонн	Количество учебных центров
1	«Роснефть»	210,8	98
2	«Лукойл»	82,2	15
3	«Сургутнефтегаз»	60,5	30

Таблица 11 – Объем добычи нефти и количество учебных центров нефтегазовых компаний (продолжение)

4	«Газпром нефть»	59,9	47
5	«Татнефть»	28,9	17
6	«Новатэк»	11,8	8
7	«Башнефть»	10,4	12
8	«Русснефть»	7,0	8

По итогам 2015 г. в России было добыто 534,1 млн т нефти (включая газовый конденсат), что на 1,5% больше, чем в 2014 г. и на 5,3% больше, чем в 2010 г.

По данным Министерства финансов РФ, доля нефтегазовых доходов в бюджете РФ по состоянию на март 2016 г. составляет 37,4%. Для сравнения, в 2015 г., нефтегазовые доходы принесли бюджету 5 трлн 862,7 млрд руб. (42,9% от общих доходов), в 2014 г. - 7 трлн 433,8 млрд руб. (51,3%).

На рисунке 1 структура рынка учебных центров нефтедобывающих компаний.

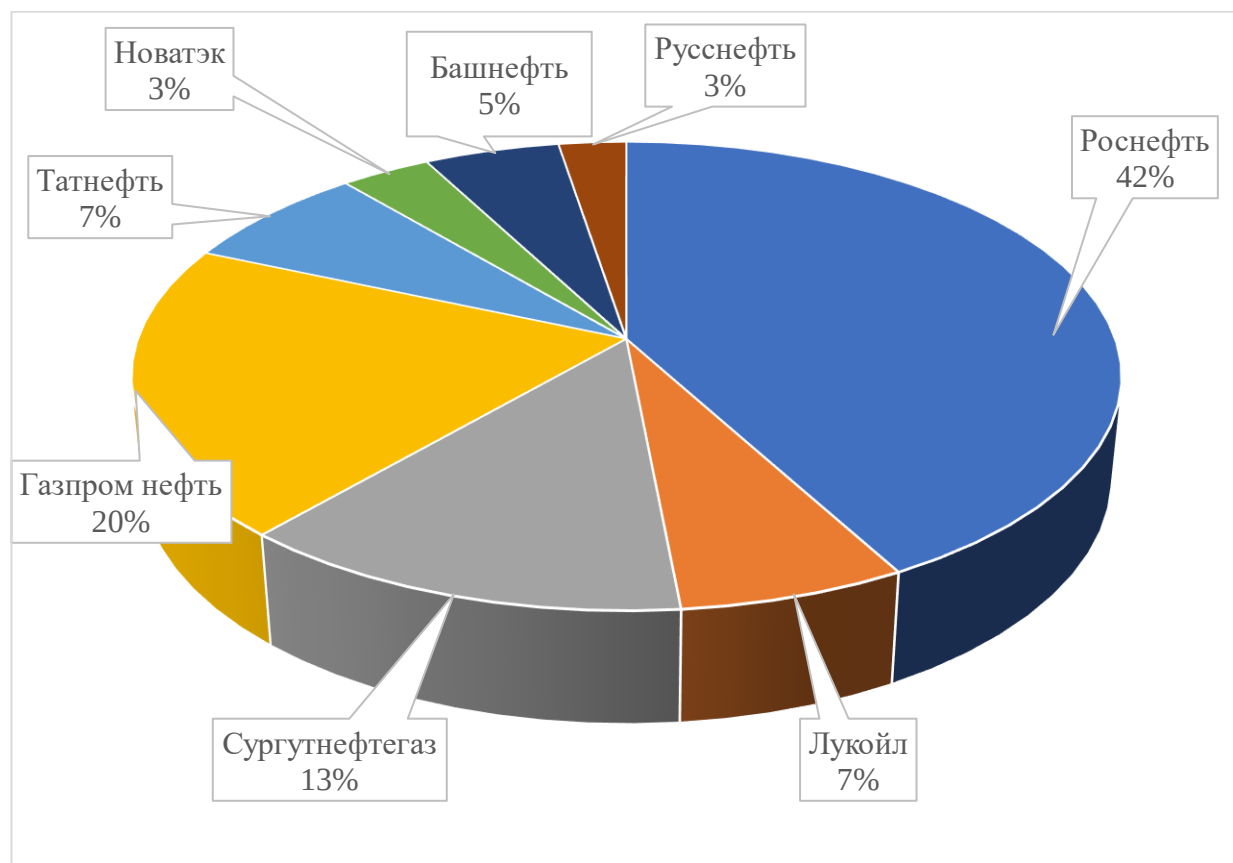


Рисунок 7.1 – Структура рынка учебных центров нефтяных компаний

На рисунке показано процентное соотношение количества учебных центров крупных нефтяных компаний. Большая часть относится к Роснефти в виде 42 %. Емкость рынка нефтяных компаний в РФ составляет 104 850 тыс. руб.

Анализ рынка показал, что у крупных нефтедобывающих компаний есть необходимость в реализуемом продукте.

Данная разработка может найти отклик в таких направлениях деятельности, как проектная работа, научно-исследовательская работа, инженерные изыскания, реализация проектов и образовательные услуги.

7.5 Анализ современного состояния и перспектив развития отрасли

Российская Федерация богата минеральными ресурсами, в частности нефтью, которую чаще всего в современных источниках называют «Черным золотом». Нефтяная промышленность нашей страны является ведущей в российской экономике, которая включает в себя добычу, переработку, транспортировку и сбыт нефти, а также производство, транспортировку и сбыт нефтепродуктов.

Проведем исследование состояния нефтяной отрасли РФ. Анализ начнем с определения места РФ в мировой добыче нефти. Для этого обратимся к таблице 9, на которой видно, что наша страна занимает одно из первых мест в мире по добыче и переработке нефти.

Таблица 12 – Лидеры добычи нефти, млн. т

Страна	2016	2017 г.	% от мировой добычи
США	543,1	571,0	13,0 %
Саудовская Аравия	586,6	561,7	12,8 %
Россия	555,9	554,4	12,6 %

Уровень доходности российских компаний, получаемый от экспорта нефтепродуктов, с годами снижается так же, как и сырая нефть, что объясняется введением санкций против России. В результате чего нефтяные компании «Роснефть», «Лукойл», «Сургутнефтегаз», «Татнефть», «Газпром нефть» смогут извлечь наибольшую выгоду от продажи сырой нефти, нежели от продуктов нефтепереработки.

Повышение эффективности и рентабельности является одной из приоритетных задач нефтегазового сектора отечественной экономики. Добыча и подготовка нефти в ряде регионов (Среднее Поволжье, Южный Урал) имеет специфику, связанную с высокой степенью обводнённости скважин. Это обуславливает поиск новых способов автоматизированного управления технологическим процессом сепарации нефтесодержащей смеси. В процессе сепарации необходимо обеспечить производительность (количество выходного продукта в единицу времени), а также качество товарной нефти, определяемое по ГОСТ Р 51858 – 2002. Обеспечение максимальной производительности при сохранении качества товарной нефти является серьёзной проблемой, требующей новых научных подходов и технических решений. Поэтому разработка и исследование новых способов управления технологическим процессом сепарации нефти является актуальной научно-технической задачей.

Однако научные достижения, имеющиеся в данной области, требуют дальнейшего развития. В частности, не решены вопросы разработки и исследования новых принципов автоматизированного управления, основанных на достоверных математических моделях сепарации нефтесодержащей смеси. Уровень готовности существующих научных разработок не позволяет решить вопрос повышения производительности подготовки нефти, добытой из скважин с высокой обводнённости, при сохранении качества выходного продукта.

7.6 Планируемая стоимость продукта

Планируемая цена продажи продукта 450000 рублей, исходя из анализа рынка.

В таблице 10 представлены единовременные первоначальные затраты на основные средства: покупка ноутбука, стандартного пакета Microsoft Office и оплата работы программиста за написание программы для последующего использования.

Таблица 13 – Единовременные первоначальные затраты

№ п/п	Наименование	Единица измерения	Сумма, руб.
1	Ноутбук Acer Aspire A315-53-57YW черный	шт.	32999
2	Microsoft Office 2016 Home and Student RU	шт.	4500
3	Оплата труда программиста		20000
4	ИТОГО		57 490

Текущие переменные затраты, связанные с производством сепаратора, представлены в таблиц 11.

Таблица 14 – Текущие переменные затраты

Затраты	Руб.	%
Затраты на материалы	318 914	88,30
Затраты на оплату труда	12 000	3,32
Отчисления во внебюджетные фонды (27,1)	3 252	0,90
Прочие затраты	27 000	7,48
Итого	361 166	100

Самая большая доля затрат на производство и реализацию стенда приходится на материальные затраты – 88,3%. Затраты на материалы и комплектующие для сборки одного стенда составили 318 914,40 руб. (таблица 12).

Таблица 15 – Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Кол-во	Цена, руб.	Стоимость, руб.
Драйвер для насоса, 24В	шт.	1	565	565
Электромагнитный клапан SMART SF62322 DN15 G1/2"	шт.	12	1740	20880
Циркуляционный насос шестеренчатый топливный Singflo FP-12	шт.	6	8617	51702
Емкостные измерители уровня DLM-35	шт.	3	29167	87501
Датчик давления ОВЕН ПД100И-ДА	шт.	2	6100	12200
Компрессор COLT 190/24 Set	шт.	3	4344	13032
Нагреватель ТЭН 68.18.17.005	шт.	1	1250	1250
Контроллера ПЛК160	шт.	1	26100	26100
Труба Gah Alberts	шт.	20	53	1060
Оргстекло 10 мм	шт.	5	6566	32830
Оргстекло 5 мм	шт.	4	3212	12848
Блок питания ОВЕН БП60К-24	шт.	1	4000	4000
Дихлорэтан (клей для оргстекла)	шт.	7	42	294
Прочие	шт.	1	1500	1800
ИТОГО			265 762,00	318 914,40

Расходы на оплату труда рассчитаны исходя из того, что для сборки одного стенда привлекаются монтажники по договору ГПХ в количестве двух человек. Привлекая рабочих по договору ГПХ, необходимо начислять отчисления во внебюджетные фонды (пенсионный фонд и фонд ОМС) в размере 3 252 руб. (таблица 13).

Таблица 16 – Затраты на оплату труда

Категория работников	Кол-во человек	Формы оплаты труда		
		Договор ГПХ, руб. за день	Количество дней для сборки одной установки	Итого, руб.
Монтажник	2	1500	4	12000
ИТОГО				12 000

Таблица 17 – Отчисления в социальные фонды

Внебюджетный фонд	Оплата труда	Процент, отчисляемый в внебюджет. фонд, %	Итого начислено во внебюджетные фонды, руб
Пенсионный фонд	12000	22	2 640,00
ОМС		5,1	612,00
ИТОГО			3 252,00

Кроме текущих переменных затрат, которые возникают, непосредственно при производстве сепаратора, имеются постоянные затраты связанные с арендой помещения для сборки стенда и отчислениями во внебюджетные фонды индивидуального предпринимателя. Индивидуальный предприниматель платит фиксированные пенсионные взносы, которые в 2020 году составляют 2704 руб. в месяц, а также медицинские страховые взносы в размере 8426 руб. в год, т.е 702,16 руб в месяц.

Таблица 18 – Прочие постоянные текущие затраты

Наименование	Сумма, руб	Итого, руб
Аренда помещений	20000	20000
Прочие		3406,16
ИТОГО		23 406,16

План получения прибыли при реализации данного проекта представлен в таблице 8. Считая, что в первом квартале будет упор на разработку первого стенда, где необходимо будет приобрести все комплектующие и вспомогательные материалы, а также написание программы и отладки ее. На

реализацию первого стенда будет затрачено около месяца, на последующую сборку необходимо 3-4 дня для одного стенда.

Маржинальная прибыль от продажи одного стенда составит 88 834 руб., что составляет 19,74% от цены реализации.

Оценка эффективности инвестиций в данный проект показала, что инвестиции окупятся почти за 2 месяца. Чистый дисконтированный доход в конце первого года реализации проекта составит 2 288, 457 тыс. руб. (табл. 9)

Таблица 19 – План доходов и расходов, единица измерения - тыс, руб

№	Показатель / месяц	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	Объем продаж		1	1	1	2	2	2	3	3	3	4	4	4
2	Выручка	0	450	450	450	900	900	900	1350	1350	1350	1800	1800	1800
3	Текущие переменные затраты	-	361,166	361,166	361,166	722,333	722,333	722,333	1 083,5	1 083,5	1 083,5	1 444,67	1 444,67	1 444,67
4	Маржинальная прибыль	-	88,834	88,834	88,834	177,667	177,667	177,667	266,501	266,501	266,501	355,334	355,334	355,334
5	Постоянные текущие затраты	23,406	23,406	23,406	23,406	23,406	23,406	23,406	23,406	23,406	23,406	23,406	23,406	23,406
6	Прибыль от продаж (операционная прибыль)	-23,406	65,427	65,427	65,427	154,261	154,261	154,261	243,095	243,095	243,095	331,928	331,928	331,928

Таблица 20 – Расчет чистого дисконтированного дохода, единица измерения - тыс, руб

№	Показатель / месяц	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	Денежный поток от инвестиционной деятельности	-57,499												
2	Денежный поток от операционной деятельности	-23,406	65,427	65,427	65,427	154,261	154,261	154,261	243,095	243,095	243,095	331,928	331,928	331,928
3	Денежный поток	-80,905	65,427	65,427	65,427	154,261	154,261	154,261	243,095	243,095	243,095	331,928	331,928	331,928
4	Дисконтированный денежный поток	-80,905	65,378	65,328	65,278	153,793	153,676	153,559	241,804	241,620	241,437	329,414	329,163	328,913
5	Чистый дисконтированный доход, NPV	-80,905	-15,527	49,801	115,079	268,871	422,547	576,106	817,910	1 059,53	1 300,967	1 630,381	1 959,544	2 288,457

7.7 Конкурентные преимущества создаваемого продукта, сравнение технико-экономических характеристик с отечественными и мировыми аналогами.

Проведенный обзор аналогичных изделий показал, что из доступных решений на российском рынке имеется два стенда физического подобию, позволяющие исследовать различные способы сепарации нефти в различных режимах, с их ручным или автоматическим заданием и конфигурированием. К данным разработкам относятся:

- лабораторная установка "Установка сепарации нефти от газа и воды" от компании «Учтех-Профи» (стоимость от 420 589);
- лабораторная установка по изучению сепарации нефтепродуктов от компании «Measlab».

Ключевыми недостатками данных решений является их недостаточная степень автоматизации, т.е. наличие исполнительных механизмов, приводимых в действие мануально, что снижает уровень точности настройки, а также не позволяет однозначно обеспечить какой-либо режим работы повторно.

Помимо представленных решений стоит также отметить виртуальный учебный комплекс «Особенности сепарации нефти и деаэрации питательной воды» от компании Учтех-Профи, который является косвенным.

Таблица 21 – Сравнительная оценка характеристик

Критерии	Весовой коэффициент	Проект	Аналог1	Аналог2
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

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

Таблица 22 – Сравнение показателей эффективности

№	Показатели	Разработка	Аналог 1	Аналог 2
1	Интегральный финансовый показатель разработки	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	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1,00	1,74	2,02
5	Стоимость продукта	450 000	от 420 589	на заказ

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.

7.8 Целевые сегменты потребителей создаваемого продукта

Основными потребителями являются:

- Нефтяные и газовые компании, имеющие учебные центры и научные лаборатории

- Производственные компании, занимающиеся производством и поставкой нефтяного и газового оборудования
- Университеты и техникумы, имеющие нефтегазовые направления подготовки специалистов

7.9 Бизнес-модели проекта. Производственный план и план продаж

Для успешной реализации проекта выработка бизнес-модели является ключевой, особенно для описания бизнес-плана и дальнейшего продвижения на рынке. Далее в таблице 20 описана бизнес-модель по А.Остервальдеру и И.Пинье.

В результате исследований создается универсальная модель, позволяющая встраивать ее в локальную систему управления сепаратора и систему управления участком подготовки товарной нефти на месторождении с учетом индивидуальных параметров отдельно взятого месторождения.

Внедрение в систему управления участка подготовки товарной нефти на месторождении цифрового двойника и настроек регуляторов системы управления трехфазным сепаратором с целью оптимизации технологической схемы и режимов работы отдельных сепараторов позволит:

- снизить энергозатраты процессов разделения нефти на фракции;
- за счет изменения закона регулирования снизить нагрузку на исполнительное оборудование тем самым продлевая его ресурс;
- задавать (произвольные) плавающие показатели качества товарной нефти;
- повысить производительность системы при минимальном количестве сепараторов в технологии.

Таблица 23 – Бизнес-модель проекта по А,Остервальдеру и И,Пинье

<i>Ключевые партнеры</i> Стратегическое сотрудничество со следующими партнерами: поставщиками компонентов для производства стенда; компании, которым готовый продукт проекта необходим для исследовательских целей; компании по производству оборудования.	<i>Ключевые виды деятельности</i> Производство. Разработка стенда физического подобию «Трехфазный сепаратор» – готовый продукт. Разрешение проблем. Стенд позволяет изучить основные узлы и элементы сепараторов, принцип функционирования и режимы работы, а также сформировать первоначальные навыки по обслуживанию у студентов и работников, относящих к нефтяной сфере. <i>Ключевые ресурсы</i> Комплекующие для стенда (контрольно-измерительные приборы, исполнительные механизмы)	<i>Ценностные предложения</i> 1. Снизить энергозатраты процессов разделения нефти на фракции; 2. За счет изменения закона регулирования снизить нагрузку на исполнительное оборудование тем самым продлевая его ресурс; 3. Задавать (произвольные) плавающие показатели качества товарной нефти; 4. Повысить производительность системы при минимальном количестве сепараторов в технологической схеме; 5. По косвенным показателям контуров регулирования и технологической схемы прогнозировать параметры скважной жидкости и характеристики скважины.	<i>Взаимоотношения с клиентами</i> 1, Постоянная техническая и консультационная поддержка клиентов; 2, Обратная связь; 3, Участие в конференциях и выставках. <i>Каналы сбыта</i> 1, Прямые поставки, 2, Участие в госзакупках, 3, Продажа через посредников.	<i>Потребительские сегменты</i> Учебные центры нефтедобывающих компаний
<i>Структура издержек</i> Единовременные издержки – оплата труда программисту, пакет ПО. Переменные затраты – заработная плата работникам, комплекующие. Постоянные затраты – аренда помещений.		<i>Потоки поступления доходов</i> 1. Доход от разовых сделок с физическими лицами. 2. Регулярный доход от периодических платежей, получаемых от крупных предприятий, образовательных учреждений, рекламных и других компаний. Генерирование дохода засчет: 1. Масштабирования продукта. 2. Продажа лицензии на выпуск продукции с использованием данной технологии,		

7.10 Стратегия продвижения продукта на рынок

Продвижение продукта возможно, если покупатель готов приобрести продукт, который ему действительно нужен,

Цель продвижения продукта – доказать, что стенд лучше других разработанных аналогов, так как позволяет повысить степень автоматизации тем, что стенд разработан без мануальных исполнительных устройств, следовательно, повышается уровень точности настройки, а также позволяет обеспечить какой-либо режим работы повторно.

Можно выделить следующие способы продвижения продукта:

6. Расширение партнерских связей
7. Участие в выставках газового и нефтяного оборудования
8. Создание статей, видео для привлечения внимания к использованию сепаратора
9. Обучение пользования оборудованием
10. Создание сайта

8 Социальная ответственность

Безопасность эксплуатации оборудования на сегодняшний день является важным условием эффективного производства, в данном разделе осуществлен поиск отрицательно влияющих факторов на здоровье человека во время работы со стендом и технологических опасностей, возникающих в результате работы, а также путей ослабления, либо исключения этих факторов и опасностей.

В данной магистерской работе был разработан автоматизированный стенд физического подобия, аппаратная часть которого включает в себя сепаратор, смеситель и блок управления. Программная часть осуществляет управление, сбор данных и формирование отчетов.

Стенд предназначен для исследования процесса сепарации нефти с целью выявления методов, позволяющих увеличить скорость и качество процесса сепарации.

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

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 данном разделе будут рассмотрены опасные факторы, присутствующие при работе со стендом. 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.

8.1 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.

8.2 Специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства

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.

Возможно установление неполных рабочих дней для беременной женщины; одного из родителей (опекуна, попечителя), имеющего ребенка в возрасте до четырнадцати лет (ребенка-инвалида в возрасте до восемнадцати лет). Оплата труда при этом производится пропорционально отработанному времени. Ограничений продолжительности ежегодного основного оплачиваемого отпуска, исчисления трудового стажа и других трудовых прав при этом не имеется.

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 [24].

8.3 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.

Рабочее место пользователя с персональными электронно-вычислительными машинами (ПЭВМ) следует 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. Окна в помещениях, где эксплуатируется вычислительная техника, преимущественно должны быть ориентированы на север и северо-восток [25].

Выполняя планировку рабочего места, необходимо учитывать следующее:

а) Рекомендуемый проход слева, справа и спереди от стола 500 мм. Слева от стола допускается проход 300 мм;

б) Рабочие места с ПЭВМ при выполнении творческой работы, требующей значительного умственного напряжения или высокой концентрации внимания, рекомендуется изолировать друг от друга перегородками высотой 1,5-2,0 м. Экран видеомонитора должен находиться от глаз пользователя на расстоянии 600-700 мм, но не ближе 500 мм с учетом размеров алфавитно-цифровых знаков и символов. Конструкция рабочего стола должна удовлетворять требованиям эргономики;

в) 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;

г) Кресло не может располагаться непосредственно на границе площади рабочего места. Рекомендуемое расстояние от спинки стула до границы должно быть не менее 300 мм [26].

8.4 Производственная безопасность

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 [27]. Перечень опасных и вредных факторов, характерных для проектируемой производственной среды представлен в таблице 21.

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; – СанПиН 2.2.4.3359-16 Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах; – СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы; –
2. Превышение уровня шума	-	+	+	
2. Движущиеся твердые, жидкие или газообразные объекты, наносящие удар по телу работающего	-	+	-	
3. Превышение уровня электромагнитных излучений	-	+	+	
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; – НПБ 105-03 Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности.
5. Недостаточная освещенность рабочей зоны	+	+	+	

8.5 Отклонение показателей микроклимата

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 [28], предоставлены в таблице 22.

Таблица 25 – 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)	23-25	21-25	40-60	0,1
Теплый	Категория Ia (до 139)	20-22	22-26	40-60	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 23.

Таблица 26 – 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)	20-21,9	19-26	15-75	0,1
Теплый	Категория Ia (до 139)	21-22,9	20-29	15-75	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.

8.6 Производственный шум

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;
- привод миксера.

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 24.

Таблица 27 – 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, привод миксера 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.

8.7 Отсутствие или недостаток естественного света

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 [29] 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 [30] и [31].

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 $\rho_{\text{ст}} = 50 \%$, при условии, что стены бетонные или побелены в серых помещениях;

– коэффициент отражения потолка $\rho_{\text{п}} = 70 \%$, при условии, что потолки свежепобелены;

– коэффициент запаса для помещения с малым выделением пыли $K_z = 1,5$;

– 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.

Рассчитали индекс помещения i по формуле (7.1):

$$i = \frac{S}{H \cdot (A + B)} = \frac{84}{2,9 \cdot (12 + 7)} = 1,5. \quad (7.1)$$

Получили в результате значение $i = 1,5$. Исходя из значения индекса помещения определили коэффициент использования светового потока η как от цвета стен и потолка $\eta = 51 \%$ (рисунок 7.1). Требуемый световой поток нашли по формуле (7.2):

$$\Phi = \frac{E_n \cdot S \cdot K_z \cdot Z \cdot 100\%}{N \cdot \eta} = \frac{300 \cdot 84 \cdot 1,5 \cdot 1,1 \cdot 100}{3 \cdot 51} = 27720 (\text{лм}), \quad (7.2)$$

Светильник	«Глубоко-излучатель»			«Универсаль» без затенителя			«Люцетта»			ВЗГ 200 с отражателем			ОД			ПВЛ		
$\rho_n, \%$	30	50	70	30	50	70	30	50	70	30	50	70	30	50	70	30	50	70
$\rho_c, \%$	10	30	50	10	30	50	10	30	50	10	30	50	10	30	50	10	30	50
i	Коэффициент использования $\eta \cdot 100$																	
0,5	19	21	25	21	24	28	14	16	22	12	14	17	23	26	31	14	16	19
0,6	24	27	31	27	30	34	19	21	27	16	18	21	30	33	37	18	20	22
0,7	29	31	34	32	35	38	23	24	30	19	21	24	35	38	42	21	23	25
0,8	32	34	37	35	38	41	25	26	33	21	24	26	39	41	45	23	25	27
0,9	34	36	39	38	40	44	27	29	35	23	25	28	42	44	48	25	27	29
1,0	36	38	40	40	42	45	29	31	37	25	27	29	44	46	49	26	28	30
1,1	37	39	41	42	44	46	30	32	38	26	27	30	46	48	51	27	29	31
1,25	39	41	43	44	46	48	31	34	41	27	29	31	48	50	53	29	30	32
1,5	41	43	46	46	48	51	34	37	44	29	30	39	50	52	56	30	31	34
1,75	43	44	48	48	50	53	36	39	46	30	32	34	52	55	58	31	33	35
2,0	44	46	49	50	52	55	38	41	48	32	33	35	55	57	60	33	34	36
2,25	46	48	51	52	54	56	40	43	50	33	35	37	57	59	62	34	35	37
3,0	49	51	53	55	57	60	44	47	54	35	37	39	60	62	66	36	37	40
3,5	50	52	54	56	58	61	45	49	57	36	38	40	61	64	67	37	38	40
4,0	51	52	55	57	59	62	46	50	59	37	39	41	63	65	68	38	39	41
5,0	52	54	57	58	60	63	48	52	61	38	40	42	64	66	70	38	40	42

Рисунок 8.1 - Коэффициент использования светового потока

В результате получили значение $\Phi = 27720$ 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 (7.3):

$$E_{\text{факт}} = \frac{\Phi \cdot N \cdot \eta}{S \cdot K_z \cdot Z \cdot 100\%} = \frac{27720 \cdot 3 \cdot 51}{84 \cdot 1,5 \cdot 1,1 \cdot 100} = 306 (\text{лм}), \quad (7.3)$$

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

8.8 Повышенный 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 проводилась на современном ПК, где значения электромагнитного излучения малы и отвечают требованиям, которые приведены в таблице 25, согласно [32].

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.

8.9 Опасность поражения электрическим током

Основным фактором поражения электрическим током при работе со стенда является то, что человек может напрямую контактировать со шкафом управления или другими электрическими приборами.

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 стенда 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 для защиты от короткого замыкания и перегрузок.

8.10 Экологическая безопасность

В данном подразделе рассматривается характер воздействия проектируемого решения на окружающую среду. Необходимо последовательно рассмотреть, как проектируемое решение и используемые для его создания вещества и материалы будут влиять на атмосферу, гидросферу и литосферу и предложить решения по обеспечению экологической безопасности.

8.11 Анализ влияния процесса исследования на окружающую среду

Основным инструментом работы при разработке и эксплуатации является ПК и стенд, потребляющие электроэнергию. На сегодняшний день является серьезной проблемой. Для удовлетворения потребности в электроэнергии, 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.

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. Утилизация отходов печати вместе с бытовым мусором происходит в обычном порядке.

8.12 Обоснование мероприятий по защите окружающей среды

Утилизация отходов печати вместе с бытовым мусором происходит в обычном порядке. Утилизация электрических приборов осуществляется сотрудниками университета и предусматривает следующие пункты:

1. Правильное заполнение акта списания с указанием факта невозможности дальнейшей эксплуатации, перечисленной в акте измерительной техники, о чем имеется акт технического осмотра;

2. Осуществление списания перечисленной в акте измерительной техники с баланса предприятия с указанием в бухгалтерском отчете;

3. Непосредственно утилизация измерительной техники с полным демонтажем устройств на составляющие детали с последующей сортировкой по видам материалов и их дальнейшей передачей на перерабатывающие заводы.

Люминесцентные лампы относятся к категории токсичных отходов, и их утилизацией должны заниматься специализированные организации, с которыми университету необходимо заключить договор на обслуживание. Хранить отработавшие свой срок лампы следует в специально предназначенных для этого контейнерах, и не реже, чем раз в полгода, отправлять на их переработку. В городе Томск утилизацией люминесцентных ламп занимаются НПП «Экотом» и ОАО «Полигон».

8.13 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.

8.14 Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований

Наиболее характерной ЧС для помещения, в котором установлен стенд, является пожар. Основы пожарной безопасности определены по [33] и [34].

Пожарная опасность стенда обусловлена наличием в нем нефти, являющаяся горючим веществом.

Пожарная опасность бока электроники 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 [35] 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 осуществляются 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.

8.15 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.

8.16 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 разрабатываемого стенда. Следование правилам, описанным в данном разделе, помогут помочь избежать чрезвычайных ситуаций, а также обеспечить здоровье персонала и сохранность окружающей среды.

Список литературы

1. Тарасова Г.И. Исследование реологических и электрических свойств обратных эмульсий, стабилизированных термолизным дефекатом ТД600 / Г.И.Тарасова, О.Н. Шевага, Е.Н. Грачева, В.В.Тарасов, А.А. Хаертдинова // Вестник технологического университета. - 2015. - Т. 18, №6. - С. 90-93.
2. . Кузовников Ю.М., Хмелев В.Н., Цыганок С.Н. Разрушение масляной эмульсии ультразвуковым воздействием // Научно-технич. вестн. Поволжья. - 2011. - №5. - С 194-197.
3. Королева М.Ю., Юртов Е.В. Наноэмульсии: свойства, методы получения и перспективные области применения // Успехи химии. - 2012, Т. 81, №1. - С. 21-43.
4. Кварцов С.А. Разработка эмульсионных буровых растворов методом механохимической активации: Автореф. дис. на соис. учен. степ. канд. тех. наук.– Москва: ВНИИГАЗ, 2011. – 25 с.
5. Халед А.М.А. Получение эмульсий типа вода/мазут и закономерности изменения их свойств с изменением состава: Дис. канд. техн. наук. – Москва: РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина, 2007. – С. 115–132.
6. Кварцов С.А. Разработка эмульсионных буровых растворов методом механохимической активации: Автореф. дис. на соис. учен. степ. канд. тех. наук.– Москва: ВНИИГАЗ, 2011. – 25 с.
7. Копылова Л.Е. Гибридная технология разделения водомасляных эмульсий, сочетающая коалесцентную фильтрацию и микрофильтрацию / Л.Е. Копылова, А.О. Каширин, А.А. Свитцов., Каширина О.В. // Успехи в химии и химической технологии. - 2013. - Т. 27, № 8 (148). - С. 130-133.
8. Мчедлов – Петросян Н.О., Лебедь А.В., Лебедь В.И. Коллоидные поверхностно-активные вещества. Учебно-методическое пособие. 2-е изд. Харьков: ХНУ имени В.Н. Каразина, 2009. – С 5-9.

9. Ahmadreza Ghaffarkhah, Mohammadjavad Ameri Shahrabi, Mostafa Keshavarz Moraveji, Hooman Eslami. Application of CFD for designing conventional three phase oilfield separator.// Egyptian Journal of Petroleum. – 2017. - 26. – С. 413-420.
10. Mingshu Chi, Qing Wang, Hongpeng Liu, Zhichao Wang, Qi Liu. Characteristic analysis of gas & solid phase flow in oil shale pyrolysis circulating fluidized bed.// International Journal of Heat and Technology. – 2018. – 36. – С.159-164.
11. Julio cesar mendez, ahmet ergin efendioglu & jose leonardo guevara. Numerical investigation of vertical gas–liquid separators using computational fluid dynamics and statistical techniques.// Advances in Fluid Mechanics. – 2018. – 12. – С. 103 – 114.
12. Chuangchuang Zhou, Hua Guo, Xiaohu Sang and Xiaojun Zhou. Investigation of flow characteristics in helical separator.// IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2018.
13. Слюсарев Н.И. Основы разработки нефтяных месторождений. – СПб.: СПГГИ, 2004.
14. Зеленский, В.А. Повышение эффективности сепарации с помощью контроля дифференциальной плотности нефтегазовой смеси / В.А.Зеленский, А.И.Щодро // Вестник Самарского государственного технического университета. – 2015. – Серия «Технические науки», № 1(45). – С. 178–183.
15. М. Ванг, Л.Е. Гросс. Пьезоэлектрический псевдосдвиговой многослойный актюатор. – 1999.
16. К. Учино, Пьезоэлектрические актюаторы и ультразвуковые моторы. – Лондон, 1997.
17. Ушева, Н.В. Влияние технологических параметров на процессы обезвоживания и обессоливания нефти [Текст] / НВ. Ушева, О.Е. Мойзес, С.Ф. Ким, С.Н. Гизатуллина С.Н. // Известия ВУЗов. Химия и химическая технология.-2014.-Т.57. Вып.11.- С.101-103.

18. Kim S. F. , Usheva N. V. , Moyzes O. E. , Kuzmenko E. A. , Samborskaya M. A. , Novoseltseva E. A. Modelling of dewatering and desalting processes for large-capacity oil treatment technology [Текст] / Procedia Chemistry. - 2014 - Vol. 10. - p. 448-453.
19. Ким, С. Ф., Моделирование процессов разрушения водонефтяных эмульсий для крупнотоннажных технологий подготовки нефти [Текст] /С.Ф. Ким, Н.В. Ушева, М.А. Самборская, О.Е. Мойзес, Е.А. Кузьменко // Фундаментальные исследования. – 2013. - №. 8-3. - С. 626-629.
20. Жданов, О.П. Система измерения уровня и межфазных границ многокомпонентных продуктов УМФ300 в решении актуальных технологических задач подготовки нефти [Текст] / О.П. Жданов, В.И. Шаталов // Сфера нефтегаз. Приборостроение. № 1, 2011. – С.34 – 40.
21. Зориктуев, В.Ц. Синтез математической модели процесса сепарации нефти в системе промысловой подготовки нефти [Текст] / В.Ц. Зориктуев, Ю.М. Дребская, Ю.М., Рощупкин // Вестник УГАТУ. Уфа: УГАТУ, 2009. – Том 13, № 2 (35). – С. 78 – 82.
22. Wilhelmsen M., Control structure and tuning method desing for suppressing disturbances in a multy-phase separator [Текст] / NTNU – Trondheim Norwegian University of sience and technology, pp. 1 – 94.
23. Бешагина, Е.В. Повышение эффективности промысловой подготовки нефти с целью сокращения потерь лёгких углеводородов на месторождении Западной Сибири [Текст] / Е.В. Бешагина, Е.А. Будовая, А.А. Гавриков // Фундаментальные исследования, №8, 2013. С. 545 – 550.
24. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 01.04.2019). [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34683/, свободный. – Загл. с экрана. – (Дата обращения 11.05.2019).
25. 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.

26. ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования. М.: Изд-во стандартов, 1986. – 9 с.
27. ГОСТ 12.0.003-2015 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация. – М.: Изд-во стандартов, 2016. – 16 с.
28. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы: СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. – М.: Минздрав России, 2001. – 20 с.
29. Свод правил: СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95*. – М.: Минстрой России, 2016. – 106 с.
30. 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.
31. 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.
32. 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.
33. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы: СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы. – М.: Госкомсанэпиднадзор, 2003. – 36 с.
34. ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования. – М.: Изд-во стандартов, 2006. – 67 с.
35. ГОСТ 12.1.010-76 ССБТ. Взрывобезопасность. Общие требования. – М.: Изд-во стандартов, 2003. – 6 с.

36. Нормы пожарной безопасности: НПБ 105-03 Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности. – М.: МЧС России, 2003. – 26 с.

Приложение А
(обязательное)

Automation of the physical similarity bench “Three-phase oil separator”

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8TM81	Миронова Екатерина Владимировна		

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	Пичугова Инна Леонидовна	-		

1. Literature review

1.1. Features of the system for collecting and preparing well products

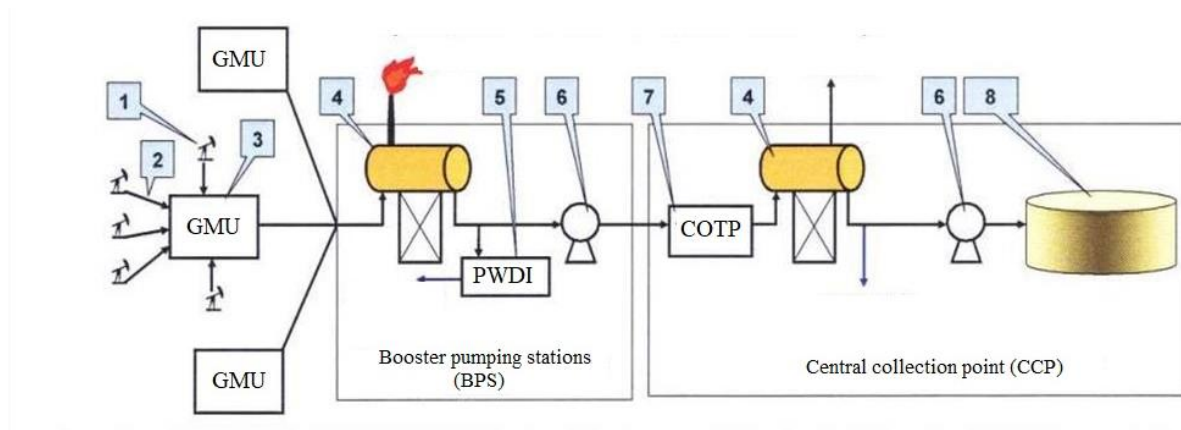
The oil collection and treatment system include a range of field technical equipment and installations connected by pipelines. Currently, the following fishing systems are used:

- Self-flowing two-pipe collection system – well production is separated at a pressure of 0.6 MPa. The released gas is transported under its own pressure to the compressor station or to the gas treatment plant. The liquid is sent to the second stage of separation. Oil with water by gravity (due to the height difference) enters the tanks of the collection point, from where it is pumped to the tanks of the central collection point (CPS).

- High-pressure single-tube collection system – this system allows you to transfer the process of oil separation to the DSP. The maximum concentration of technological equipment is achieved, the metal consumption of the oil and gas gathering network is reduced, the need to build pumping and compressor stations in the field is eliminated, and the possibility of utilization of associated petroleum gas from the very beginning of field development is ensured.

- Pressure collection system – in this system there is a single-pipe transport of oil and gas to local separation plants located at a distance of up to 7 km from the wells, and the transport of gas-saturated oils in a single-phase state to the DPS for a distance of 100 km or more. Typically, a pressure system for collecting and preparing well products is used in the fields, which almost completely eliminates the loss of hydrocarbons. [4]

Figure 1 shows a typical scheme for the collection and treatment of oil, gas and water.



1 - wells; 2 - flow lines; 3 - group metering unit; 4 - separators; 5 - preliminary water discharge unit; 6 - pumps; 7 - complex oil treatment plant; 8 - tank farm.
Figure 1. Schematic diagram of a system for collecting and preparing well products

[4]

From the wells, the gas-liquid mixture enters the automated group metering units (AGMS, GMU), which record the number of well products. After AGMS, the liquid enters booster pumping stations (BPS) or preliminary water discharge unit (PWDI). The first separation stage is carried out at the BPS, after which gas is discharged through the gas line to the consumer or to the gas processing plant (GPP). Partially degassed liquid using centrifugal pumps (CP) is fed to the PDWI or central collection point (CCP).

At the preliminary water discharge unit, the liquid passes three stages of separation in series. Before the first separation stage, in order to prevent the formation of emulsions, a demulsifier is introduced into the liquid. Gas, after both stages of separation, is supplied to the gas dehydration unit, and then to the consumer or to the gas processing plant.

The liquid from the second stage of separation enters the tank farm, in which mechanical impurities are partially separated from it and the water is preliminarily discharged to a block cluster pump station (BCPS) for subsequent injection into the reservoir. After BPS or PWDI oil arrives for preparation.

Technological processes for oil preparation are carried out at the oil treatment unit (SOP) or the central point of oil preparation (CPOP), and include the following processes:

- separation (1.2 stage) and phase separation;
- dehydration of products;
- desalination;
- oil stabilization.

At the oil treatment unit, the liquid enters the separation unit. Then it is sent to the furnace for heating the emulsion with the reagent. Heats up to 50°C and enters the sumps, where the emulsion is divided into oil and water. Water is discharged into treatment tanks and then sent to BCS. Oil from sumps is sent to process tanks, where oil is further separated from water.

Oil with a water content of more than 10% from the preliminary water discharge plants is pumped to the oil treatment plants in the furnace preheaters. The dosed flow rate of the demulsifier is supplied to the oil stream at the pump intake. Heating in furnaces is carried out up to 45-50 ° C, after which the oil enters the electric dehydrators, where the oil is dehydrated and desalted. Oil, with a water content of up to 1% and a temperature of 44-49 °C, enters the "hot separation" separators for further degassing (stabilization), from there it goes to the commodity tanks.

Oil tanks are containers designed for the accumulation, short-term storage and accounting of crude and marketable oil. Storage tanks of the RVS type (vertical steel tank) are used for storage.

Commodity oil passes quality control using laboratory methods and is pumped by the central nervous system pumps through the oil metering unit to the central commodity park or to the main oil pipeline. Oil is supplied from the central commodity park for final processing to the oil refinery.

The following equipment is used for oil preparation:

- separation plants – three-phase separators such as oil and gas separator.
- For deeper oil separation, a three-stage separation is used in the preliminary water discharge unit – the mixture passes through three separators in series;

- furnaces are designed to heat oil emulsions in front of dehydration and desalination units, to improve the process of separation of the emulsion into oil and water;

- heating unit is intended for heating oil emulsions in front of dehydration and desalination units. In addition to separation, the oil preparation process includes the purification of oil from free water, solids and salts. This process is carried out in sedimentation tanks. Sumps are intended for sedimentation of oil emulsions in order to separate it into oil and produced water;

- electrodehydrators are used for deep dehydration and salt-free treatment at oil treatment plants. [4]

1.3 General information about separators

1.3.1 Classification, device, principle of operation of separators

Nowadays, the oil industry is developing rapidly and now the oil and gas equipment market has many different types of oil and gas separators, which can be classified according to various criteria.

The main functions of oil and gas separators are:

- a rough separation of the gas-liquid mixture into gas and liquid;
- removal of droplet liquid from the gas;
- removal of gas bubbles from the liquid.

Auxiliary functions include:

- maintaining optimal pressure;
- maintaining a given fluid level.

By the nature of the existing forces, oil and gas separators are:

- gravitational – separation occurs due to the difference in densities of liquid and gas or solid particles;
- packed – phases are separated due to gravity and inertia;
- centrifugal – phase separation occurs due to centrifugal and inertial forces.

According to the working pressure, the separators are divided into high pressure (6 MPa); medium pressure (2.5 - 4 MPa); low pressure (up to 0.6 MPa).

By the number of separation phases: two-phase and three-phase.

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. [1]

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.

In the sedimentation section, liquid separation occurs under the influence of gravitational forces, and the gas moves in the apparatus at a fairly low speed.

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. [2]

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.

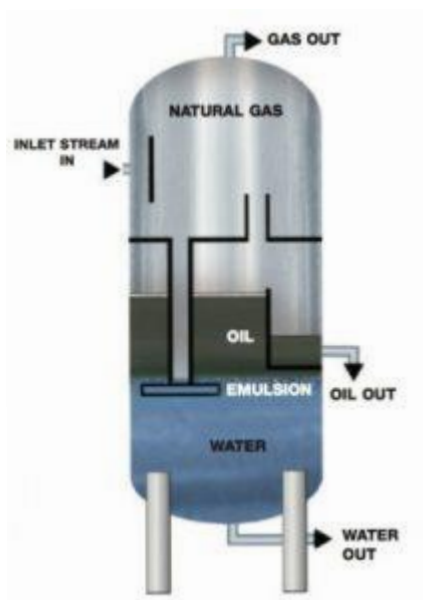


Figure 2. Vertical oil and gas separator

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.

In addition to oil and gas separators, devices are installed that prevent the formation of foam, as well as reduce the pulsations of the flow of the gas-liquid mixture entering the separator. [1]

By design, horizontal separators are single-capacitance and two-capacitance. The scope of both single-capacitance and dual-capacity horizontal separators is very extensive.

By design, horizontal separators are single-capacitance and two-capacitance. The scope of both single-capacitance and dual-capacity horizontal separators is very extensive. Single-capacitor separators provide contact degassing (gas released is in contact with oil), and three-capacitor separators provide differential (gas released from oil is continuously discharged from the system). The scope of their application is due to these factors. Contact degassing provides clearer phase separation. Based on this principle, single-capacity separators are used to equip booster pumping stations, for the first, second and third stages of separation at the central points of collection and preparation of oil well products. Three-capacity separators are mainly equipped with block automated group metering units.

The throughput of horizontal separators is approximately 2 times higher than that of vertical ones. This is due to the fact that in horizontal oil and gas separators, the mutual entrainment of liquid and gas is less, due to their smooth separation along the entire length of the tank. [5]

The horizontal oil and gas separator is shown in Figure 3.



Figure 3. Horizontal Separator

The horizontal oil and gas separator (Figure 4) work as follows: a gas-liquid mixture is supplied to the pipe 1, after which it enters the gas dispersant 2, 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 3, 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 4, 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 12 it falls under the liquid level in the separator.

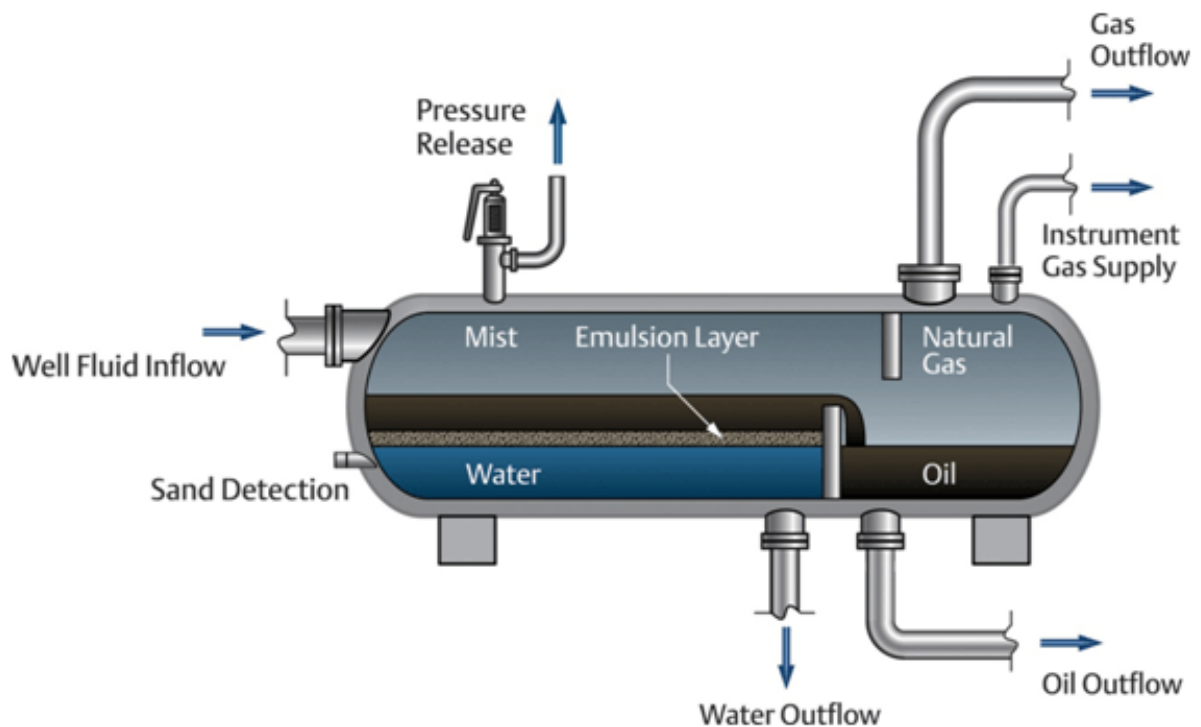
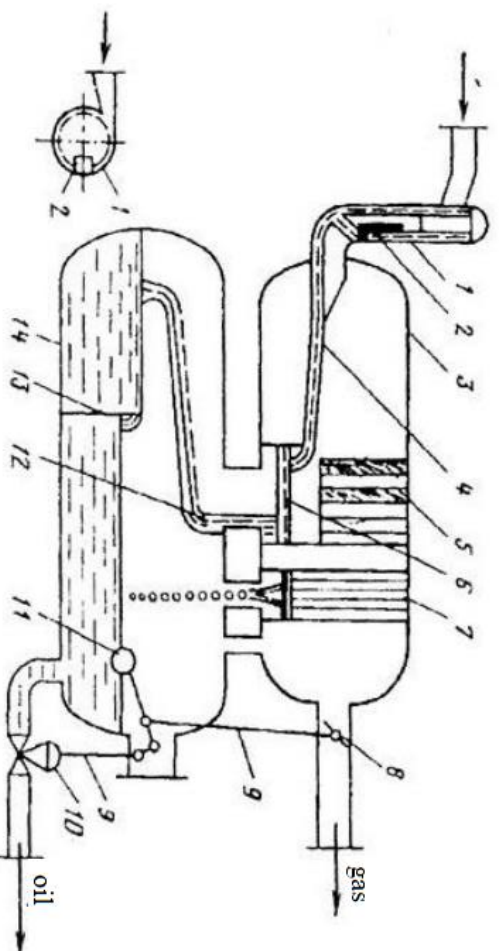


Figure 4. Sectional horizontal separator

The three-capacity separator (Figure 5) works as follows: the gas-liquid mixture first enters the hydrocyclone head. In a hydrocyclone head, due to centrifugal force, gas is separated from oil. Gas and liquid move separately, both in the hydrocyclone head and in the upper tank. The liquid is directed by gravity through the sprinkler into the nozzle, and then to the drain shelf, from which it flows into the lower tank on the

left side of the level stabilizer. Then the fluid flows through the level stabilizer and accumulates in the lower part of the tank.



1 – hydrocyclone head; 2 – a directing peak; 3 – upper capacity; 4, 12 – drain shelves; 5 – corner droplet eliminators; 6 – a sprayer; 7 – lower cartridge; 8 – shutter; 9 – thrust; 10 – actuator; 11 – level gauge; 13 – fluid level damper; 14 –

lower capacity

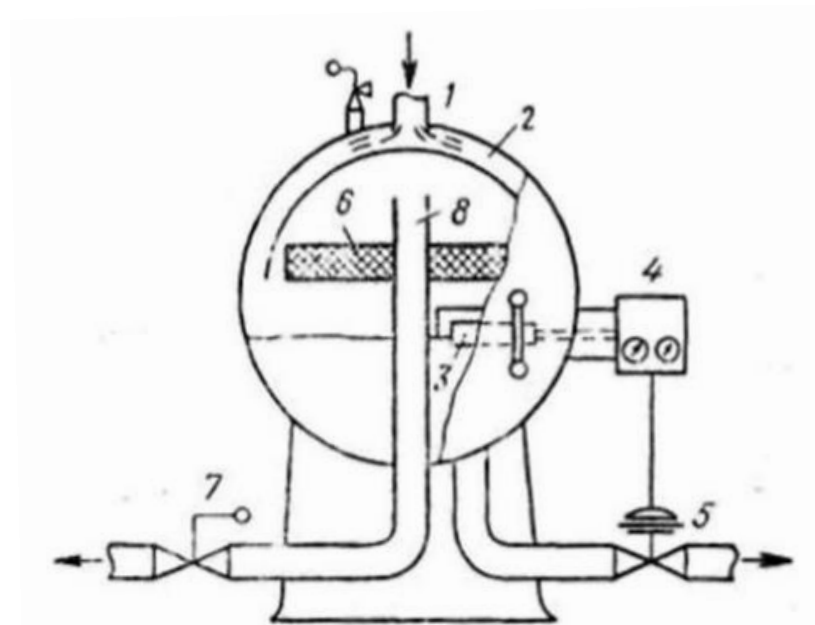
Figure 5. Schematic diagram of a three-capacity hydrocyclone separator

As soon as the oil level reaches a certain value, the level gauge is triggered by opening the valve on the oil line and closing the damper on the gas line.

Gas passes in the upper tank three zones, in which it is cleaned of droplet liquid and fed into the gas collection network.

Figure 6 shows a spherical separator with a gas outlet from the bottom.

The gas-liquid mixture enters the separator through the inlet pipe 1 and flows down the spherical cover 2. The liquid is collected in the lower part of the separator. The level is controlled by the action of the level gauge 3 on the pilot valve 4, which, in turn, gives the command to control the pneumatic valve 5. Liquid droplets are captured in the coalescing packing 6. The separated gas enters the flow line 8, where the control valve 7. is installed. [7]



1 – inlet pipe; 2 – spherical cover; 3 – level gauge; 4 – pilot valve; 5 – pneumatic valve; 6 – coalescing packing; 7 – control valve; 8 – flow line

Figure 6. Spherical separator [7]

1.2. Advantages and disadvantages of various types of separators

The advantage of vertical separators is that they are insensitive to fluctuations in the liquid level, this allows the use of simpler means for its regulation. When the liquid level in the apparatus changes, its volume per unit height of the apparatus is insignificant. However, on the other hand, a change in level does not affect the cross-sectional area of the gas stream, as well as the content of liquid droplets in the gas. Therefore, these separators are most suitable for the separation of well production, when it enters the separator, flow pulsations occur. A unit of gas output requires less floor space than other types of separators. The process of cleaning them is simple, therefore vertical separators are best used when sand is contained in well products.

In a horizontal separator of the same volume as a vertical one, the gas productivity (or the volume of gas under standard conditions, which can be separated from the liquid phase per unit time) is greater. This is because the diameter of the vertical separator must be sufficient so that the velocity of the outgoing gas is less than the rate of deposition of liquid droplets. The height of the separator is mainly determined by the space that is necessary for the placement of individual elements and is within 3 m. A further increase in height does not lead to an increase in gas

productivity. The performance of horizontal separators increases with increasing length. When well products enter the separator, larger droplets of liquid will precipitate at the initial stage. The size of the liquid droplets will decrease from the inlet to the outlet of the gas from the separator. The longer the separator, the smaller the size of the liquid droplets at the outlet of the separator will be, respectively, and the smaller the content of liquid droplets in the gas stream. However, it should be noted that particles with a diameter of less than 0.01 mm cannot be removed by simple deposition. In horizontal separators, the gas flow at the outlet does not meet the flow of incoming products, which eliminates the likelihood of gas contamination with liquid droplets and can increase the gas flow rate. The gas-liquid phase interface is quite large, so less time is required for the emergence of gas bubbles in the liquid.

In addition, horizontal separators are much easier to install and maintain than vertical separators.

A single-capacity horizontal separator with the same gas output as the vertical one is smaller and cheaper in size. The difference in cost increases with the separation of products under high pressure. In this case, the wall thickness of the vertical separator with a height of 3 m should be designed for high pressure, but this separator can be replaced by a horizontal one of a larger length, smaller diameter and with a smaller wall thickness.

The cost of three-capacity separators is more than the cost of single-capacity separators, their gas space is separated from the liquid space, which prevents mixing of the three phases, and the liquid level always remains calm. This is the advantage of such separators.

For spherical separators, the initial investment per unit of gas production is the smallest, which is their main advantage. They are best used when well production rates are relatively low and constant. Mounting and moving them is quite simple. In addition, they are easy to clean, they occupy a small area, especially with three-stage separation, since one sphere can be mounted on another. [7]

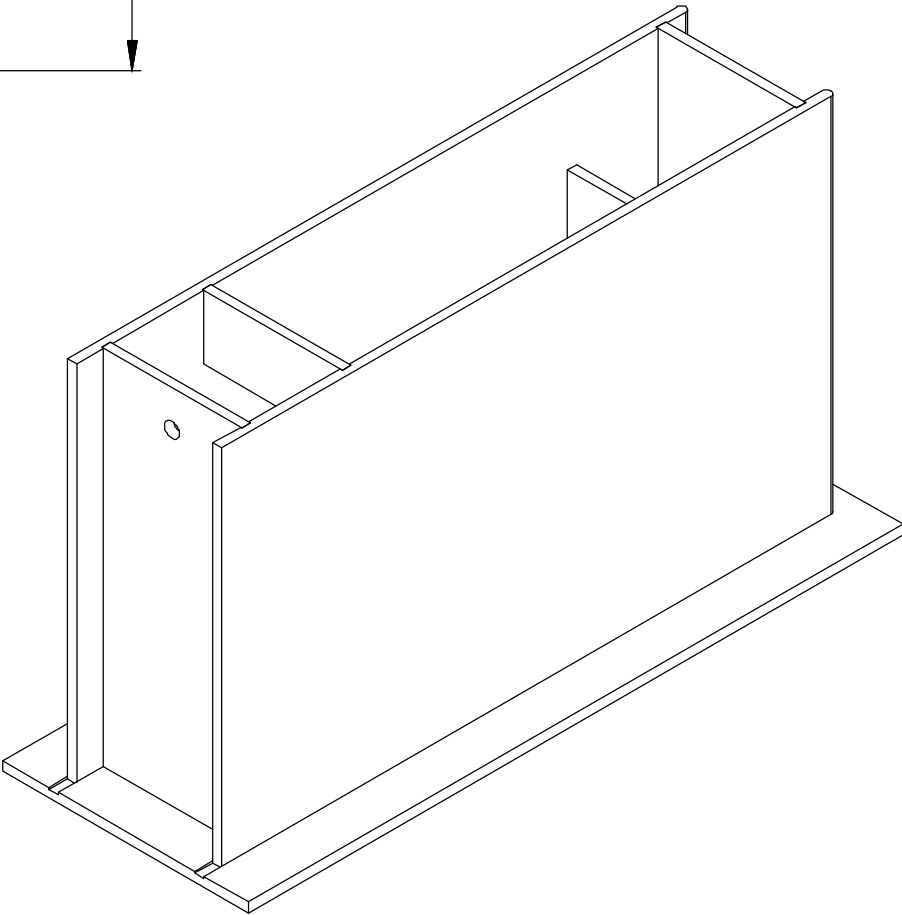
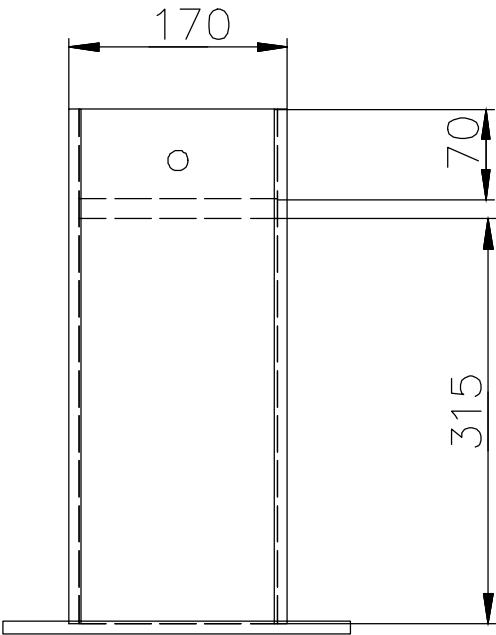
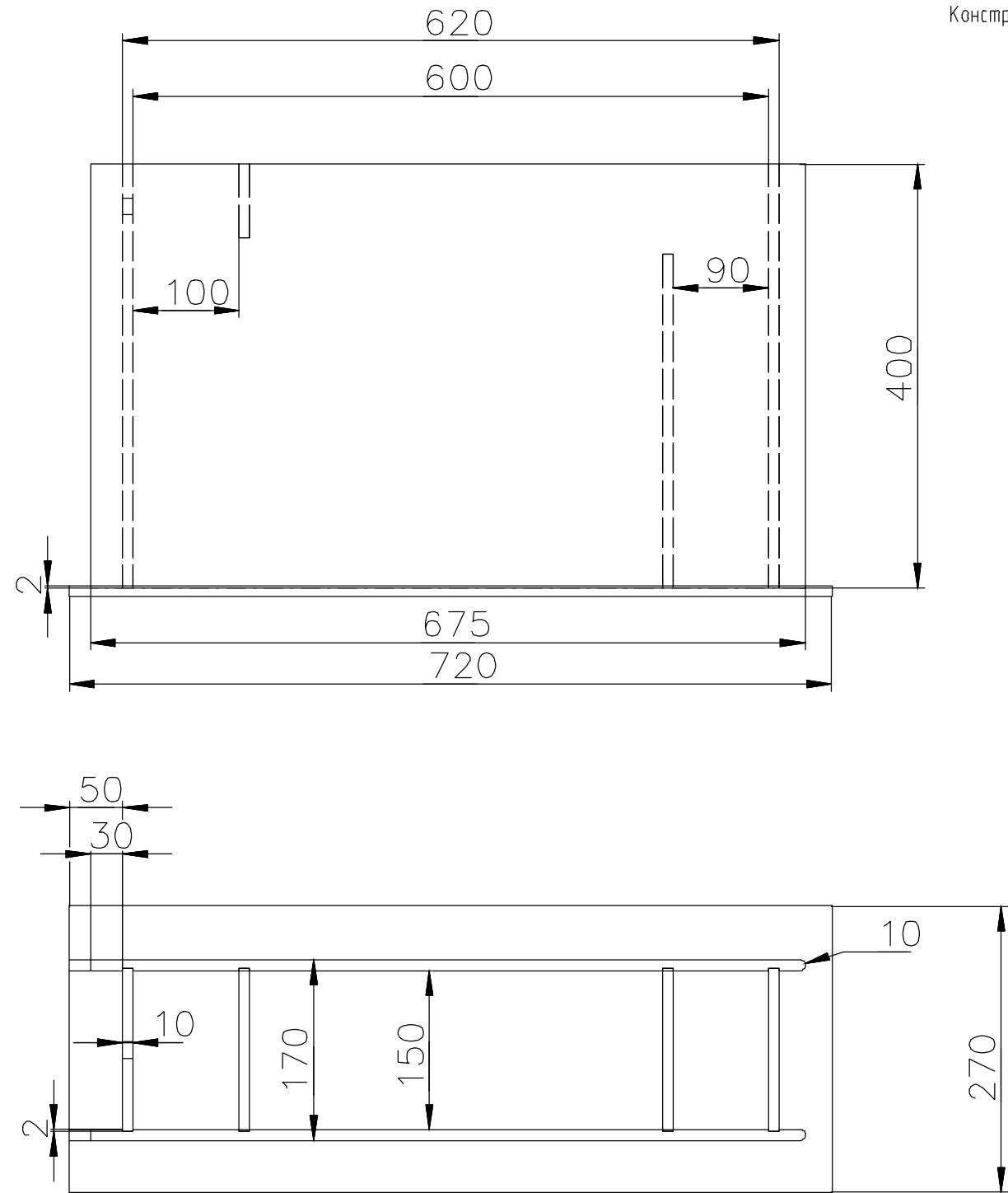
Conclusion

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.

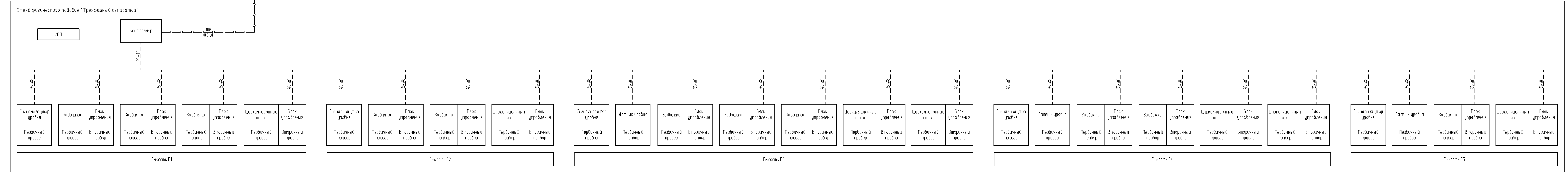
Согласовано					
Взам. инв. №					
Подп. и дата					
Инв. № подл.					

Приложение Б
(обязательное)
Конструкция сепаратора стенда



						ФЮРА.425280.008		
						Автоматизация стенда физического подобия "Трехфазный сепаратор"		
Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		Стадия	Лист
Разраб.		Миронова			17.06.20			
Проб.		Филипас			17.06.20		П	3
						Конструкция сепаратора стенда	ТПУ ИК ОАР гр. 8ТМ81	
Н.контр.					17.06.20			

Обозначение	Наименование
— — — — —	ЛВС на базе витой пары
— ○ — ○ — ○ —	ЛВС на базе медной витой пары



1 На схеме приняты следующие сокращения:

- АРМ – автоматизированное рабочее место;
- ИБП – источник бесперебойного электропитания.

							ФЮРА.425280.001		
							Автоматизация стенда физического подобия "Трехфазный сепаратор"		
Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата				
Разраб.	Миронова				17.06.20		Стадия	Лист	Листов
Пров.	Филипас				17.06.20		П	1	1
Н.контр.					17.06.20	Схема структурная комплекса технических средств	ТПУ ИК ОАР зр. 8ТМ81		

Согласовано					
Взам. инв. №					
Подп. и дата					
Инв. № подл.					

Приложение Г
(обязательное)
Схемы электрические принципиальные

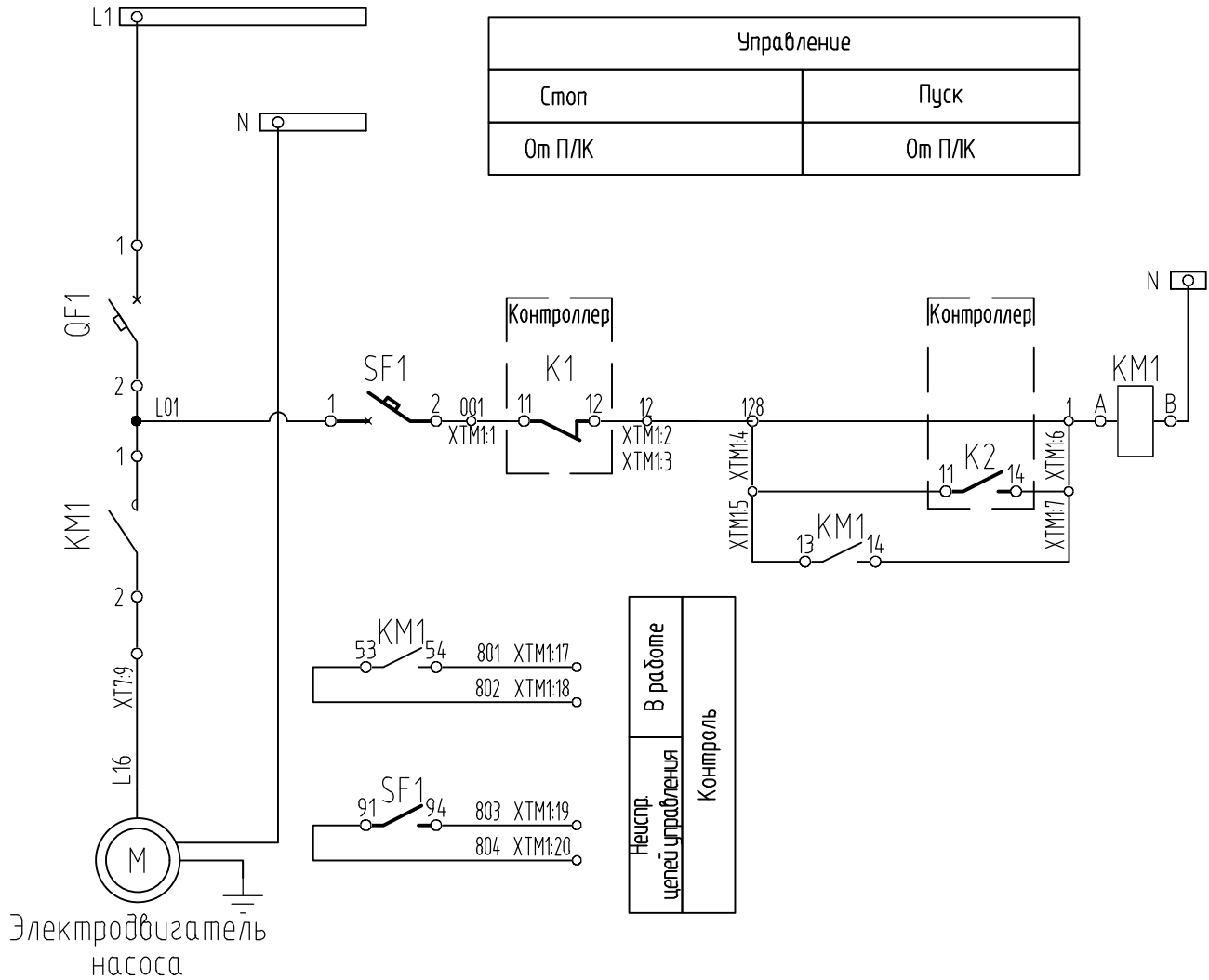


Схема подключения клеммного блока

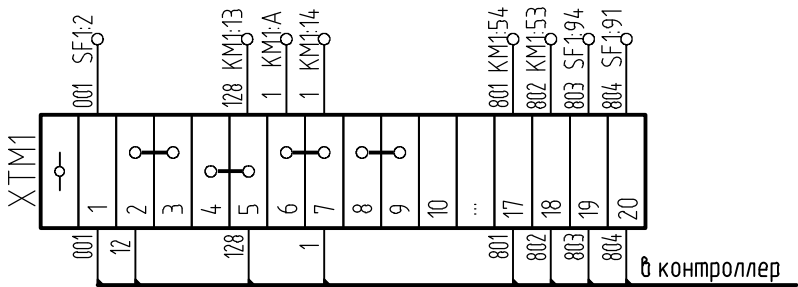


Таблица применяемости

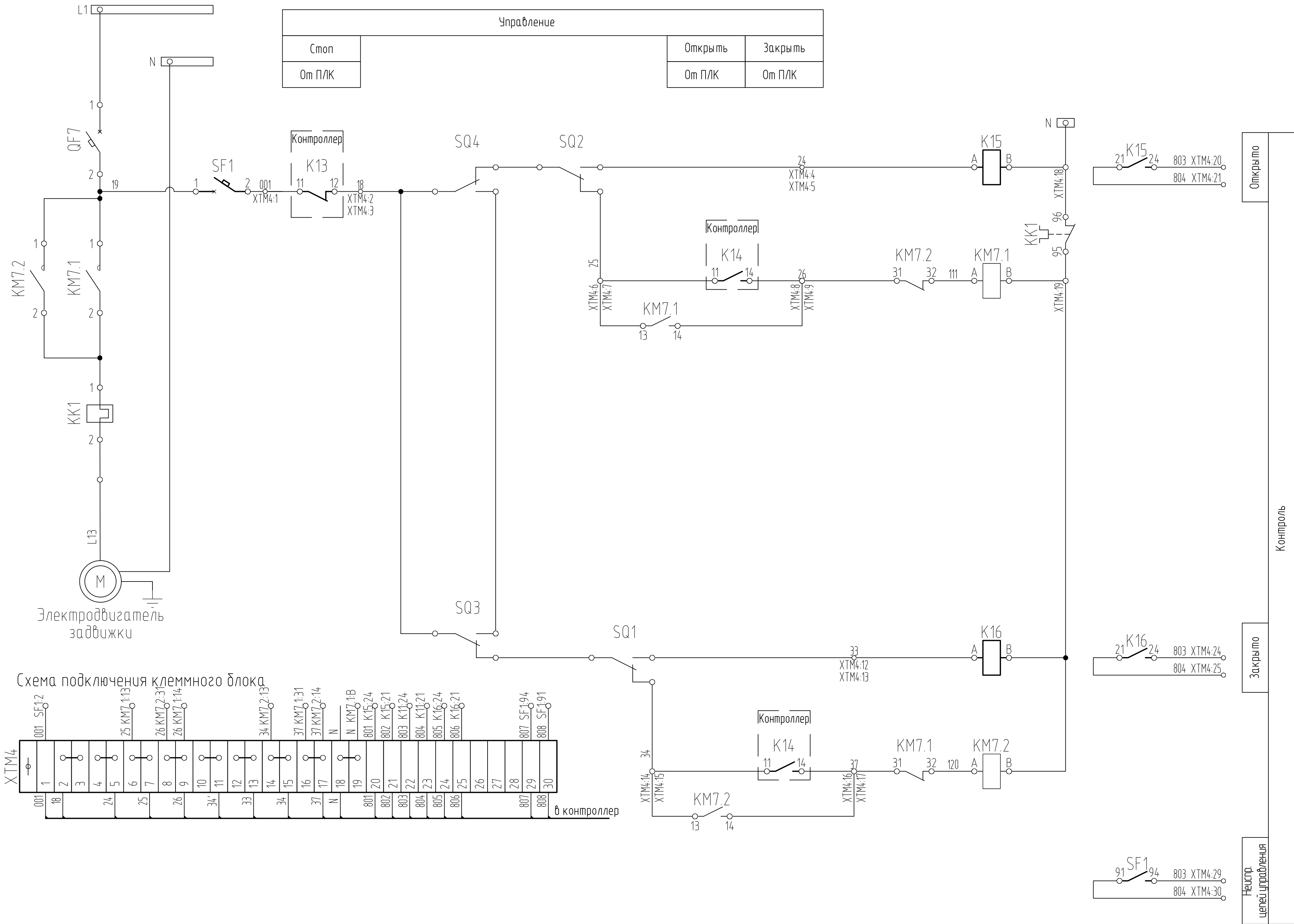
Исполнительный механизм	QF	KM	SF	XTM1
M1	QF1	KM1	SF1	XTM1
M2	QF2	KM2	SF1	XTM1
M3	QF3	KM3	SF1	XTM1
M4	QF4	KM4	SF1	XTM1
M5	QF5	KM5	SF1	XTM1
M6	QF6	KM6	SF1	XTM1

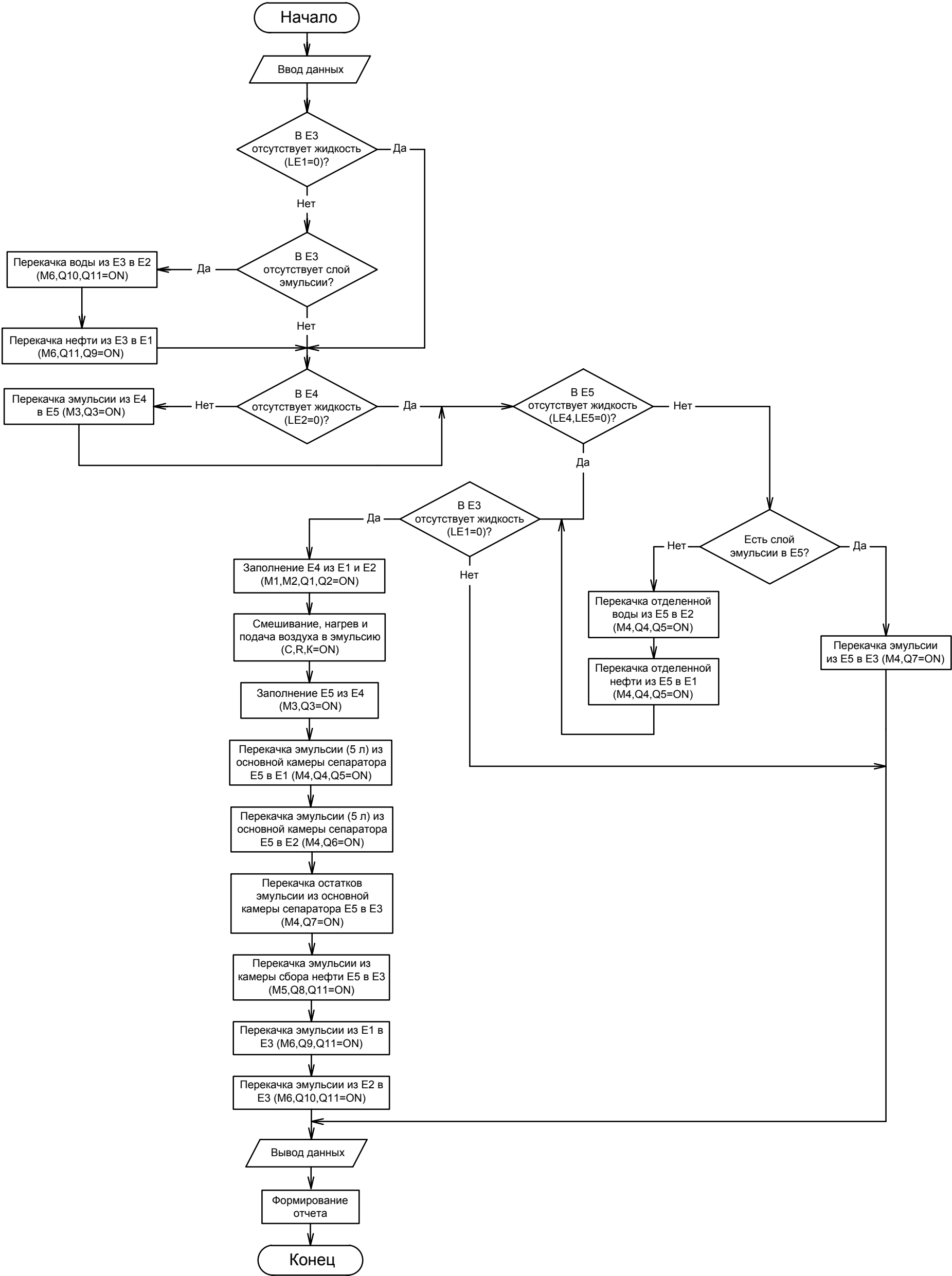
Поз. обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
QF1	Выключатель автоматический	1	
KM1	Магнитный пускатель	1	
SF1	Выключатель автоматический цепей управления	1	
XTM1	Клемная сборка	1	
K1, K2	Реле промежуточное. Напряжение катушки – 24 В DC. Контактная система – 1ПК 220 В AC, 6 А	2	

1 Схема выполнена для электродвигателя насоса М1. Для электродвигателей насосов М2, М3, М4, М5, М6 схема аналогична (см. таблицу применяемости).

						ФЮРА.425280.002		
						Автоматизация стенда физического подобия “Трехфазный сепаратор”		
Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		Стадия	Лист
Разраб.		Миронова			17.06.20		П	1
Пров.		Филипас			17.06.20			3
Н.контр.					17.06.20	Схема электрическая принципиальная управления электродвигателем насоса	ТПУ ИК ОАР гр. 8ТМ81	
							Формат А3	

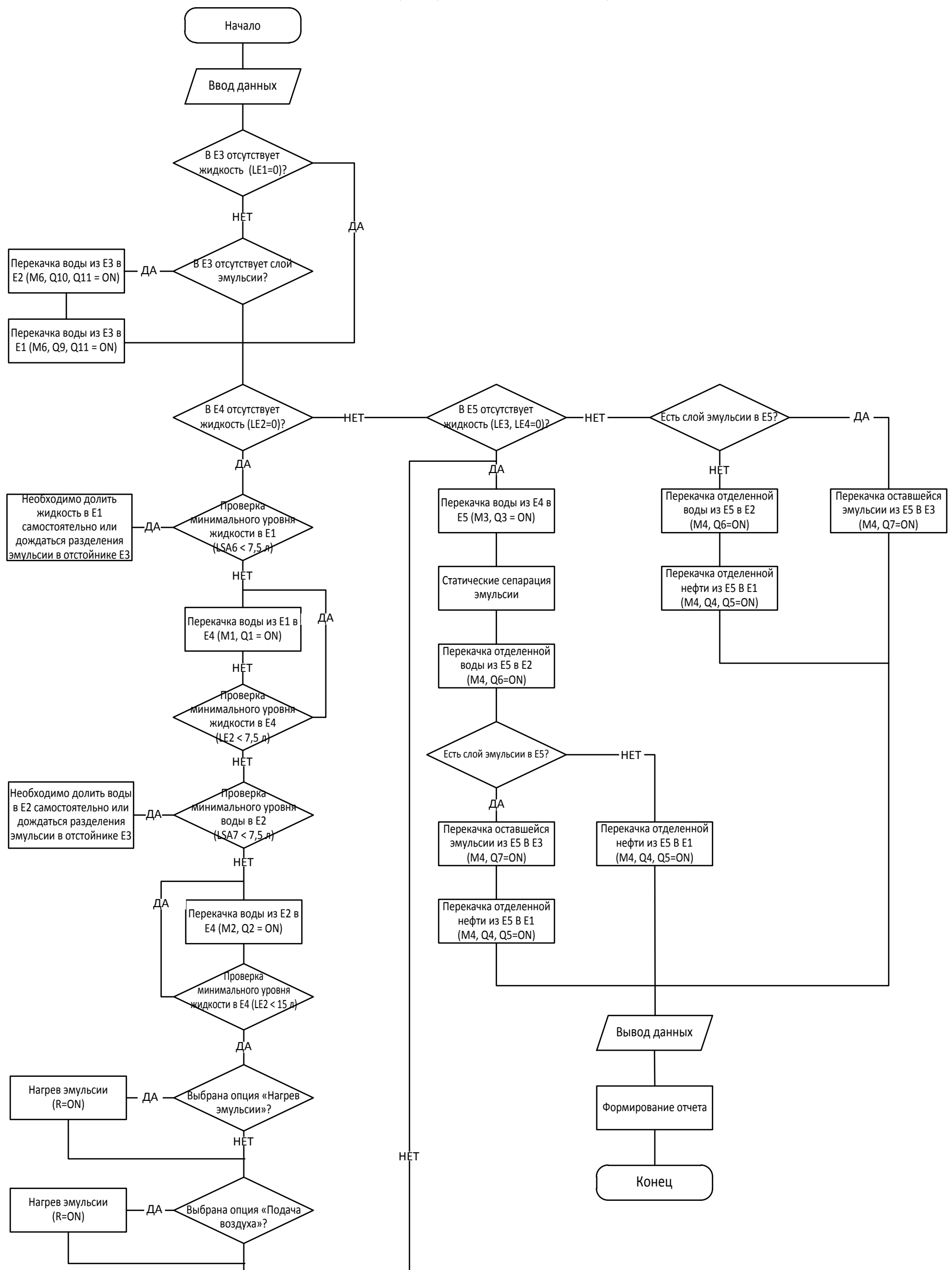
Согласовано		
	Взам. инв. №	
Подп. и дата		
Инф. № подл.		





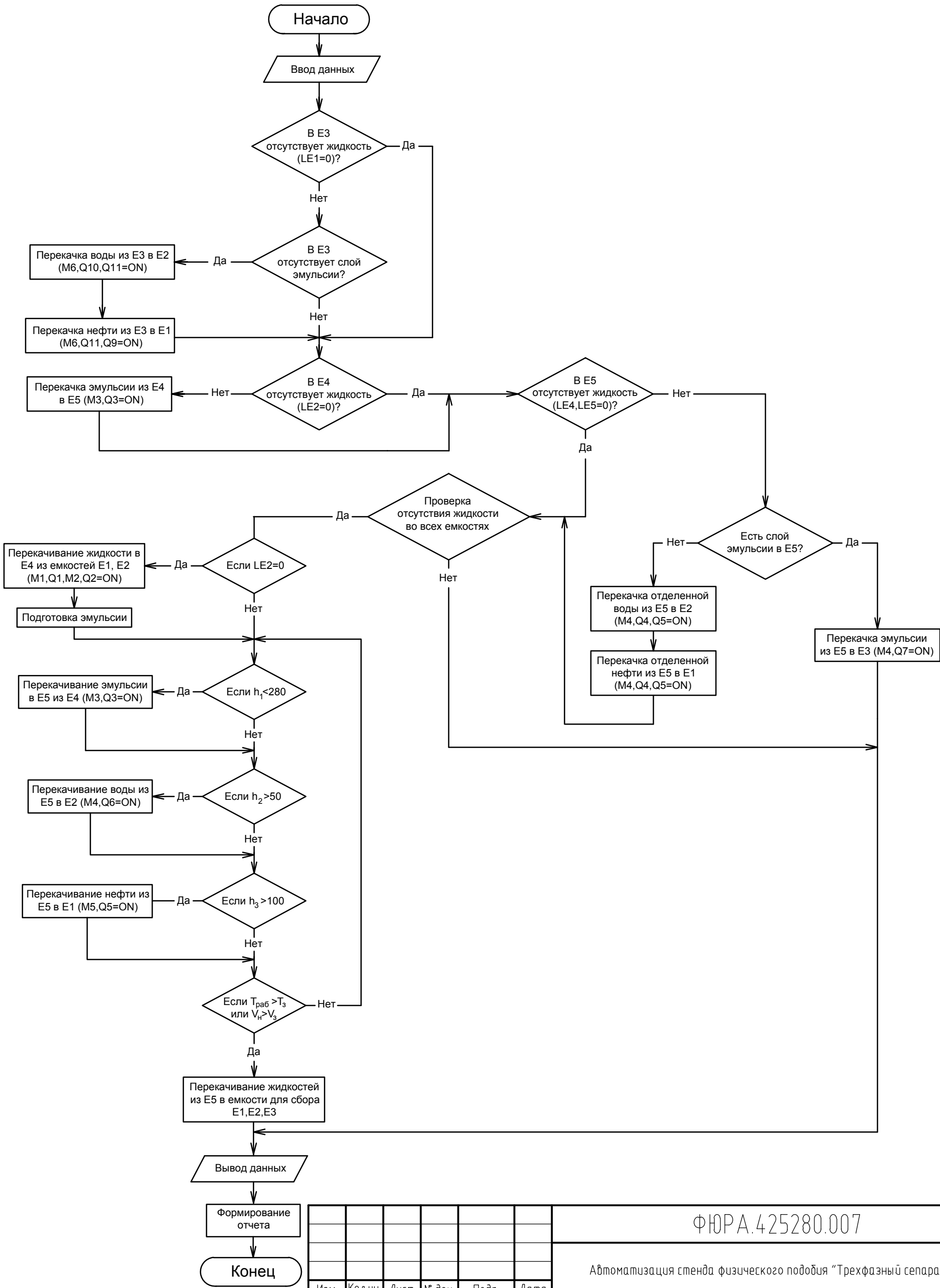
Согласовано					
Взам. инв. №					
Подп. и дата					
Инв. № подл.					

						ФЮРА.425280.005		
						Автоматизация стенда физического подоби		
						Автоматизация стенда физического подоби		
Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		Стадия	Лист
Разраб.		Миронова			17.06.20			
Проб.		Филипас			17.06.20	Блок-схема алгоритма технологического прогона оборудования стенда	П	1
Н.контр.					17.06.20	ТПУ ИК ОАР зр. 8ТМ81		



Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Согласовано			

						ФЮРА.425280.006			
						Автоматизация стенда физического подобия "Трехфазный сепаратор"			
Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата				
Разраб.		Миронова			17.06.20				Стадия
Проб.		Филипас			17.06.20				Лист
									Листов
									П
									1
Н.контр.					17.06.20	Блок-схема алгоритма работы стенда в статическом режиме			ТПУ ИК ОАР гр. 8ТМ81



Согласовано					
Взам. инв. №					
Подп. и дата					
Инв. № подл.					

						ФЮРА.425280.007			
						Автоматизация стенда физического подоби			
						Трехфазный сепаратор"			
Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		Стадия	Лист	Листов
Разраб.		Миронова			17.06.20		П	1	
Проб.		Филипас			17.06.20				
						Блок-схема алгоритма работы стенда в динамическом режиме	ТПУ ИК ОАР зр. 8ТМ81		
Н.контр.					17.06.20				

Приложение Е

(обязательное)

Результаты проведенных опытов

