

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

Школа Инженерная школа природных ресурсов
Направление подготовки 18.04.01 Химическая технология
Отделение школы (НОЦ) Отделение химической инженерии

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Совершенствование процессов разделения стойких водонефтяных эмульсий с использованием постоянного магнитного поля

УДК 665.614.066.3:537.63

Обучающийся

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2ДМ14	Чайкина Яна Игоревна		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОХИ ИШПР	Бешагина Е.В.	К.Х.Н.		

Со-руководитель ВКР (по разделу «Концепция стартап-проекта»)

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ШИП	Спицын В.В.	К.Э.Н		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ООД	Сечин А.А.	К.Т.Н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП, должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОХИ ИШПР	Долганов И.М.	К.Т.Н.		

Томск – 2023 г.

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОСВОЕНИЯ ООП
«Химическая технология топлива и газа»
(направление подготовки 18.04.01 «Химическая технология»)

Код компетенции	Наименование компетенции
Универсальные компетенции	
УК(У)-1	Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, выработать стратегию действий
УК(У)-2	Способен управлять проектом на всех этапах его жизненного цикла
УК(У)-3	Способен организовывать и руководить работой команды, выработывая командную стратегию для достижения поставленной цели
УК(У)-4	Способен применять современные коммуникативные технологии, в том числе на иностранном (-ых) языке (-ах), для академического и профессионального взаимодействия
УК(У)-5	Способен анализировать и учитывать разнообразие культур в процессе межкультурного взаимодействия
УК(У)-6	Способен определять и реализовывать приоритеты собственной деятельности и способы ее совершенствования на основе самооценки
Общепрофессиональные компетенции	
ОПК(У)-1	Способен организовывать самостоятельную и коллективную научно-исследовательскую работу, разрабатывать планы и программы проведения научных исследований и технических разработок
ОПК(У)-2	Способен использовать современные приборы и методики, организовывать проведение экспериментов и испытаний, проводить их обработку и анализировать их результаты
ОПК(У)-3	Способен разрабатывать нормы выработки, технологические нормативы на расход материалов, заготовок, топлива и электроэнергии, контролировать параметры технологического процесса, выбирать оборудование и технологическую оснастку
ОПК(У)-4	Способен находить оптимальные решения при создании продукции с учетом требований качества, надежности и стоимости, а также сроков исполнения, безопасности жизнедеятельности и экологической чистоты
Профессиональные компетенции	
ПК(У)-1	Способен к совершенствованию технологического процесса — разработке мероприятий по комплексному использованию сырья, по замене дефицитных материалов и изысканию способов утилизации отходов производства
ПК(У)-2	Способен оценивать эффективность новых технологий, модернизировать существующие технологии и внедрять технические решения в производство
ПК(У)-3	Способен осуществлять экспертный анализ технологий и управление технологическими процессами промышленной подготовки и переработки нефти и газа
ПК(У)-4	Способен проводить аналитический и метрологический контроль производства для обеспечения качества и безопасности выпускаемой продукции, хода технологического процесса, охраны окружающей среды
ПК(У)-5	Способен осуществлять выбор и эксплуатацию технологического оборудования для подготовки и переработки нефти и газа
ПК(У)-6	Способен использовать пакеты прикладных программ при мониторинге действующего процесса, выполнении проектных и/или исследовательских работ

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОСВОЕНИЯ ООП
«Цифровые технологии в проектировании нефтегазохимических производств»
(направление подготовки 18.04.01 «Химическая технология»)

Код компетенции	Наименование компетенции
Универсальные компетенции	
УК(У)-1	Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий
УК(У)-2	Способен управлять проектом на всех этапах его жизненного цикла
УК(У)-3	Способен организовывать и руководить работой команды, вырабатывая командную стратегию для достижения поставленной цели
УК(У)-4	Способен применять современные коммуникативные технологии, в том числе на иностранном (-ых) языке (-ах), для академического и профессионального взаимодействия
УК(У)-5	Способен анализировать и учитывать разнообразие культур в процессе межкультурного взаимодействия
УК(У)-6	Способен определять и реализовывать приоритеты собственной деятельности и способы ее совершенствования на основе самооценки
Общепрофессиональные компетенции	
ОПК(У)-1	Способен организовывать самостоятельную и коллективную научно-исследовательскую работу, разрабатывать планы и программы проведения научных исследований и технических разработок
ОПК(У)-2	Способен использовать современные приборы и методики, организовывать проведение экспериментов и испытаний, проводить их обработку и анализировать их результаты
ОПК(У)-3	Способен разрабатывать нормы выработки, технологические нормативы на расход материалов, заготовок, топлива и электроэнергии, контролировать параметры технологического процесса, выбирать оборудование и технологическую оснастку
ОПК(У)-4	Способен находить оптимальные решения при создании продукции с учетом требований качества, надежности и стоимости, а также сроков исполнения, безопасности жизнедеятельности и экологической чистоты
Профессиональные компетенции	
ПК(У)-1	Способен разрабатывать и применять математические модели для описания физико-химических явлений, качественного и количественного анализа процессов химической технологии
ПК(У)-2	Способен использовать пакеты прикладных моделирующих программ при выполнении проектных и/или исследовательских работ
ПК(У)-3	Способен проводить технологические и технические расчеты по проектам, технико-экономический анализ эффективности проекта
ПК(У)-4	Способен к совершенствованию технологического процесса — разработке мероприятий по комплексному использованию сырья, по замене дефицитных материалов и изысканию способов утилизации отходов производства
ПК(У)-5	Способен осуществлять экспертный анализ технологий подготовки и переработки нефти и газа
ПК(У)-6	Способен осуществлять выбор технологического оборудования для подготовки и переработки нефти и газа

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

Школа Инженерная школа природных ресурсов
Направление подготовки 18.04.01 Химическая технология
Отделение школы (НОЦ) Отделение химической инженерии

УТВЕРЖДАЮ:
Руководитель ООП
_____ И.М. Долганов
(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
2ДМ14	Чайкиной Яне Игоревне

Тема работы:

Совершенствование процессов разделения стойких водонефтяных эмульсий с использованием постоянного магнитного поля	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	31.01.2023 № 31-65/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	25.05.2023
--	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Объектом исследования являлась стойкая водонефтяная эмульсия ЯНАО.
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	<ol style="list-style-type: none">1 Литературный обзор<ol style="list-style-type: none">1.1 Эмульсии, общие понятия и определения1.2 Механизмы образования эмульсий при добыче и транспорте нефти1.3 Стабилизаторы нефтяных эмульсий1.4 Способы разрушения стойких водонефтяных эмульсий1.5 Механизм действия магнитной обработки1.6 Влияние магнитного поля на водонефтяные дисперсные системы1.7 Структурообразование и реологические свойства нефтяных дисперсных систем1.8 Влияние магнитного поля на рекомбинационные и структурообразующие процессы2 Объекты и методы исследования<ol style="list-style-type: none">2.1 Объект исследования2.2 Магнитная система2.3 Методика эксперимента3 Расчеты и аналитика

	4 Результаты исследования и их обсуждение 4.1 Результаты первого этапа исследования 4.2 Результаты второго этапа исследования 5 Концепция стартап-проекта 6 Социальная ответственность
Перечень графического материала	Нет
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Концепция стартап-проекта	Спицын Владислав Владимирович
Социальная ответственность	Сечин Андрей Александрович

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

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОХИ ИШПР	Бешагина Е.В.	к.х.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2ДМ14	Чайкина Яна Игоревна		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«КОНЦЕПЦИЯ СТАРТАП-ПРОЕКТА»**

Студенту:

Группа	ФИО
2ДМ14	Чайкиной Яне Игоревне

Школа	Инженерная школа природных ресурсов	Отделение (НОЦ)	Отделение химической инженерии
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	18.04.01 «Химическая технология»

Перечень вопросов, подлежащих разработке:

<i>Проблема конечного потребителя, которую решает продукт, который создается в результате выполнения НИОКР (функциональное назначение, основные потребительские качества)</i>	Разрабатываемая магнитная установка, включающая редкоземельные металлы, позволит решить ключевую проблему: в разделения стойких водонефтяных эмульсий, тем самым повысив эффективность процесса подготовки нефти к переработке.
<i>Способы защиты интеллектуальной собственности</i>	Защита интеллектуальной собственности предполагается, как патент на магнитную систему.
<i>Объем и емкость рынка</i>	Доступный объем рынка составляет 1 460 млн. руб. Оценка рынка проводится от спроса, то есть той проблемы которую мы решаем, следовательно, проблемы разделения водонефтяных эмульсий. В виду того что при подготовке нефти почти все компании используют химические реагенты, поэтому мы производим оценку рынка технических решений, а так как при разделении водонефтяных эмульсий используют, поэтому будем определять объем рынка по объемам покупок этого решения
<i>Современное состояние и перспективы отрасли, к которой принадлежит представленный в ВКР продукт</i>	В Томской области давно в разработке находятся 18 из 84 разведанных месторождений нефти, которые характеризуются высоким сроком выработки и обводненностью, что влечет за собой высокие энергозатраты. В России свыше 90 % всей нефти добывают из заводняемых месторождений. Объем еще не разведанных нефтяных ресурсов Томской области больше разведанных примерно в 1,8 раза. Нефтедобыча в Томской области будет продолжаться еще много лет.
<i>Себестоимость продукта</i>	Конечная стоимость продукции рассчитана на основе уровня постоянных и переменных расходов.
<i>Конкурентные преимущества создаваемого продукта</i>	Был выявлен ряд преимуществ метода по сравнению с другими способами разделения,

	отличительными являются: увеличение эффективности разделения, снижение энергозатрат на подготовку нефти к переработке, сокращение выбросов химических реагентов.
<i>Сравнение технико-экономических характеристик продукта с отечественными и мировыми аналогами</i>	Было проведено сравнение разрабатываемого продукта с другими методами, на основании которых создаются установки для разделения стойких водонефтяных эмульсий.
<i>Целевые сегменты потребителей создаваемого продукта</i>	Потребителем создаваемого продукта является нефтедобывающая отрасль.
<i>Бизнес-модель проекта, производственный план и план продаж</i>	Была составлена бизнес-модель по методу Александра Остервальдера.
<i>Стратегия продвижения продукта на рынок</i>	Конференции, выставки, публикации, обращение напрямую в нефтедобывающие компании, сотрудничество с инжиниринговыми компаниями
Перечень графического материала:	
<i>При необходимости представить эскизные графические материалы (например, бизнес-модель)</i>	Бизнес-модель продукта

Дата выдачи задания к разделу в соответствии с календарным учебным графиком

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

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ШИП	Спицын В.В.	к.э.н.		

Задание принял к исполнению обучающийся:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2ДМ14	Чайкина Я.И.		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа 2ДМ14		ФИО Чайкиной Яне Игоревне	
Школа	Инженерная школа природных ресурсов	Отделение (НОЦ)	Отделение химической инженерии
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	18.04.01 «Химическая технология»

Тема ВКР:

Совершенствование процессов разделения стойких водонефтяных эмульсий с использованием постоянного магнитного поля

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

<p>Введение</p> <ul style="list-style-type: none"> – Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика) и области его применения. – Описание рабочей зоны (рабочего места) при разработке проектного решения/при эксплуатации. 	<p><i>Объект исследования:</i> Водонефтяные эмульсии Томской области.</p> <p><i>Область применения:</i> Повышение эффективности разделения стойких водонефтяных эмульсий.</p> <p><i>Рабочая зона:</i> 129 аудитория, 2 корпус ТПУ.</p> <p><i>Размеры помещения:</i> 30*5 м.</p> <p><i>Количество и наименование оборудования рабочей зоны:</i> персональный компьютер с периферией, рабочий стол, смешанное освещение.</p> <p><i>Рабочие процессы, связанные с объектом исследования, осуществляющиеся в рабочей зоне:</i> разработка гидродинамической модели с помощью специализированного программного обеспечения, с последующим применением модели при промышленной подготовки нефти.</p>
---	--

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности при разработке проектного решения:</p> <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	<p>ГОСТ 12.2.032-78. Рабочее место при выполнении работ сидя;</p> <p>Трудовой кодекс РФ от 30.12.2001 N 197-ФЗ;</p> <p>СП 2.2.3670-20. Санитарно-эпидемиологические требования к условиям труда;</p> <p>ГОСТ 12.1.004-91. Пожарная безопасность. Общие требования.</p>
<p>2. Производственная безопасность при разработке проектного решения:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Анализ выявленных вредных и опасных производственных факторов. – Расчет уровня опасного или вредного производственного фактора. 	<p>Вредные факторы:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Отсутствие или недостаток необходимого искусственного освещения; 2. Статические физические перегрузки, связанные с рабочей позой; 3. Умственное перенапряжение, в том числе вызванное информационной нагрузкой; 4. Монотонность труда, вызывающая монотонию. <p>Опасные факторы:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Нервно-психические перегрузки, связанные с напряженностью трудового процесса; 2. Поражение электрическим током.

	<p>Требуемые средства коллективной и индивидуальной защиты от выявленных факторов: осветительные приборы, устройства автоматического отключения.</p> <p>Расчет: расчет системы искусственного освещения.</p>
<p>3. Экологическая безопасность <u>при разработке проектного решения</u></p>	<p>Воздействие на селитебную зону: утилизация бытового мусора и ПЭВМ.</p> <p>Воздействие на литосферу: перекрытие почвенного слоя бытовыми отходами.</p> <p>Воздействие на атмосферу: утилизация люминесцентных ламп.</p>
<p>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях <u>при разработке проектного решения</u></p>	<p>Возможные ЧС: внезапное обрушение здания, авария на коммунальных системах жизнеобеспечения, пожар, угроза пандемии.</p> <p>Наиболее типичная ЧС: возникновение пожара на рабочем месте.</p>
<p>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</p>	

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ООД	Сечин А.А.	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2ДМ14	Чайкина Яна Игоревна		

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

Школа Инженерная школа природных ресурсов
Отделение школы (НОЦ) Отделение химической инженерии
Направление подготовки 18.04.01 Химическая технология
Профиль «Химическая технология топлива и газа»
Уровень образования магистратура
Период выполнения весенний семестр 2022/2023 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:	25.05.2023
--	------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
11.03.2023 г.	Введение	10
25.03.2023 г.	Литературный обзор: эмульсии, общие понятия и определения; механизмы образования эмульсий при добыче и транспорте нефти; стабилизаторы нефтяных эмульсий; способы разрушения стойких водонефтяных эмульсий; механизм действия магнитной обработки; влияние магнитного поля на водонефтяные дисперсные системы; структурообразование и реологические свойства нефтяных дисперсных систем.	10
08.04.2023 г.	Объекты и методы исследования: объект исследования; магнитная система (источник постоянного магнитного поля); методика эксперимента.	15
27.04.2023	Расчеты и аналитика: оценка результатов эксперимента.	5
29.04.2023 г.	Результаты исследования и их обсуждение: результаты первого этапа исследования (лабораторная часть эксперимента, сбор данных) и результаты второго этапа исследования (расчетная часть с построением гидродинамической модели в программном обеспечении Ansys-Fluent).	50
25.05.2023 г.	Раздел «Концепция стартап-проекта». Раздел «Социальная ответственность». Заключение.	10

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОХИ ИШПР	Бешагина Е.В.	к.х.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2ДМ14	Чайкина Яна Игоревна		

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОХИ ИШПР	Долганов И.М.	д.т.н.		

Реферат

Выпускная квалификационная работа 156 страниц, 42 рисунка, 26 таблиц, 53 источника, 1 приложение.

Ключевые слова: нефть, стойкая водонефтяная эмульсия, магнитная обработка, постоянное магнитное поле, гидродинамическая модель.

Работа представлена введением, шестью разделами и выводами, приведен список использованных источников.

Объектом исследования являлась стойкая водонефтяная эмульсия ЯНАО.

Предметом исследования является оценка эффективности действия постоянного магнитного поля на процесс разделения водонефтяных эмульсий.

Цель работы: совершенствование процессов разделения стойких водонефтяных эмульсий с использованием постоянного магнитного поля.

В процессе исследования проводились лабораторные испытания магнитной обработки на свойства водонефтяной эмульсии, определение гидродинамических свойств после магнитной обработки, построение гидродинамической модели.

В результате исследования были определены физико-химические свойства нефтей исследуемых месторождений; проведена магнитная обработка нефтей и оценка её эффективности; показана эффективность магнитной обработки; разработана гидродинамическая модель магнитной системы.

Также была рассчитана экономическая эффективность и изучена социальная ответственность.

Область применения: промысловая подготовка нефти в процессе обезвоживания и обессоливания.

Значимость работы: результаты исследования могут использоваться при промысловой подготовке нефти.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	15
1 Литературный обзор	18
1.1 Эмульсии, общие понятия и определения.....	18
1.2 Механизмы образования эмульсий при добыче и транспорте нефти	21
1.3 Стабилизаторы нефтяных эмульсий	23
1.4 Способы разрушения стойких водонефтяных эмульсий	24
1.5 Механизм действия магнитной обработки.....	25
1.6 Влияние магнитного поля на водонефтяные дисперсные системы.....	27
1.7 Структурообразование и реологические свойства нефтяных дисперсных систем	29
1.8 Влияние магнитного поля на рекомбинационные и структурообразующие процессы.....	31
2 Объекты и методы исследования	35
2.1 Объект исследования	35
2.2 Магнитная система.....	35
2.3 Методика эксперимента	41
3 Расчеты и аналитика.....	47
4 Результаты исследования и их обсуждение	48
4.1 Результаты первого этапа исследования	48
4.2 Результаты второго этапа исследования	53
5 Концепция стартап-проекта	75
5.1 Название	75
5.2 Описание продукта как результата НИР	75
5.3 Защита интеллектуальной собственности	76
5.4 Объем и емкость рынка	81
5.5 Анализ современного состояния и перспектив развития отрасли	82
5.7 Конкурентные преимущества создаваемого продукта, сравнение технико-экономических характеристик с отечественными и мировыми аналогами.....	90
5.8 Целевых сегменты потребителей создаваемого продукта.....	94

5.9 Бизнес-модель проекта	95
5.10 Стратегия продвижения продукта на рынок	100
6 Социальная ответственность	103
6.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	104
6.2.1 Отсутствие или недостаток необходимого искусственного освещения ..	107
6.2.1.1 Расчет системы искусственного освещения.....	108
6.2.2 Статические физические перегрузки, связанные с рабочей позой	112
6.2.3 Перечень факторов, связанных с нервно-психическими перегрузками, умственной работой, монотонией	113
6.2.4 Поражение электрическим током.....	114
6.3 Экологическая безопасность.....	115
6.3.1 Воздействие на селитебную зону и литосферу.....	115
6.3.2 Воздействие на атмосферу	116
6.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	117
6.5 Вывод по разделу социальная ответственность.....	119
Заключение	120
Список публикаций студента.....	121
Список использованных источников	129
Приложение А	135

Введение

При разработке нефтяных скважин увеличивается доля закачиваемой воды в пласт, это приводит к тому, что образуются водонефтяные эмульсии с высокой степенью обводненности.

На сегодняшний день содержание воды в нефти может достигать до 95 – 98 %. Высокое содержание воды в нефтяных пластах является одной из основных технических, экологических и экономических проблем, связанных с добычей нефти. Вода, добытая с нефтью, ограничивает продуктивный срок службы резервуара и вызывает серьезные проблемы, включая коррозию трубопровода, миграцию мелких частиц и гидростатическую нагрузку. Воздействие на окружающую среду, очистка пластовых вод, правила очистки и утилизации могут существенно повлиять на рентабельность нефтедобычи.

Одной из главных проблем при разделении водонефтяных эмульсий является подбор эффективных комплексов для их разделения. Для решения этого вопроса в последние годы усилился интерес к малоэнергетическим воздействиям, а именно энергии постоянного магнитного поля, поскольку она является одной из наиболее эффективных, экономичных и доступных видов энергии, которые способствуют разделению водонефтяных эмульсий.

Магнитные устройства были разработаны в этой области, но их эффективность и долговечность не рассматривались. Поэтому задача создания магнитных устройств для разделения устойчивых водонефтяных эмульсий является актуальной и востребованной. Важнейшей задачей данной работы является разработка магнитной системы для разделения устойчивых и аномально устойчивых водонефтяных эмульсий.

Таким образом, **целью работы** является совершенствование процессов разделения стойких водонефтяных эмульсий с использованием постоянного магнитного поля.

Для достижения данной цели были выделены следующие **задачи**:

1. Изучить теоретические основы образования, стабилизации, способы разрушения водонефтяных эмульсий, а также механизм влияния магнитного поля на их разделение.
2. Определить физико-химические свойства стойкой водонефтяной эмульсии исследуемого месторождения.
3. Исследовать эффективность действия постоянного МП на процесс разделения стойкой водонефтяной эмульсии.
4. Определить гидродинамические свойства исследуемого образца.
5. Разработать гидродинамическую модель магнитной системы.

Объектом исследования в данной работе являлась стойкая водонефтяная эмульсия ЯНАО.

Предметом исследования является оценка эффективности действия постоянного магнитного поля на процесс разделения водонефтяных эмульсий.

Научная новизна работы: магнитные блоки, установленные на немагнитной трубе, через которую проходит жидкость, шунтируются стальными пластинами из низкоуглеродистой стали. Протекающая по немагнитной трубе жидкость преодолевает аксиальное, диаметрально и скалярное направление магнитных полей, так называемых скалярными полями, создаваемыми дополнительным намагничиванием и шунтирующими пластинами. В результате чего образуется объемное магнитное поле, которое препятствует рассеиванию силовых линий вдоль движущегося потока водонефтяной эмульсии и является следствием увеличения времени прохождения эмульсии в магнитной системе, за счет чего возникает эффективное напряжение и последующее разделение. Дополнительный технический результат заключается в экологической безопасности изобретения, которая достигается за счет уменьшения количества деэмульгатора, используемого при разделении водонефтяной эмульсии с 500 г/т нефти до 50 – 70 г/т нефти, отсутствия подвода электроэнергии и продолжительного срока службы системы, из-за применения антикоррозионных и устойчивых к температуре магнитов.

Практическая значимость работы: предложенная магнитная система обладает большим потенциалом в качестве применения для разделения стойких водонефтяных эмульсий на промысле, повысив эффективность процесса на 43 %.

Апробация работы: основные положения работы были представлены:

- Диплом II степени на XII Международной конференции «ГАЗОХИМИЯ. НЕФТЕХИМИЯ. ВОЗМОЖНОСТИ ЗЕЛЕННОГО БУДУЩЕГО», 2021 г.
- Диплом III степени на X Молодежной международной научно-практической конференции «Новые технологии в газовой отрасли: опыт и преемственность» за доклад «Оценка воздействия магнитной системы на гидродинамические свойства стойкой водонефтяной эмульсии», 2022 г.
- Диплом III степени на XVIII Международной научно-практической конференции старшеклассников, студентов и аспирантов «МОЛОДЁЖЬ И НАУКА» за доклад «Изменение гидродинамических свойств стойкой водонефтяной эмульсии при воздействии постоянного магнитного поля в трубопроводе», 2022 г.
- Диплом за практическую значимость на XV Региональной конференции молодых специалистов АО «ТомскНИПИнефть» секция «Технология добычи, транспорта нефти, эксплуатации месторождений, утилизации газа», 2022 г.

Разработанная магнитная система проходит опытно-промышленные испытания в ЯНАО.

1 Литературный обзор

Нефть на каждом этапе её добычи смешивается с водой. Продолжительный срок эксплуатации месторождений способствует увеличению доли содержащейся воды в нефти, что приводит к увеличению полученной эмульсионной нефти и вносит значительные осложнения в технологию механизированной добычи, сбора и подготовки товарной нефти. Осложнения чаще всего связаны с образованием в стволе скважин водонефтяных эмульсий, обладающих высокими значениями вязкости и стойкостью к разрушению. Все это приводит к увеличению эксплуатационных расходов и себестоимости нефти [1 – 3].

Разрушение водонефтяных эмульсий и их эффективное разделение на промысле остается одной из важнейших задач и экспериментального исследования в этой области.

1.1 Эмульсии, общие понятия и определения

В процессе добычи и переработки нефти неизбежно происходит ее смешение с водой, что приводит к образованию водонефтяных эмульсий. Это происходит при фильтрации обводненной нефти, выходе из скважины и процессе обессоливания [4].

Эмульсии – это дисперсные системы двух жидкостей, которые не смешиваются друг с другом. Одна жидкость диспергируется в другой в виде мелких капель. Эмульсии состоят из двух фаз: внешней - дисперсионной среды, и внутренней - дисперсной фазы. Внешняя фаза содержит мельчайшие капли другой жидкости, а внутренняя - мелкие капли, распределенные в дисперсионной среде.

При создании эмульсии увеличивается поверхность диспергированной фазы, что требует дополнительной работы, концентрирующейся на поверхности раздела фаз в виде свободной поверхностной энергии. Эта энергия называется поверхностным натяжением [5], которое представляет собой энергию,

необходимую для образования единицы межфазной поверхности. Капли внутренней фазы имеют форму сферы, так как она имеет наименьшую поверхность и, соответственно, наименьшую свободную энергию для определенного объема.

Водонефтяные эмульсии представляют собой смесь нефти с пластовой водой, которые находятся в мелкодисперсном состоянии и нерастворимы друг в друге.

Водонефтяные эмульсии обладают различной устойчивостью, т.е. способностью системы в течение определенного времени не разрушаться и не разделяться на нефть и воду. Говоря об их устойчивости, нужно различать два понятия: кинетическую и агрегативную устойчивость [6].

Способность системы не позволять оседать или всплывать частицам дисперсной фазы под действием сил тяжести называется кинетической устойчивостью. А способность частиц дисперсной фазы при их столкновении друг с другом или границей раздела фаз сохранять первоначальный размер называется агрегативной устойчивостью.

На стабильность водонефтяных эмульсий влияют различные факторы, одним из которых является дисперсность системы. Система, состоящая из капель одного размера, называется монодисперсная, и, состоящая из капель разного размера – полидисперсная система. Как правило, водонефтяные эмульсии относятся к полидисперсным системам.

По дисперсности различают следующие типы водонефтяных эмульсий [6]:

- мелкодисперсные – размер капель воды от 0,2 до 20 мкм,
- средней дисперсности – размер капель воды от 20 до 50 мкм,
- грубодисперсные – размер капель воды от 50 до 300 мкм.

Увеличение дисперсности водонефтяной эмульсии способствует ее устойчивости при прочих равных условиях.

В основном разрушение эмульсий сопровождается технологическими процессами, основанными на деэмульгировании, т.е. обезвоживание сырой нефти, очистке сточных вод и других процессах.

Процесс, сопровождающийся укрупнением диспергированных частиц, который под действием молекулярных сил сцепления при броуновском движении на расстояние сферы действия сил сцепления вызывает их слипание, называется коагуляцией. Силы, препятствующие этому сближению, называются электростатические силы отталкивания частиц.

Процесс коагуляции может происходить в результате изменения состава дисперсионной среды, увеличения температуры или при добавлении деэмульгатора.

Различают два основных способа разрушения водонефтяных эмульсий, которые основываются на процессах седиментации и коалесценции.

Процесс, сопровождающийся оседанием частиц дисперсной фазы жидкости или газе под действием сил тяжести или центробежных сил, называется седиментацией. Скорость процесса зависит от таких факторов как [6]: размер, масса, форма и плотность вещества частицы, плотность и вязкость среды, также от ускорения, гравитационных сил и центробежных сил, которые действуют на частицы.

Коалесценция - это процесс окончательного разрушения водонефтяной эмульсии, в котором капли дисперсной фазы сливаются, образуя большие глобулы, и затем образуют одну большую каплю, не распадающуюся при слабом перемешивании [6]. Этот процесс происходит в две стадии - флокуляцию и коалесценцию. Флокуляция происходит на первой стадии, где капли агрегируются в большие глобулы, которые легко распадаются при слабом перемешивании. На второй стадии происходит сама коалесценция, где капли в агрегате сливаются, образуя одну большую каплю, не распадающуюся при слабом перемешивании. Этот процесс необратимый, поскольку для разрушения большой капли на более мелкое необходимо сильное перемешивание.

1.2 Механизмы образования эмульсий при добыче и транспорте нефти

Для эффективного выбора способа деэмульгирования нефти нужно знать механизм образования водонефтяных эмульсий и их свойства. В пласте водонефтяные эмульсии не образуются, их образование начинается при движении нефти по скважине к устью и сопровождается на всем этапе движения по промысловым коммуникациям. Дальнейшая транспортировка водонефтяной эмульсии протекает без значительных изменений. Характер месторождения, период его эксплуатации и физико-химические свойства нефти определяют способ её добычи, который в свою очередь во многом влияет на интенсивность образования эмульсии. На сегодняшний день любое месторождение эксплуатируется одним из известных способов [4]: фонтанным, компрессорным или глубиннонасосным.

Фонтанный способ добычи нефти характерен для начального периода эксплуатации месторождения, который сопровождается большим отбором жидкости из скважины. Выделение растворенных газов из нефти при снижении давления ниже давления насыщения способствует интенсивному смешению воды и нефти в подъемных трубах, что влечет за собой образование эмульсий на более ранней стадии движения смеси.

Компрессорная добыча нефти сопровождается образованием эмульсий, что и при фонтанном способе добычи. Особенно отрицательное влияние на добываемую нефть оказывает закачка воздуха вместо газа в скважину, поскольку воздух окисляет часть тяжелых углеводород с образованием асфальто-смолистых веществ.

Глубиннонасосный способ добычи нефти сопровождается образованием эмульсий в технологических частях насосного оборудования: в клапанных коробках, цилиндре наноса, подъемных трубах при возвратно-поступательном движении насосных штанг, самих клапанах. Использование электропогружного насосного оборудования также приводит к перемешиванию нефти и воды и

образованию водонефтяных эмульсий на рабочих колесах насоса, в подъемных трубах.

Все способы добычи нефти, где происходит интенсивное перемешивание с водой, характеризуются образованием водонефтяных эмульсий, которые в свою очередь формируются из-за двух конкурирующих процессов: дробления (диспергирования) и коалесценции (слияния) капель дисперсной фазы. От преобладания одного из этих процессов водонефтяная эмульсия имеет различную дисперсность. Динамическое же равновесие эмульсии наблюдается при равных скоростях дробления и коалесценции капель дисперсной фазы.

Согласно П.А. Ребиндеру [7] механизм образования эмульсии заключается в первоначальном удлинении глобулы воды в поле сдвиговых деформаций, в результате чего она становится в форме цилиндра. Удлинение глобулы сопровождается увеличением межфазной поверхности контакта нефти и воды. При достижении критической длины, которая исчисляется двумя размерами первоначальной глобулы, глобула в форму цилиндра «разрывается» на более мелкие капли разных диаметров.

Данный механизм имеет место быть при деформации в виде вязких напряжений, которые действуют вдоль сечения капель. В результате турбулентного течения потока жидкости разрушение капель под действием этих напряжений наблюдается уже для капель, имеющих диаметр меньше микромасштаба турбулентности. При увеличении размера диаметра капли большое влияние оказывает действие пульсации потока, из-за которого капля воды в потоке нефти становится неправильной формы и, если частота наложенной пульсации совпадет с частотой собственных колебаний, рвется на более мелкие составляющие.

Из-за разного размера капель водонефтяной эмульсии и различных режимов движения потока эмульгирование происходит как под действием вязких, так и динамических сил.

1.3 Стабилизаторы нефтяных эмульсий

В результате эмульгирования водонефтяных систем на развитой поверхности раздела фаз нефть-вода за счет адсорбционно-адгезионных процессов накапливаются различные молекулярно- и коллоидно-диспергированные вещества [8], называемые природными стабилизаторами водонефтяных эмульсий, которые одновременно содержат полярную группу и неполярный углеводородный радикал. Первая группа определяет родственную связь эмульгатора с водой. Углеводороды схожи с углеводородными веществами в жидком состоянии. Соотношение величины обеих групп определяет устойчивость эмульсий. В результате их взаимодействия с нефтяной и водной фазами и друг с другом образуются механически прочные защитные пленки, которые препятствуют процессу коалесценции, но не флокуляции капель воды в нефти. Большинство природных стабилизаторов нефти относятся к поверхностным активным веществам.

В работах авторов [8, 9] говорится об существенном различии состава защитных слоев водонефтяных эмульсий. Основными стабилизаторами являются смолы и асфальтены. Помимо них также могут присутствовать соли тяжелых металлов и нафтеновых кислот; твердые частицы минеральных суспензий с поверхностью, включающей полярные компоненты нефти, и микрокристаллы парафина. Наличие защитных оболочек природных стабилизаторов нефти на поверхности капель эмульгированной воды влияет на устойчивость водонефтяных эмульсий, поскольку они механически препятствуют агрегированию и коагуляции капель.

1.4 Способы разрушения стойких водонефтяных эмульсий

Как рассматривалось ранее, длительный срок эксплуатации месторождения способствует увеличению содержания воды в нефти и, как следствие, образованию водонефтяных эмульсий, которые необходимо разделить для дальнейшей транспортировки нефти по трубопроводу. На сегодняшний день основными способами разрушения водонефтяных эмульсий являются [10]: механический, термический, химический, электрический.

Однако для разделения же стойких эмульсий применяют различные комбинированные методы [11], включающие в себя несколько других методов. Рассмотрим некоторые из них.

Одним из простейших механических способов разрушения водонефтяных эмульсий является гравитационное отстаивание в сосудах большой емкости, где нефть пребывает в течение 2 – 3 ч. Однако в отдельности этот метод малопроизводителен и в чистом виде практически не применяется, поэтому вместе с ним используют химический метод, основанный на введении деэмульгатора в водонефтяную систему, посредством которого вытесняется или растворяется действующий эмульгатор, благодаря чему эмульсия разрушается.

Термохимический способ основан на предварительном нагревании водонефтяной эмульсии с последующем в нее вводом деэмульгатора. Наиболее эффективен при применении высококачественных деэмульгаторов. Более совершенным методом является разрушение водонефтяной эмульсии в герметизированной аппаратуре, где в присутствии деэмульгатора под давлением до 0,9 МПа (9 кгс/см²) нефть, предварительно нагретая в теплообменниках или печах до 150 – 155 °С, отстаивается от воды. Способ доказывает свою эффективность при разрушении стойких эмульсий, тяжелых нефтей.

Ещё одним способом разрушения стойких водонефтяных эмульсий является электрохимический метод, который основан на первоначальном отстое нефти с деэмульгатором и последующем её пропускании через электрическое поле, преимущественно переменной промышленной частоты и высокого

напряжения (15 – 44 кВ). За счет индукции электрического поля, диспергированные капли воды поляризуются, вытягиваются с разрушением защитных пленок, а результат частой смены полярности электродов приводит к увеличению вероятности их столкновения и укрупнения, что позволяет достичь глубокой очистки нефти от воды.

При промысловой подготовке нефти всегда остро стояла проблема разделения стойких водонефтяных эмульсий в связи с недостаточно эффективным воздействием деэмульгаторов. Для повышения их эффективности, в особенности при подготовке стойких и аномальностойких водонефтяных эмульсий, особо выделяется обработка эмульсии магнитным полем [12]. Проведены исследования магнитной обработки водонефтяной эмульсии с применением постоянных и переменных полей. При этом наблюдается снижение агрегативной устойчивости водонефтяной эмульсии, коррозионной активности эмульсии и снижение отложений хлористых солей и парафинов. Существуют различные технологии и оборудование, подробно отраженные в литературе [13 – 15].

1.5 Механизм действия магнитной обработки

На первых стадиях водонефтяная эмульсия представляет собой субстанцию «вода в нефти» или «нефть в воде», причем на границах раздела фаз образуются так называемые «бронирующие оболочки», которые не дают разрушиться эмульсии. Вытесняя менее активные природные эмульгаторы, молекулы деэмульгатора адсорбируются на границе раздела фаз. И несмотря на небольшую прочность образующейся их пленки, действие гравитационных сил недостаточно для быстрого осаждения и коалесценции мелких капелек [16].

Для ускорения процесса адсорбционного замещения можно использовать термические способы отстаивания водонефтяной эмульсии [17]. Однако это решение не всегда является целесообразным и реализуемым. Решить данную

проблему можно за счет применения магнитной обработки эмульсии (рисунок 1).

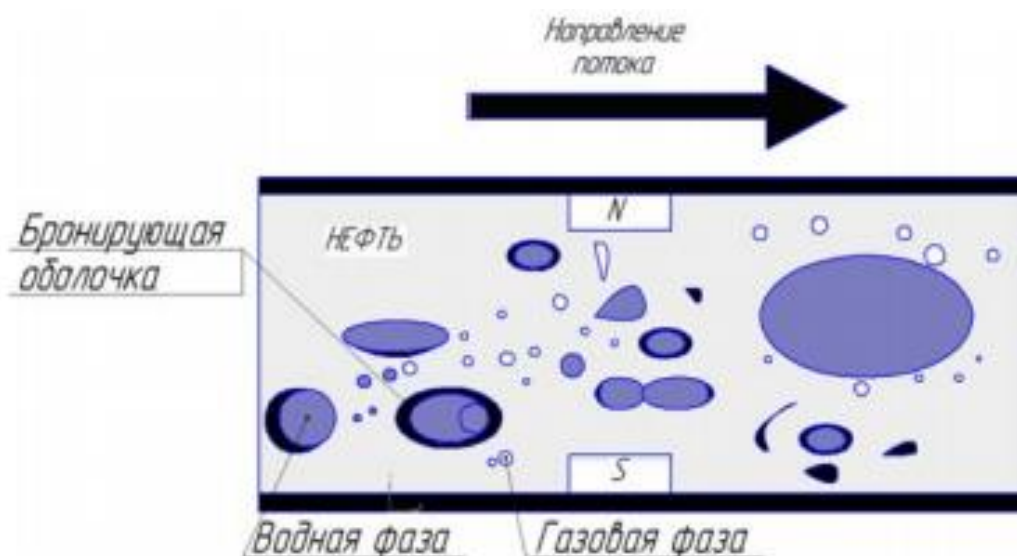


Рисунок 1 – Воздействие магнитного поля на водонефтяную эмульсию

За счет магнитного поля происходит поляризация капелек воды, что является их следствием взаимного притяжения. В результате чего происходит значительное ускорение процесса коагуляции и коалесценции капелек воды (рисунок 2), что приводит к их быстрому отстою.

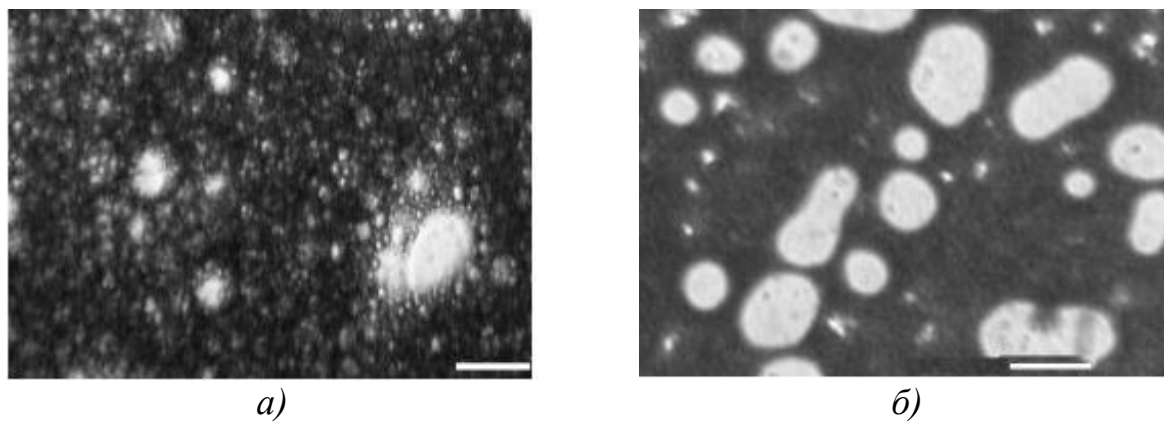


Рисунок 2 – Водонефтяная эмульсия до (а) и после (б) магнитной обработки

Таким образом, в данной главе были рассмотрены основные понятия и определения об эмульсии, механизмы образования, устойчивости и способы её разрушения. Приведены основные теории образования водонефтяных эмульсий, описаны методы разрушения эмульсий.

В следующих разделах будет проведено лабораторное исследование комплексного воздействия магнитной обработки на эффективность процесса разрушения водонефтяных эмульсий.

1.6 Влияние магнитного поля на водонефтяные дисперсные системы

Магнитное поле в процессах переработки углеводородного сырья используется относительно недавно. Положительные примеры применения магнитного поля при переработки углеводородных систем в сочетании с простотой эксплуатации, безреагентностью, экологической чистотой и быстрой окупаемостью открывают новые возможности интенсификации процессов.

Под влиянием воздействий магнитного поля нефтяные дисперсные системы (НДС) претерпевают изменения в строении и свойствах [18].

Согласно современным представлениям нефть и нефтяные остатки состоят из низко- и высокомолекулярных углеводородных и неуглеводородных компонентов. По коллоидно-химическим свойствам они являются нефтяными дисперсными системами (НДС) со сложной внутренней организацией, способной изменяться под воздействием внешних факторов. Физико-химические и структурно-реологические свойства НДС определяются структурой, размерами и составом сложных структурных единиц.

По литературным данным одним из основных ценообразующих параметров является эксплуатационные затраты на подготовку нефти, в том числе на ее обезвоживание и обессоливание. Как известно, основным способом подготовки нефти в настоящее время является ее термохимическая обработка с использованием химических реагентов – деэмульгаторов. Недостатки термохимической подготовки нефти – высокое энергопотребление, металлоемкость и экологическая опасность общеизвестны, поэтому в настоящее время интенсивно проводятся поиски новых методов подготовки нефти, включая магнитное, электрическое, электромагнитное, акустическое и иные воздействия

на водонефтяную систему. В частности, в Институте химии нефти СО РАН г. Томска в течение длительного времени проводятся исследования по воздействию на различные дисперсные среды магнитных полей [19]. Влияние постоянного магнитного поля на устойчивость водонефтяной эмульсии впервые было обнаружено при исследовании возможностей разрушения нефти Малоического месторождения (содержание воды в нефти до 75 %). Была проведена серия экспериментов по разрушению водонефтяной эмульсии и в результате прокачки через магнитный активатор жидкости в термостатируемый приемник, где она отстаивалась, после чего углеводородную и водную фазы разделили и проанализировали. В результате достигнута максимальная степень обезвоживания (93 – 95%).

К настоящему времени природа процессов структурообразования и их связь с реологическими свойствами НДС еще полностью не выяснены, и этим объясняется отсутствие достаточной четкости в вопросах регулирования реологических свойств различных нефтей в условиях добычи, подготовки и переработки.

Слабоэнергетические технологии (акустические, вибрационные, магнитные и др.), с помощью которых можно без заметных внешних энергетических затрат или с использованием внутренних резервов вещества перестраивать его структуру, являются наиболее перспективными в виду их экономичности, эффективности и доступности. Эти методы находят все более широкое применение в нефтяной промышленности. Их использование позволяет за короткий промежуток времени достичь значительного уровня разрушения структуры нефтяных ассоциатов и поддерживать этот уровень в течение времени.

Во многих областях хозяйственной деятельности человека, в том числе и при нефтедобыче, накоплен большой положительный опыт применения магнитного поля, создаваемого специальными устройствами – магнитоактиваторами. Промышленные испытания выявили положительное влияние магнитного поля на ряде месторождений. Научное объяснение

результатов, полученных на практике, ограничено недостаточной теоретической проработкой проблемы действия сил магнитного поля из-за сложности структурных и энергетических превращений в веществах различного строения на микро- и макроуровне [20]. Поэтому всестороннее изучение поведения нефтей различного состава позволят углубить и расширить наше понимание вопросов, рассматривающих влияние физических полей на различные структурированные системы, в том числе и на исследуемые нами водонефтяные эмульсии.

1.7 Структурообразование и реологические свойства нефтяных дисперсных систем

Основными факторами, определяющими структуру и реологические свойства дисперсной системы, являются концентрация частиц и потенциал их парного взаимодействия. Под структурообразованием понимают фиксацию пространственного положения частиц дисперсной системы, возникновение рыхлой пространственной сетки (коагуляционной структуры) за счет преобладания сил притяжения частиц. Образование коагуляционной структуры идет при концентрации частиц, достаточной для образования сплошной пространственной сетки. Обратимое изотермическое разрушение коагуляционной структуры при механических воздействиях до отдельных частиц и ее последующее восстановление в течение определенного промежутка времени называют тиксотропией.

Структура агрегативно устойчивых высококонцентрированных дисперсных систем подобна кристаллической решетке. При поляризации частиц магнитным полем образуется тиксотропная структура в виде цепочек, связанных между собой частиц. При этом частицы теряют возможность свободно вращаться в потоке, что ведет к увеличению вязкости. Высокие скорости течения нарушают ориентацию частиц во внешнем поле, структура разрушается, и вязкость падает [21].

По мнению ряда авторов, нефтяные системы, отличающиеся высоким содержанием парафиновых углеводородов, характеризуются механизмом структурообразования, который заключается в изменении фазового состояния содержащихся в нефти парафиновых углеводородов с выпадением твердой фазы [22 – 23].

Было показано, что при содержании асфальтенов 8 % достигается состояние, когда все молекулы нефти оказываются в сфере действия комплексов САК. При достижении критической концентрации САК (≈ 35 %) все молекулы нефти оказываются практически в равной степени связанными с комплексами САК. В этом случае система приобретает новое качественное состояние, отражающееся на изменении реологических параметров, состава и размера активных комплексов САК, что влияет на скорость протонной спин-решетчатой T_1 и спин-спиновой T_2 релаксации, характер которых меняется в области критической концентрации САК.

В результате измерения времен релаксации T_1 для высоковязких нефтей был сделан вывод, что переход нефтяной системы в «однокомпонентную» по своей подвижности наблюдается при содержании в нефти асфальтенов в пределах 18 – 20 % и суммарном содержании САК на окружающие молекулы, результаты иммобилизирующим взаимодействием САК на окружающие молекулы, снижающим их подвижность, что в свою очередь ведет к снижению времени T_1 .

Из этого следует, что концентрация парамагнитных центров в высоковязких нефтях и природных битумах для однотипных образцов зависит от содержания в них асфальтенов. Однако присутствие в нефтях в больших содержаниях ванадия затрудняет установление четкой зависимости интенсивности сигналов свободных радикалов с содержанием САК и вязкости из-за образования диамагнитных комплексов ванадия со свободными радикалами полиароматических структур, уменьшающих концентрацию ПМЦ.

1.8 Влияние магнитного поля на рекомбинационные и структурообразующие процессы

Реакционная способность молекул зависит от величины их колебательной энергии, которая может изменяться при изменении температуры и при поглощении относительно длинноволнового излучения. Изменение электронного состояния молекул может происходить при неупругих столкновениях с заряженными частицами или при поглощении электромагнитного излучения [24].

Стабильными парамагнитными свойствами обладают асфальтены или конденсированные соединения, составляющие ядро дисперсной частицы. Близлежащий к ядру слой молекул, преимущественно смолы, обладают в целом диамагнитными характеристиками. Однако именно они являются потенциальным источником образования радикалов под влиянием внешних воздействий.

Существует несколько теории о механизме влияния магнитного поля на нефтяную дисперсную систему.

В работах Я.М. Кагана механизм действия магнитных полей на нефть основывается на различии электрической поляризуемости и магнитной восприимчивости основных компонентов нефти. Под действием магнитного поля в нефти происходит изменение внутренней структуры нефтяных ассоциатов, разрушение их оболочки и появление в объеме потока многочисленных субмикроскопических центров кристаллизации. При движении нефтяного потока в меняющихся термодинамических условиях это обеспечивает кристаллизацию нефтяных отложений в объеме, а не на стенках труб. При переводе процесса кристаллизации в объем, в нем поддерживается высокая концентрация смолисто-асфальтеновых компонентов и создаются условия для сдвига температур начала кристаллизации в сторону более низких значений [25].

В.И. Лесиным был предложен свой механизм действия магнитного поля. После прохождения нефтяной жидкости в зазоре между стенкой трубы и

поверхностью магнитного устройства в нефтегазовом потоке за счет физико-химической модификации металлосодержащих микропримесей образуется огромное число дополнительных центров кристаллизации и флотационного выноса асфальтосмолопарафиновых отложений, представляющих собой газоподобные электрически заряженные микропузырьки, сформированные на коллоидных микропримесях [26].

Согласно Ф.Г. Унгеру, ввиду положительного потенциала парного взаимодействия, в жидкой углеводородной среде парамагнитные молекулы НДС имеют наименьшую контактную зону с парафинонафтеновыми углеводородами, которые ориентируются при этом относительно центра в виде «игл ежа». При попадании нефтяной системы в трубу начинается рост скорости слипания ассоциатов из-за увеличения вероятности их столкновения за счет увеличения скорости потока. Скорость слипания коллоидных частиц замедляется, если в трубопровод помещено достаточно интенсивное магнитное, ориентирующее спины в одном направлении. Омагниченная струя жидкости обладает другими энергетическими свойствами до тех пор, пока броуновское движение не изменит направление спинов всех молекул. За пределами действия ориентирующего магнитного поля магнитоактиватора вновь начинается слипание частиц, и его можно предотвратить, вновь ориентируя спины новым магнитным полем [27].

В отсутствие внешнего ориентирующего фактора система малоориентированна. Локальные образования и надмолекулярные структуры находятся в хаотичном расположении, и их инфраструктура в целом неориентированна и подобна поликристаллическому образцу, состоящего из множества хаотически расположенных анизотропных участков. Под воздействием определенных внешних факторов система становится ориентированной более однородно.

При наложении магнитного поля на такую систему происходит ориентация спинов в направлении вектора поля или против него. Воздействие магнитного поля вызывает магнитоупорядочение, приводящее к возникновению сильнокоррелированных систем, проявляющие коллективные свойства.

Под действием магнитного поля происходит возникновение новых радикалов или бирадикалов вследствие синглет-триплетного перехода. Магнитный эффект синглет-триплетных переходов (S-T) порождает химическую поляризацию электронов (ХПЭ) и ядер (ХПЯ). Спиновая поляризация и магнитные эффекты в радикальных реакциях – два тесно взаимосвязанных явления, базирующихся на общем физическом механизме. Процессы квантового возбуждения частиц и межчастичных образований в структуре конденсированных сред и последующая релаксация возбужденных состояний в сильной степени опосредованных сред и последующая релаксация возбужденных состояний в сильной степени опосредованы межчастичными, которые носят коллективный характер.

Влияние магнитного поля на систему связано с такими превращениями системы, при которых ее энергия изменяется незначительно. Для преодоления энергетического барьера необходимы энергия активации, которая может быть изменена ничтожно малым воздействием на систему, а таким воздействием может стать магнитное поле.

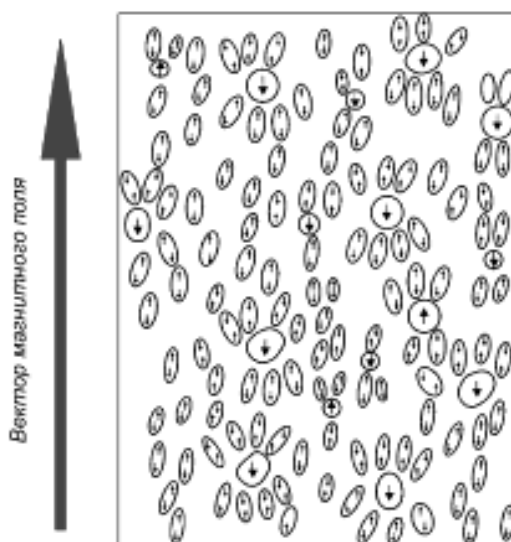


Рисунок 3 – Спиновая модель взаимодействия молекулярных систем под воздействием постоянного магнитного поля [28]

В условиях динамического воздействия магнитного поля энергия перекачивания жидкости, возможно, является некоторым добавочным

источником изменения изобарно-изотермического потенциала системы (рисунок 3). Образование новых радикалов способствует перестройке НДС и усиливает влияние магнитного поля на систему.

Воздействие постоянного магнитного поля «фиксирует» новую структуру НДС, характеризующуюся большой гомогенностью и парамагнитной активностью, меньшей вязкостью и поверхностным натяжением.

2 Объекты и методы исследования

2.1 Объект исследования

Объектом исследования являлась стойкая водонефтяная эмульсия ЯМ, содержание воды в которой оставляло 41 %. Данная эмульсия характеризовалась высоким содержанием глинистых частиц. Физико-химические характеристики нефти представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристика нефти ЯМ

Показатель	Ед. изм.	Метод испытаний	Значение
Объемная доля воды, % об.	% об.	ГОСТ 2477-2014	40,5 ± 1,0
Плотность при 15 °С	кг/м ³	ГОСТ 3900	886,1 ± 1,1
Плотность при 20 °С	кг/м ³	ГОСТ 3900	884,2 ± 1,1
Массовая доля мех. примесей	% мас.	ГОСТ 6370	2,5 ± 0,024
Массовая доля асфальтенов	% мас.	ГОСТ 11858-66	1,39 ± 0,25
Массовая доля смол	% мас.	ГОСТ 15886-70	7,02 ± 0,31
Массовая доля парафинов	% мас.	ГОСТ 11851	3,76 ± 1,80
Температура плавления парафинов	°С	ГОСТ 4255-75	60

В результате анализа физико-химических характеристик нефти установлено, что исследуемая нефть в своём составе содержит высокое количество природных эмульгаторов нефти таких как: смолы (7,02% мас.), асфальтенов (1,39 % мас.).

2.2 Магнитная система

При проведении эксперимента в качестве источника постоянного магнитного поля использовали магнитную систему длиной 58 см (рисунок 4), состоящую из высокоэнергетических металлов, включающих в себя редкоземельные металлы. Магнитная система состоит из следующих элементов (рисунок 4, 5):

1. труба из нержавеющей стали (1);
2. высокоэнергетические прямоугольные постоянные магниты (2);

3. блоки для усиления магнитного поля в виде металлических пластин
(3).

Данная система является экспериментальной, поэтому диаметр является величиной переменной.



Рисунок 4 – Вид магнитной системы
спереди



Рисунок 5 – Вид магнитной системы
сбоку

Условное схематичное изображение магнитной системы представлено на рисунке 6.

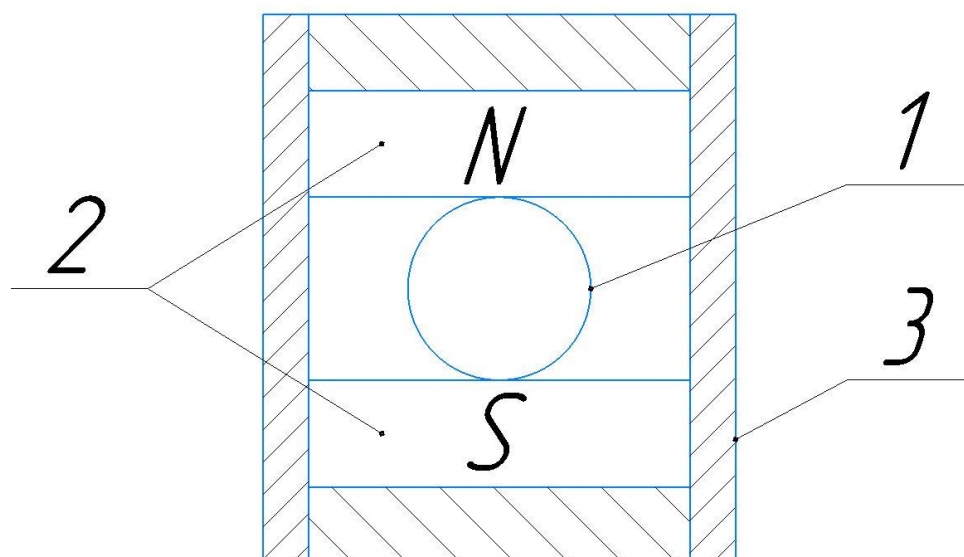


Рисунок 6 – Схематичное изображение магнитной системы: 1 – труба, 2 – высокоэнергетические постоянные магниты, 3 – пластина

Магнитная система включает в себя трубу из нержавеющей стали 1, через которую проходит водонефтяная эмульсия, высокоэнергетические прямоугольные постоянные магниты 2, которые находятся на определенном расстоянии друг от друга и располагаются на внешней поверхности трубы, окруженные блоками в виде металлических пластин.

Металлические пластины, которые охватывают постоянные магниты, являются концентраторами магнитного поля и служат для предотвращения рассеивания магнитных силовых полей в движущемся потоке жидкости. Дополнительные ферромагнитные элементы способствуют формированию объемного магнитного поля, действующего как в перпендикулярном, так и в продольном направлении в жидкости (аксиальное магнитное поле). Эффект синергии магнитных полей, распространяющихся в двух направлениях, дает вдвое выше амплитуду напряженности, что в свою очередь сказывается на эффективном разделении воды и нефти.

Помимо объемного магнитного поля на эффективность разделения влияет время пробега молекул воды в магнитной системе. Известно, что при недостаточном времени воздействия магнитного поля, «магнитная память» движущегося потока очень быстро исчезает. В виду этого необходимо

неоднократное воздействие магнитной системой на поток. Однако в нашей системе постоянные магниты расположены определённым образом, позволяющим уже при однократной обработке, достичь оптимального времени пробега молекул, необходимого для эффективного процесса разделения воды и нефти. Расстояние между магнитами выбиралось методом проб, исходя из физико-химического состава воды.

Для достижения эффективного процесса разделения водонефтяной эмульсии применили 5 пар магнитов. В целом индукция магнитной системы составила от 160 до 200 мТл.

В качестве высокоэнергетических постоянных магнитов, мы использовали самарий-кобальтовые магниты (SmCo), которые являются сильными постоянными магнитами с исключительными магнитными свойствами.

Самарий-кобальт (SmCo) является близким родственником неодима (магнит NdFeB). Оба являются редкоземельными очень сильными магнитами с очень высоким (BH) Max (максимальный энергетический продукт) и высокой коэрцитивностью (устойчивость к размагничиванию). Самарий и неодим находятся в лантаноидной серии металлов в Периодической таблице, поэтому свойства и кристаллические структуры этих магнитов очень похожи друг на друга. Кристаллическая структура SmCo – гексагональна, а NdFeB – тетрагональна. Оба типа структур придают высоконаправленные магнитные свойства редкоземельным магнитам. Эти кристаллические структуры плотно концентрируют магнитное поле в направлении север-юг. Когда материальное свойство настолько сконцентрировано в одном направлении его называют анизотропным.

Ранее самарий-кобальтовый магнит уступал неодимовому из-за более низких магнитных свойств, сложных технологий обработки и затрат. Исследования в изготовлении самарий-кобальтового магнита никогда не прекращались. В результате сложной многоступенчатой обработки путем нагрева и управления микроструктурой, удалось эффективно повысить

магнитные характеристики до экстремального уровня. Так формирование сверхтонкого самариевого порошка в твердую вещь путем прессования (изостатическое прессование), и последующего его спекания в печи, привело к созданию уникальной резиновой матрицы, где порошок SmCo мягко прессуется с одинаковой силой во всех направлениях. В результате чего образовался твердый материал с более высокими магнитными свойствами и небольшого размера.

Известно, что существуют факторы, из-за которых магнит способен размагнититься, – это высокие противоположные магнитные поля и высокие температуры. SmCo и NdFeB магниты обеспечивают большую магнитную силу по сравнению с их размером, и так как они являются редкоземельными магнитами, имеют чрезвычайно высокую устойчивость в размагничивании от внешних магнитных полей. Поэтому необходимо сравнивать температурный диапазон работы магнитов.

При повышенных температурах магниты SmCo значительно превосходят магниты NdFeB. Поскольку максимальная рабочая температура неодимовых магнитов равна 80 °С, а самарий-кобальтовые магниты легко работают в интервале температур от 150 °С. Что является одним из ключевых факторов использования самарий-кобальтовых магнитов, ведь большинство добываемых нефтей являются тяжелыми и находятся по большей части в северных регионах страны. В результате этого на промыслах часто нефть нагревают до температур 60 – 70 °С, для снижения вязкости и предотвращения образования АСПО (асфальтосмолопарафинистых отложений), из-за чего неодимовые магниты просто выходят из строя.

Также важным температурным фактором в пользу SmCo магнитов является его более плоская кривая температурного коэффициента. Температурный коэффициент (Br) магнитов SmCo составляет всего -0,03 – 0,05 %/ °С, что намного меньше, чем значение -0,11 %/ °С для NdFeB. Это означает, что SmCo теряет меньшую прочность поля на градус повышения температуры, чем NdFeB, тем самым облегчая инженеру корректировку температурных

эффектов, поскольку эти эффекты меньше в большем температурном диапазоне (рисунок 7) [29].

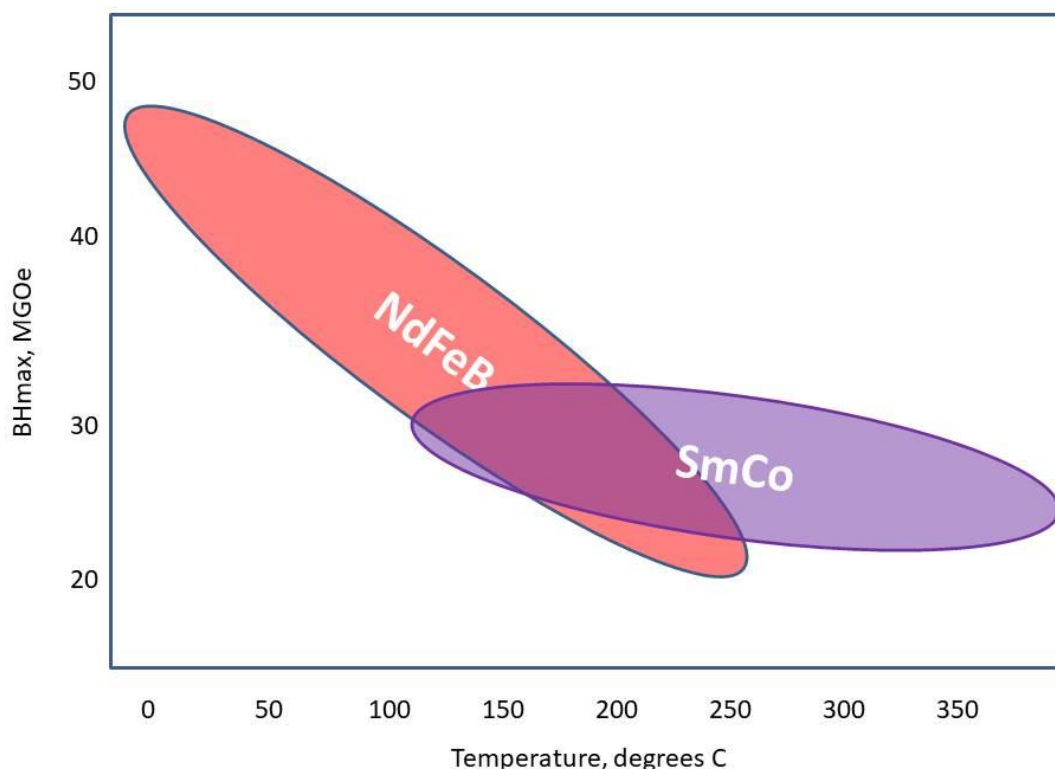


Рисунок 7 – Вид магнитной системы спереди [29]

Sr-Co магниты не только преуспевают в высоких рабочих температурах, но и сохраняют свои магнитные свойства даже при температурах ниже абсолютного нуля.

Ещё одним ключевым фактором использования именно самарий-кобальтовых магнитов является то, что SmCo не подвержен коррозии, что отличается от неодимового магнита. Самарий-кобальтовые магниты состоят примерно на 65 % из кобальта. Кобальт является основным компонентом нержавеющей стали, и является большой причиной того, что коррозионная стойкость магнитов SmCo настолько хороша. А магниты NdFeB составляют около 65 % железа, которое имеет очень плохую коррозионную стойкость, поэтому требует дополнительного покрытия для предотвращения коррозии.

Также ещё одним отрицательным фактором использования неодимовых магнитов является то, что в результате их прессования при изготовлении

получаются пористые структуры, через которые могут проникнуть мельчайшие капельки воды. В результате чего происходит взаимодействие с поверхностью магнита с образованием гидридов неодима, и как следствие магнит просто рассыпается.

Таким образом, исходя из проведенного анализа и опыта применения высокоэнергетических магнитов выбор был сделан в пользу самарий-кобальтовых магнитов, в виду отличной температурной стабильности и высокой устойчивости к коррозии или размагничиванию без каких-либо поверхностных обработок. Поэтому при разработке магнитной системы использовали именно SmCo магниты.

2.3 Методика эксперимента

В рамках выполнения магистерской диссертации было проведено два этапа экспериментов, которые включали в себя лабораторную часть исследования и расчетную, в том числе с использованием вычислительного программного пакета Ansys-Fluent для построения гидродинамической модели.

Этап 1: Лабораторная часть эксперимента. Для интенсификации процесса разделения водонефтяных эмульсий с помощью постоянного магнитного поля были проведены несколько экспериментов различных вариаций. Ниже представлены следующие варианты эксперимента.

1. Определение эффективности действия постоянного магнитного поля на процесс разделения стойкой водонефтяной эмульсии.

Предварительно подготовили образцы исследования объемом 100 мл. Пропускали каждый образец через магнитную систему длиной 58 см при температуре 20 °С. При эксперименте реализовывался динамический режим движения эмульсий, соответствующий реальному движению жидкости в трубопроводе. Далее образцы водонефтяных эмульсий отбирали в цилиндры, где происходил процесс отстаивания. По окончании эксперимента оценку результатов проводили визуально. Для сравнения полученных результатов оставили 1 образец исходным.

2. Определение поверхностного натяжения стойкой водонефтяной эмульсии.

Перед началом эксперимента подготовили два образца. Образец № 1 оставили исходным, образец № 2 обработали постоянным магнитным полем. Затем измеряли поверхностное натяжение всех образцов водонефтяной эмульсии сталагмометрическим методом. Измерение проводилось при температуре 24 °С. В экспериментах каждое измерение проводили по три раза.

3. Определение кинетической вязкости стойкой водонефтяной эмульсии.

Перед проведением эксперимента первоначально пропустили образец №2 и образец №3 через магнитную систему, образец №1 оставили исходным. Затем измеряли вязкость всех образцов водонефтяной эмульсии с помощью капиллярного вискозиметра ВПЖ-1. Измерение проводилось при температуре 20 °С. В экспериментах каждое измерение проводили по три раза.

4. Определение динамической вязкости стойкой водонефтяной эмульсии.

Первоначально подготовили образцы для исследования в объеме 200 мл. Образец № 1 пропускали через магнитную систему, образец № 2 оставался исходным. Затем определяли динамическую вязкость каждого образца с помощью ротационного вискозиметра Fungilab, измерения проводили при температуре 24 °С. Для достоверности полученных результатов эксперимент проводили трижды.

Экспериментальные данные полученные по первому этапу работ легли в основу построения гидродинамической модели.

Этап 2: Расчетная часть эксперимента.

1. Теоретическая часть.

После проведения лабораторной части эксперимента с целью определения гидродинамических зависимостей рассматривали течение стойкой водонефтяной эмульсии в круглой трубе длиной L и радиусом R под действием постоянного перепада давления ΔP при следующих допущениях [30]:

1. эмульсия представляет собой несжимаемую жидкость;
2. течение является ламинарным, т.е. числа $Re < 2300$;

3. динамическая вязкость водонефтяной эмульсии зависит от скорости сдвига $\dot{\gamma}$ по степенному закону:

$$\mu(\dot{\gamma}) = \frac{k}{\dot{\gamma}^{1-n}}, \quad (1)$$

где: k – мера средней вязкости,

n – мера отклонения поведения жидкости от закона Ньютона;

4. течение в трубе является установившимся и происходит параллельными слоями, т.е. радиальная составляющая вектора скорости равна нулю.

Уравнение, описывающее течение в рамках, указанных выше допущений, имеет вид:

$$\frac{dp}{dx} = \frac{1}{r} \frac{d}{dr} \left[r \mu(\dot{\gamma}) \frac{du_x}{dr} \right], \quad (2)$$

Полагая, что:

$$\frac{dp}{dx} = \frac{-DP}{L},$$

и интегрируя выражение (2) от 0 до r , получим соотношение для определения зависимости скорости сдвига эмульсии от радиальной координаты:

$$\mu(\dot{\gamma}) = \frac{-DP}{L} \frac{r}{2\dot{\gamma}}, \quad (3)$$

где:

$$\dot{\gamma} = \frac{du_x}{dr}.$$

Используя выражение для динамической вязкости водонефтяной эмульсии (1), из (3) получаем формулу для определения скорости сдвига в зависимости от радиальной координаты:

$$\dot{\gamma}(r) = - \left[\frac{|DP|}{2Lk} r \right]^{\frac{1}{n}}, \quad (4)$$

Из соотношений (1) и (4) можно определить распределение вязкости водонефтяной эмульсии поперек канала:

$$\mu(r) = \frac{k}{\left[\frac{|DP|}{2Lk} r\right]^{\frac{1-n}{n}}}. \quad (5)$$

Интегрируя напряжение сдвига (4) по радиальной координате, получим распределение продольной составляющей вектора скорости поперек трубы:

$$u_x(r) = \left[\frac{|DP|}{2Lk} R^{n+1}\right]^{\frac{1}{n}} \left[1 - \left[\frac{r}{R}\right]^{\frac{n+1}{n}}\right]. \quad (6)$$

Объемный расход жидкости через поперечное сечение трубы определяется как:

$$Q = 2\pi \int_0^R u_x(r) r dr.$$

Тогда, используя зависимость (6), получаем:

$$Q = \frac{\pi}{2 \cdot n + 1} \left[\frac{|DP|}{2Lk} R\right]^{\frac{1}{n}} R^3. \quad (7)$$

Формула (7) показывает, как объемный расход зависит от перепада давления на заданном участке трубы, радиуса трубы и свойств водонефтяной эмульсии.

2. Программное обеспечение.

На основании полученных гидродинамических зависимостей были рассчитаны коэффициенты, которые легли в основу построения гидродинамической модели магнитной системы, на которой проводили дальнейшие исследования. Методика и постановка задачи основных условий построения представлена в приложении А.

Алгоритм работы и процесса построения гидродинамической модели представлен ниже [31]:

- Создание проекта в ANSYS Workbench.
- Создание эскиза в Design Modeler.
- Создание поверхности.
- Построение сетки.

- Задание узлов сетки на границе области.
- Присвоение имен границам области.
- Сохранение, выход, обновление.
- Запуск ANSYS FLUENT.
- Проверка и изображение разностной сетки.
- Внесение данных в решатель.
- Задание свойств жидкости.
- Задание граничных условий.
- Выбор разностной схемы.
- Задание начальных условий.
- Настройка критерия сходимости.
- Расчет коэффициента трения.
- Выполнение расчетов.
- Обработка результатов расчета с помощью средств FLUENTA.
- Построение поля векторов скоростей.
- Построение изолиний модуля скорости.
- Построение профиля скорости на выходе из канала.
- Построение изменения давления вдоль оси канала.
- Контроль и проверка решения.
- Измельчение сетки.
- Подключение магнитного модуля (MHD Model).
- Просмотр результатов.

Основные этапы выполнения работ:

Исходные данные для построения гидродинамической модели в программном обеспечении Ansys-Fluent были представлены от лица заказчика, для которого изначально проводили первый этап лабораторных исследований с целью оценки эффективности действия магнитной системы на процесс разделения стойкой водонефтяной эмульсии ЯМ. В виду положительных лабораторных результатов исследования было принято решение о разработке

магнитной системы для проведения опытно-промышленных испытаний на ЯМ и разработки гидродинамической модели магнитной системы, которая соответствует реальным параметрам участка трубопровода, куда в дальнейшем монтировалась система. В таблице 2 представлены технические характеристики участка трубопровода. В таблице 3 представлены данные магнитного устройства, разработанного и эксплуатируемого в реальных условиях месторождения ЯМ.

Таблица 2 – Технические характеристики участка трубопровода

Запрашиваемые величины	Значение
Расход жидкости в трубопроводе, м ³ /ч	От 20 – 62,5 (С вводом новых скважин в эксплуатацию производительность растет от min r max)
Внутренний диаметр трубопровода, мм	200 мм (219x8)
Внешний диаметр трубопровода, мм	219 мм
Давление в трубопроводе, бар	5-20 кг/см ²
Марка стали	09Г2С

Таблица 3 – Технические характеристики магнитной системы опытно-промышленного образца

Запрашиваемые величины	Значение
Габаритные размеры, мм	185,5 x 185,5 x 407
Индукция магнитного поля на рабочей поверхности активатора (в точке максимума)	не менее 450 мТл
Длина системы, мм	800

3 Расчеты и аналитика

В рамках выполнения магистерской диссертации было проведено два этапа работ, которые включали в себя лабораторную часть и расчетную, в том числе с использованием вычислительного программного пакета Ansys-Fluent для построения гидродинамической модели.

4 Результаты исследования и их обсуждение

4.1 Результаты первого этапа исследования

По окончании проведения первого эксперимента были получены результаты, представленные ниже.

1. Результат первого эксперимента.

На рисунке 8 приведен результат процесса разделения стойкой водонефтяной эмульсии ЯМ после магнитной обработки.

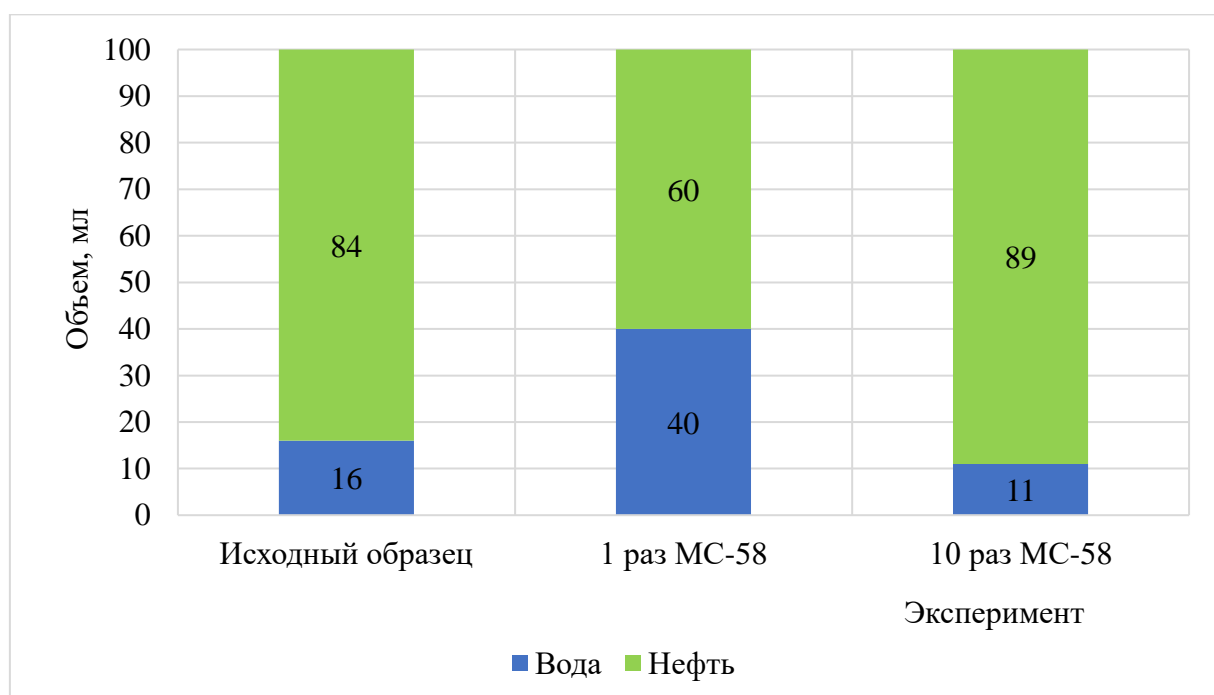


Рисунок 8 – Эффективность действия магнитной системой стойкой водонефтяной эмульсии ЯМ

Полученные результаты доказывают эффективность действия магнитной системы. Так при однократной обработке водонефтяной эмульсии объем отделившейся воды составил 40 мл, а при исходном пятиминутном отстаивании образца объем выделившейся воды составил 29 мл. Установлено, что на стенках цилиндра присутствует рыхлый нефтяной дисперсный слой, что может свидетельствовать о неполном процессе разделения. Многократная обработка магнитной системой приводит к образованию промежуточного слоя и уменьшению количества отделившейся воды (11 мл). При этом эффективность

разделения относительно исходного образца повысилась на 43 %, что является не малым результатом.

Также при обработке стойкой водонефтяной эмульсии ЯМ магнитной системой образуются различные промежуточные слои (рисунок 9).

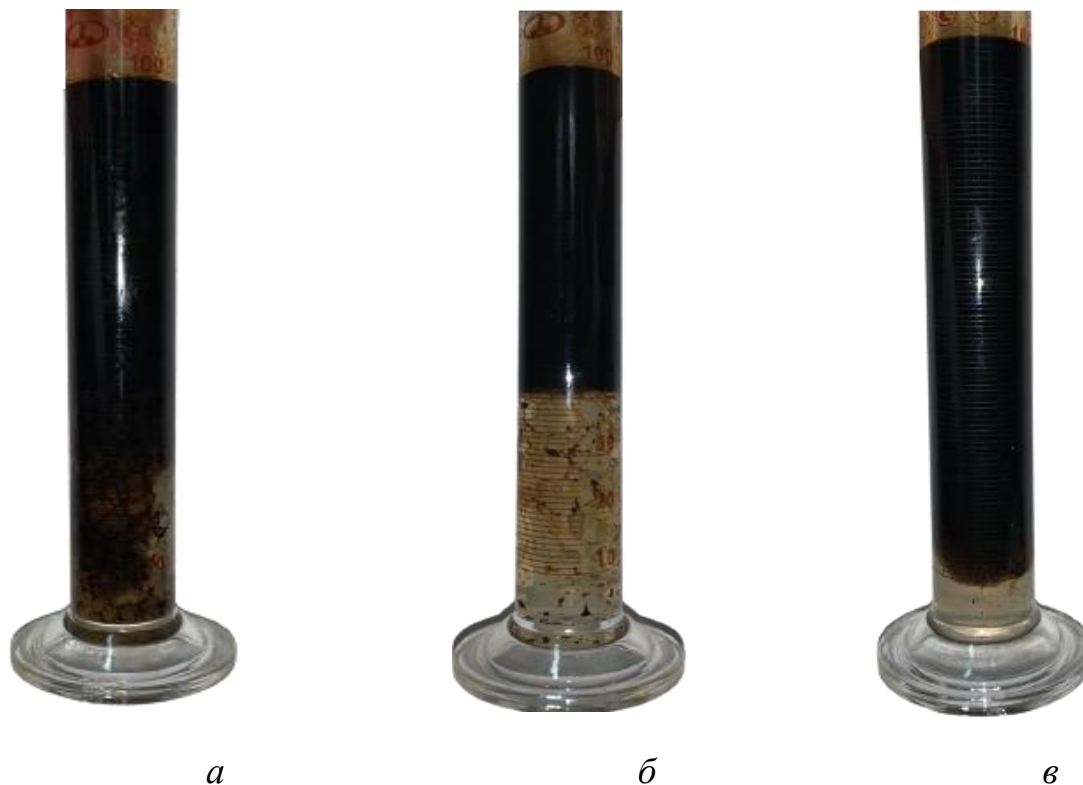


Рисунок 9 – Качественный результат разделения водонефтяной эмульсии ЯМ после магнитной обработке: а) исходный образец; МС-58 б) 1 раз, в) 10 раз

Все образцы характеризуются наличием промежуточного слоя, так у образцов б, в на рисунке 9 после нескольких секунд отстаивания в нижней части цилиндра наблюдалась коалесценция капель водонефтяной эмульсии. После чего в дисперсной фазе начали образовываться крупные прозрачные глобулы воды (несколько мм), которых окружали тонкие (десятые доли мм) темные пленки дисперсионной среды на нефтяной основе.

Изображенные на рисунке 9 структуры по своему строению были похожи на пену, так как дисперсионная среда образовывала трехмерную сетку тонких пленок нефти. В отличие от привычных пен, где дисперсионной фазой является газ, здесь фазой является жидкостью – водой. В результате чего образования

(рисунок 9, б и в), полученные при исследовании, были названы, как двухжидкостные пены (рисунок 10).

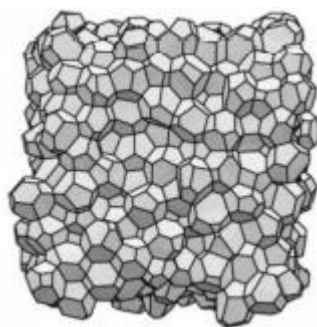


Рисунок 10 – Качественная модель структуры двухжидкостных пен [21]

На рисунке 10 представлена качественная модель структуры двухжидкостной пены. Отличительной чертой таких систем является полиэдрическая форма ячеек дисперсной фазы, которая также наблюдается и на рисунке 9 (б, в). В последствии структура разрушилась в результате коалесценции глобул дисперсной фазы, и появились «обрывки» темных нефтяных пленок. Структура эмульсии в, изображенная на рисунке 6, образованная в результате многократной обработки магнитной системой, способствует не разделению, а, наоборот, уплотнению и образованию более прочному промежуточному слою, который препятствует коалесценции глобул дисперсной фазы.

Таким образом, экспериментально была доказана эффективность действия магнитной системы.

2. Результат второго эксперимента.

Установлено снижение поверхностного натяжения водонефтяной эмульсии после обработки магнитным полем с 14,25 мН/м до 4,63 мН/м. Объясняется это тем, что на подвижных границах раздела фаз происходит перестройка окружения молекул и изменение их ориентации. Очевидно, что молекулы на границе раздела фаз ведут себя по-разному: одни концентрируются на поверхности раздела фаз, т.е. проявляют поверхностно-активные свойства, а другие стремятся уйти в объемную фазу.

Таким образом, полученная зависимость свидетельствует о том, что постоянное магнитное поле влияет на поверхностное натяжение водонефтяной эмульсии и может существенно влиять на устойчивость свободной поверхности жидкости. Такие особенности изменения свойств могут быть в перспективе использованы для интенсификации процессов подготовки нефти на промысле.

3. Результат третьего эксперимента.

На рисунке 11 представлены результаты эксперимента.

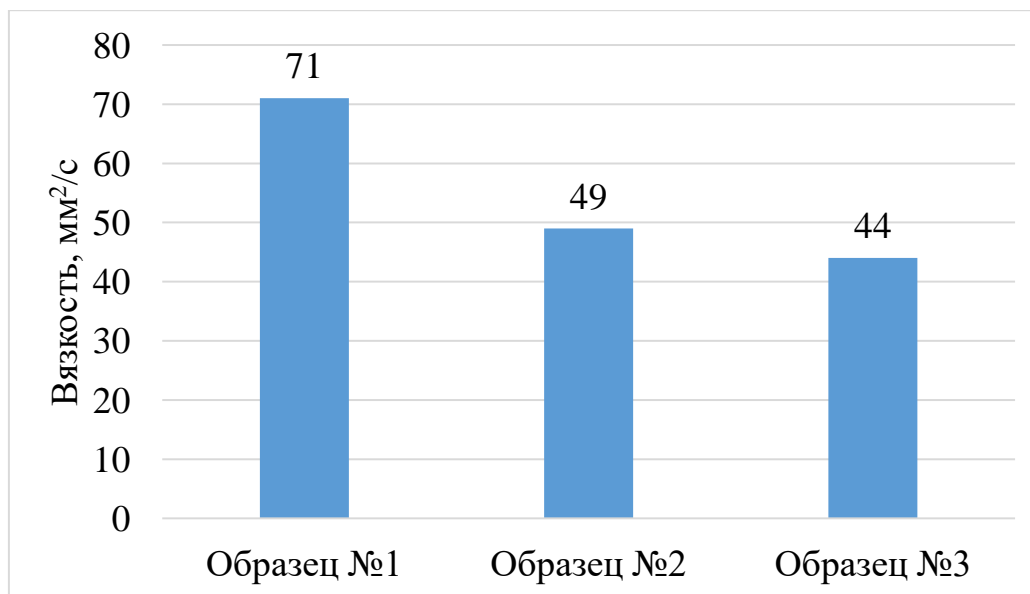


Рисунок 11 – Изменение вязкости водонефтяной эмульсии после магнитной обработки:

образец №1 – исходная стойкая водонефтяная эмульсия;

образец №2 – стойкая водонефтяная эмульсия после магнитной обработки 1 раз;

образец №3 – стойкая водонефтяная эмульсия после магнитной обработки 5 раз

Согласно полученным результатам, можно наблюдать снижение вязкости водонефтяной эмульсий при увеличении количества магнитной обработки с 71 мм²/с до 44 мм²/с, что также подтверждается авторами работы [14].

Таким образом, полученная зависимость свидетельствует о том, что силовые магнитные поля оказывают влияние на структуру нефтяной дисперсной системы, в результате чего происходит её изменение, что приводит к фазовым

переходам. Как следствие, изменение физико-химических свойств, в данном случае вязкости.

4. Результаты четвертого эксперимента.

В таблице 4 представлены результаты эксперимента.

Таблица 4 – Изменение динамической вязкости от скорости сдвига

c^{-1}	Исходная в/н эмульсия, Па·с	В/н эмульсия после МС, Па·с
0,017	2,07	2,05
0,018	1,9	1,81
0,020	1,79	1,63
0,023	1,54	1,48
0,025	1,32	1,19
0,030	1,02	1,01
0,033	0,94	0,89
0,042	0,84	0,69
0,050	0,84	0,69
0,067	0,52	0,37
0,083	0,52	0,32
0,100	0,45	0,25
0,125	0,39	0,21
0,133	0,29	0,19
0,167	0,24	0,17
0,200	0,19	0,14
0,250	0,18	0,14
0,283	0,17	0,14
0,333	0,15	0,14
0,367	0,14	0,14
0,417	0,11	0,11
0,500	0,10	0,09
0,583	0,09	0,08
0,667	0,08	0,07
0,750	0,08	0,07
0,833	0,06	0,07
1,000	0,06	0,07

Согласно полученным результатам, наблюдается снижение динамической вязкости стойкой водонефтяной эмульсии после обработки магнитной системой.

Таким образом, полученная зависимость свидетельствует о снижении сил трения стойкой водонефтяной эмульсии под действием постоянного магнитного поля, что способствует уменьшению гидравлических сопротивлений и облегчает

перекачку эмульсии по трубопроводам. Данные о величине вязкости и ее зависимости от сдвиговых скоростей могут быть использованы для прогнозирования стабильности эмульсии в процессе заводнения, при транспортировке по трубопроводам и прочих процессах.

По итогам первого этапа работ были сделаны следующие выводы:

1. Подтверждена эффективность разделения стойкой водонефтяной эмульсии после магнитной обработки.
2. Установлено снижение поверхностного натяжения водонефтяной эмульсии после обработки магнитным полем с 14,25 мН/м до 4,63 мН/м.
3. Определено снижение кинематической вязкости водонефтяной эмульсий при увеличении количества магнитной обработки с 71 мм²/с до 44 мм²/с.
4. Отмечено снижение динамической вязкости стойкой водонефтяной эмульсии после обработки магнитной системой на всем интервале исследования.

4.2 Результаты второго этапа исследования

1. Расчетная часть.

На рисунке 12 представлены результаты расчета зависимости динамической вязкости стойкой водонефтяной эмульсии от скорости сдвига в логарифмической системе координат.

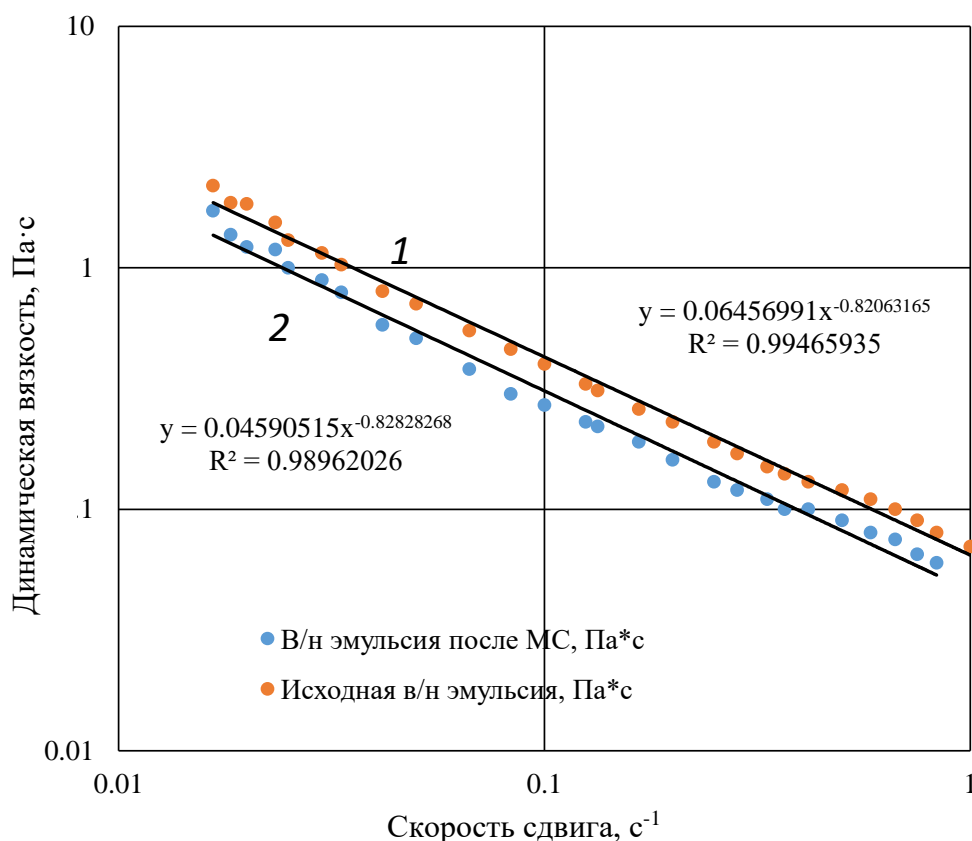


Рисунок 12 – Зависимость динамической вязкости от скорости сдвига:

- 1 – стойкая водонефтяная эмульсия после обработки магнитной системой,
- 2 – стойкая водонефтяная эмульсия до магнитной обработки

Сплошные линии соответствуют результатам обработки экспериментальных данных методом наименьших квадратов. Как видно динамическая вязкость обратно пропорциональна скорости сдвига в степени m .

В таблице 5 показаны значения меры средней вязкости k и меры отклонения поведения водонефтяной эмульсии от закона Ньютона n в соотношении (1), полученные после обработки экспериментальных данных.

Таблица 5 – Характеристики стойкой водонефтяной эмульсии

Значения меры	До обработки	После обработки
k	0,06457	0,04591
n	0,17937	0,17172

Таким образом, согласно полученным результатам исследования, следует отметить эффективность действия магнитной обработки на снижение

динамической вязкости стойкой водонефтяной эмульсии на всем интервале скорости сдвига от 0,01 до 1 с⁻¹. Полученные при расчете характеристики (таблица 5) в дальнейшей необходимы для расчета других гидромеханических свойств: расхода эмульсии от градиента давления, профиля скорости, гидромеханических свойств в трубопроводе с целью создания гидродинамической модели для прогнозирования изменения свойств стойкой водонефтяной эмульсии.

На рисунках 13 – 15 представлены результаты расчетов для течения водонефтяной эмульсии с характеристиками, приведенными в таблице 1, в трубе радиуса 0,1 м.

На рисунке 13 представлен результат расчетной части эксперимента зависимость расхода эмульсии от градиента давления в трубе исходной эмульсии и эмульсии после обработки постоянным магнитным полем.

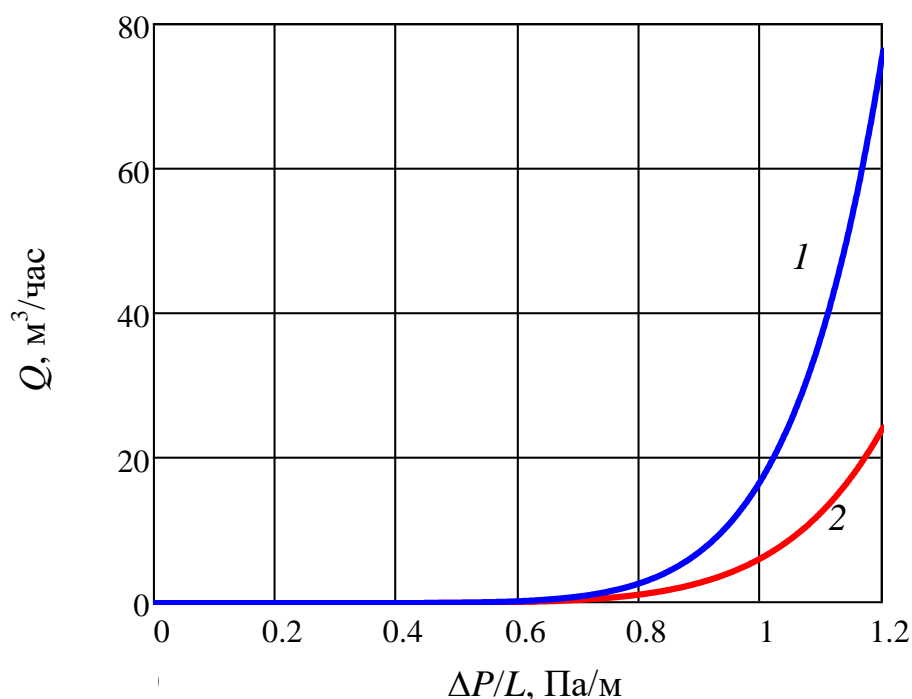


Рисунок 13 – Зависимость расхода эмульсии от градиента давления:

1 – стойкая водонефтяная эмульсия после магнитной обработки, 2 – стойкая водонефтяная эмульсия до магнитной обработки

Поскольку объемный расход водонефтяной эмульсии пропорционален градиенту давления в степени $1/n$, которая больше единицы, то при достаточно

низких градиентах давления расход близок к нулю. Как видно из рисунка 1, расход становится заметным для градиента давления больше 0,6 Па/м. Обработка эмульсии магнитной системой может в несколько раз увеличить расход жидкости в трубопроводе. Так для градиента давления в 1,3 Па/м расход может увеличиться в четыре раза, рисунок 13, кривая 1.

На рисунке 14 представлен результат расчетной части эксперимента распределение профиля скорости течения в трубе исходной эмульсии и эмульсии после обработки постоянным магнитным полем.

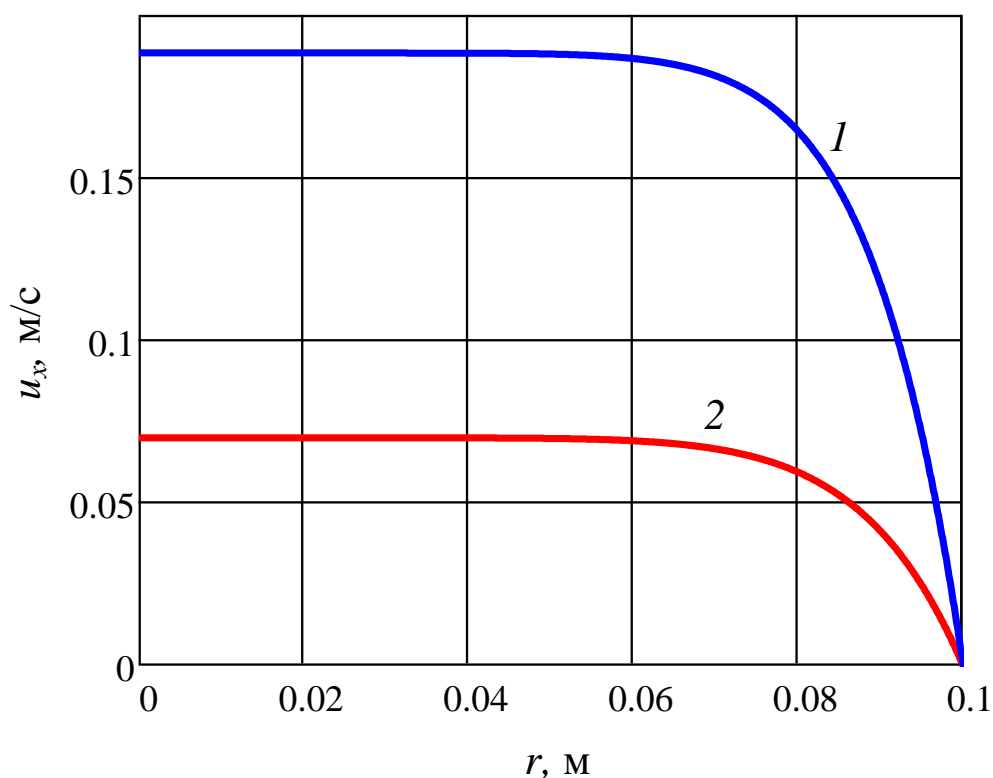


Рисунок 14 – Зависимость распределения профиля скорости течения:

- 1 – стойкой водонефтяной эмульсии после магнитной обработки,
- 2 –стойкой водонефтяной эмульсии до магнитной обработки

Согласно полученным результатам можно отметить, что при течении водонефтяной эмульсии в круглой трубе, ее профиль скорости существенно отличается от параболического профиля Пуазейля, характерного для течения неньютоновской жидкости.

Таким образом, полученная зависимость свидетельствует о том, что силовые магнитные поля оказывают влияние на структуру нефтяной дисперсной системы, в результате чего происходит её изменение. Для $r < 0.06$ м продольная скорость практически не изменяется, и эмульсия течет как твердое тело, поскольку в этой области канала скорости сдвига близки к нулю, и, следовательно, вязкость эмульсии имеет бесконечно большие значения.

На рисунке 15 представлен результат расчетной части эксперимента – распределение скорости сдвига в трубе исходной эмульсии и эмульсии после обработки постоянным магнитным полем.

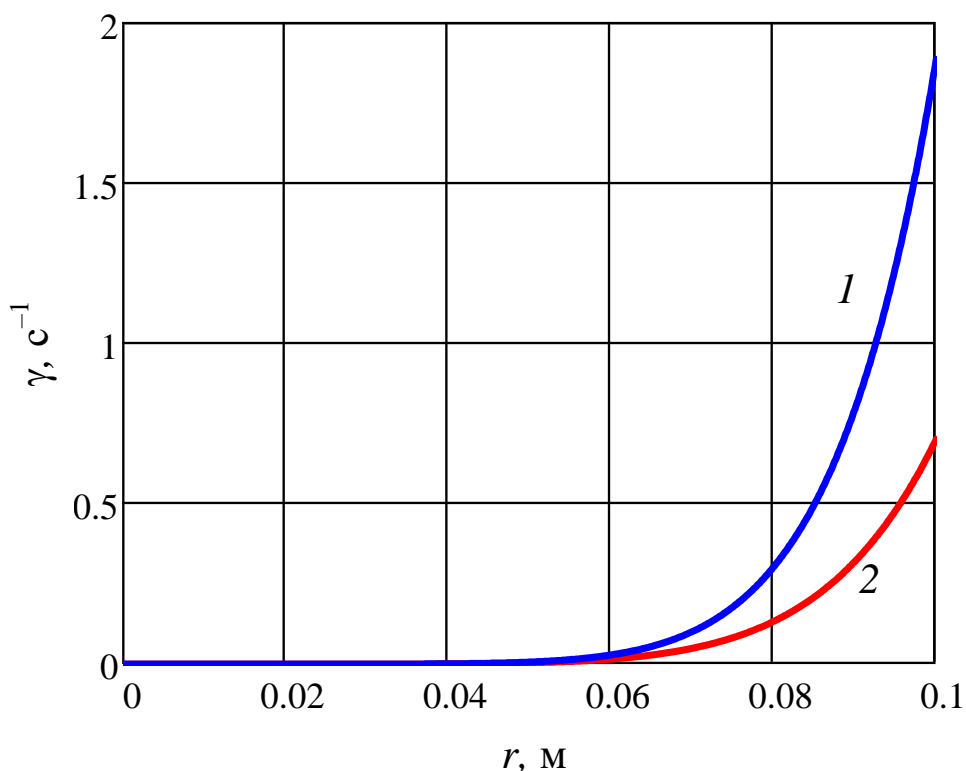


Рисунок 15 – Распределение скорости сдвига в трубе:

- 1 – стойкая водонефтяная эмульсия после магнитной обработки,
- 2 – стойкая водонефтяная эмульсия до магнитной обработки

Согласно рисунку 15 при течении стойкой водонефтяной эмульсии в круглой трубе, ее профиль скорости существенно отличается от параболического профиля Пуазейля, характерного для течения неньютоновской жидкости. Для $r < 0.06$ м продольная скорость практически не изменяется, и эмульсия течет как твердое тело, поскольку в этой области канала скорости сдвига близки к нулю, и,

следовательно, согласно формуле (3), вязкость эмульсии имеет бесконечно большие значения.

Такими образом, уставлено, что обработка водонефтяной эмульсии магнитной системой ведет к увеличению скорости сдвига (рисунок 15, кривая 1). Но при этом, как следует из (1) и (4) напряжение сдвига остается неизменным.

По итогам второго этапа работ было исследовано изменение гидродинамических свойств стойкой водонефтяной эмульсии при воздействии постоянного магнитного поля. Проведенное исследование свидетельствуют о положительном влиянии постоянного магнитного поля на процесс разделения стойкой водонефтяной эмульсии, позволяющим уменьшить динамическую вязкость и увеличить расход жидкости в трубопроводе.

2. Программное обеспечение.

Далее полученные результаты расчетной части эксперимента были использованы для построения гидродинамической модели в программном обеспечении Ansys-Fluent.

Рассматривался участок трубопровода длиной 2,8 м и диаметром 0,2 м (200 мм) (таблица 2), где магнитный участок составлял 0,8 м (800 мм) по условиям задачи (таблица 3). На рисунке 16 представлен эскиз постановки задачи. Синие стрелки обозначают направление потока водонефтяной эмульсии на входе, красные стрелки обозначают направление потока водонефтяной эмульсии на выходе.

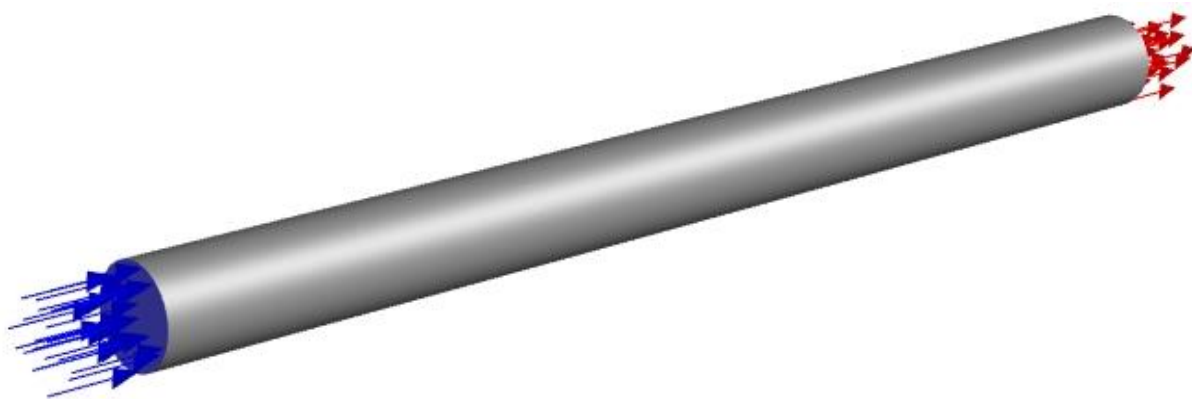


Рисунок 16 – Эскиз постановки задачи

На рисунке 17 представлен эскиз постановки задачи по блокам.

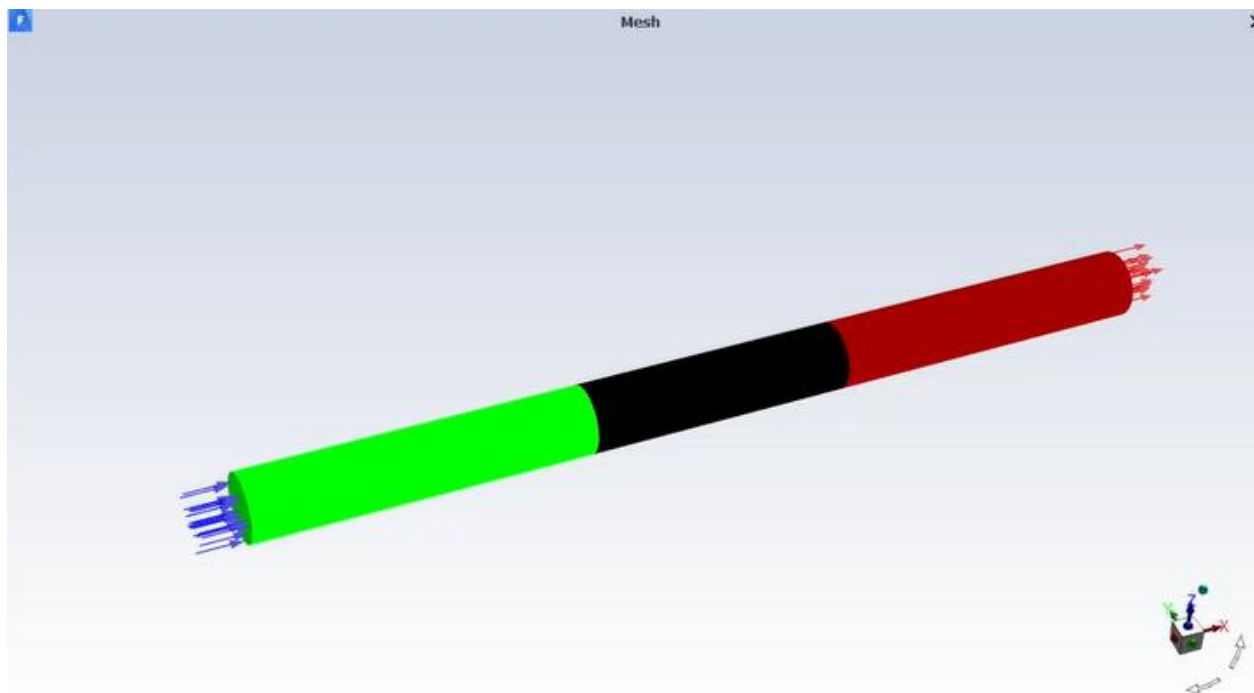


Рисунок 17 – Эскиз постановки задачи по блокам

Далее задали сетку для вычисления параметров системы. На рисунке 18 представлена расчетная сетка исследуемого трубопровода и магнитного участка. Сетка состоит из 350000 ячеек. Сетка является гексагональной, где призматические слои вытянуты в направлении вдоль трубы.

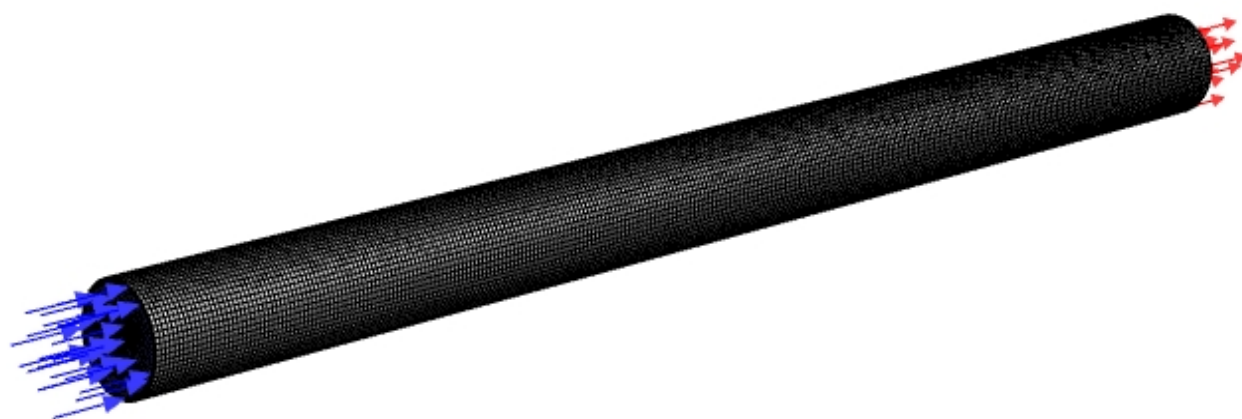


Рисунок 18 – Расчетная сетка гидродинамической модели

На рисунке 19 представлена гексагональная сетка с вытянутыми призматическим слоями вдоль направления трубы, также произведено сгущение сетки в пристеночном слое для разрешения градиентов сдвигового напряжения, как следствие, точности результатов расчета для сдвиговой скорости, что в свою

очередь влияет на профиль скорости и на перепад давления. Данная сетка использовалась, как для исходной водонефтяной эмульсии, так и для эмульсии после магнитной обработки.

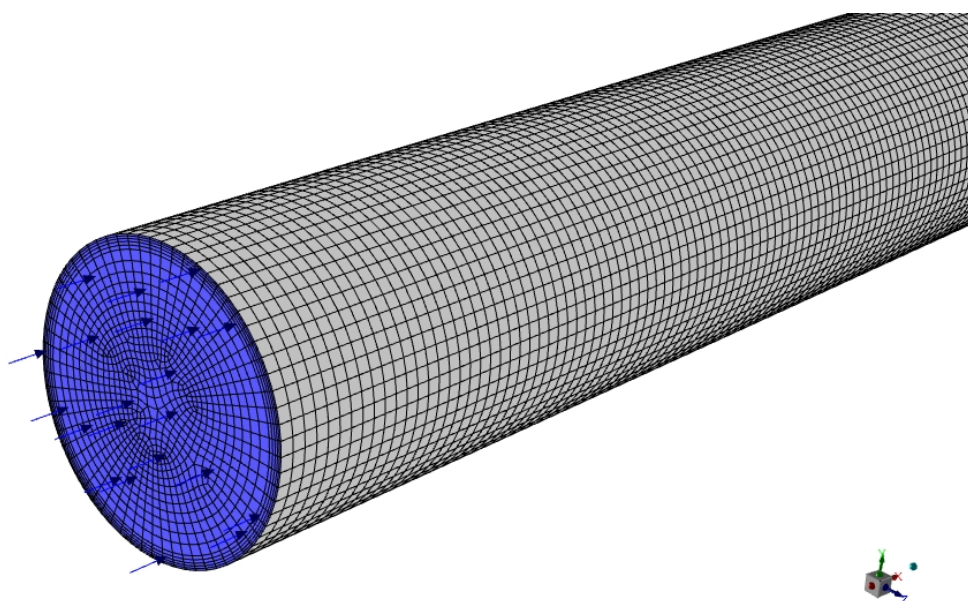


Рисунок 19 – Гексагональная сетка

Далее задали основные свойства и параметры для расчетов системы (рисунок 20):

- ламинарное течение;
- свойства исходной стойкой водонефтяной эмульсии;
- коэффициенты k и n в зависимости от переменной сдвиговой скорости.

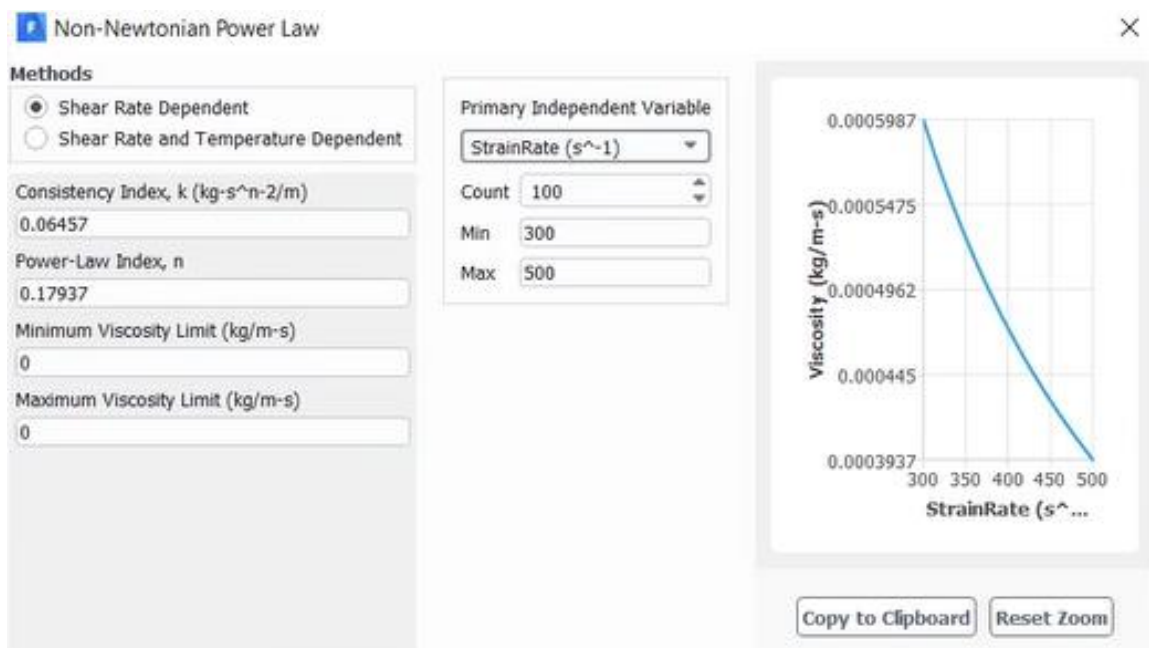


Рисунок 20 – Коэффициенты k и n в зависимости от переменной сдвиговой скорости

Обозначили граничные условия, произвели инициализацию каждой ячейки и перешли к расчетам. Так как как расчет выполняется в Stady, режим – переходный, для потока считается временной шаг, на который сводится решение, каждый шаг приводит к конечному решению. Таким образом, можно получить более стабильные результаты расчета, так как используется неньютоновский степенной закон, и при других настройках зачастую бывают другие ошибки сходимости модели (рисунок 21).

На рисунке 21 представлен результат сходимости модели.

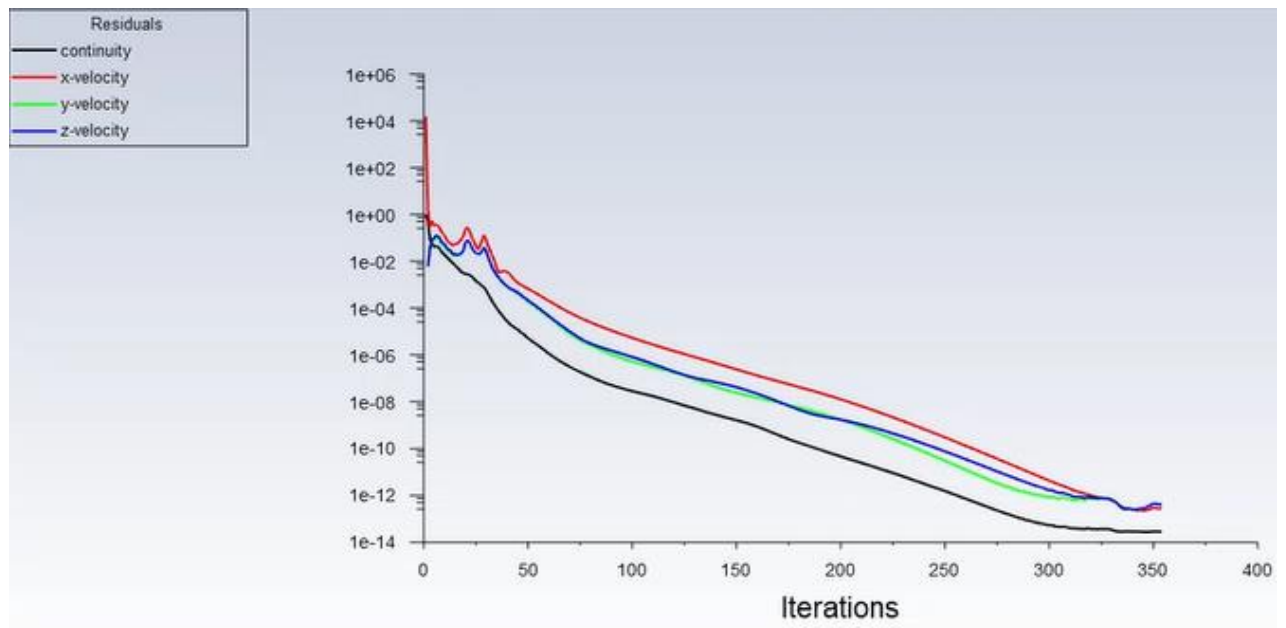


Рисунок 21 – График сходимости модели

Как правило результаты на граничных условиях (точка входа), стараются отдалять от зоны, где необходимо найти решение. На входе как правило поток для сведения задач, он искажает результаты для получения сводимого результата. Область необходима для начального приближения, к более точным результатам.

После того как модель была проверена перешли к подключению магнитного модуля подключили в Console с помощью программного кода, для которого использовали следующие параметры (рисунок 22):

- индукция постоянного магнитное поля 450 мТл;
- электрическая проводимость = $5,00 \cdot 10^{-11}$ См/м (экспериментально полученная величина);
- магнитная проницаемость = 0,000001256627 (экспериментально полученная величина).

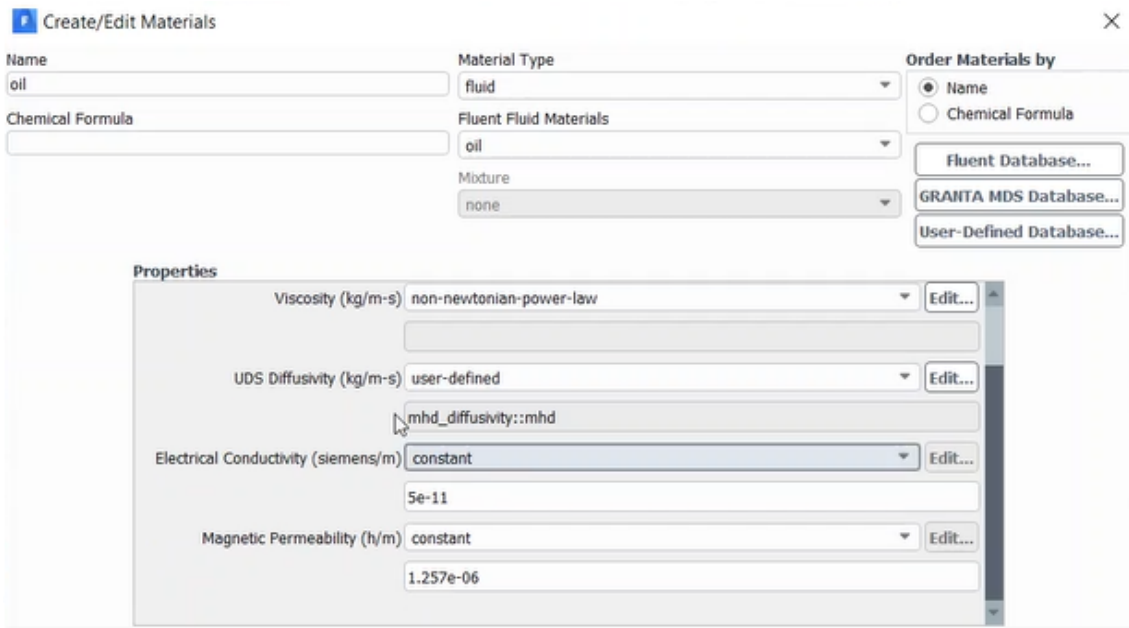


Рисунок 22 – Подключение магнитного модуля

На рисунке 23 представлен распределение силовых линий магнитных полей вдоль длины трубопровода, где сила Лоуренца направлена вертикально движению потока водонефтяной эмульсии.

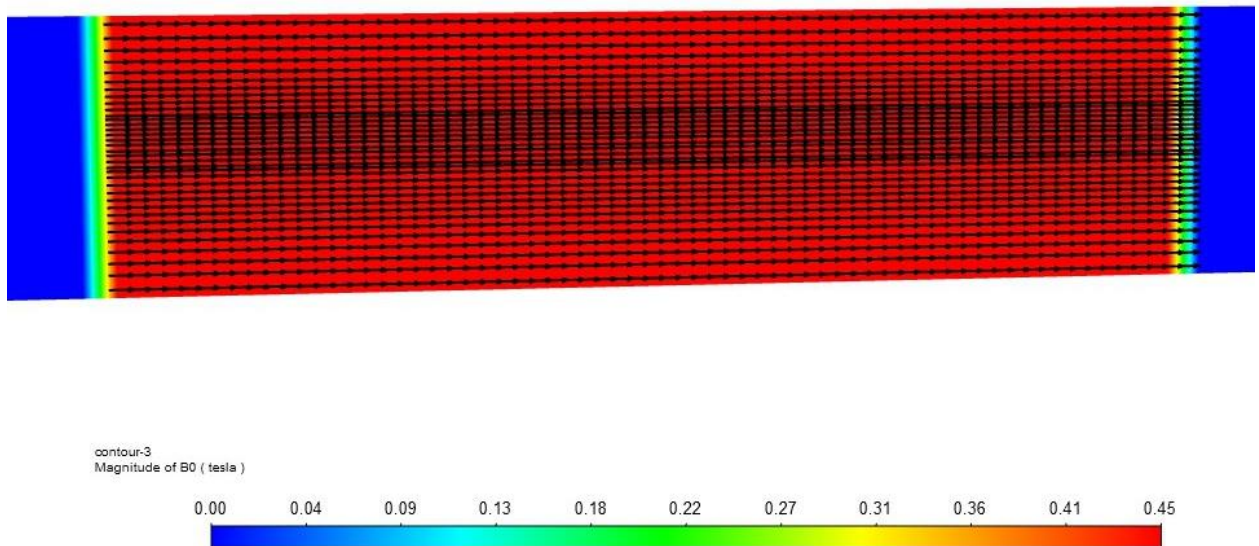


Рисунок 23 – Распределение магнитных силовых полей вдоль длины трубопровода

Далее производили исследование полученных результатов на модели. На рисунках 24 представлены полученные результаты исследований на гидродинамической модели.

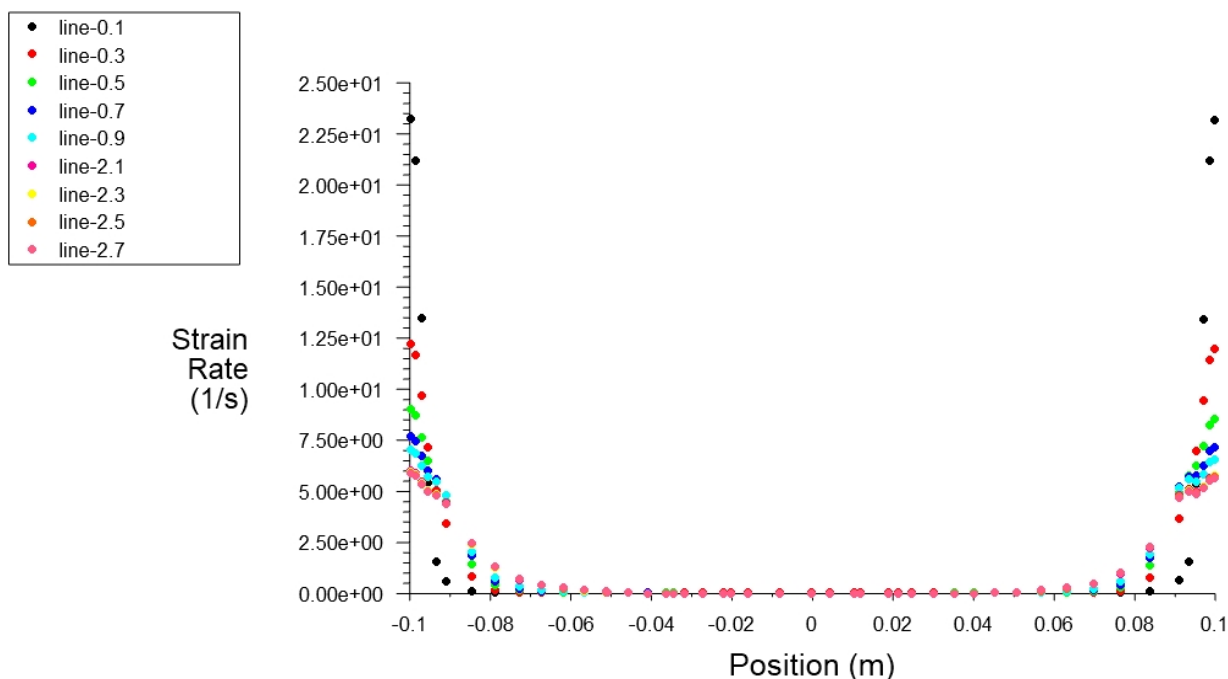


Рисунок 24 – График сдвиговой скорости в сечении трубопровода водонефтяной эмульсии после магнитной обработки

На рисунке 24 представлены результаты сдвиговой скорости в сечении трубопровода диаметром 200 мм. Центр сечения 0 показывает центр потока сечения (ядро потока). Также на графике указаны сечения на расстоянии от входа в трубопровод 0,1 м, 0,5 м, 0,7 м, 0,9 м до 2,7 м. Как можно заметить, профиль с течением времени изменяется, вытягивается в направлении скорости и в направлении ядра потока. Соответственно, сам профиль скорости вытягивается и изменяется сдвиговая скорость по длине трубы. В соответствии с полученными зависимостями графики по сдвиговой скорости непосредственно после обработки, strain rate выше, чем у исходных значений, что говорит о том, что большее количество слоев сдвинется в промежуток времени за секунду, после обработки, что соответствует лучшей текучести водонефтяной эмульсии в отличии от исходной водонефтяной эмульсии.

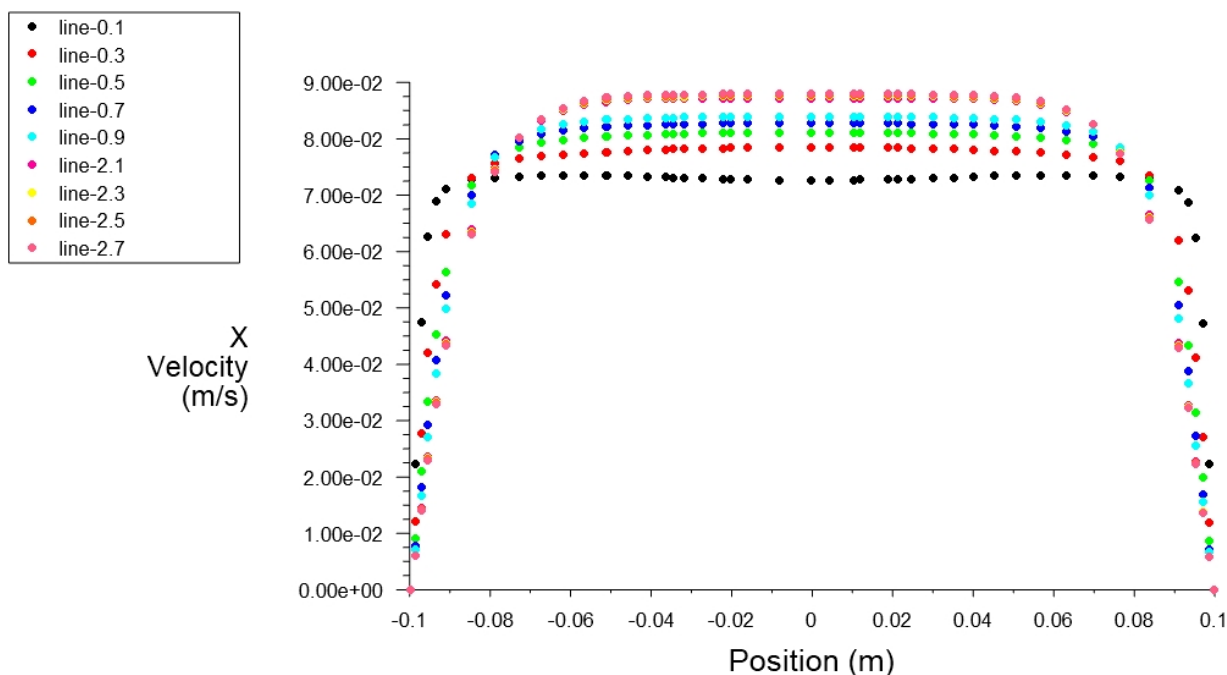


Рисунок 25 – График профиля скорости в сечении потока после магнитной обработки

На рисунке 25 представлен график профиля скорости в сечении, зависимость скорости от расположения в сечении, от удаленности от стенки. Видим, что скорости минимальны у стенок, а в ядре потока скорости максимальны: 0,1 м, 0,3 м, 0,5 м, 0,7 м. Данные скорости по сечению вдоль направления трубопровода в начальный момент времени, когда в трубу попадает эмульсия, то профиль со скоростью 0,7 м/с, однако по входе движения водонефтяной эмульсии эмульсии, профиль вытягивается, скорости концентрируются в ядре потока и достигает 0,9.

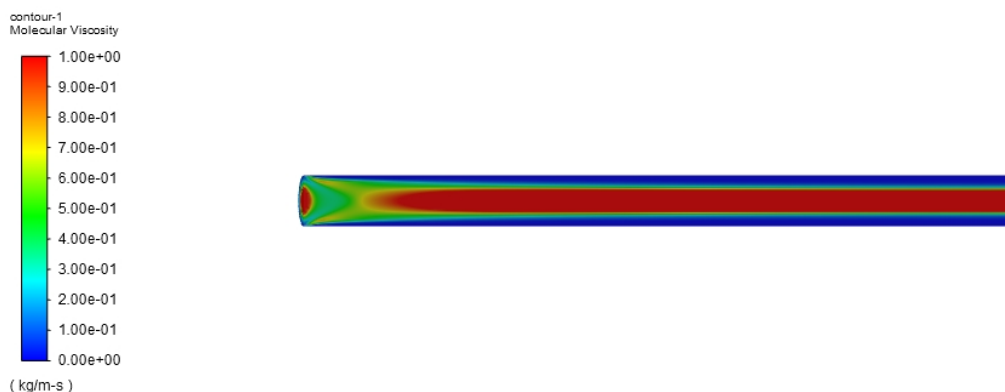


Рисунок 26 – Контур распределения вязкости водонефтяной эмульсии в продольном сечении трубопровода после магнитной обработки

На рисунке 26 представлен контур распределения вязкости водонефтяной эмульсии в продольном сечении трубы. Область, где входит поток эта области считается областью численной неустойчивости и соответственно граничные условия влияют на результаты расчета, в виду этого эту область не рассматривают, стараются отдалить от рассматриваемой области расчета. После того как поток установится, наблюдается характерная картина движения вязких неньютоновских жидкостей. Можно заметить, что вязкость в ядре потока максимальная, у стенок минимальная, поскольку у стенок сдвиговая скорость выше, так как там присутствует трение, следовательно, слои быстрее передвигаются относительно друг друга сдвиговая скорость выше в областях у этих стенок, а в ядре потока ниже.

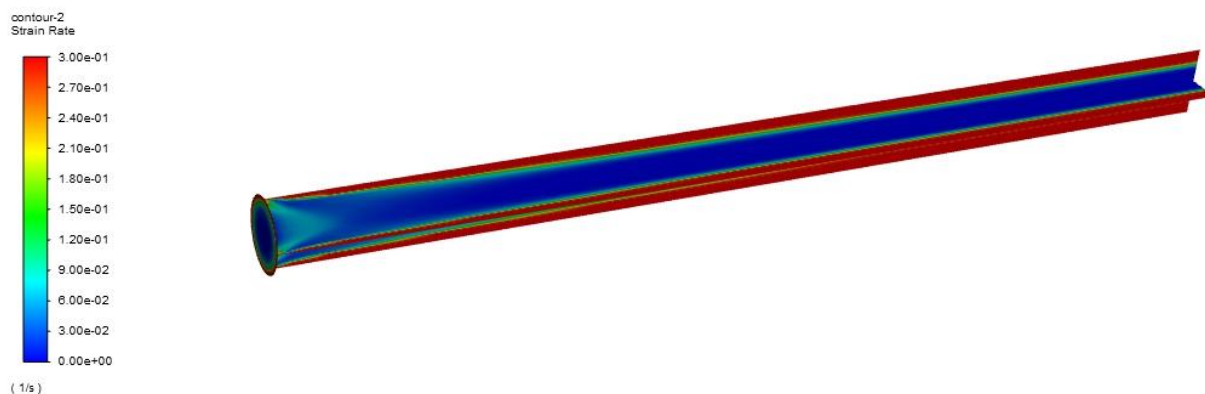


Рисунок 27 – Контур распределения сдвиговой скорости в продольных сечениях трубопровода после магнитной обработки

На рисунке 27 представлен контур распределения сдвиговой скорости в продольных сечениях трубопровода. Сдвиговая в пристеночных областях максимальна в виду явления трения стенки. В ядре потока сдвиговые скорости минимальны, так как в ядре потока скорость сдвига меньше, и, соответственно, трение, чем у стенок трубопровода. А градиент скорости у стенки выше, чем в ядре потока.

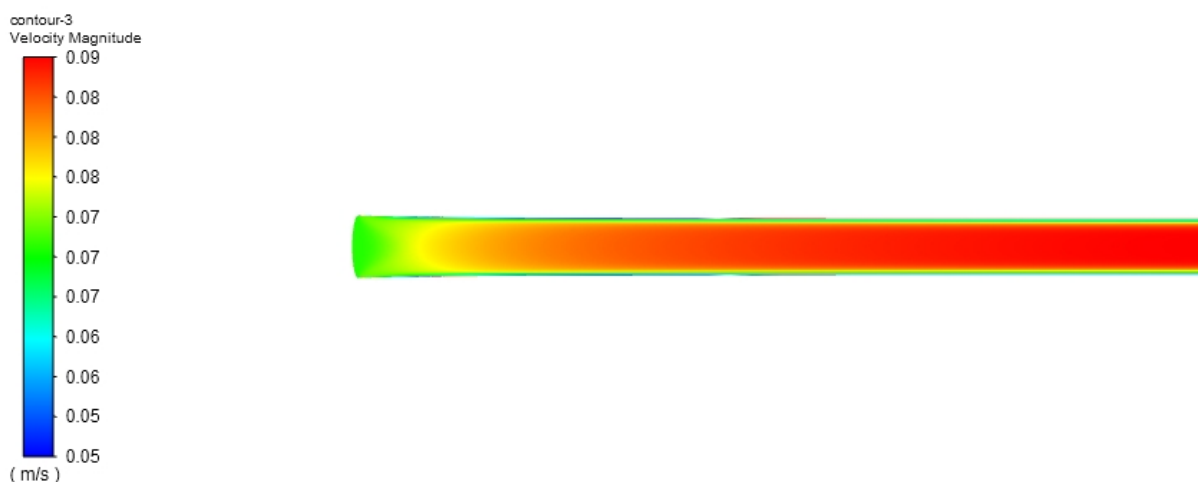


Рисунок 28 – Профиль скорости по длине трубы в продольном сечении трубопровода

На рисунке 28 представлен профиль скорости по длине трубы в продольном сечении трубопровода. Градиент профиля вытягивается в соответствии со сдвиговым напряжением. В начальный момент времени скорость потока 0,7 м/с, на выходе с правой стороны 0,09 м/с, что характерно для движения водонефтяных эмульсий неньютоновских жидкостей по степенному закону, который задается первоначально. Область у входа, граничных условий, неустойчивая, что характерно для них, так как ещё не устоялось решение, и скорости не вытянулись. Далее профиль движения скорости водонефтяной эмульсий вытягивается после середины ближе к концу трубопровода.

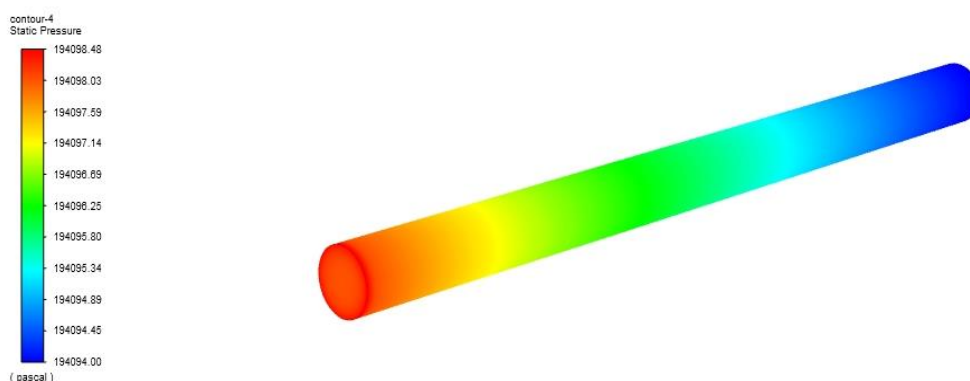


Рисунок 29 – Профиль давления по длине трубопровода



На рисунке 29 представлен профиль давления по длине трубопровода. В начале давление максимально, в конце трубы минимально. Сравнивая полученную зависимость с исходными значениями, можно заметить, что здесь меньше наблюдается перепад давления, чем для исходной смеси, что и показывает влияние магнитной индукции и приводит к улучшению картины в целом.

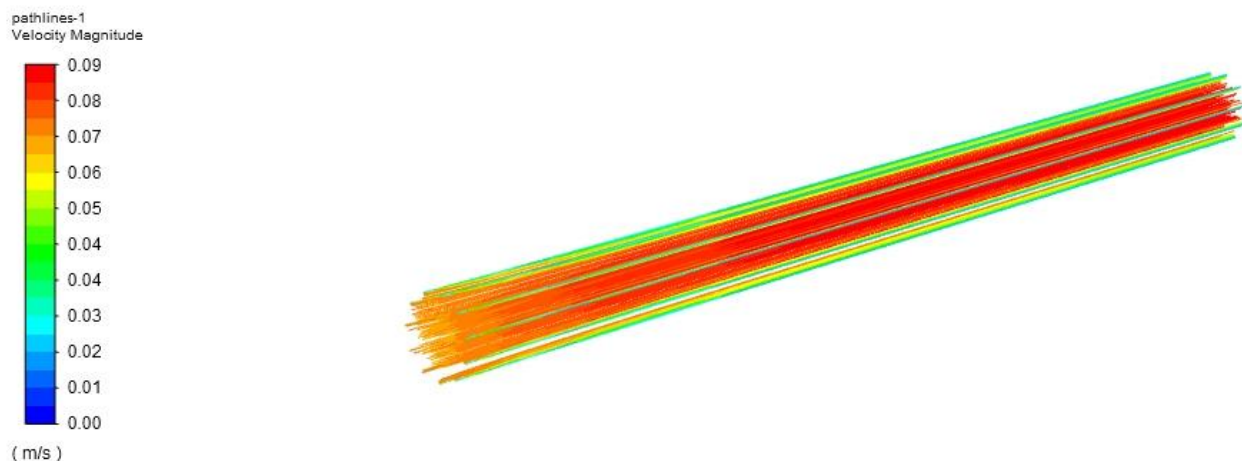


Рисунок 30 – Распределение скорости потока по линиям тока

На рисунке 30 представлено распределение скорости по линиям тока. Можно заметить, что поток не смешивается радиально (0 равна), поток движется прямолинейно от входа до выхода. Также можно заметить, что скорость потока в ядре потока выше, чем у стенок, что отражает действительные процессы, протекающие при движении жидкости вдоль длины трубы.

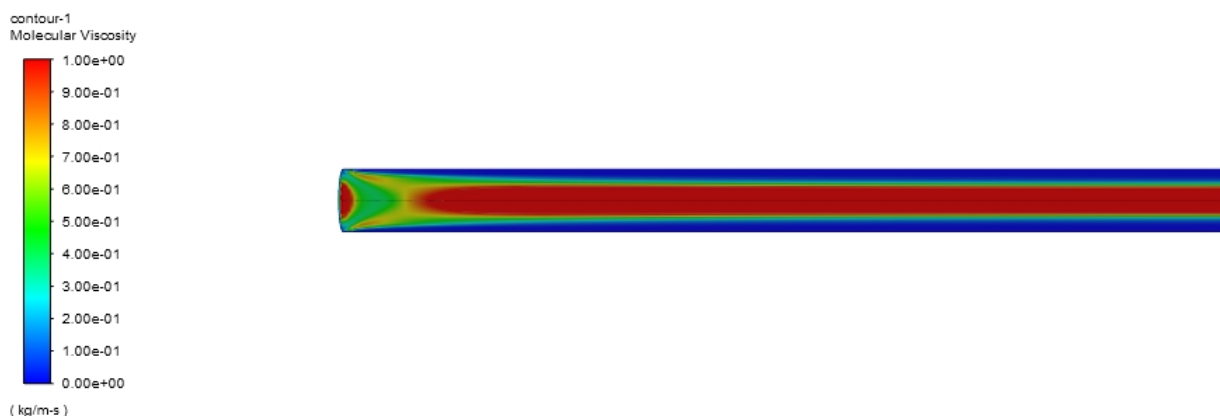


Рисунок 31 – Контур вязкости исходной водонефтяной эмульсии

На рисунке 31 представлен контур вязкости исходной водонефтяной эмульсии. Можно заметить, аналогичное распределение обработанной смеси эмульсии, как видно присутствует численная нестабильность решения возле граничного условия у входа. Далее по длине трубопровода поток выравнивается и приводится к действительному решению характерному движению водонефтяной эмульсии в трубопроводе, движению неньютоновских жидкостей. Также можно отметить, что сдвиговые скорости у стенки намного выше, чем в ядре потока, и приводит к повышению вязкости в ядре потока и снижению вязкости в пристеночных зонах.

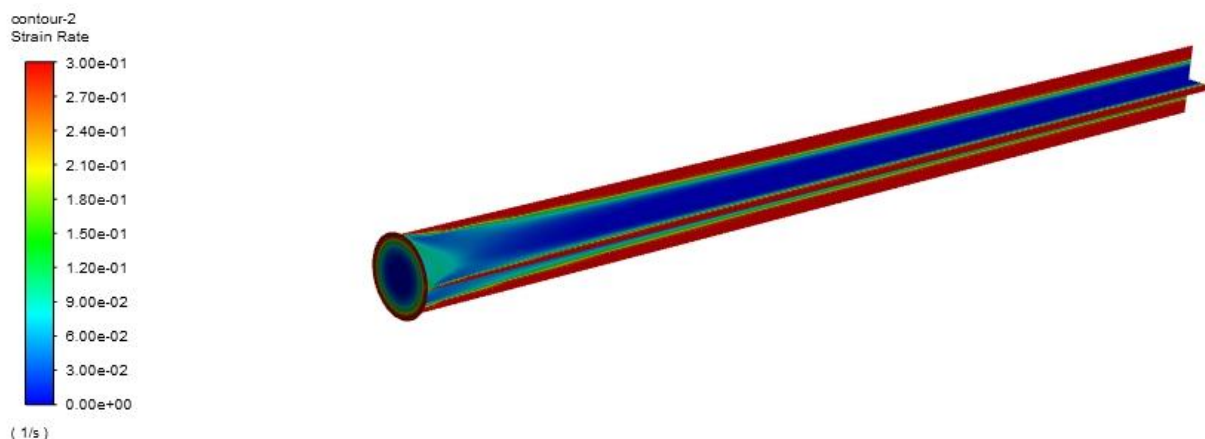


Рисунок 32 – Контур сдвиговой скорости в продольных сечениях вдоль длины трубопровода

На рисунке 32 представлен контур сдвиговой скорости в продольных сечениях вдоль трубы. Сдвиговое напряжение в пристеночных слоях выше, чем в ядре потока аналогично результатам после магнитной обработки. Однако, можно заметить, что сдвиговое напряжение меньше, соответственно, слои движутся медленнее относительно друг друга, возникают силы трения. В связи с этим магнитная обработка улучшает скорость сдвига этих слоев, что сопровождается снижением трения и последующим удельным перепадом давления на длину трубы, это позволяет достичь при одном и том же перепаде давления повышенные скорости и повышенный объемный расход.

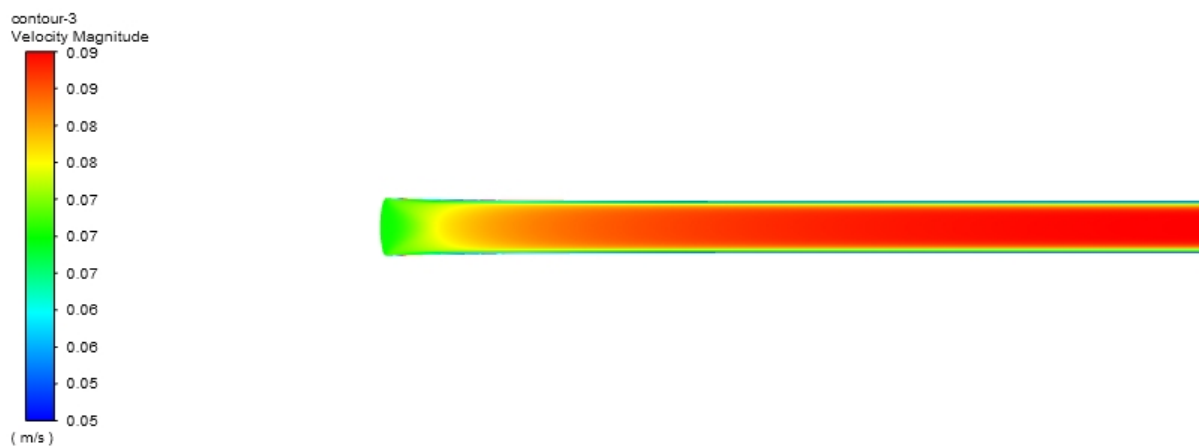


Рисунок 33 – Контур скорости в поперченном сечении вдоль длины трубопровода

На рисунке 33 представлен контур скорости в поперченном сечении вдоль длины трубопровода. При задании первоначальных условий 0,7 м/с на входе слева, в связи с неустоявшимся режимом, неустоявшимся значениями сдвиговой скорости, есть градиент по профилю скорости рядом с граничным условием на входе. Далее профиль вытягивается, соответственно, сдвиговые скорости выравниваются и вытягиваются вдоль длины трубопровода, что характерно для течения неньютоновских жидкостей или для течения водонефтяной эмульсии в трубопроводе.

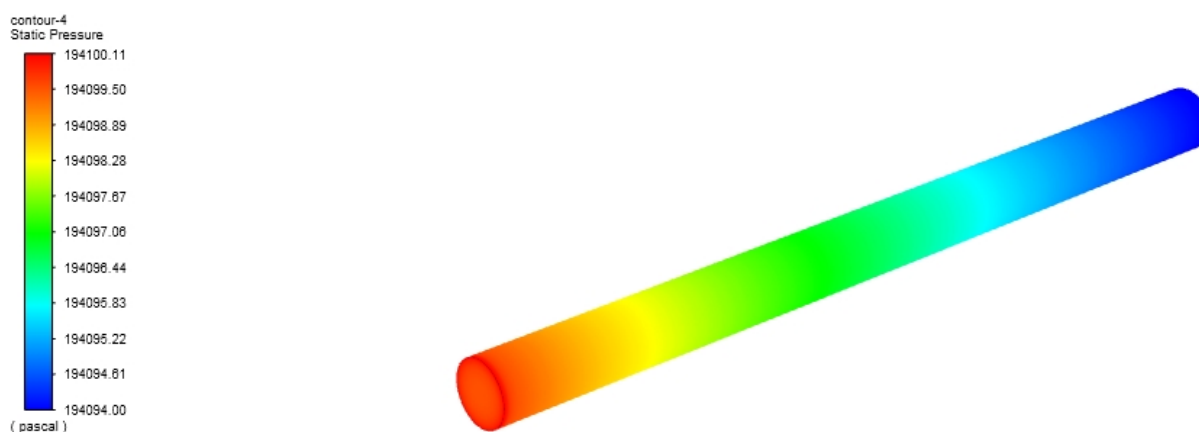


Рисунок 34 – Профиль давлений вдоль длины трубопровода

На рисунке 34 представлен профиль давлений вдоль трубопровода. Давление на входе выше, чем на выходе. Сравнивая с результаты после магнитной обработки, можно заметить, что здесь поле давлений водонефтяной эмульсии до магнитной обработки характеризуется большим перепадом

давления, чем для обработанной. При большем перепаде давления при одном и том же условии, течение исходной водонефтяной эмульсии будет хуже, чем для водонефтяной эмульсии после обработки, в связи с эффектами трения стенки.

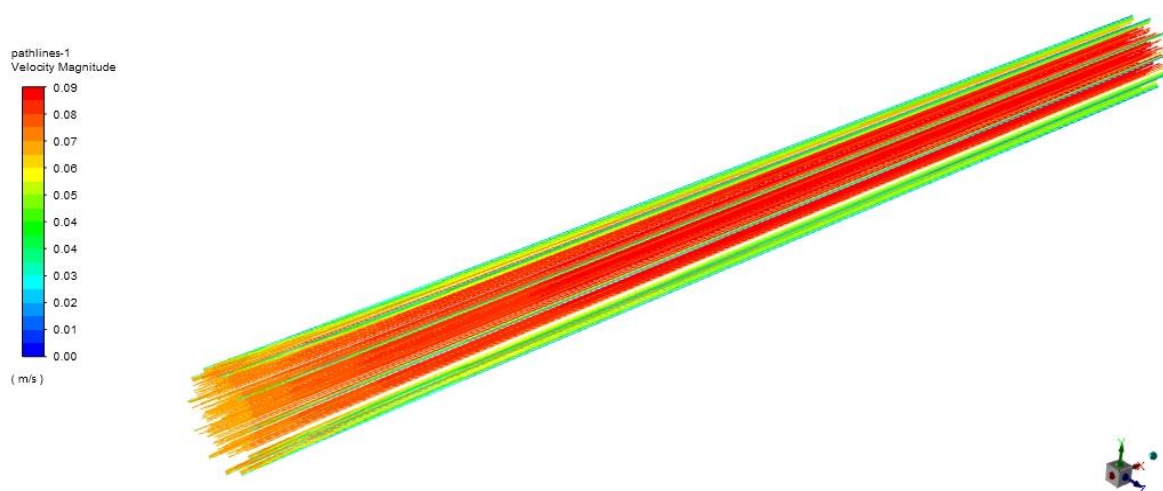


Рисунок 35 – Линии течения потока водонефтяной эмульсии до магнитной обработки

На рисунке 35 представлены график линий течения потока водонефтяной эмульсии до магнитной обработки. Можно заметить, что траектория движений линий потока прямолинейна, что характерно для неньютоновских жидкостей. Ядро потока является наиболее ускоренным местом, при этом вытягивается профиль скорости вдоль ядра потока, а у стенок наоборот минимальная скорость в связи с эффектами трения.

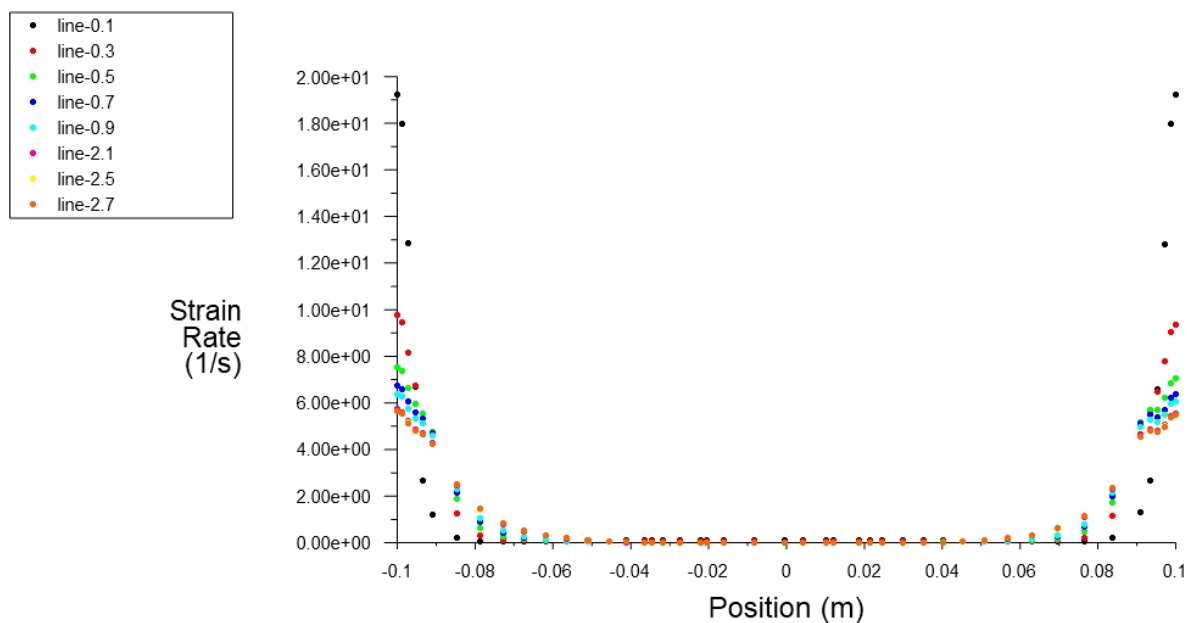


Рисунок 36 – График зависимости сдвиговой скорости в сечении трубопровода водонефтяной эмульсии до магнитной обработки

На рисунке 36 представлен график зависимости сдвиговой скорости расположения в сечении удаленности от стенки. В расчетной области сдвиговое напряжение в начале на входе в трубный участок наибольшее, так как там зона с неустойчивыми результатами, неустоявшийся профиль сдвиговых скоростей, далее профиль выравнивается. Затем профиль сужается к ядру потока, соответственно, под действием трения стенки сдвиговое напряжение у стенок падает. Как можно заметить, происходит передача сдвига на более нижележащие слои, соответственно, сужается ядро потока.

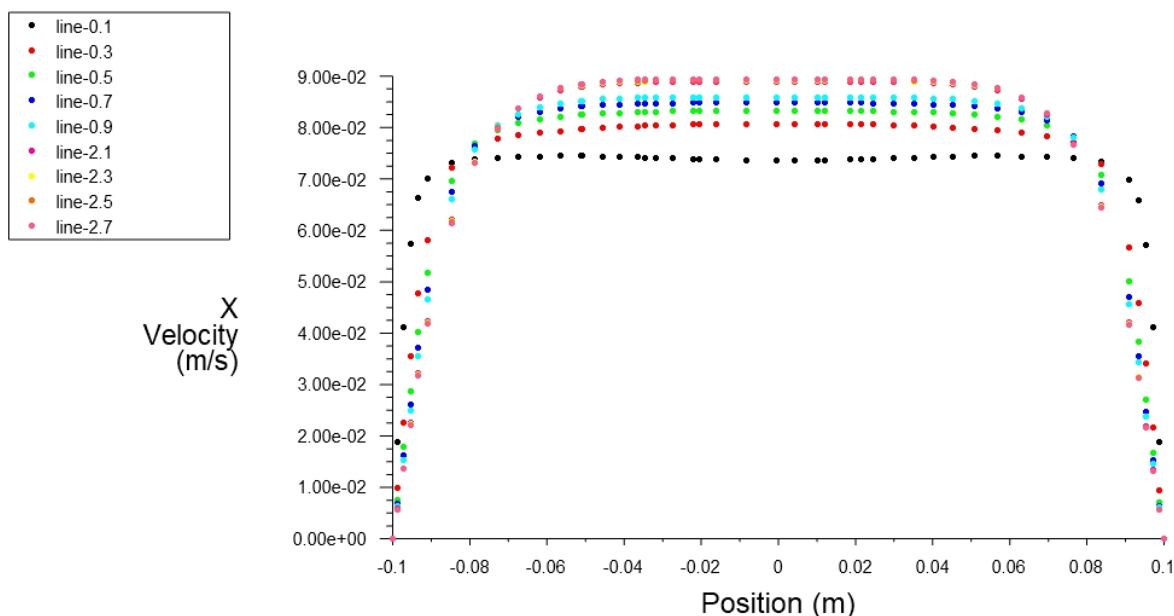


Рисунок 37 – График профиля скорости в сечении потока водонефтяной эмульсии до магнитной обработки

На рисунке 37 представлен график профиля скорости в сечении потока водонефтяной эмульсии до магнитной обработки. При одном и том же перепаде давления должны быть точно такие же результаты, характер такой же, в базовой постановке при одном и том же объеме расходе получают одинаковые скорости течения вдоль трубопровода.

По результатам работы следует отметить, что гидродинамическая модель адекватна, поскольку полученные зависимости соответствуют расчетным значениям.

В результате моделирования гидродинамической модели магнитной системы установлено что сдвиговая скорость потока непосредственно после обработки выше, чем у исходных значений, что говорит о том, что большее количество слоев сдвинется в промежуток времени за секунду, после обработки, что соответствует лучшей текучести водонефтяной эмульсии в отличии от водонефтяной эмульсии до магнитной обработки.

Также сравнивая результаты после магнитной обработки, можно заметить, что поле давлений для водонефтяной эмульсии до магнитной обработки характеризуется большим перепадом давления, чем после магнитной

обработки. При большем перепаде давления при одном и том же условии, течение исходной водонефтяной эмульсии будет хуже, чем для водонефтяной эмульсии после обработки, в связи с эффектами трения стенки.

Таким образом, разработанная гидродинамическая модель в последующем может использоваться для оценки влияния магнитной системы на гидродинамические свойства водонефтяной эмульсии при внедрении её на других месторождений, где существуют проблемы, связанные с процессом подготовки нефти.

5 Концепция стартап-проекта

5.1 Название

Сутью проекта является вывод продукта в области промышленной подготовки нефти на рынок, цель – разработать маркетинговый план продвижения данной разработки среди потенциальных клиентов. Внедрение данного продукта позволит повысить эффективность процесса разделения стойких водонефтяных эмульсий при промышленной подготовке нефти с сокращением эксплуатационных расходов. Было определено название для стартап проекта: «Magnetic system».

5.2 Описание продукта как результата НИР

Продолжительная добыча нефти способствует росту её обводненности, в результате чего образуются трудноразделимые водонефтяные эмульсии с высокой агрегативной устойчивостью и высокой вязкостью, что приводит к осложнению процессов подготовки нефти, дополнительным материальным затратам и ухудшению экологической ситуации. Для преодоления этих проблем в последние годы усилился интерес к малоэнергетическим воздействиям. Энергия магнитного поля является одной из самых эффективных, экономичных и доступных видов энергии, с помощью которой возможно разрушение водонефтяных эмульсий.

Ключевая проблема заключается в подборе эффективного комплекса для разделения стойких водонефтяных эмульсий.

Цель НИР – повышение эффективности процесса разделения стойких водонефтяных эмульсий при использовании магнитов с постоянным полем.

В качестве объектов исследования были выбраны нефти месторождений Томской области.

Эффективность процесса разделения водонефтяной эмульсии изучали на магнитной установке. Сущность метода заключается в количественном и качественном определении количества отделившейся воды от нефти.

Предлагаемое решение ключевой проблемы – магнитная система, которая представляет собой устройство, состоящее из высокоэнергетических постоянных магнитов, включающих в себя редкоземельные металлы. Внешний вид магнитной системы следующий: устройство для магнитной обработки водонефтяных эмульсий, включающее немагнитную трубу, по которой проходит водонефтяная эмульсия с закрепленным на плоских магнитах с чередованием полюсов намагничивания с помощью магнитопроводящих пластин, образующих замкнутую магнитную систему. Отличающую тем, что на немагнитную трубу крепятся плоские высокоэффективные магниты с чередующимися полюсами намагниченности S-N, N-S как вокруг трубу так и между парами полюсов с расстоянием между полюсами 30 – 50 мм и количеством пар магнитов 5 – 10 комплектов на трубе в зависимости от химического состава водонефтяных эмульсий, диаметра трубы и свойств магнитов зашунтированными снаружи стальными пластинами из низкоуглеродистой стали и образующую замкнутую магнитную систему, с градиентом напряженности магнитного поля и использованием векторного, аксиального, диаметрального и скалярной направленности магнитного поля системы.

Данная конструкция является экологически безопасной, дешевле по сравнению с применяемыми методами разделения, не требует подвода электроэнергии. К тому же использование одной магнитной установки способствует уменьшению концентрации, используемого при разделении деэмульгатора с 500 г/т нефти до 50 – 70 г/т нефти. Все это способствует сокращению эксплуатационных расходов.

5.3 Защита интеллектуальной собственности

Магнитные устройства для промышленной подготовки нефти, которые являются объектом интеллектуальной собственности, представляют для нас риск при развитии нашего изобретения, поэтому было создано общество с ограниченной ответственностью «Магнитная система» (ИНН 7017495435).

Одним из главных рисков является повторение каким-либо третьим лицом нашего изобретения после его приобретения, поэтому необходимо запатентовать наш объект. Патентование будет осуществляться на территории РФ в Роспатенте по причине места изготовления продукта, а также для поддержания изобретательского уровня страны. Также риском является выход нашего продукта на рынок, поскольку нефтедобывающая отрасль нашей страны имеет отлаженный процесс подготовки нефти, и внедрение чего-то нового на промысле требует времени. Этот вопрос будет решаться за счет налаживания связей с потенциальными партнерами, которые предоставят площадку для запуска пилотной установки магнитной системы. Помимо этого будет осуществляться продвижение нашей магнитной системы на выставках, форумах, интенсивах, конференциях и т.д.

Защита прав на интеллектуальную собственность будет заключаться в патентовании нашего изобретения. Такого рода изобретения были в России и в других странах, когда пошел пик на применение постоянного магнитного поля при интенсификации нефти в 2000-х годах. Однако эти устройства имели недостатки, которых наша магнитная система лишена. Наша система более усовершенствована и имеет элементы, которые ранее не встречались в устройствах, которые патентовались. Поэтому мы направлены на доработке патентоспособности магнитной системы, которая заключается в подтверждении новизны, изобретательского уровня и промышленной применимости объекта интеллектуальной собственности.

В соответствии с вышесказанным нами был проведен мониторинг охранных документов на наличие патентоспособности (общего уровня техники) заявляемого изобретения. Документы рассматривались по магнитным устройствам, относящимся к промышленной подготовке нефти. По результатам экспертизы 11 апреля 2023 года согласно патентным базам данных ФИПС (РФ) и ЕАПВ (Евразийского патентного ведомства) были найдены документы на магнитные устройства-аналоги с нашим назначением «Магнитная система для разделения стойких водонефтяных эмульсий при подготовке нефти». При поиске

также брали во внимание возможные РСТ заявки, которые могут перейти в течение 31 месяца на национальную фазу в РФ (патентная база WIPO). В виду отсутствия возможности проведения патентного поиска в базах ЕР (Европейского патентного ведомства), дальнейшей приоритетной задачей является обращением к патентному поверенному, обладающему доступом к полным базам, для более детальной экспертизы нашего проекта.

Ключевые слова для поиска: магнитная система, постоянный магнит, магнитная труба, постоянное магнитное поле, разрушение и/или разделение водонефтяных эмульсий, деэмульсация и/или деэмульгирование нефти, обезвоживание и/или обессоливание нефти.

Пример поискового запроса в патентной базе ФИПС: «(магнитная система OR постоянный магнит OR магнитная труба OR постоянное магнитное поле) AND (разрушение водонефтяных эмульсий OR разделение водонефтяных эмульсий OR деэмульсация нефти OR деэмульгирование нефти OR обезвоживание нефти OR обессоливание нефти)», где OR и AND служат операторами для более точного запроса.

Индексы МПК: C02F 1/48 («Обезвоживание или деэмульсация углеводородных масел – электрическими или магнитными средствами»); C10G 33/02 («Обезвоживание или деэмульсация углеводородных масел – электрическими или магнитными средствами»).

Сведения о найденных релевантных патентных документов представлены в таблице 6.

Таблица 6 – Релевантные патентные документы

Номер заявки/ патента	Название	Патентообладатель	Статус документа
RU 1195330 U	Устройство для магнитной обработки пластовой жидкости, преимущественно высокообводненной (варианты)	Общество с ограниченной ответственностью «Научно-Производственное Предприятие «МАГНИТРОН» (RU)	Не действует (последнее изменение статуса: 02.07.2021)
RU 2127708 C	Устройство для магнитной обработки жидкости	Открытое акционерное общество «ПермНИПИнефть» (RU)	Не действует (последнее изменение статуса: 02.07.2021)
RU 2091323 C	Устройство для магнитной обработки жидкости		
RU 12409 U	Устройство для магнитной обработки жидкости		
RU 2123513 C	Устройство для магнитной обработки жидкости		

Продолжение таблицы 6

RU 39133 U	Устройство для магнитной обработки жидкости	ООО «НПП» ЛАНТАН-1» (RU)	Прекратил действие, но может быть восстановлен (последнее изменение статуса: 02.07.2021)
RU 2153126 C	Устройство для защиты трубопроводов от коррозии	Федеральное государственное унитарное предприятие «Сибирский химический комбинат»	не действует (последнее изменение статуса: 02.07.2021)
RU 40925 U	Устройство разделения водонефтяной смеси	Открытое акционерное общество «Татнефть» им. В.Д. Шашина (RU)	
RU 2235690 C	Устройство для магнитной обработки нефти	ООО «НПП» ЛАНТАН-1» (RU)	Прекратил действие, но может быть восстановлен (последнее изменение статуса: 02.07.2021)

Согласно статье 1250 ГК РФ («Защита прав интеллектуальной собственности») необходимо было проводить сопоставительный анализ признаков каждого пункта формулы изобретения относительно найденных охраняемых документов с целью доказательства отсутствия нарушения прав третьих лиц. Однако в соответствии с тем, что они прекратили свое действие и являются общественным достоянием, в анализе патентной чистоты нет необходимости.

В виду того, что магнитная система имеет положительную тенденцию к патентованию на основании проведенного анализа для защиты своей интеллектуальной собственности, были подготовлены и поданы 3 заявки на патенты на магнитное устройство.

5.4 Объем и емкость рынка

В РФ на данный момент насчитывается 2 600 месторождений нефти, большинством из них владеют 7 крупнейших нефтяных компаний, каждая из которых является потенциальным клиентом [32]. В РФ на данный момент насчитывается 2 600 месторождений нефти, большинством из них владеют 7 крупнейших нефтяных компаний, каждая из которых является потенциальным клиентом. Оценка рынка проводится от спроса, то есть той проблемы которую мы решаем, следовательно, проблемы разделения водонефтяных эмульсий. В виду того что при подготовке нефти почти все компании используют химические реагенты, поэтому мы производим оценку рынка технических решений, а так как при разделении водонефтяных эмульсий используют, поэтому будем определять объем рынка по объемам покупок этого решения.

На рисунке 38 представлена ёмкость рынка. На основании этого потенциальный рынок РФ (TAM) составил 12 406 млн. рублей. В виду того, что существуют технические ограничения, связанные с количеством обводняемых месторождений, ограниченностью применяемых магнитных систем и условиям, то доля (50 % от TAM) фактического рынка SAM составила 5 203 млн. рублей. И SOM (5 % от SAM) доступного объема составил 1 460 млн. рублей по причине

барьеров входа в Госкорпорации (долгосрочные партнерства), сложность проведения пилота), ограничения производственными мощностями магнитных систем.

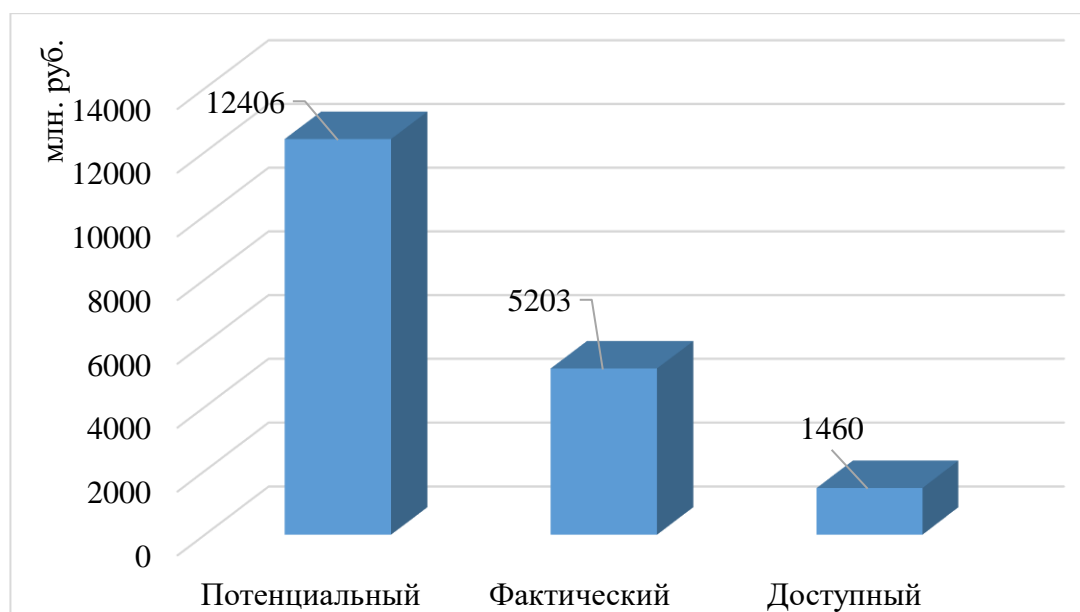


Рисунок 38 – Ёмкость рынка

Из графика можно сделать вывод о том, что рынок обладает большим потенциалом роста.

5.5 Анализ современного состояния и перспектив развития отрасли

Поддержание стабильного уровня добычи нефти в РФ на уровне в 525 млн. т. – это заявленная цель развития отрасли в Энергетической стратегии России на период до 2035 г. [33]. В настоящее время общемировой тенденцией добычи нефти является заводнение пласта, поскольку это самый распространённый процесс разработки углеводородных залежей. В России свыше 90 % всей нефти добывают из заводняемых месторождений. Основная часть высокообводненной нефти России находится в Западной Сибири (ХМАО, ЯНАО, Омской, Курганской, Томской, частично Свердловской, Новосибирской областей, Красноярского и Алтайского краев России).

В этом регионе уже открыто порядка пятисот нефтяных, нефтегазоконденсатных и нефтегазовых месторождений, которые содержат в

себе 73 процента всех разведанных на данный момент запасов российской нефти, то есть запасы Западной Сибири составляют 9,8 млрд. т. нефти, что позволит Западносибирской ресурсной провинции оставаться ведущим добывающим регионом нашей страны еще не один десяток лет.

Самым богатым нефтяным регионом Западной Сибири и России является Ханты-Мансийский автономный округ (ХМАО). Крупные нефтяные ресурсы сосредоточены также и в другом российском регионе – Ямало-Ненецком автономном округе (ЯНАО).

Третьим по значимости нефтедобывающим центром России в Западной Сибири является Томская область [34].

Здесь в разработке находятся 18 из 84 разведанных месторождений нефти, которые характеризуются высоким сроком выработки и обводненностью, что влечет за собой высокие энергозатраты. Самыми крупными из которых являются Первомайское, Советское, Игольско-Таловое и Лугинецкое. Уровень средней выработанности первоначальных запасов всех уже открытых промыслов составляет примерно 30 процентов.

Стоит сказать, что объем еще не разведанных нефтяных ресурсов Томской области, по оценкам специалистов, сделанных на основании геологического прогноза, больше разведанных примерно в 1,8 раза [35]. Это позволяет сделать вывод о том, что нефтедобыча в Томской области будет продолжаться еще много лет.

5.6 Планируемая стоимость продукта

Конечная стоимость магнитной установки будет основываться чуть выше уровня себестоимости конструкции. Данный подход применяется при внедрении нового товара на рынок, в целях резкого увеличения доли рынка или в целях сохранения заданного объема продаж или стимулирования продаж.

Планируются два направления реализации продукта: собственное производство и производство на аутсорсинге.

Собственное производство. Величина первоначальных инвестиционных затрат для данного проекта оценивалась, как совокупная стоимость материальных и нематериальных инвестиционных затрат (таблица 7).

Таблица 7 – Инвестиционные затраты

Материальные затраты	Нематериальные затраты
Затраты на патентирование: 21 тыс. руб	Технологическое оборудование: 200 тыс. руб Оборотные средства: 150 тыс. руб
Итого: $21 + 200 + 150 = 371$ тыс. руб	

В состав постоянных затрат в рамках данного проекта включили: затраты на аренду производственных площадей, накладные расходы, амортизационные отчисления (таблица 8).

Таблица 8 – Постоянные и переменные затраты

Постоянные затраты		Переменные затраты	
Арендная плата	30 000 руб./мес.	Сырье и материал	211 500 руб./шт.
Накладные расходы	50 000 руб./год	Основная зарплата лаборанта	9 500 руб./шт.
Амортизационные отчисления	$200\,000/5 = 40\,000$ руб./год	Основная зарплата производственного персонала	17 500 руб./шт.
Итого (за год):	$30\,000 \cdot 12 + 50\,000 + 40\,000 = 450\,000$ рублей	Отчисления во внебюджетные фонды	30,2 %

В состав переменных затрат включили: стоимость сырья, материалов и комплектующих изделий, используемых при производстве, заработную плату лаборанта и производственного персонала (слесарь), страховые взносы во внебюджетные фонды (фонд пенсионного страхования, фонд социального страхования, фонд обязательного медицинского страхования), величину которых рассчитывали, как процент от начисленной заработной платы (таблица 10).

В состав переменных затрат включили затраты для производства 1 магнитной конструкции, для которой необходимо:

- 8 постоянных магнитов, включающих редкоземельные металлы;
- 1 труба среднего диаметра 152 [36];
- защитное покрытие [37].

В таблице 9 приведены затраты на 1 магнитную конструкцию. В качестве устройства для монтирования магнитов была выбрана труба 152 мм, но возможно и в трубы других диаметров. Также и количество монтируемых магнитов может варьироваться (4 – 8 шт.).

Таблица 9 – Расчет затрат на 1 магнитную конструкцию

№ п/п	Наименование затрат	Ед. изм.	Расход	Цена за единицу, руб.	Сумма, руб.
1	Магнит	шт.	8	20 000	160 000
2	Труба 152 мм	шт.	1	50 000	50 000
3	ВУС-изоляция 159 мм	шт.	6	250	1 500
Итого:					211 500

Таблица 10 – Переменные затраты

Год	Формула расчета	Переменные затраты, рублей
1	$24 \cdot (211\,500 + 9\,500 + 17\,500 + 0,302 \cdot (9\,500 + 17\,500))$	5 919 696
2	$32 \cdot 211\,500 + 24 \cdot (9\,500 + 17\,500 + 0,302 \cdot (9\,500 + 17\,500))$	7 611 696
3	$38 \cdot 211\,500 + 24 \cdot (9\,500 + 17\,500 + 0,302 \cdot (9\,500 + 17\,500))$	8 880 696

Рассчитали производственно-сбытовые затраты по проекту, определили себестоимость в расчете на единицу продукции и по годам эксплуатационной стадии расчетного периода проекта (таблица 11).

Таблица 11 – Себестоимость

Годы реализации и проекта	Прогнозируемые объемы продаж, шт.	Переменные затраты, руб/год	Постоянные затраты тыс.руб/год	Производственно-сбытовые затраты, руб. (Пер. з. + пост. з.)	Себестоимость в расчете на единицу продукции, руб.
1-й	24	246 654	450 000	6 369 696	265 404
2-й	32	237 866		8 061 696	251 928
3-й	38	233 703		9 330 696	245 544,7

Выручку от реализации продукции рассчитали, как произведение цены за единицу продукции на объем продаж в количественном выражении с учетом условий рыночной среды, представленных в описании (таблица 12).

Таблица 12 – Выручка от реализации

Год	Формула расчета	Выручка, рублей
1	$280\,000 \cdot 24$	6 720 000
2	$280\,000 \cdot 32$	8 960 000
3	$280\,000 \cdot 38$	10 640 000
Итого:	26 320 000 рублей	

В таблице 13 приведен расчет денежных потоков поступлений и выплат за весь период реализации проекта.

Таблица 13 – Расчет денежных потоков

Показатели	Расчетные периоды проекта			
	0	1	2	3
ОПЕРАЦИОННАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ				
Выручка, руб.		6720000	8960000	10640000
Себестоимость, в т. ч.:		6369696	8061696	9330696
Сырье и материалы, руб.		5076000	6768000	8037000
З/п производственного персонала, руб.		228000	228000	228000
З/п торгового персонала, руб.		420000	420000	420000
Отчисления во внебюджетные фонды, руб.		195696	195696	195696
Амортизационные отчисления, руб.		40000	40000	40000
Арендная плата, руб.		360000	360000	360000
Накладные расходы, руб.		50000	50000	50000
Себестоимость на единицу продукции, руб.		265404,00	251928,00	245544,63
Налогооблагаемая прибыль, руб.		350304	898304	1309304
Налог на прибыль, руб.		70060,8	179660,8	261860,8
Чистая прибыль, руб.		280243,2	718643,2	1047443,2
Денежный поток от операционной деятельности, руб.		320243,2	758643,2	1087443,2
ИНВЕСТИЦИОННАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ				
Стоимость оборудования, руб.	200000			
Оборотные средства, руб.	21000			
Патентование, руб.	150000			
Денежный поток от инвестиционной деятельности	-371000	0	0	0
Чистый денежный поток по двум видам деятельности, руб.	-371000	320243,2	758643,2	1087443,2
Кумулятивный чистый денежный поток, руб.	-371000	-50756,8	707886,4	1795329,6

По результатам прогноза денежных потоков проект можно оценить, как жизнеспособный. Проект полностью окупится на втором году реализации (исходя из расчета в таблице 13 знак кумулятивный чистого денежного потока сменился с минуса на плюс на втором году реализации проекта). На третьем году будет получен чистый денежный поток составил 1 087 тыс. руб.

В таблице 14 проведен расчет показателей эффективности проекта методами статической оценки.

Таблица 14 – Расчет показателей эффективности методами статистической оценки

<i>Точка безубыточности</i>	
1-ый год	$450\,000 / 12 / (280\,000 - 246\,654) = 1,12$ рублей
2-ой год	$450\,000 / 12 / (280\,000 - 237\,866) = 0,89$ рубля
3-ий год	$450\,000 / 12 / (280\,000 - 233\,703) = 0,81$ рубль
<i>Рентабельность инвестиций</i>	
1-ый год	$(6\,720\,000 - 6\,369\,696) / 371\,000 \cdot 100\% = 94,42\%$
2-ой год	$(8\,960\,000 - 8\,061\,696) / 371\,000 \cdot 100\% = 242,13\%$
3-ий год	$(10\,640\,000 - 9\,330\,696) / 371\,000 \cdot 100\% = 352,91\%$
<i>Срок окупаемости проекта</i>	
Так как срок окупаемости (РВ) рассчитывается на основании анализа денежных потоков, т. е. по году проекта, в котором накопленный денежный поток принимает положительное значение, то чистую годовую прибыль берем за 1-ый год. Тогда:	
$РВ = 371\,000 / 280\,243,2 = 1,32$ лет или 1 год 4 месяца	

Так как рентабельность инвестиций за весь период реализации проекта больше нормы доходности (20 %), то инвестировать в проект целесообразно. Рентабельность производства обеспечивается не высокой стоимостью сырья, относительно небольшими текущими издержками на производство и приемлемыми доходами после выхода на плановые показатели производства. Срок окупаемости проекта составил 1 год 4 месяца. Однако данные показатели не полно характеризуют инвестиционную привлекательность проекта, поскольку статистические методы оценки проекта не связаны с реальным движением денежных средств, а также они не учитывают реальную стоимость денег с течением времени. Для учета реальной стоимости денег с течением времени используют дисконтированный метод расчета. Метод дисконтирования денежных потоков считается универсальным, поскольку позволяет определить, чего стоят будущие доходы в настоящем времени. Потоки денег могут быть изменчивыми, прибыли сменяться убытками, их динамику далеко не всегда можно предусмотреть. Но всегда можно оценить приобретаемую собственность с точки зрения приобретаемых сегодня преимуществ, которые она может дать в будущем.

В таблице 15 приведён расчет показателей эффективности проекта дисконтированным методом. Ставку дисконтирования приняли равной 20 %, в

виду начала запуска организации (репутация на рынке), подверженность предприятия факторам риска в виде инфляции, изменений процентных ставок и валютного курса.

Таблица 15 – Расчет показателей эффективности дисконтированными методом

NPV	
1-ый год	$320\ 243,2 / (1 + 0,2)^1 = 266\ 869,3$ рублей
2-ой год	$758\ 643,2 / (1 + 0,2)^2 = 526\ 835,6$ рублей
3-ий год	$1\ 087\ 443,2 / (1 + 0,2)^3 = 629\ 307,4$ рублей
$\sum_{i=1}^N DP_i = 266\ 869,3 + 526\ 835,6 + 629\ 307,4 = 1\ 423\ 012,3$ рублей	
$NPV = \sum_{i=1}^N DP_i - I_0 = 1\ 423\ 012,3 - 371\ 000 = 1\ 052\ 012,3$ рубля	
PI	
$\sum_{i=1}^N DP_i = 266\ 869,3 + 526\ 835,6 + 629\ 307,4 = 1\ 423\ 012,3$ рублей	
$PI = 1\ 338\ 753,1 / 371\ 000 = 3,84$	
IRR	
121 %	
DPP	
$\sum_{i=1}^N DP_i = 266\ 869,3 + 526\ 835,6 + 629\ 307,4 = 1\ 423\ 012,3$ рублей	
$DP_{сг} = \frac{\sum_{i=1}^N DP_i}{N} = 1\ 423\ 012,3 / 3 = 474\ 337,4$ рублей	
$DPP = 371\ 000 / 474\ 337,4 = 0,78$ года или 9 месяцев	

Исходя из полученных показателей эффективности проекта (таблица 15), можно сделать вывод, что данный проект выгодный, так как на каждом этапе его оценки получены значения, характеризующие положительную эффективность. Так $NPV = 1\ 052\ 012,3$ рублей, показатель положительный, следовательно, инвестиции оправдались. Индекс рентабельности инвестиций PI , показывает целесообразность инвестиционного проекта, поскольку $PI = 3,84$, и $PI > 1$ – это означает, что инвестиционный проект рентабельный и его можно принять к рассмотрению. IRR – показатель, который характеризует доходность инвестиционного проекта, поскольку $IRR = 121\ %$, больше RT (ставки дисконтирования = $20\ %$), то ожидается прибыль. DPP означает время, за которое вернуться вложенные средства с учетом инфляции, данный показатель составил $0,78$ года или 9 месяцев. Таким образом, инвестиции в проект окупятся в течение 9 месяцев, после этого проект начнет приносить стабильный доход.

Производство на аутсорсинге. В случае, если организация производства продукции будет осуществляться на аутсорсинге (производство магнитных

систем + логистика производимой продукции). Мы будем представлять головной офис, который будет заниматься маркетингом управлением развития стартап-проекта. Также проведением лабораторных исследований по проекту. Тогда оценка экономической эффективности проекта будет выглядеть следующим образом (таблица 16 – 18).

Таблица 16 – Бюджет

Инвестиции	
От инвестора	1. Объем необходимых инвестиций – 10 млн. рублей
	2. Помощь в организации продаж
Инвестору	1. Долевое участие в проекте. Доля 10%.
План расходов	1. Поддержание организации
	2. Оборотные средства для первой партии продукции
	3. Прочие (лабораторные исследования, документация и т.д.)

Таблица 17 – Распределение инвестиционных средств

Инвестиции	10 000 000 рублей
	1 год
	50 шт.
Себестоимость + логистика	7 150 000 Р
Маркетинг (наращивание базы потенциальных клиентов, коммуникация с рынком)	500 000 Р
Документация	110 000 Р
Затраты на R&D	800 000 Р
З/п команды	1 440 000 Р
ИТОГО:	10 000 000 Р

Таблица 18 – Расчет денежных потоков

Стоимость устройства	250 000 рублей (материалы + логистика)		
Объем продаж, шт.	1 год	2 год	3 год
	50	75	100
Стоимость МС	900 000 рублей		
Выручка, руб.	45 000 000	67 500 000 Р	90 000 000 Р
Себестоимость, руб.	12 500 000 Р	18 750 000 Р	25 000 000 Р
Налогооблагаемая прибыль, руб.	32 500 000 Р	48 750 000 Р	65 000 000 Р
Налог на прибыль, руб.	6 500 000 Р	9 750 000 Р	13 000 000 Р
Чистая прибыль, руб.	26 000 000 Р	39 000 000 Р	52 000 000 Р
Доля инвестора в натуральном выражении	4 500 000 Р	6 750 000 Р	9 000 000 Р

Консервативный прогноз. При предоставлении средств инвесторами мы планируем работать с ними по дивидендной модели, при которой возврат средств будет осуществлен через 3 год (30% годовых).

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

Существуют различные установки по разделению водонефтяных эмульсий, все они основаны на выборе принципа, с помощью которого разрушается устойчивая водонефтяная эмульсия. Основными методами являются: механические; термические; химические; электрические.

В целях сравнения конкурентных технических решений приведем оценочную карту, вычислим коэффициенты конкурентоспособности (таблица 19).

Таблица 19 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы				Конкурентоспособность			
		Б _ф	Б _{к1}	Б _{к2}	Б _{к3}	К _ф	К _{ф1}	К _{ф2}	К _{ф3}
1. Эффективность	0,23	5	5	5	4	1,15	1,15	1,15	0,92
2. Простота эксплуатации	0,1	5	3	4	4	0,5	0,3	0,4	0,4
3. Безопасность	0,2	5	5	4	3	1	1	0,8	0,6
4. Экологичность	0,15	5	5	3	3	0,75	0,75	0,45	0,45
5. Универсальность	0,15	3	4	5	3	0,45	0,6	0,75	0,45
6. Цена	0,1	5	4	3	4	0,5	0,4	0,3	0,4
7. Наличие сертификации разработки	0,07	5	5	5	6	0,35	0,35	0,35	0,42
Итого:	1					4,7	4,55	4,2	3,64

В таблице 13 условно обозначены баллы и конкурентоспособность:

Б_ф, К_ф – разрабатываемое решение;

Б_{ф1}, К_{ф1} – конкурентное решение – механические методы;

Б_{ф2}, К_{ф2} – конкурентное решение – термические методы;

Б_{ф3}, К_{ф3} – конкурентное решение – электрические методы.

Веса показателей в сумме составляют 1. Баллы по каждому показателю оцениваются по пятибалльной шкале. Конкурентоспособность конкурента К:

$$K = \sum V_i \cdot B_i,$$

где: V_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – балл i -го показателя.

Были выбраны данные методы [38], т.к. они являются одними из наиболее часто применяемых. В данном случае не рассматривался химический метод, поскольку его используют повсеместно в совокупности со другими методами, как и в нашем случае, снижая количество закачиваемого деэмульгатора.

Критерии оценки и их веса определялись в соответствии с требованиями, предъявляемым к деэмульгаторам.

Анализируя данные оценочной карты, можно сделать вывод о том, что разрабатываемое решение конкурентоспособно, имея при этом главные требуемые технические характеристики с более высокими показателями или на уровне конкурентов. Данная карта помогает оценить возможности технических решений конкурентов и собственного и увеличить возможность развития продукта, выхода его на рынок и продвижения.

В таблице 20 приведен анализ потенциальных конкурентов, предоставляющих похожую продукцию.

Таблица 20 – Анализ конкурентов

Конкурент	Ресурс/Сильные стороны	УТП	Стратегия	Занятые ЦА	Слабые стороны/ Уязвимости
ИНКОМП-НЕФТЬ [39]	<ul style="list-style-type: none"> - препятствуют отложениям парафинов; - обеспечивают разрушение эмульсий, снижение коррозионной активности жидкости; - выпускаются для трубопроводов диаметром 108, 159, 215, 325, 377, 425 мм. 	<p>Установки типа УМП предназначены для обработки жидкости постоянным, переменным, импульсным магнитным полем.</p>	<p>Компания разрабатывает технические средства и технологии, направленные на предотвращение осложнений в нефтедобыче и ликвидацию их последствий. Значительный опыт также накоплен компанией в разработке и внедрении аппаратов магнитной обработки жидкости и газа.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - нефтедобывающие компании (государственные) - нефтедобывающие компании (частные) 	<ul style="list-style-type: none"> - ограниченные условия работы - относительно небольшой срок службы
ООО «МИЛАНТ» [40]	<ul style="list-style-type: none"> - уменьшают скорость коррозии трубопроводов более чем в 2 раза; - уменьшают отложения АСПО на стенках труб; - увеличивают межочистной период работы скважины. 	<p>Установки предназначены для обработки нефти постоянным магнитным полем.</p>	<p>Компания производит не стандартизированное и емкостное оборудование. Выполняя при этом заказы различной сложности: от выпуска партии серийного оборудования, до разработки отдельных мелких узлов по заданиям Заказчика. Осуществляет, весь процесс изготовления: от создания проекта с</p>	<ul style="list-style-type: none"> - нефтедобывающие компании (государственные) - нефтедобывающие компании (частные) 	<ul style="list-style-type: none"> - ограниченные условия работы - относительно небольшой срок службы

			привлечением, если это необходимо, специалистов проектных институтов соответствующего профиля, до проведения монтажа.		
--	--	--	--	--	--

5.8 Целевых сегменты потребителей создаваемого продукта

Сферы рынка, где могут использовать магнитную установку, на основе сплава самарий-кобальт.

Нефтедобыча – магнитные элементы вдоль трубопровода повышают экологичность производства, позволяют создать технологический цикл замкнутого типа по разделению стойких и аномальностойких водонефтяных эмульсий.

Электротехника – практическое применение постоянных магнитов при производстве электродвигателей, генераторов, стартеров, электромеханических приборов.

Электроника – при производстве акустических систем, тормозных системы, систем магнитной сепарации, подъемных систем, спутниковых систем электронных усилителей сигналов, приводов жестких дисков компьютеров, датчиков перемещения, тралов, мототехники, бензопил, лодочных моторов, мотоциклов, снегоходов, ламп бегущей волны, линейных приводов.

Также магниты на основе самарий-кобальт используют в военной и космической промышленности. При производстве продукции стратегического и военного характера, где требуется особая надежность и стабильность, магниты на основе самария являются просто незаменимыми.

При разработке стратегии на первом этапе рассматриваем только нефтяную отрасль, в дальнейшем планируется проработать другие вышеперечисленные рынки.

В таблице 21 приведено описание типажей целевой аудитории.

Таблица 21 – Типажи целевой аудитории

Типаж ЦА	Описание типажа	Мотив	Критерий выбора
Государственные нефтедобывающие компании	Государственные компании, занимающиеся добычей нефти	Экономика страны	- стоимость; - срок эксплуатации; - период обслуживания; - стабильность; - надежность.
Частные нефтедобывающие компании	Частные компании, занимающиеся добычей нефти	Получение прибыли	- стоимость; - срок эксплуатации; - период обслуживания; - изменчивость; - надежность.

5.9 Бизнес-модель проекта

Одним из наиболее удобных и эффективных инструментов управления предпринимательской деятельностью является бизнес-модель, созданная известным предпринимателем и новатором в сфере бизнес-моделирования Александром Остервальдером. Разработка Остервальдера представляет собой схему, которая позволяет увидеть перед собой полную модель бизнеса и проанализировать ее.

Данная разработка включает в себя девять блоков, представляющих собой важные части организации: сегменты потребителей; ключевые ценности организации; каналы, через которые осуществляется поставка; взаимоотношения с различными сегментами клиентов; потоки доходов организации; ключевые ресурсы для создания ключевых ценностей; ключевые действия для максимально эффективной работы; ключевые партнеры и поставщики организации; структура расходов предприятия.

Для успешной реализации проекта выработка бизнес-модели является ключевой, особенно для описания бизнес плана и дальнейшего продвижения на рынке.

Потребительские сегменты – в данном кубе выделяют те компании, которые будут покупать разрабатываемый продукт. Сегментов может быть несколько, но на первом этапе рассматриваем только нефтяную отрасль.

Ключевой вид деятельности – подбор эффективного комплекса для разделения стойких и аномальностойких водонефтяных эмульсий.

Ценностное предложение – это отличительное свойство, почему компании будут покупать разрабатываемое устройство. Для магнитной установки, включающей редкоземельные металлы – это её экологичность, сокращению расходов на деэмульгатор и низкая цена.

Ресурсы позволяют компании производить и доносить до потребителя ценностные предложения, поддерживать связи с потребителями и получать прибыль. Компания может быть собственником ресурсов, арендовать или покупать их у партнёров. Учитывая доступность лаборатории Томского политехнического университета и простоту изготовления магнитной установки, не потребуются арендовать помещение и закупать дополнительное оборудование, поэтому ключевыми ресурсами являются: материальные (сырьё) и персонал.

К ключевым партнерам относятся поставщики материала, т.е. компании, производящие постоянные магниты, включающие редкоземельные металлы, трубы.

Отношения с клиентами и каналы сбыта. На первой стадии бизнеса для выхода на рынок и привлечения клиентов планируется предложить компаниям бесплатно протестировать магнитную установку, тем самым продемонстрировать её действие и свойства.

Потоки доходов. Планируется получать прибыль от продажи продукции нефтедобывающим и нефтехимическим компаниям.

Далее в таблице 22 построена бизнес-модель по А. Остервальдеру и И. Пинье. Также в таблице 23 приведена оценка рисков при производстве магнитной установки.

Для монетизации проекта предполагается реализовывать продукт по трём направлениям:

1. Производство магнитных систем, прямые продажи конечным клиентам.
2. Продажа магнитных систем крупным инжиниринговым компаниям.
3. Техническое обслуживание и ремонт магнитных систем.

Таблица 22 – Бизнес-модель проекта по А. Остервальдеру и И. Пинье

<p><i>Ключевые партнеры</i></p> <p>Стратегическое сотрудничество со следующими партнерами: поставщиками материалов (постоянных магнитов) для изготовления магнитной установки.</p>	<p><i>Ключевые виды деятельности</i></p> <p>Производство. Изготовление магнитной установки – готовый продукт.</p> <p>Разрешение проблем. Решение проблемы по разделению стойких и аномальностойких водонефтяных эмульсий.</p>	<p><i>Ценностные предложения</i></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Относительная новизна. 2. Экологичность технологии. 3. Низкая цена. 4. Сокращение расходов и повышение производительности – минимум остановок в работе оборудования, стабильное качество разделение, уменьшение количества деэмульгатора. 5. Экономичность при производстве. 6. Простота эксплуатации. 7. Минимальное обслуживание. 8. Срок эксплуатации минимум 10 лет. 9. Предусмотрена система рассрочки. 	<p><i>Взаимоотношения с клиентами</i></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Постоянная консультационная поддержка клиентов. 2. Возможность тестирования продукции. 	<p><i>Потребительские сегменты</i></p> <p>Выделены следующие сегменты:</p> <p>Частные и государственные Нефтяные компании.</p>
<p><i>Структура издержек</i></p> <p>Переменные издержки – расходные материалы для изготовления продукта, доставка готовой продукции, затраты на электроэнергию.</p> <p>Постоянные издержки – платежи за аренду, амортизационные отчисления, заработная плата сотрудникам.</p>		<p><i>Потоки поступления доходов</i></p> <p>Регулярный доход от периодических платежей, получаемых от нефтяных предприятий.</p>		

Таблица 23 – Идентификация рисков производства магнитной установки

Идентификация рисков		Описание ущерба	Разработка и ориентировочная оценка мер по борьбе с риском
Выявление	Причина возникновения риска		
Неправильное использование и поломка оборудования	Вследствие применения устройства при низкой обводненности водонефтяных эмульсий	Не разделение водонефтяных эмульсий	Предусмотрен выезд сотрудника организации, поиск причин и замены на новую установку. Возврат устройства в течении 14 дней со дня покупки.
Риск не найти достаточного количества покупателей продукции	Недостаточная реклама, завышенные цены	Невозможность реализации части продукции, что влечет потерю выручки	Реклама продукции на специализированных сайтах и создание своего сайта. Участие в специализированных выставках. Нанимаем менеджеров по маркетингу, которые отвечают за поиск клиентов.
Потеря клиентов	Вхождение на рынок крупного российского или зарубежного игрока	Падение спроса, а значит, падение продаж и, как следствие, падение выручки	Налаживание дополнительных связей (этим занят менеджер по продажам).
Падение спроса на продукцию	Возможно вследствие уменьшения обводненности нефтяных залежей. Также вследствие появления дополнительных конкурентов	Потеря выручки (прибыли) вследствие нереализации продукции	Выход на новые рынки, поиск новых клиентов.

5.10 Стратегия продвижения продукта на рынок

Положительной стороной для продвижения данной продукции на рынок является её направленность на определенные компании, поэтому мы можем вычислить всех клиентов и работать конкретно с ними.

На первой стадии бизнеса для выхода на рынок, привлечения клиентов и демонстрации продукции планируется предложить крупным компаниям, мнение которых ценится на рынке, бесплатно оттестировать магнитную установку на своём производстве с целью получения отзыва о продукции [41]. Предложение пробных версий потенциальным потребителям позволит зарекомендовать продукт в крупных компаниях, а составленный и опубликованный ими отзыв вызовет доверие у других потенциальных клиентов. На данный момент проходит пилотирование магнитной системы по данному направлению на нефтедобывающем месторождении в ЯНАО.

Продвижение принципиально новой продукции должно сопровождаться информационной поддержкой продаж. В каждой компании есть отдел научных разработок, который занимается поиском и внедрением новых технических решений. Поэтому параллельным этапом продвижения магнитной установки на рынок будет формирование информационного фонда. Основа этого фонда – статьи в журналах о нефтяной отрасли. Их нужно писать так, чтобы они не выглядели как рекламные. Лучше, если они будут восприниматься как журналистские или научные: это в разы повышает доверие.

Так как отрасль наукоемкая, положительное влияние на продвижение продукта окажут научные публикации в профильных журналах, участие в специальных профессиональных выставках для поиска партнеров. Предполагается принимать участие в 2023 – 2024 гг. в выставках и конференциях инновационного центра «Сколково», Санкт-Петербургского международного научно-образовательного салона; в выставочно-ярмарочных мероприятиях международного уровня, таких как [42]: Российский промышленник (Россия), Asian Downstream Summit (Сингапур), International Technical Fair Plovdiv

(Болгария), Белорусский промышленно-инновационный форум (Беларусь), Exro Dubai (ОАЭ), Taiwan Innotech Exro (ТИЕ) (Тайвань), iENA (Германия), Technologia (Финляндия), Greater Bay Exro (Китай), ITEX (Малайзия). Участие в данных мероприятиях позволит расширить клиентскую базу и повышать продажи, конкурентоспособность, обеспечивать позитивное восприятие компании, увеличивать репутационный капитал. К тому же некоторые выставки позволят прямо на месте заключить выгодные контракты, развить партнерские отношения и усилить лояльность существующих клиентов по всему миру.

Необходимо предусмотреть систему обзвона потенциальных клиентов. Для этого нужно выходить на нужные отделы, где сотрудники принимают соответствующие решения о покупках, встречах. В случае положительного ответа приносить образцы, подготовив буклеты, визитки, сопутствующую печатную продукцию, чтобы лучше ознакомиться с нашей продукцией.

На данный момент есть договорённость о сотрудничестве со следующими представителями:

- ООО «ПОЗ-Прогресс» – площадка поточного выпуска продукции магнитных систем;
- ООО «Газпром нефть шельф» – потенциальный клиент и партнер по приобретению магнитных систем и развитию проекта;
- ООО «Сиам Мастер» – партнёр по сбыту и техническому обслуживанию магнитных систем, потенциальная площадка для производства;
- потенциальные клиенты, которые заинтересованы в приобретении магнитных систем: ООО «Иркутская нефтяная компания», ООО «Севкомнефтегаз», АО «Мессояханефтегаз», ООО «Газпром добыча Ямбург», ООО «Газпромнефть-Заполярье».

Представление продукта в сети так же необходимо. Традиционно это можно сделать на сайте компании, возможно использование других, альтернативных способов позиционирования разработки для удобного и оперативного общения с клиентами.

Для того, чтобы компании узнавали нас, был создан логотип производства нашего устройства (рисунок 39). Планируется подавать исключительное право на товарный знак в Федеральной службе по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам (Роспатент), которое утверждено статьями 1479 – 1481 ГК РФ. Регистрация товарного знака будет проводится по Международной классификации товаров и услуг (МКТУ-10), где также проходит экспертиза и отсутствие нарушение прав третьих лиц. Подтверждение исключительного права будет представлено в виде свидетельства об его утверждении.



Рисунок 39 – Логотип

Логотип представляет собой композицию, состоящую из изображения в виде круга, с включенными заглавными буквами названия устройства, и надписи: «Магнитная система», расположенной на белом фоне. Основным цветом был выбран насыщенный синий – технологичный и довольно сложный цвет. В виду того, что синяя палитра ассоциируется с разработкой новой техники и оборудования, научными исследованиями в мире электроники и приборостроения. Также выбор синего цвета объясняется желанием снять эмоциональное напряжение у людей, которые испытывают стресс из-за появления новых технологий.

6 Социальная ответственность

Объектами исследования являются нефти месторождений Томской области. Обводненность нефтяных месторождений особо актуальна в последние два десятилетия, поскольку на некоторых месторождениях содержание воды в нефти достигает 80 – 90 %. В свою очередь это сказывается на затратах, которые связаны с дополнительными расходами на разделение эксплуатационных водонефтяных эмульсий. К тому же сложность процесса их разделения заключается в различной устойчивости эмульсий. Для ускорения создания магнитной системы, способствующей эффективному процессу разделения водонефтяных эмульсий, есть необходимость создания гидродинамической модели, соответствующей реальным условиям подготовки нефти.

Чаще всего эти расчеты выполняются в моделирующих программных комплексах по экспериментальным данным, которые являются математическим описанием поведения углеводородных компонентов в смесях при магнитном воздействии. Наиболее часто применяемыми программными комплексами являются импортные Ansys-Fluent.

Работа выполнялась в аудитории 129 второго корпуса Томского политехнического университета за рабочим столом с персональным компьютером (далее ПЭВМ) и периферией. Помещение аудитории оборудовано системами кондиционирования воздуха и отопления. Освещение рабочего места представляет собой сочетание естественного и искусственного освещения.

Область применения результатов работы с глобальной стороны затрагивает промышленную подготовку нефти Российской Федерации, нуждающуюся в усовершенствовании имеющихся методов подготовки с целью получения большей прибыли и улучшения экологии в стране.

6.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Рабочее место в аудитории 129 2 корпуса Томского политехнического университета должно соответствовать ГОСТ 12.2.032-78 [43]. Основные положения и принципы правового регулирования трудовых отношений между сотрудником и работодателем отражены в «Трудовом кодексе Российской Федерации» от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 19.12.2022). В нем устанавливаются требования о режиме рабочего времени, отдыха, отпуска; к оплате и нормированию труда; гарантиях и компенсациях, связанных с трудовой деятельностью; об охране труда; иных правах и обязанностях работника, и организациях [44].

Рассматриваемый вид деятельности можно расценивать как работу в офисе. При соблюдении всех требований условий труда их можно классифицировать к 1 классу – оптимальному, при которых воздействие на работника вредных и (или) опасных производственных факторов отсутствует или уровни воздействия, которых не превышают уровни, установленные нормативами [45]. Продолжительность рабочего дня в таком случае не должна превышать 40 часов в неделю [44], за исключением лиц в возрасте до 16 лет, 16-18 лет, инвалидов I и II группы. Для них продолжительность рабочего дня не должна превышать 24, 35, 35 часов соответственно [44].

Ранее, требования к рабочему месту, оснащённому ПЭВМ, предъявляются СанПиНом 2.2.2/2.4.1340-03 «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы». В настоящее время действительным считаются требования, изложенные в СП 2.2.3670-20 «Санитарно-эпидемиологические требования к условиям труда». Площадь на одно постоянное рабочее место пользователей персональных компьютеров на базе электронно-лучевой трубки, должна составлять не менее 6 м, на базе плоских дискретных экранов (жидкокристаллические, плазменные) – не менее 4,5 м.

Оснащение светопроницаемых конструкций и оконных проёмов должно позволять регулировать параметры световой среды в помещении. Естественный свет должен падать сбоку, желательно с левой стороны от рабочего места.

На рабочем месте, предназначенном для работы в положении сидя, рабочие столы должны иметь пространство для размещения ног высотой не менее 600 мм, глубиной – не менее 450 мм на уровне колен и 600 мм на уровне стоп, шириной не менее 500 мм.

Клавиатура должна располагаться на поверхности стола на расстоянии 100 – 300 мм от края, со стороны работника. Также рекомендуется располагать плоскость экрана монитора ниже уровня глаз пользователя под углом 15°. При этом расстояние от глаз до монитора должно составлять 600 – 700 мм.

Таблица 24 – Требования к организации рабочего места при работе с ПЭВМ

Требования	Нормативное значение	Фактическое значение, соответствие
Высота рабочей поверхности	Регулируемая высота (600-800 мм) Нерегулируемая высота (725 мм)	Нерегулируемая высота 725 м – соответствует
Пространство для ног	600x500 мм	Соответствует
Расположение монитора	600-700 мм	600 мм, положение и наклон регулируется – соответствует
Рабочий стул	Регулировка высоты, угла наклона спинки	Нерегулируемый стул – не соответствует

Из таблицы 24 видно, что для соблюдения норм требуется замена стульев на регулируемые. Рабочее место в аудитории 129 2 корпуса Томского политехнического университета соответствует требованиям ГОСТ 12.2.032-78 [43].

6.2 Производственная безопасность

Специфика условий труда при разработке математической модели исследуемого процесса обусловлена работой с ПЭВМ и умственной

деятельностью в помещении, что непосредственно отражается на опасных и вредных факторах, оказывающих влияние на работника. В соответствии с «ГОСТ 12.0.003-2015 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Опасные и вредные производственные факторы. Классификация» 75 [46], учитывая особенности условий труда, были выделены следующие факторы (таблица 25).

Таблица 25 – Возможные опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ		Нормативные документы
	Разработка	Эксплуатация	
1. Отсутствие или недостаток необходимого искусственного освещения	+	+	ГОСТ Р 55710-2013. Освещение рабочих мест внутри зданий. Нормы и методы измерений [5].
2. Статические физические перегрузки, связанные с рабочей позой	+	+	ГОСТ 12.2.032-78. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования [1].
3. Умственное перенапряжение, в том числе вызванное информационной нагрузкой	+		ГОСТ Р ИСО 10075-2-009. Эргономические принципы обеспечения адекватности умственной нагрузки. Часть 2. Принципы проектирования [6].
4. Монотонность труда, вызывающая монотонию	+	+	ГОСТ Р ИСО 10075-2-009. Эргономические принципы обеспечения адекватности умственной нагрузки. Часть 2. Принципы проектирования [6].
5. Нервно-психические перегрузки, связанные с напряженностью трудового процесса	+		ГОСТ Р ИСО 10075-2-009. Эргономические принципы обеспечения адекватности умственной нагрузки. Часть 2. Принципы проектирования [6].
6. Поражение электрическим током	+	+	ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов [7].

6.2.1 Отсутствие или недостаток необходимого искусственного освещения

В аудитории 129 2 корпуса ТПУ имеется совмещенное освещение, которое предполагает комбинацию естественного освещения от окна с искусственным от люминесцентных ламп. Недостаточная освещенность рабочей зоны помещения, оборудованной ПЭВМ – немаловажная причина снижения эффективности труда в следствии нарушения работы зрительного анализатора, что в долгосрочном периоде негативно отражается на здоровье зрительной системы работника. При работе с персональным компьютером освещение должно быть общим и равномерным, если трудовая деятельность подразумевает дополнительно работу с документацией, то к общему освещению должны быть установлены светильники или иные устройства местного освещения. Согласно рекомендациям, окна в помещениях с ПЭВМ должны быть расположены таким образом, чтобы естественный свет падал сбоку, желательно с левой стороны от рабочего места. В таблице 26 представлены нормы освещенности рабочих мест. Таблица 26 – Нормы освещенности рабочих мест [47]

Наименование помещения/вида деятельности	$E_{экс}$, лк	U_0 , не менее	R , не более	R_a , не менее	K_n , не более
Кабинеты, лаборатории и кабинеты труда	500	0,6	19	80	10
Компьютерные классы	300	0,6	19	80	5

При недостатке на рабочем месте естественного света можно выполнить следующие мероприятия [47]:

- уменьшение времени пребывания работника в данном помещении;
- улучшение условий, создаваемых искусственным освещением;

- анализ степени загрязнения стекол в светопроемах, их чистка и последующие контрольные измерения;
- косметический ремонт помещения с использованием светлых отделочных материалов.

Условия труда по освещённости рабочей зоны советуют допустимым [45].

6.2.1.1 Расчет системы искусственного освещения

Расчёт общего равномерного искусственного освещения горизонтальной рабочей поверхности выполняется методом коэффициента светового потока, учитывающим световой поток, отражённый от потолка и стен.

Для расчета выберем двухламповый люминесцентный светильник ОД без защитной решетки. Эти светильники используются в нормальных помещениях с хорошим отражением от потолка и стен, при умеренной влажности и запыленности. Мощность лампы 30 Вт.

Размещение светильников в помещении определяется следующими параметрами, м (рисунок 40):

- H – высота помещения (для аудитории 129 равна 4 метра);
- h_c – расстояние светильников от перекрытия (примем 0,5 м);
- $h_{\pi} = H - h_c = 4 - 0,5 = 3,5$ м – высота светильников над полом, высота подвеса;
- $h_{рп}$ – высота рабочей поверхности над полом (для аудитории 129 равна 0,735 м);
- $h = h_{\pi} - h_{рп} = 3,5 - 0,735 = 2,765$ м – расчетная высота светильника над рабочей поверхностью;
- $L = \lambda \cdot h = 1,4 \cdot 2,765 = 3,87$ м – расстояние между соседними рядами светильников (λ для светильников типа ОД равна 1,4);
- $l = \frac{L}{3} = \frac{3,87}{3} = 1,3$ м – расстояние от крайнего ряда до стены.

Высота подвеса $h_{\text{п}}$, равная 3,5 м, соответствует наименьшей допустимой высоте подвеса для двухламповых светильников ОД при непрерывных рядах из одиночных светильников, которая должна быть не меньше 3,5 м.

Длина светильника ОД-2-30 равна 933 мм, расстояние между соседними светильниками в ряду примем равным 50 см.

Количество рядов светильников с люминесцентными лампами определяется по формуле:

$$n_{\text{ряд}} = \frac{(B - \frac{2}{3} \cdot L)}{L} + 1, \quad (8)$$

где: B – ширина помещения (5 м для 135 ауд. 2 корпуса);

L – расстояние между соседними рядами светильников.

$$n_{\text{ряд}} = \frac{(5 - \frac{2}{3} \cdot 3,87)}{3,87} + 1 = 1,62 \approx 2 \text{ ряда.}$$

Округлим до большего и примем два ряда светильников.

Количество светильников с люминесцентными лампами в ряду определяется по формуле:

$$n_{\text{св}} = \frac{(A - \frac{2}{3} \cdot L)}{l_{\text{св}} + 0,5}, \quad (9)$$

где: A – длина помещения (30 м для 129 ауд. 2 корпуса);

L – расстояние между соседними рядами светильников;

$l_{\text{св}}$ – длина светильника, длина светильника ОД-2-30 равна 933 мм.

$$n_{\text{св}} = \frac{(30 - \frac{2}{3} \cdot 3,87)}{0,933 + 0,5} = 19,1 \approx 20 \text{ светильников.}$$

Округлим до большего и примем 14 светильников в одном ряду.

Общее количество светильников равно:

$$N = n_{\text{ряд}} \cdot n_{\text{св}} = 20 \cdot 2 = 40 \text{ светильников.}$$

Соответственно количество ламп в 2 раза больше, чем количество светильников, и равно 80 штук.

Индекс помещения рассчитывается по формуле:

$$i = \frac{S}{h \cdot (A + B)}, \quad (10)$$

где: S – площадь освещаемого помещения, м²;

h – расчетная высота светильника над рабочей поверхностью, м;

A, B – длина и ширина помещения.

$$i = \frac{5 \cdot 30}{2,765 \cdot (5 + 30)} = 1,55.$$

Световой поток лампы Φ определяется по формуле:

$$\Phi = \frac{E_n \cdot S \cdot K_z \cdot Z}{N_l \cdot \eta}, \quad (11)$$

где: E_n – нормативная освещенность по СП 52.13330.2016, лк;

S – площадь освещаемого помещения, м²;

K_z – коэффициент запаса, учитывающий загрязнение светильника (источника света, светотехнической арматуры, стен и прочих отражающих поверхностей);

Z – коэффициент неравномерности освещения (для люминесцентных ламп равен 1,1);

N_l – число ламп в помещении;

η – коэффициент использования светового потока.

Примем состояние потолка – свежепобеленный, коэффициент отражения $\rho_{п} = 70 \%$.

Примем состояние стен – свежепобеленные с окнами без штор, коэффициент отражения $\rho_{ст} = 50 \%$.

Для найденных коэффициентов отражения от стен и потолка и рассчитанному индексу помещению, найдем коэффициент использования светового потока, равный 56 % [50].

Помещение относится к помещению с малым выделением пыли, коэффициент запаса равен 1,5.

Нормативная освещенность, согласно СП 52.13330.2016, для работ средней точности, разряд В-1, равна 200 лк на рабочей поверхности от системы общего освещения.

$$\Phi = \frac{200 \cdot 150 \cdot 1,5 \cdot 1,1}{80 \cdot 0,56} = 1105 \text{ лм.}$$

Выполним проверку полученных значений:

$$\Delta = \frac{\Phi_{\text{л.станд}} - \Phi_{\text{л.расч}}}{\Phi_{\text{л.станд}}} \cdot 100, \quad (12)$$

где: $\Phi_{\text{л.станд}}$ – стандартный световой поток люминесцентной лампы 30 Вт, равный 1650 лм для лампы ЛД [8].

$$\Delta = \frac{1650 - 1105}{1650} \cdot 100 = 33 \text{ \%}.$$

Расчетное значение выходит за диапазон -10...+20 %, поэтому скорректируем число светильников в ряду до 15, таким образом общее число светильников равно 30, количество ламп 60, расстояние между светильниками в ряду равно 0,89 м.

$$\Phi = \frac{200 \cdot 150 \cdot 1,5 \cdot 1,1}{60 \cdot 0,56} = 1473 \text{ лм.}$$

$$\Delta = \frac{1650 - 1473}{1650} \cdot 100 = 11\%.$$

Таким образом, рассчитанный световой поток лампы входит в диапазон, расчет выполнен верно.

Схема размещения светильников в помещении для люминесцентных ламп приведена на рисунке 40.

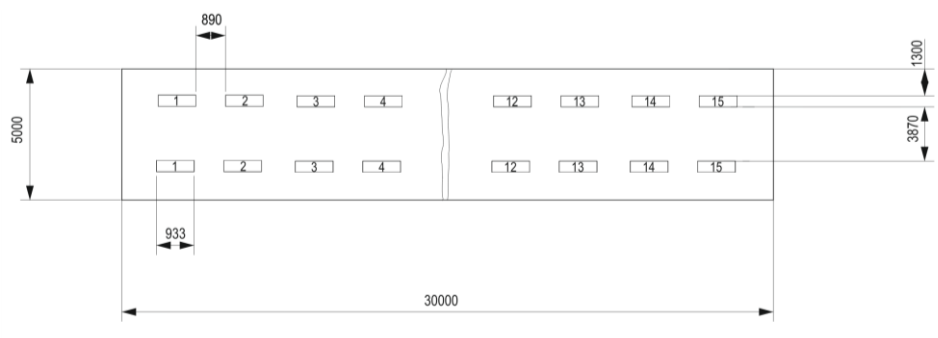


Рисунок 40 – Схема размещения светильников ОД-2-30 в помещении для люминесцентных ламп

Основные расчетные параметры высоты светильников приведены на рисунке 41.

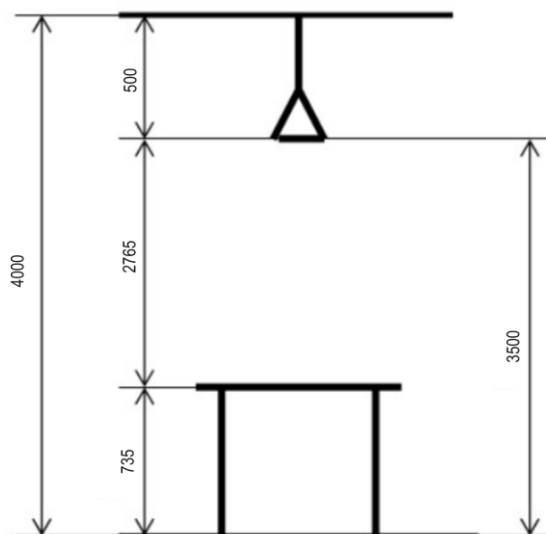


Рисунок 41 – Основные расчетные параметры высоты светильников

6.2.2 Статические физические перегрузки, связанные с рабочей позой

Работы по созданию модели процесса сепарации имеют сидячий характер работы в течении нескольких часов в день за рабочим столом с ПЭВМ и периферией.

Неправильное положение тела является причиной болей в области спины, шеи, сердца, хронических мигреней, что снижает эффективность работы и наносит вред здоровью работника.

На рабочем месте, предназначенном для работы в положении сидя, рабочие столы должны иметь пространство для размещения ног высотой не менее 600 мм, глубиной – не менее 450 мм на уровне колен и 600 мм на уровне стоп, шириной не менее 500 мм.

Клавиатура должна располагаться на поверхности стола на расстоянии 100 – 300 мм от края, со стороны работника. Также рекомендуется располагать плоскость экрана монитора ниже уровня глаз пользователя под углом 15°. При этом расстояние от глаз до монитора должно составлять 600-700 мм.

Для минимизации воздействия фактора необходимо приведение рабочего места к требованиям ГОСТ 12.2.032-78 – переоснащение рабочих мест под

требуемую высоту, установка регулируемых по высоте и спине стульев, а также самоорганизация работников по проведению разминки для снижения негативного влияния статичного сидячего положения на мышечную и опорно-двигательную систему.

Условия труда, связанные с рабочей позой, советуют допустимым [43].

6.2.3 Перечень факторов, связанных с нервно-психическими перегрузками, умственной работой, монотонией

Факторы возникают при обработке большого количества информации, сложности рабочих требований, распределении нескольких задач во времени, нагрузке на кратковременную и долговременную память, повторяемости однотипных действий, ограничениях по времени и зависимости от работы других операторов.

Их воздействие на человека вызывает усталость, снижение мотивации, повышение вероятности ошибок, снижение внимания.

Для того чтобы избежать отрицательного влияния рабочей системы на пользователей, необходимо подстраивать ее под пользователя. Проектируемая или перепроектируемая рабочая система с самого начала требует учета человеческих, технологических и организационных факторов и их взаимодействий. Это означает необходимость привлечения специалистов по эргономике на возможно более ранних этапах проектирования.

Для достижения и верификации оптимального качества проекта в процессе проектирования или перепроектирования должны быть учтены знания и опыт пользователей. Для достижения этого применяют методы работы, при которых ожидания пользователей относительно качества проекта учитывают в процессе проектирования. Подобный подход обеспечивает достижение результатов, ориентированных на пользователя, и одобрение проекта со стороны пользователя, что содействует достижению эффективности системы в целом.

Если проектируется новая система, то разработчик должен принять во внимание способности, навыки, опыт и ожидания потенциальных пользователей.

Для минимизации воздействий факторов предлагаются следующие мероприятия [49]:

- постановка однозначных целей и задач работы;
- необходимо избегать малой сложности задач;
- для задач высокой сложности необходима система поддержки принятия решений;
- информация для работы не должна быть недостаточной или излишней, должна быть однозначной;
- выполняемые задачи должны быть распределены во времени по важности исполнения;
- соблюдение продолжительности рабочего времени, наличие перерывов для отдыха;
- автоматизация постоянных периодических задач;
- ротация рабочих мест.

Условия труда рабочей зоны соответствуют нормам [48].

6.2.4 Поражение электрическим током

Основными непосредственными причинами электротравматизма, являются:

- непосредственное прикосновение к открытым токоведущим частям и проводам;
- прикосновения к токоведущим частям, изоляция которых повреждена; прикосновение к металлическим частям оборудования, случайно оказавшихся под напряжением;
- касания к токоведущим частям при помощи предметов с низким сопротивлением изоляции;
- отсутствие или нарушение защитного заземления;

- воздействия электрического тока через дугу.

Проходя через организм человека, электрический ток может производить термическое, электролитическое, механическое, биологическое действия.

Для предотвращения поражения электрическим током, где размещаются рабочее место с ЭВМ в аудитории 129 2 корпуса ТПУ, оборудование оснащено защитным заземлением, зануление; предусмотрены предохранительные устройства; токопроводящие кабели изолированы. По опасности поражения электрическим током рабочая зона относится к первому классу – помещения без повышенной опасности (сухое, хорошо отапливаемое, помещение с токопроводящими полами, с температурой 18 – 20 °С, с влажностью 40 – 50 %) [49].

Мерами защиты от воздействия электрического тока на человека в рассматриваемом случае являются изолирующие устройства и покрытия, устройства защитного заземления, устройства автоматического отключения, предохранительные устройства, которые уже предусмотрены в аудитории. От исправности средств реализации данных мер напрямую зависит безопасность работника. Помимо технических мер защиты должны приниматься следующие меры: своевременное проведение инструктажей по электробезопасности для рабочего персонала, к работе допускаются сотрудники, прошедшие инструктаж и имеющие допуск к работе. Условия труда рабочей зоны соответствуют установленным правилам электробезопасности [49].

6.3 Экологическая безопасность

6.3.1 Воздействие на селитебную зону и литосферу

На данном рабочем месте выявлен предполагаемый источник загрязнения окружающей среды, а именно воздействие на литосферу в результате образования отходов при поломке предметов вычислительной техники и оргтехники.

Вышедшее из строя ПЭВМ и сопутствующая оргтехника относится к IV классу опасности и подлежит специальной утилизации. Для оказания наименьшего влияния на окружающую среду, необходимо проводить специальную процедуру утилизации ПЭВМ и оргтехники, при которой более 90 % отправится на вторичную переработку и менее 10 % будут отправлены на свалки. При этом она должна соответствовать процедуре утилизации ГОСТ Р 53692-2009 Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Этапы технологического цикла отходов [51].

В ходе деятельности организация также создает бытовой мусор (канцелярские, пищевые отходы, искусственные источники освещения), который должен быть утилизирован в соответствии с определенным классом опасности или переработан, чтобы не оказывать негативное влияние на состояние литосферы и селитебной зоны города.

6.3.2 Воздействие на атмосферу

На данном рабочем месте выявлен предполагаемый источник загрязнения окружающей среды, а именно воздействие на атмосферу в результате утилизации люминесцентных ртутных ламп.

Люминесцентные лампы относятся к отходам первого класса опасности, описаны в ФККО и имеют код 3533010013011. Ртутные лампы, люминесцентные ртутьсодержащие трубки отработанные и брак.

По классификации ртутьсодержащих отходом относится к 3 группе по ГОСТ Р 52105-2003. Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Классификация и методы переработки ртутьсодержащих отходов. Основные положения [52].

Отходы 3-й группы перерабатывают на специализированных предприятиях с целью выделения из них металлической ртути или ее соединений, пригодных для повторного использования. При отсутствии технологии переработки или нецелесообразности такой переработки (малое

количество таких отходов) отходы складировать с целью их последующей переработки с учетом требований ГОСТ 12.3.031.

6.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

К возможным чрезвычайным ситуациям на данном рабочем месте выделяют внезапное обрушение здания, аварии на коммунальных системах жизнеобеспечения населения, пожар, угроза пандемии.

С учетом специфики работы и наличием вычислительной техники в помещении наиболее вероятно возникновение пожара, под которым понимается вышедший из-под контроля процесс горения, обусловленный возгоранием вычислительной техники и угрожающий жизни и здоровью работников.

Причинами возгорания при работе с компьютером могут быть:

- токи короткого замыкания;
- неисправность устройства компьютера или электросетей;
- небрежность оператора при работе с компьютером;
- воспламенение ПК из-за перегрузки.

В связи с этим, согласно ГОСТ 12.1.004-91 «Пожарная безопасность. Общие требования», при работе с компьютером необходимо соблюдать следующие нормы пожарной безопасности [53]:

- для предохранения сети от перегрузок запрещается одновременно подключать к сети количество потребителей, превышающих допустимую нагрузку;
- работы за компьютером проводить только при исправном состоянии оборудования, электропроводки;
- иметь средства для тушения пожара (огнетушитель);
- установить количество, размеры и соответствующее конструктивное исполнение эвакуационных путей и выходов;
- обеспечить возможность беспрепятственного движения людей по эвакуационным путям.

Прокладка всех видов кабелей в металлических газонаполненных трубах – отличный вариант для предотвращения возгорания. При появлении пожара, любой, увидевший пожар должен незамедлительно заявить о данном в пожарную службу по телефонному номеру 01 или 112, заявить о происшествии и соблюдать покой.

В случае возникновения пожара в здании автоматически срабатывают датчики пожаротушения, и звуковая система оповещает всех сотрудников о немедленной эвакуации из здания и направляются на выход в соответствии с планом эвакуации при пожарах и других ЧС (рисунок 42). На этаже находится 12 огнетушителей, 2 пожарных крана, а также 2 эвакуационных выхода.



Рисунок 42 – План эвакуации при пожаре и других ЧС из помещений учебного корпуса №2 ТПУ

6.5 Вывод по разделу социальная ответственность

В разделе 1 описаны основные правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности, где проведен анализ рабочего места с целью определить его соответствие требованиям ГОСТ 12.2.032-78 для снижения влияния вредного фактора «Статические физические перегрузки, связанные с рабочей позой» по ГОСТ 12.0.003-2015.

Дополнительно был проведен анализ других опасных и вредных факторов, определены их источники, влияние на организм человека, нормативные величины и отражены предполагаемые меры защиты от их влияния.

Также в разделе был проведен расчет системы искусственного освещения, по результатам которого был сделан выбор светильников ОД-2-30 с лампами мощностью 30 Вт для соответствия требованиям СП 52.13330.2016 и ГОСТ 12.2.032-78 по нормам освещенности рабочего места. Схема размещения светильников, их количество, а также основные расчетные параметры высоты приведены на рисунках 1 и 2. Данный расчет позволит снизить влияние вредного фактора недостаточной освещенности рабочего места.

Были определены основные источники загрязнения и их влияние на окружающую среду – атмосферу, селитебную зону и литосферу, приведены нормативы сбросов, а также методы утилизации отходов.

В заключении, был проведен анализ чрезвычайных ситуаций (ЧС), которые могут произойти на рабочем месте, и подробно описаны источники возникновения наиболее вероятного – пожара на рабочем месте. Приведены меры по предупреждению чрезвычайной ситуации и план действий при возникновении ЧС.

Заключение

В данной работе были проведены исследования влияния магнитной системы на процесс разделения и изменение физико-химических свойств стойкой водонефтяной эмульсии. По результатам работы сделаны следующие выводы:

1. Доказана эффективность действия магнитной системы на процесс разделения стойкой водонефтяной эмульсии.
2. Установлено снижение поверхностного натяжения водонефтяной эмульсии после обработки магнитным полем с 14,25 мН/м до 4,63 мН/м.
3. Наблюдается снижение кинематической вязкости водонефтяной эмульсий при увеличении количества магнитной обработки с 71 мм²/с до 44 мм²/с.
4. Отмечается снижение динамической вязкости стойкой водонефтяной эмульсии после обработки магнитной системой на всем интервале исследования.

На основе результатов анализа была разработана гидродинамическая модель магнитной системы. В результате моделирования магнитной системы установлено, что сдвиговая скорость потока после магнитной обработки выше, чем до, что говорит о том, что большее количество слоев сдвинется в промежуток времени за секунду, что соответствует лучшей текучести водонефтяной эмульсии. Также сравнивая результаты после магнитной обработки, можно заметить, что поле давлений для водонефтяной эмульсии до магнитной обработки характеризуется большим перепадом давления, чем после магнитной обработки, следовательно, течение водонефтяной эмульсии до обработки будет хуже, чем после обработки, в связи с эффектами трения стенки.

Таким образом, разработанная гидродинамическая модель в последующем может использоваться для оценки влияния магнитной системы на гидродинамические свойства водонефтяной эмульсии при внедрении её на других месторождений, где существуют проблемы, связанные с процессом промышленной подготовки нефти.

Список публикаций студента

№	Наименование работы, ее вид	Характер работы	Выходные данные	Объем, стр.	Соавторы
Статья в рецензируемом журнале из списка ВАК, входящем в российскую базу данных РИНЦ					
1	Выбор эффективного ингибитора солеотложения для группы месторождений Западной Сибири	Печатная	Бешагина Е.В., Чайкина Я.И., Кузьмин Д.А., Полубоярцев Д.С. Выбор эффективного ингибитора солеотложения для группы месторождений Западной Сибири // Деловой журнал Neftegaz.RU. – 2022 - № 2. - С. 50-55.	6	Бешагина Е.В., Кузьмин Д.А., Полубоярцев Д.С.
Статья в рецензируемом российском и зарубежном издании, не входящем в вышеперечисленные базы данных					
2	Исследование влияния магнитной системы на разделение стойких и аномальностойких водонефтяных эмульсий	Печатная	Чайкина Я.И. Исследование влияния магнитной системы на разделение стойких и аномальностойких водонефтяных эмульсий // Лучшая научно-исследовательская работа 2021: сборник статей XXXII Международного научно-исследовательского конкурса. - Пенза: Наука и просвещение. - 2021. - С. 9-14.	5	-
3	Магнитная обработка водонефтяных эмульсий с добавлением наночастиц оксида железа	Печатная	Чайкина Я. И., Бешагина Е.В. Магнитная обработка водонефтяных эмульсий с добавлением наночастиц оксида железа // Химия. Экология. Урбанистика. – 2021 - Т. 4. - С. 54-58.	5	Бешагина Е.В.

Доклады и тезисы докладов, опубликованные в материалах российской Международной (Всероссийской) конференции: 3					
4	Магнитная система для разделения стойких и аномальностойких водонефтяных эмульсий при подготовке нефти	Печатная	Чайкина Я.И. Магнитная система для разделения стойких и аномальностойких водонефтяных эмульсий при подготовке нефти // Газохимия. Нефтехимия. Возможности зеленого будущего: материалы молодежной секции XII Международной конференции, Омск, 20 Ноября 2021. - Омск: ОНХП, 2021 - С. 37-39.	3	-
5	Влияние постоянного магнитного поля на физико-химические свойства водонефтяной эмульсии	Печатная	Чайкина Я.И. Влияние постоянного магнитного поля на физико-химические свойства водонефтяной эмульсии // Химия и химическая технология в XXI веке: материалы XXIII Международной научно-практической конференции студентов и молодых ученых имени выдающихся химиков Л.П. Кулёва и Н.М. Кижнера: в 2 т., Томск, 16-19 Мая 2022. - Томск: ТПУ, 2022 - Т. 2 - С. 109-110.	2	-
6	Разработка магнитного устройства для интенсификации процесса разделения водонефтяных эмульсий	Печатная	Чайкина Я.И. Разработка магнитного устройства для интенсификации процесса разделения водонефтяных эмульсий //	3	-

			Рассохинские чтения: материалы Международной конференции, Ухта, 3-4 Февраля 2022. - Ухта: УГТУ, 2022 - С. 524-526.		
7	Влияние наночастиц оксида железа на процесс разделения водонефтяных эмульсий	Печатная	Чайкина Я.И. Влияние наночастиц оксида железа на процесс разделения водонефтяных эмульсий // Материалы Международной научно-практической конференции им. Д. И. Менделеева, посвященной 90-летию профессора Р. З. Магарила, Тюмень, 25-27 Ноября 2021. - Тюмень: ТИУ, 2022 - Т. 1. Химия и химические технологии. Биотехнология и продовольственная безопасность. Энергетика, электротехника и приборостроение - С. 289-292.	4	-
8	Применение постоянного магнитного поля при промышленной подготовке нефти	Печатная	Чайкина Я.И. Применение постоянного магнитного поля при промышленной подготовке нефти // Перспективы инновационного развития химической технологии и инженерии: материалы II Международной Российско-Азербайджанской научной конференции, посвящённой 880-летию Великого	3	-

			Азербайджанского поэта-просветителя Низами Гянджеви, Уфа, 17-19 Ноября 2021. - Уфа: Изд-во УГНТУ, 2021 - С. 187-189.		
9	Разработка композиции для предотвращения образования нефтяных отложений	Печатная	Чайкина Я.И. Разработка композиции для предотвращения образования нефтяных отложений // Проблемы геологии и освоения недр: труды XXV Международного симпозиума имени академика М.А. Усова студентов и молодых ученых, посвященного 120-летию горно-геологического образования в Сибири, 125-летию со дня основания ТПУ, Томск, 5-9 Апреля 2021. - Томск: ТПУ, 2021 - Т. 2 - С. 294-296.	3	-
10	Исследование влияния постоянного магнитного поля на гидромеханические свойства стойкой водонефтяной эмульсии	Печатная	Чайкина Я.И. Исследование влияния постоянного магнитного поля на гидромеханические свойства стойкой водонефтяной эмульсии // Молодежь и наука: актуальные проблемы фундаментальных и прикладных исследований: материалы V Всероссийской национальной научной конференции молодых учёных в 4 ч., Ч.1, Комсомольск-	2	-

			на-Амуре, 11-15 Апреля 2022. - Комсомольск-на- Амуре: ФГБОУ ВО «КНАГУ», 2022 - С. 260-261.		
1 1	Оценка влияния постоянного магнитного поля на гидродинамические свойства водонефтяной эмульсии	Электрон ная	Чайкина Я. И. Оценка влияния постоянного магнитного поля на гидродинамические свойства водонефтяной эмульсии // МИЛЛИОНЩИКОВ- 2022: материалы V Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых с международным участием, Грозный, 19-20 Мая 2022. - Грозный: Спектр, 2022 - С. 146-149.	4	-
1 2	Магнитная система для разделения стойких водонефтяных эмульсий при подготовке нефти	Печатная	Чайкина Я.И., Бешагина Е.В. Магнитная система для разделения стойких водонефтяных эмульсий при подготовке нефти // Нефть и газ: технологии и инновации: материалы Национальной научно-практической конференции. В 2 томах, Тюмень, 18-19 Ноября 2021. - Тюмень: ТИУ, 2021 - Т. 2 - С. 119-123.	4	Бешагина Е.В.
1 3	Исследование эффективности процесса разделения стойких водонефтяных эмульсий под действием постоянного магнитного поля	Электрон ная	Чайкина Я. И. Исследование эффективности процесса разделения стойких водонефтяных эмульсий под	1	-

			действием постоянного магнитного поля // Материалы XXXII Менделеевской школы-конференции молодых ученых: Сборник тезисов, Москва, 11-13 Мая 2022. - Москва: МГУ им. М.В. Ломоносова, 2022 - С. 83.		
1 4	Магнитная система для разделения стойких и аномальностойких водонефтяных эмульсий при подготовке нефти	Электронная	Чайкина Я.И. Магнитная система для разделения стойких и аномальностойких водонефтяных эмульсий при подготовке нефти // Возобновляемая энергия планеты: сборник материалов II Всероссийского конкурса студентов, аспирантов и молодых ученых с международным участием, Москва, 26 Марта-3 Июня 2022. - Москва: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2022 - С. 157-159.	3	-
1 5	Магнитная система для разделения стойких и аномальностойких водонефтяных эмульсий при промышленной подготовке нефти	Электронная	Чайкина Я.И. Магнитная система для разделения стойких и аномальностойких водонефтяных эмульсий при промышленной подготовке нефти // Наука будущего - наука молодых: сборник тезисов докладов участников VII Всероссийского молодежного научного форума, Новосибирск, 23-26 Августа 2022. - Москва: Инконсалт	1	-

			К, 2022 - С. 326.		
1 6	Оценка воздействия магнитной системы на гидродинамические свойства стойкой водонефтяной эмульсии	Электронная	Чайкина Я. И. Оценка воздействия магнитной системы на гидродинамические свойства стойкой водонефтяной эмульсии // Новые технологии в газовой отрасли: опыт и преимущество: тезисы докладов X Молодежной Международной научно-практической конференции, Развилка, 24-26 Мая 2022. - Москва: Газпром ВНИИГАЗ, 2022 - С. 18.	1	-
1 7	Влияние магнитной обработки на поверхностное натяжение водонефтяной эмульсии	Электронная	Чайкина Я.И. Влияние магнитной обработки на поверхностное натяжение водонефтяной эмульсии // Дни науки в ИГХТУ: тезисы докладов всероссийской школы-конференции молодых ученых, Иваново, 25-30 Апреля 2022. - Иваново: ИГХТУ, 2022 - С. 181	1	-
1 8	Применение «зелёных» технологий в комплексной подготовке стойких и аномальностойких водонефтяных эмульсий	Электронная	Чайкина Я.И., Бешагина Е.В. Применение «зелёных» технологий в комплексной подготовке стойких и аномальностойких водонефтяных эмульсий // Будущее умных городов в Европе и Средней Азии: проблемы и перспективы: материалы	3	Бешагина Е.В.

			Международной научно-практической конференции, Томск, 6-8 Июня 2021. - Томск: Изд-во ТПУ, 2021 - С. 87-89.		
--	--	--	--	--	--

Список использованных источников

- 1 Сергеев А.А. Применение магнитного поля в процессах разрушения водонефтяной эмульсии // Проблемы разработки месторождений углеводородных и рудных полезных ископаемых – Пермь, 2016. – №1. с. 319 – 323.
- 2 Лутошкин Г.С. Сбор и подготовка нефти, газа и воды. – М.: Недра, 1967. – 280 с.
- 3 Жумаев, К. К. Причины образования водонефтяных эмульсий / К. К. Жумаев, Хусен Хабибов. – Текст: непосредственный // Молодой ученый. – 2016. – № 2 (106). – С. 153-155. – URL: <https://moluch.ru/archive/106/25414/> (дата обращения: 23.05.2021).
- 4 Каспарьянц К.С. Промысловая подготовка нефти. – М.: Недра, 1966. – 364 с.
- 5 Ивашкина Е. Н. Теоретические основы химической технологии топлива и углеродных материалов: учебное пособие / Е. Н. Ивашкина, А. И. Левашова, Е. М. Юрьев. – 2-е изд., доп. – Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2015. – 233 с.
- 6 Фролов Ю. Г. Курс коллоидной химии. Поверхностные явления и дисперсные системы. Учебник для вузов / Ю. Г. Фролов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Химия, 1988. – 464 с.
- 7 Ребиндер П. А. Поверхностные явления в дисперсных системах. Коллоидная химия. Избранные труды / П. А. Ребиндер. – М.: Наука, 1978. – 177 с.
- 8 Позднышев Г. Н. Стабилизация и разрушение нефтяных эмульсий / Г. Н. Позднышев. – М.: Недра, 1982. – 224 с.
- 9 Абрамзон. А. А. Поверхностно-активные вещества / А. А. Абрамзон. – Л.: Химия, 1981. – 304 с.
- 10 Тронов В. П. Разрушение эмульсии при добыче нефти / В. П. Тронов. – М.: Недра, 1974. – 271 с.
- 11 Хрисониди В.А., Струева В.А. Современные методы разрушения водонефтяных эмульсий // The Scientific Heritage. 2020. – №50. с. 38 – 41.

- 12 Гимазова Г.К., Вахитова А.К., Ермеев А.М., Елпидинский А.А., Изучение влияния магнитного поля на процесс обезвоживания нефтяных эмульсий / Казанский вестник технологического университета – Казань, 2015. – №8. с.107 – 110.
- 13 Технологии и устройства магнитной обработки нефти, воды и водных растворов: препринт / Б.И. Ковальский, Ю.Н. Безбородов, Н.Н. Малышева, С.Б. Ковальский. – Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2013. – 78 с.
- 14 Аппараты для магнитной обработки жидкостей / Н.В. Инюшин, Е. И. Ишемгузин, Л.Е. Каштанова, А.Б. Лаптев, В.И. Максимочкин, Ф.Р. Хайдаров, В.В. Шайдаков. – Уфа: Государственное издательство научнотехнической литературы «Реактив», 2001. – с.147.
- 15 Пат. 2564256 Российская Федерация. Способ обезвоживания нефтяных эмульсий и устройство для его осуществления / И. Ю. Быков, Н. Д. Цхадая, И. А. Оскорбин; заявитель и патентообладатель И. Ю. Быков. - №216.013.7F93; заявл. 02.07.2014; опубл. 27.09.2015, Бюл. № 27. – 3 с.ил.
- 16 Ермеев А.М., Елпидинский А.А. О применении магнитного поля в процессах разрушения водонефтяных эмульсий / Казанский вестник технологического университета – Казань, 2013. – №2. с.170 – 173.
- 17 Персиянцев, М.Н. Добыча нефти в осложненных условиях / М. Н. Персиянцев. – М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2000. – 653 с.
- 18 Пивоварова Н.А. Интенсификация процессов переработки углеводородного сырья воздействием постоянного магнитного поля. Автореф. дисс. д.т.н., М., 2005, с.3.
- 19 Поведение нефтяных эмульсий в процессе их перекачки / Вестник технологического университета. 2014. Т. № 17. С.289 – 293.
- 20 Магнитно – акустическая обработка нефти Талаканского месторождения //Нефтепереработка и нефтехимия. 2005г. №3. С. 10.
- 21 Егоров С. В., Оробейко Е. С., Мухачева Е. С. Коллоидная химия. Шпаргалка: учебное пособие. - М.: Экзамен, 2007. – 64 с.

- 22 Г.И. Келбалиев, С.Р. Расулов, Д.Б. Тагиев, Г.Р. Мустафаева Механика и реология нефтяных дисперсных систем: Монография – М.: Изд.-во «Маска», 2017. – 462 с.
- 23 Зависимость состава асфальтосмолопарафиновых отложений от степени обводненности нефти / Е.В. Кирбижекова, И.В. Прозорова, Н.А. Небогина, А.А. Гринько, Н.В. Юдина // Нефтехимия. – 2016. – Т. 56, № 5. – С. 539 – 544.
- 24 Бертон К., Нойес В., Хагс Г. Возбужденные частицы в химической кинетике / Перевод с англ. канд. физ.-мат. наук И.С. Заслонко и Е.В. Мозжухина; Под ред. д-ра физ.-мат. наук А.А. Борисова. – Москва: Мир, 1973. – 320 с.
- 25 Zheng Sh., Saidoun M., Palermo Th., Mateen K., Fogler H.S. // Energy & Fuels. 2017. 31. P. 5011.
- 26 Лесин В.И. Физические основы обработки магнитным полем коллоидных систем, участвующих в процессах добычи, транспортировки и подготовки нефти // Научное сетевое издание «Актуальные проблемы нефти и газа». 2018. Вып. 1 (20).
- 27 Ngan K.H. Phase Inversion in dispersed liquid-liquid pipe flow // Ph.D. Thesis, Department of Chemical Engineering, University College London. – 2010.
- 28 Классен В. И. Омагничивание водных систем. - М.: Химия, 1982. – 296 с.
- 29 Samarium Cobalt vs Neodymium Magnets / Ideal Magnet Solutions [Электронный ресурс]. – URL: <https://idealmagnetsolutions.com/knowledge-base/samarium-cobalt-vs-neodymium-magnets/> – Дата обращения: 07.04.2023.
- 30 Сахаров В.А., Мохов М.А. Гидродинамика газожидкостных смесей в вертикальных трубах и промышленных подъемниках. – М.: Изд-во «Нефть и газ», 2004. – 391 с.
- 31 Миньков Л.Л., Моисеева К.М. Численное решение задач гидродинамики с помощью вычислительного пакета Ansys Fluent: учеб. пособие. – Томск: STT, 2017. – 122 с.
- 32 Крупнейшие добывающие компании нефти (списки) в мире и в России [Электронный ресурс]. – URL: <https://barrel.black/kompanii-dobyvayushhie-neft.html> – Дата обращения: 05.04.2023.

- 33 Емкость и объем рынка: формулы и методы расчета [Электронный ресурс]. – URL: <http://powerbranding.ru/rynok/metod-rascheta-emkosti/> – Дата обращения: 05.04.2023.
- 34 Минерально-сырьевые ресурсы Томской области. – Техническая библиотека Neftegaz.ru [Электронный ресурс]. – URL: <https://neftegaz.ru/tech-library/mestorozhdeniya/141467-mineralno-syrevye-resursy-tomskoy-oblasti/> – Дата обращения: 10.04.2023.
- 35 Нефть и газ в Сибири: добыча нефти в Западной Сибири [Электронный ресурс]. – URL: <https://neftok.ru/strany/neft-zapadnoj-sibiri.html> – Дата обращения: 10.04.2023.
- 36 Труба сварная 152x4,5 ст. 20 [Электронный ресурс]. – URL: <https://pntz-sale.ru/steel-pipes/welded-small/es-152x4-5-st-20.html> – Дата обращения: 10.04.2023.
- 37 ВУС-изоляция 159 мм [Электронный ресурс]. – URL: https://tomsk.pulscen.ru/products/vus_izolyatsiya_159_mm_180764427 – Дата обращения: 10.04.2023.
- 38 Разделение нефти. Установки разделения нефтяной эмульсии [Электронный ресурс]. – URL: https://oil-filters.ru/oil_separators/ – Дата обращения: 10.04.2023.
- 39 АО ИНКОМП-НЕФТЬ [Электронный ресурс]. – URL: <http://inkomneft.ru/> – Дата обращения: 15.04.2023.
- 40 ООО «МИЛАНТ» [Электронный ресурс]. – URL: <https://mion96.ru/> – Дата обращения: 15.04.2023.
- 41 Стратегии продвижения товара [Электронный ресурс]. – URL: https://spravochnick.ru/marketing/prodvizhenie_produkcii_marketingovye_kommunikacii/strategii_prodvizheniya_tovara/ – Дата обращения: 10.04.2023.
- 42 Выставки науки и инновации [Электронный ресурс]. – URL: <https://expomap.ru/expo/theme/nauka-i-innovatsii/page/2/> – Дата обращения: 15.04.2023.

- 43 ГОСТ 12.2.032-78. Система стандартов безопасности труда. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования. [Электронный ресурс]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200003913> – Дата обращения: 01.05.2023.
- 44 Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 № 197-ФЗ (ред. от 01.04.2019) // Собрание законодательства РФ. [Электронный ресурс]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/901807664> – Дата обращения: 01.05.2023.
- 45 Федеральный закон «О специальной оценке условий труда» от 28.12.2013 N 426-ФЗ // Собрание законодательства РФ. [Электронный ресурс]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/499067392> – Дата обращения: 01.05.2023.
- 46 ГОСТ 12.0.003-2015. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Опасные и вредные производственные факторы. [Электронный ресурс]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200136071> – Дата обращения: 01.05.2023.
- 47 ГОСТ Р 55710-2013. Освещение рабочих мест внутри зданий. Нормы и методы измерений. [Электронный ресурс]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200105707> – Дата обращения: 01.05.2023.
- 48 ГОСТ Р ИСО 10075-2-009. Эргономические принципы обеспечения адекватности умственной нагрузки. Часть 2. Принципы проектирования. [Электронный ресурс]. – <https://docs.cntd.ru/document/1200075944> – Дата обращения: 01.05.2023.
- 49 ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов. [Электронный ресурс]. – <https://docs.cntd.ru/document/5200313> – Дата обращения: 01.05.2023.
- 50 Расчёт искусственного освещения. Методические указания к выполнению индивидуальных заданий для студентов дневного и заочного обучения всех направлений и специальностей ТПУ. – Томск: Изд. ТПУ, 2008. – 20 с.
- 51 ГОСТ Р 53692-2009. Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Этапы технологического цикла отходов. [Электронный ресурс]. – <https://docs.cntd.ru/document/1200081740> – Дата обращения: 01.05.2023.

- 52 ГОСТ Р 52105-2003. Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Классификация и методы переработки ртутьсодержащих отходов. [Электронный ресурс]. – <https://docs.cntd.ru/document/1200032452> – Дата обращения: 01.05.2023.
- 53 ГОСТ 12.1.004-91. Пожарная безопасность. Общие требования. [Электронный ресурс]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/9051953> – Дата обращения: 01.05.2021.

Приложение А
(обязательно)

Technique for building a hydrodynamic model

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2ДМ14	Чайкина Яна Игоревна		

Руководитель ВКР:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Бешагина Е.В.	к.х.н.		

Консультант – лингвист отделения иностранных языков ШБИП:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Надеина Л.В.	к.филол.н.		

Introduction

The water cut of oil fields is especially relevant in the last two decades, since in some fields the water content in oil reaches 80 – 90 %. In turn, this affects the costs associated with additional costs for the separation of operational water-oil emulsions. In addition, the complexity of the process of their separation lies in the different stability of the emulsions. To accelerate the creation of a magnetic system that contributes to the efficient process of separating water-oil emulsions, there is a need to create a hydrodynamic model that corresponds to the actual conditions of oil treatment.

Most often these calculations are performed in modeling software systems based on experimental data, which are a mathematical description of the behavior of hydrocarbon components in mixtures under magnetic influence. The most commonly used software systems are imported Ansys-Fluent.

1 Laminar flow of viscous non-compressible fluid in round pipe

1.1. Task Description

Consider the problem of laminar flow of liquid in a round pipe of constant cross section, Figure 1. The pipe diameter $D = 0.2$ m, the pipe length $L = 8$ m. The fluid velocity at the pipe inlet $U_z = 1$ m/sec is constant over the entire inlet section. The liquid flows out into the environment, the pressure of which is 1 atm. Let us take the density of the medium $\rho = 1$ kg/m³, and the viscosity coefficient $\mu = 2 \cdot 10^{-3}$ Pas · s. The Reynolds number based on the pipe diameter is:

$$Re = \frac{\rho \cdot U_z \cdot D}{\mu} = 100.$$

Let's solve this problem using FLUENT using ANSYS Workbench. Let's build the velocity and pressure fields inside the pipe, and check the results.

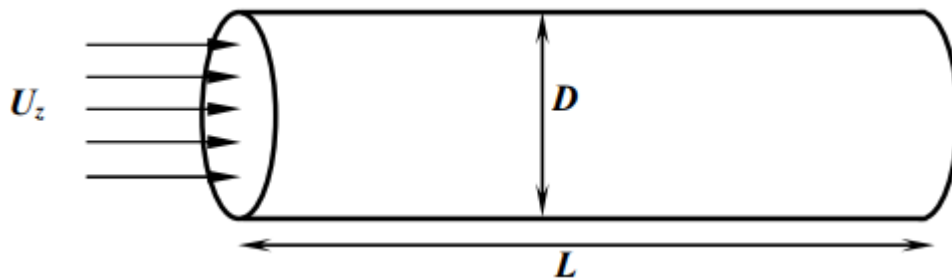


Fig. 1 Laminar flow of liquid in a round pipe of constant cross section

1.2. Preliminary comments

We assume that the viscous boundary layer builds up along the pipe from the inlet section. Ultimately, it grows so much that it completely fills the pipe (provided the pipe is long enough). When this happens, the flow becomes fully developed, and the velocity profile in the axial direction, x does not change (Figure 2). It is known from the course of hydromechanics that in a fully developed region of the current there is an analytical solution to the basic equations of hydromechanics.

We will compare the numerical results in a fully developed region of the current with the corresponding analytical solutions.

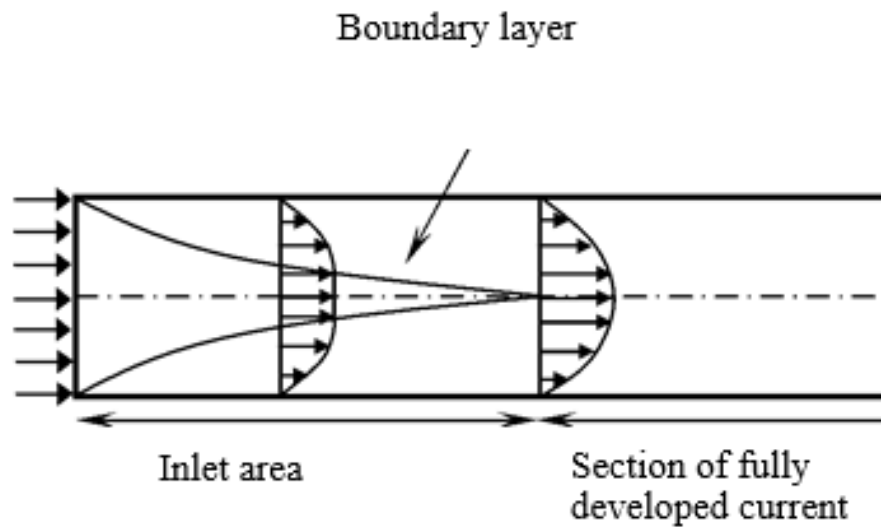


Fig. 2 Velocity profile in axial direction

We will create geometry and mesh in ANSYS 19.1, which is a preprocessor for FLUENT, and then count the mesh in FLUENT and perform a solution to the problem.

Work algorithm:

- Create a project in ANSYS Workbench.
- Create a sketch in Design Modeler.
- Surface creation.
- Building a grid.
- Setting of grid nodes on the border of the area.
- Assigning names to area boundaries.
- Save, exit, update.
- Starting ANSYS FLUENT.
- Verification and display of the difference grid.
- Entering data into the solver.
- Specifying fluid properties.
- Setting of boundary conditions.
- Choice of difference scheme.
- Setting initial conditions.
- Setting the convergence criterion.

- Calculation of the coefficient of friction.
- Performing calculations.
- Processing of calculation results using FLUENTa tools.
- Construction of the field of velocity vectors.
- Construction of isolines of the velocity module.
- Building a velocity profile at the channel exit.
- Plotting pressure changes along the channel axis.
- Control and verification of the solution.
- Mesh refinement.
- Connection of the magnetic module.
- View results.

Consider the main stages of creating a Hydrodynamic Model.

1.3 Create a project in ANSYS Workbench

1. Create a *pipe* folder in which all files created during operation will be stored.
2. Launch ANSYS Workbench:

Start> All Programs> ANSYS 19.1> Workbench 19.1

The Workbench window is shown in Figure 3. On the left side of the Workbench window there will be a toolbar filled with systems for solving various physical problems. In the middle there will be an empty workplace where you can organize your project.

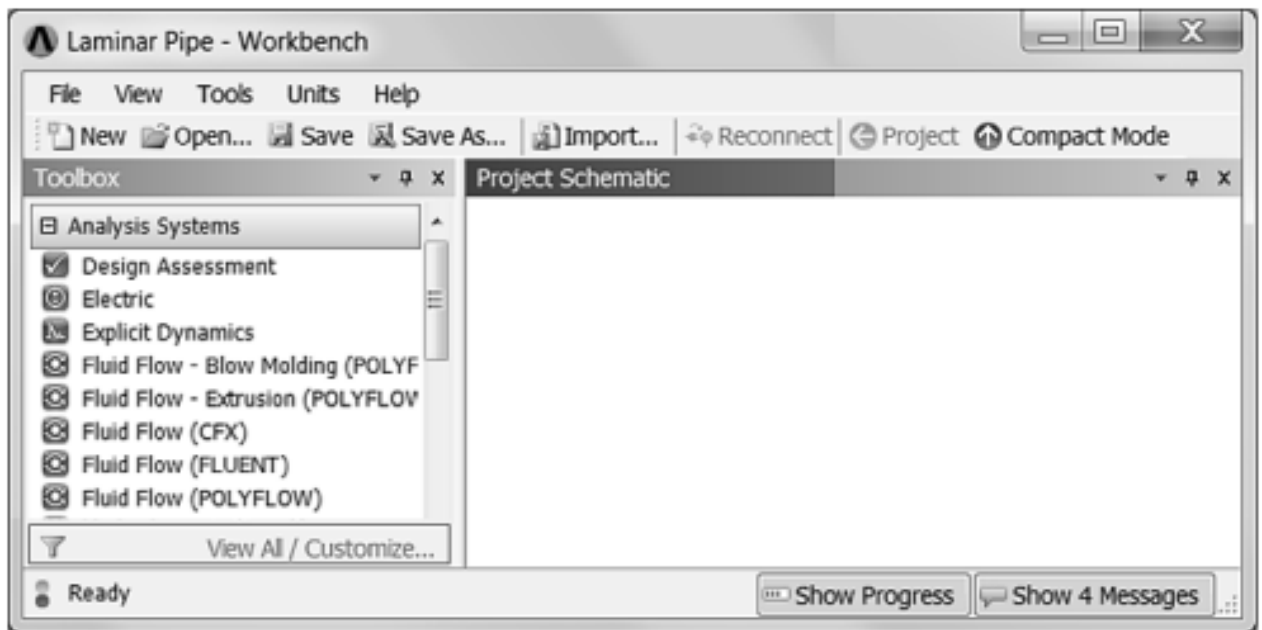


Fig. 3 Workbench

3. To create a project, left-click *Fluid Flow* (FLUENT) in the Analysis Systems window and drag and drop it that icon in the empty space of the Project Schematic window. The Workbench window should look then as shown in Figure 4.

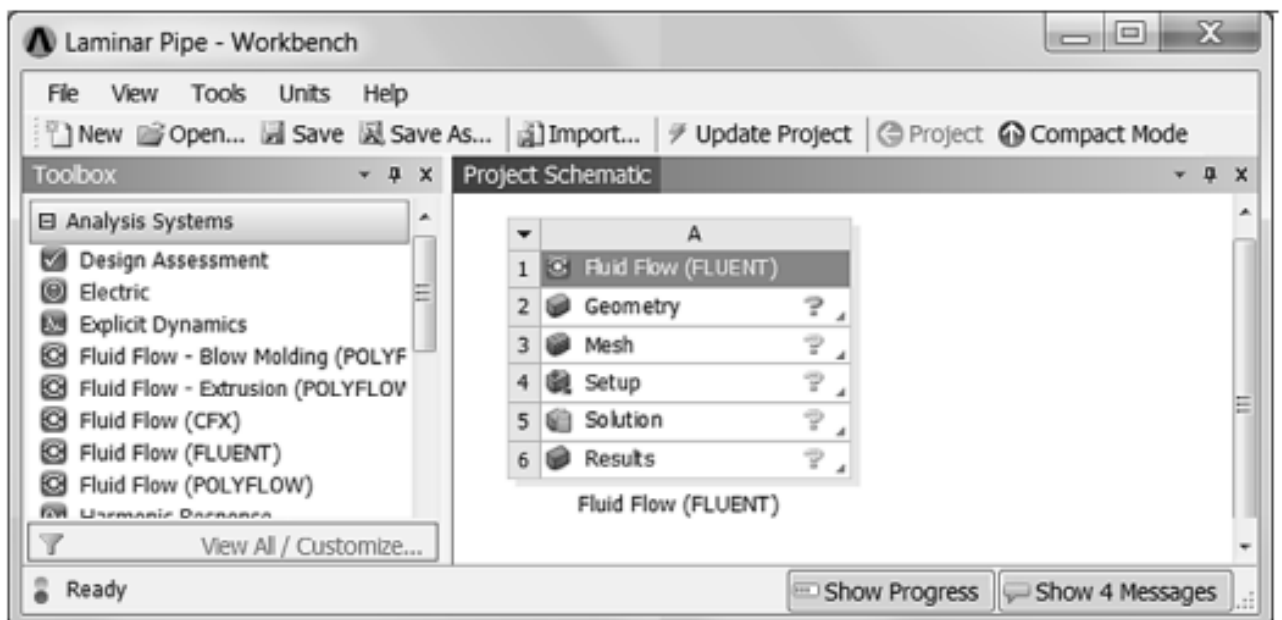


Fig. 4 Project Schematic

4. Save the project as *Laminar Pipe*.

5. In the Project Schematic window, right-click Geometry and select Properties, as shown in Figure 5. The Property of Schematic window appears on the right side of the Workbench window.

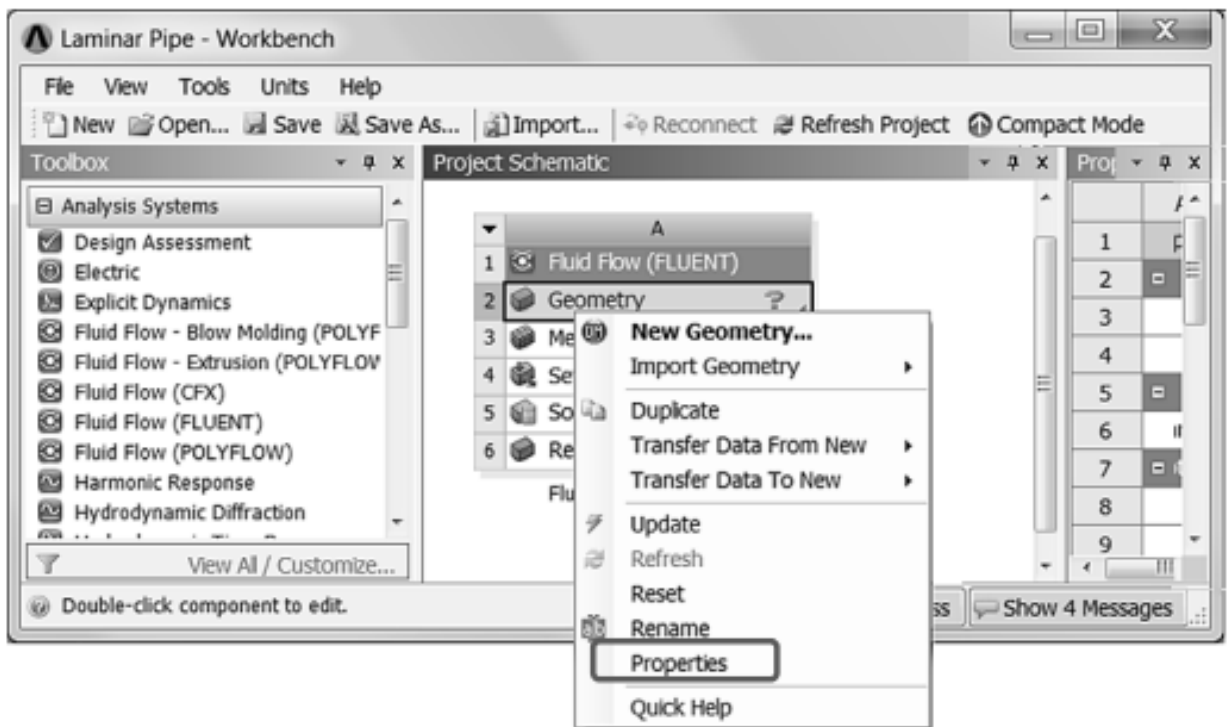


Fig. 5 Property

6. In the Property of Schematic window, under Advance Geometry Options, change the Analysis Type to 2D.

7. In the Project Schematic window, double-click on Geometry to start preparing the geometry area. This will launch ANSYS Design Modeler.

1.4 Creating a Sketch in Design Modeler

1. The opened window of the Design Modeler program has the form, Figure 6.

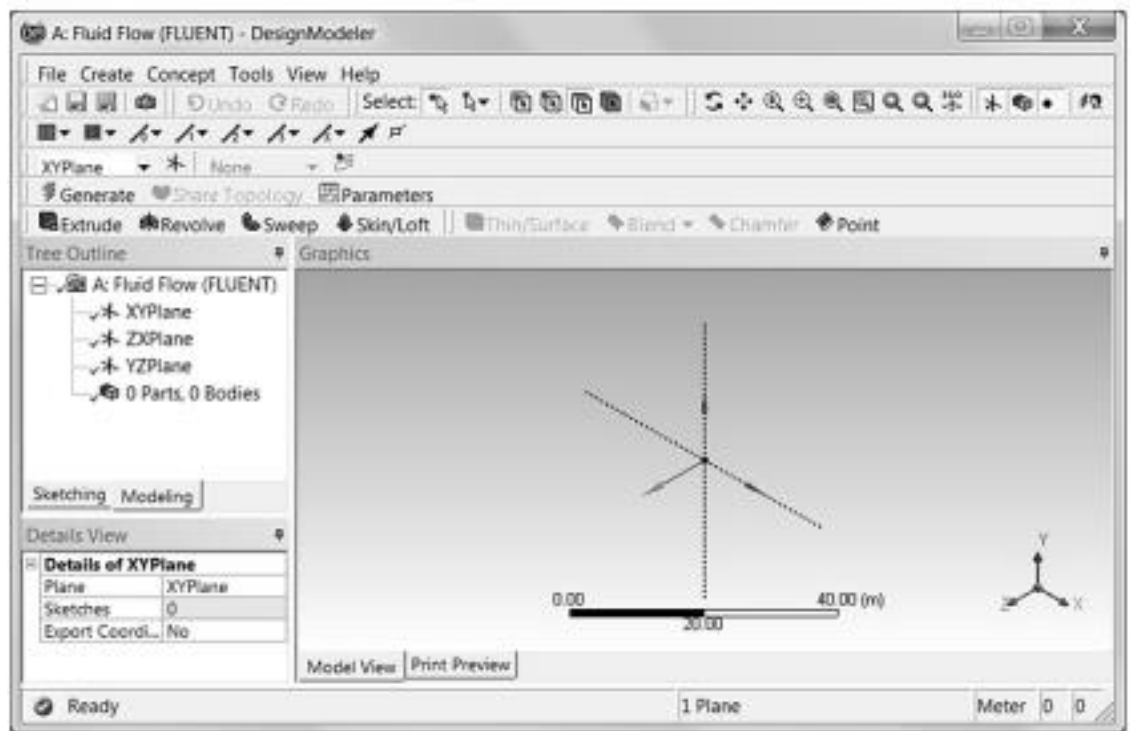


Fig. 6 Design Modeler

2. On the Graphics panel in the lower right corner, click the left mouse button on the + Z axis. After that, the XU plane coincides with the screen plane.

3. We will create the sketch in the XU plane. To do this, on the Tree Outline panel, click on XYPlane (Figure 7). In the lower left corner of the Tree Outline panel, select the Sketching tab. By default, the Draw toolkit opens.

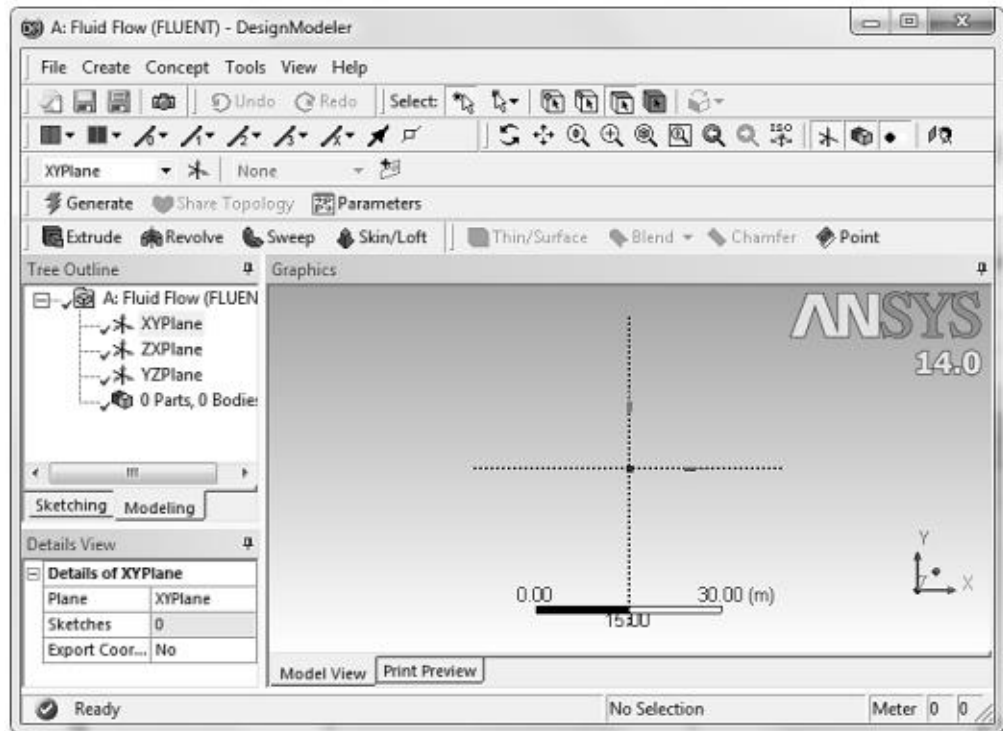


Fig. 7 Design Modeler

5. Before constructing the region, let's show a coordinate grid. To do this, on the Sketching Toolboxes panel, click on the Settings tab located at the bottom of the panel, then click on the Grid tool and check the box next to Show in 2D. The Graphics panel then shows the coordinate grid, the default distance between the coordinate lines is 5 m.

6. In the Sketching Toolboxes panel, select Rectangle. In the Graphics panel, create a rectangle by clicking the left mouse button at the origin and then somewhere in the first quadrant of the XU plane (Figure 8).

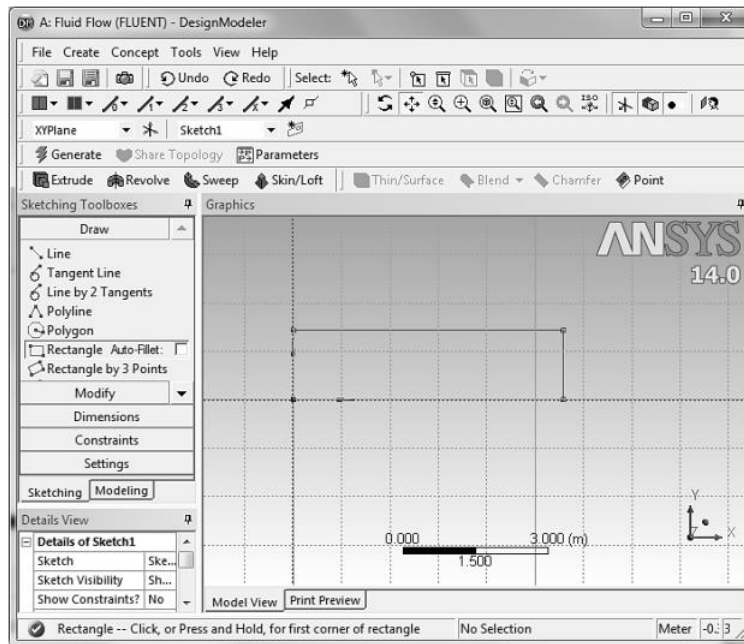


Fig. 8 Graphics panel

7. We'll dimension the rectangle. On the Details View panel, which is located under the Sketching Toolboxes panel, in the Dimensions: 2 group we install $H1 = 8$, and $V2 = 0.1$ (Figure 9).

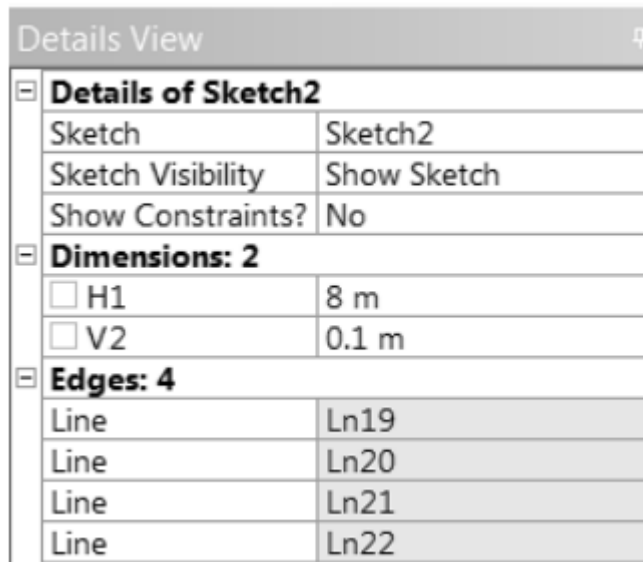


Fig. 9 Details View panel

1.5 Starting ANSYS FLUENT

The diagram of your Project Schematic in Workbench should look much the same as shown in Figure 10. At the same time, opposite Geometry and Mesh should be checked.

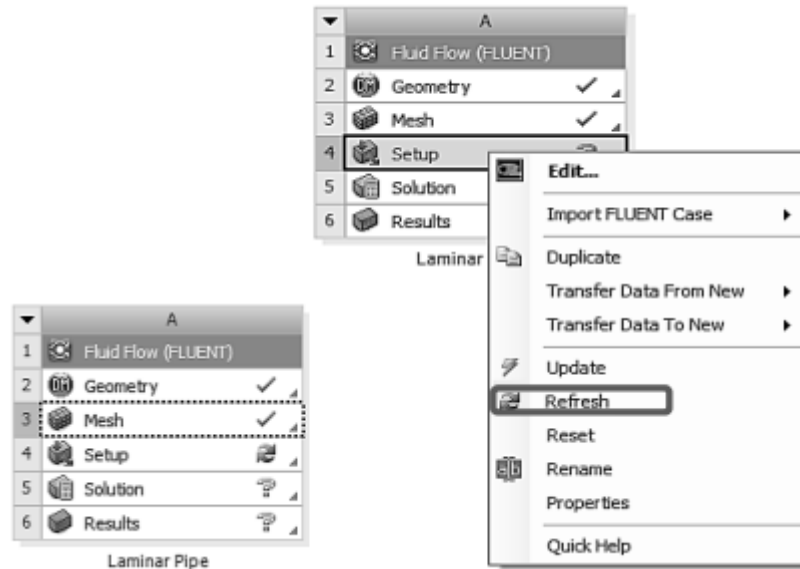


Fig. 10 Project Schematic

In FLUENT it will be possible to select equations and set edge conditions corresponding to the boundary problem in question.

The FLUENT working window is as shown in Figure 11.

On the left side of the FLUENT work window there are three main elements: ProYem Setup, Solution and Results. With the help of these elements, they set up a physical model, select a solution method, process the results of solving a problem. On the right side of the window are the graphics panel and the command panel. At the top is the menu bar through which all FLUENT package items are accessed.

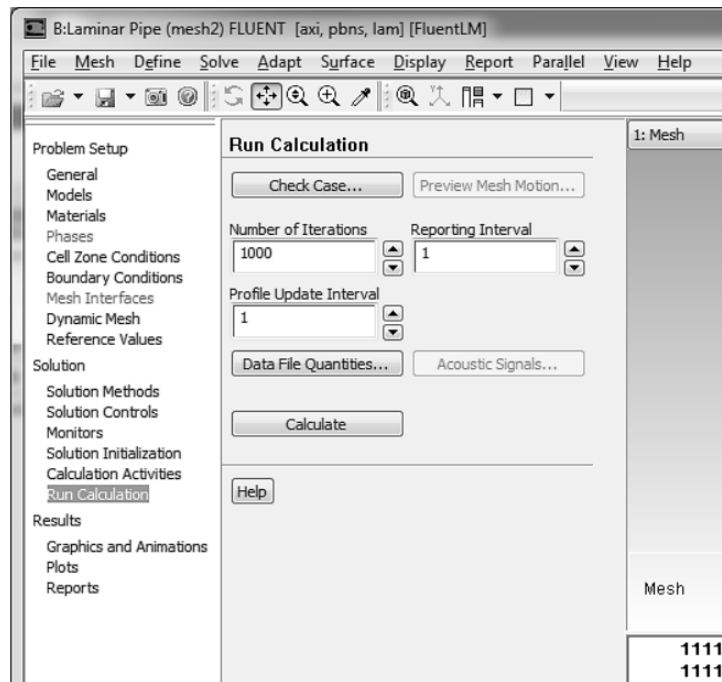


Fig. 11 Working window

1. Define the axisymmetric geometry of the region under -General-Solver-2D Space.
2. Select Axisymmetric, Figure 12.

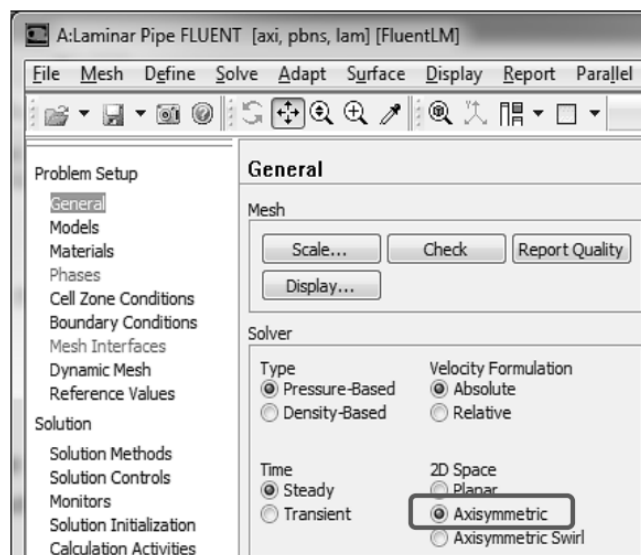


Fig. 12 Region geometry

3. We install a model of viscous laminar flow: Models →Viscous-Laminar →Edit. The Viscous Model window opens, in which we select the value Laminar, (Figure 13).

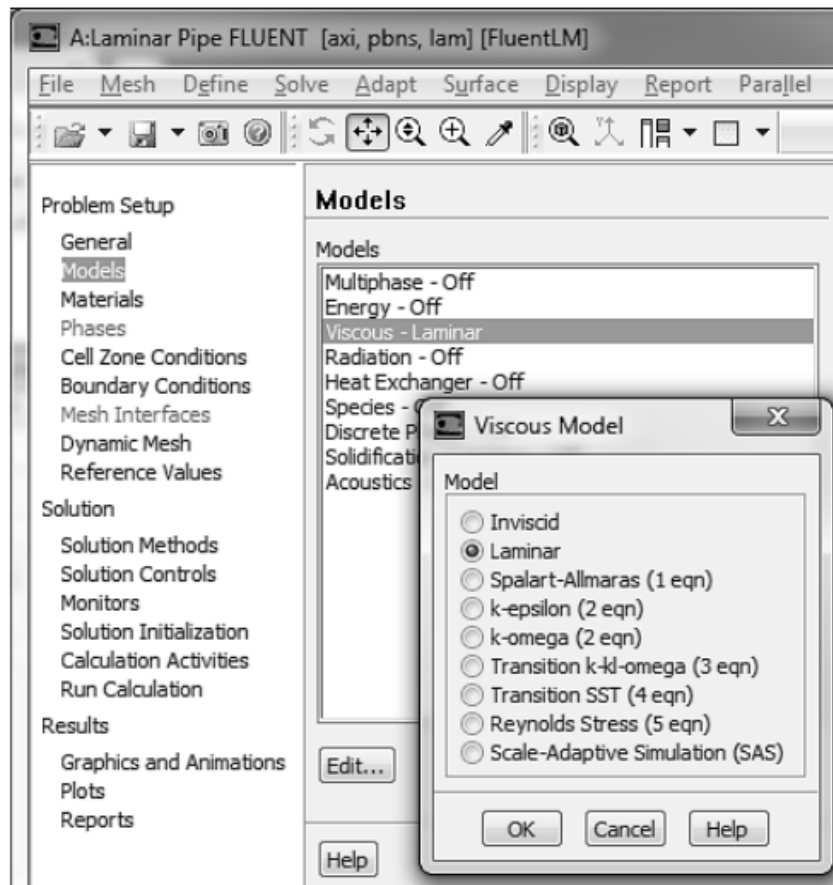


Fig. 13 Model of viscous laminar flow

4. To create a liquid with such properties, perform the following actions: Materials → Fluid → Create/Edit. In the window that appears, set the density of 1 kg/m^3 and viscosity of $0,002 \text{ kg/(m}\cdot\text{sec)}$ (Figure 14).

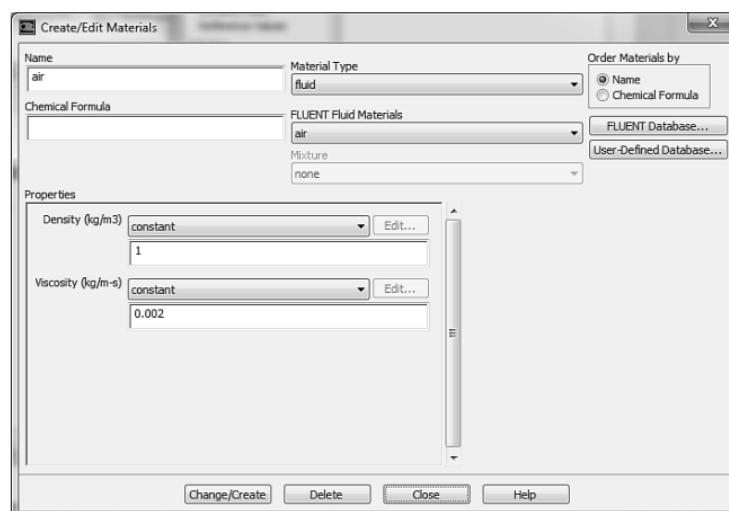


Fig. 14 Fluid properties

5. According to the task condition, it is necessary to set conditions at four boundaries:

- Set the conditions at the input boundary: Boundary Conditions→Zone (Inlet) →Edit. In the Velocity Inlet window that appears, in Figure 15, enter Velocity Specification Method as Components and set Axial-Velocity (m/s) to 1.

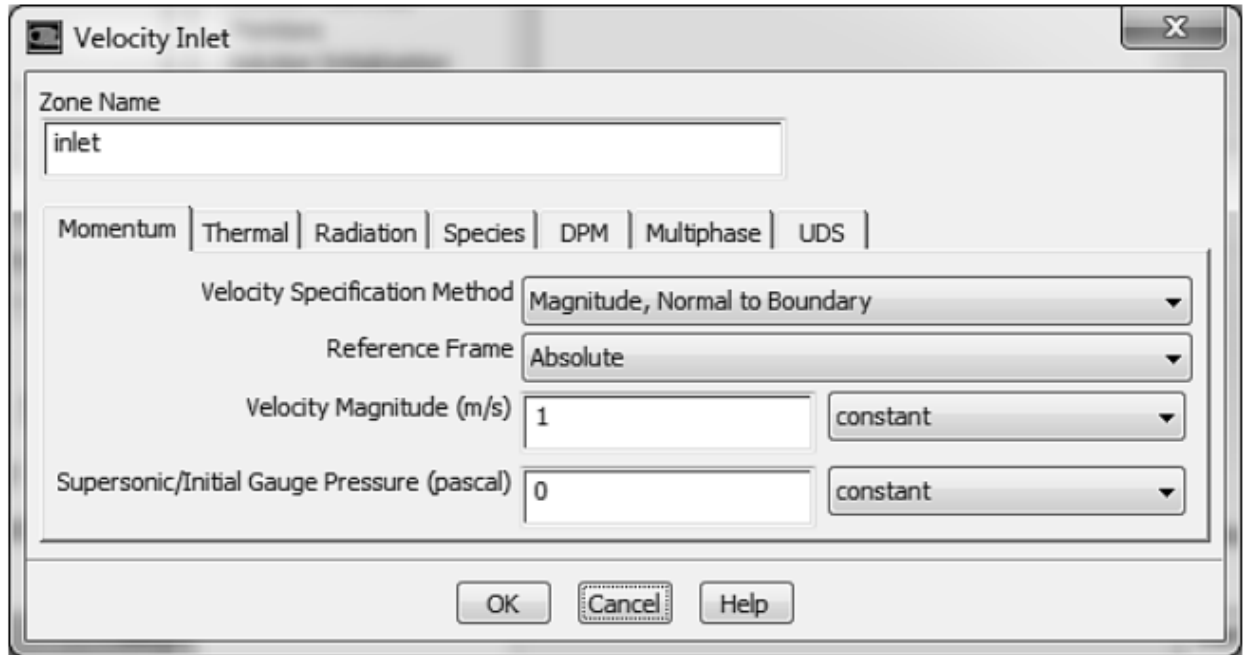


Fig. 15 Input boundary

- We set the conditions at the exit border: Boundary Conditions→Outlet→Edit. Set the Gauge Pressure (pascal) value to 0.
- Specify the conditions on the symmetry axis: Boundary Conditions→Zone (axis). Change the value of Type to axis.

To solve this problem, we will use the SIMPLE algorithm of the Patankar method, using a second-order precision scheme for convective terms in the momentum conservation equation. Use the Solution section to select differential schemas. Make sure that the values shown in Figure 16 are set in the Solution Methods subsection.

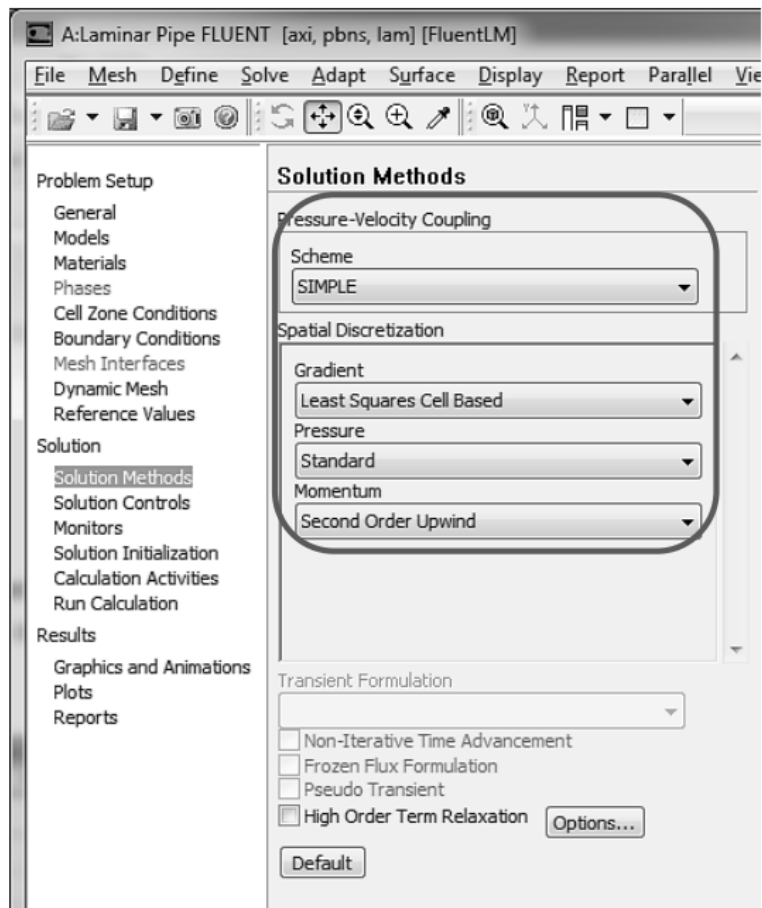


Fig. 16 Solution

7. In the Solution section, select Solution Initialization. Change the initialization method to Standard Initialization.

FLUENT provides information about the inconsistency for each equation to be solved. The deadlock is a measure of how well the current solution satisfies the discrete form of the basic equation. We will iterate each equation until the deadlock falls below 10^{-6} . To set the criteria for misalignment, perform the following actions:

1. In the Solution section, select Monitors.
2. In the Monitors section, select Residuals.
3. In the Residential Monitors window that appears, change the Absolute Criteria values located opposite the Residual lines for continuity, x-velocity, y-velocity, to 10^{-6} (Figure 17).

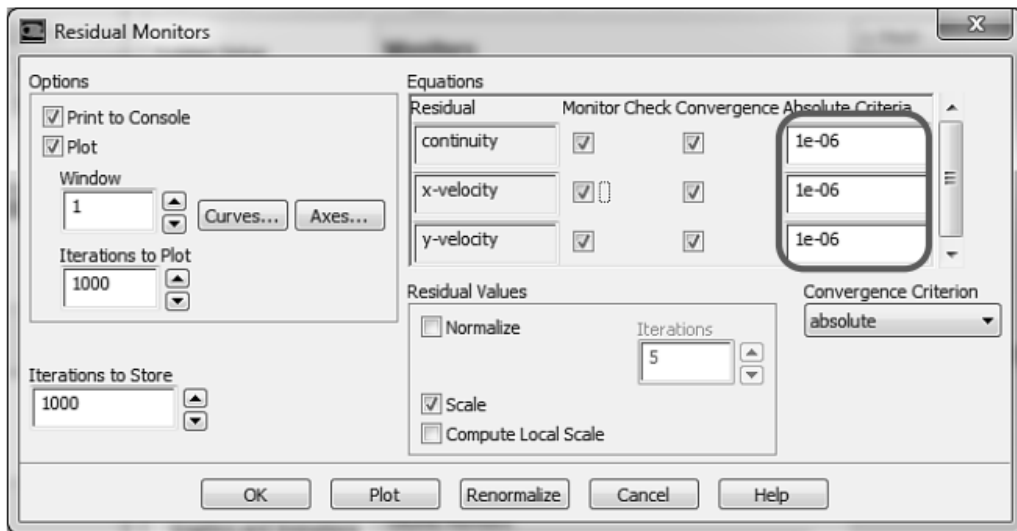


Fig. 17 Residential Monitors

1.6 Processing Calculation Results with FLUENTa

The results of the calculations can be processed either using the built-in FLUENT tools or using the ANSYS of the CFD-Post post-processor.

- 1. Constructing a Velocity Vector Field.** In the Results section, select the Graphics and Animations subsection. In Graphics window select Vectors and press Set Up button. In the Vectors window that appears, press the Display button. The velocity vector field is displayed in the graphics window (Figure 18).

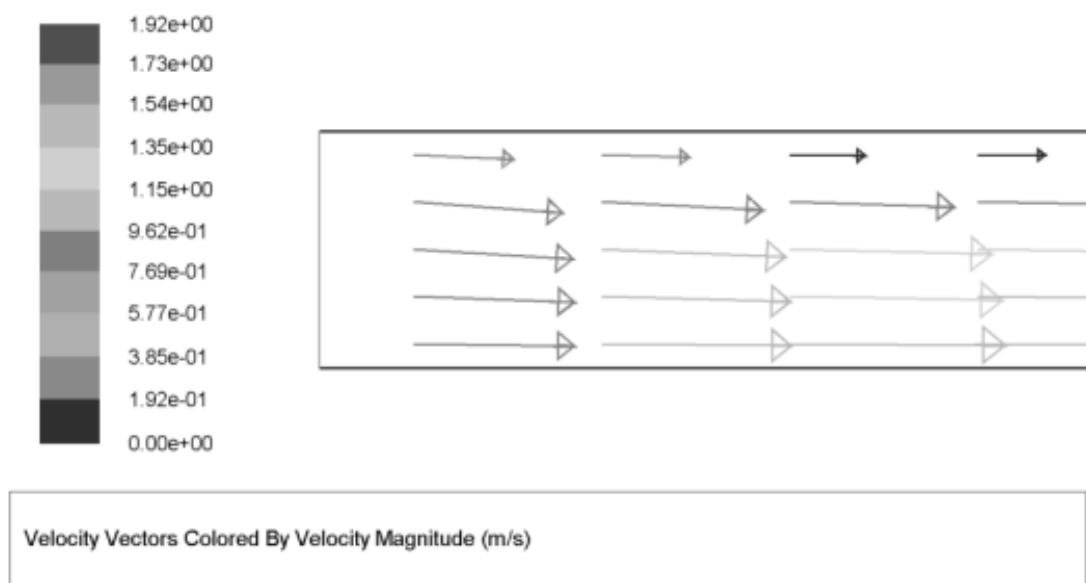


Fig. 18 Vectors window

2. To Draw Velocity Module Isolines. In the Results section, select the Graphics and Animations subsection. In the Graphics window, select Contours and press the Set Up button. In the Contours window that appears, in the Contours of section, select Velocity and Velocity Magnitude. Press Display button. The graphics window will show the isolines of the velocity modulus (Figure 19).

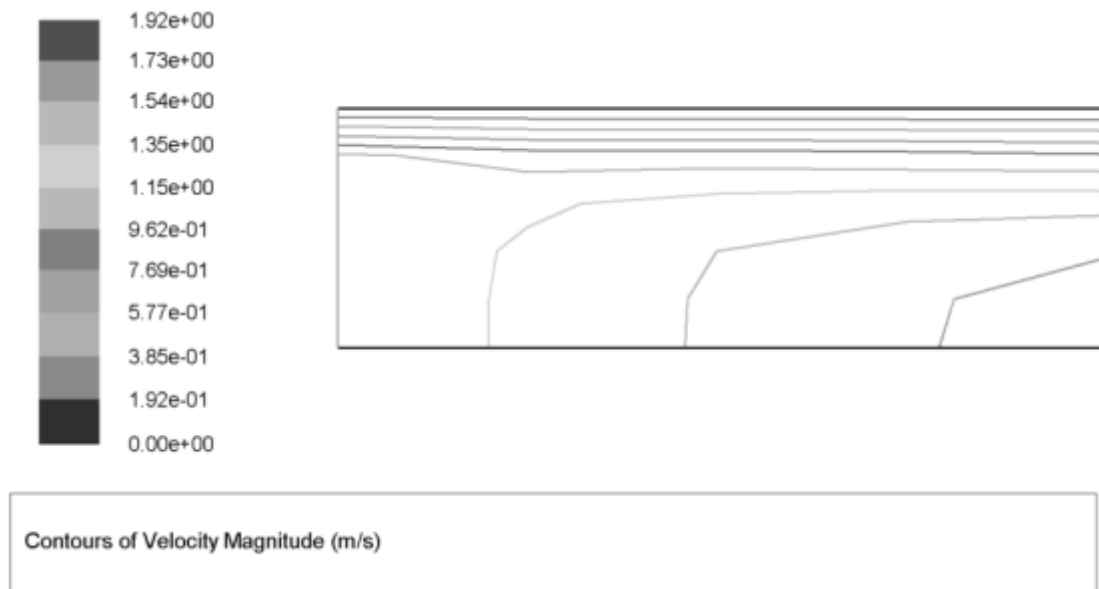


Fig. 19 Velocity modulus

3. Build Channel Exit Velocity Profile. In the Results section, select Plots. In the Plots field, select Plot CU. Press the Set Up button. The Solution XU Plot window appears. In the Solution XU Plot window press the Plot button, the axial speed profile will be shown in the graphics window. The longitudinal velocity will be set along the abscissa axis, and the radial coordinate along the ordinate axis. Click Apply. Then press the Plot button in the Solution XU Plot window. The graphics window will show the longitudinal velocity profile at the channel outlet (Figure 20).

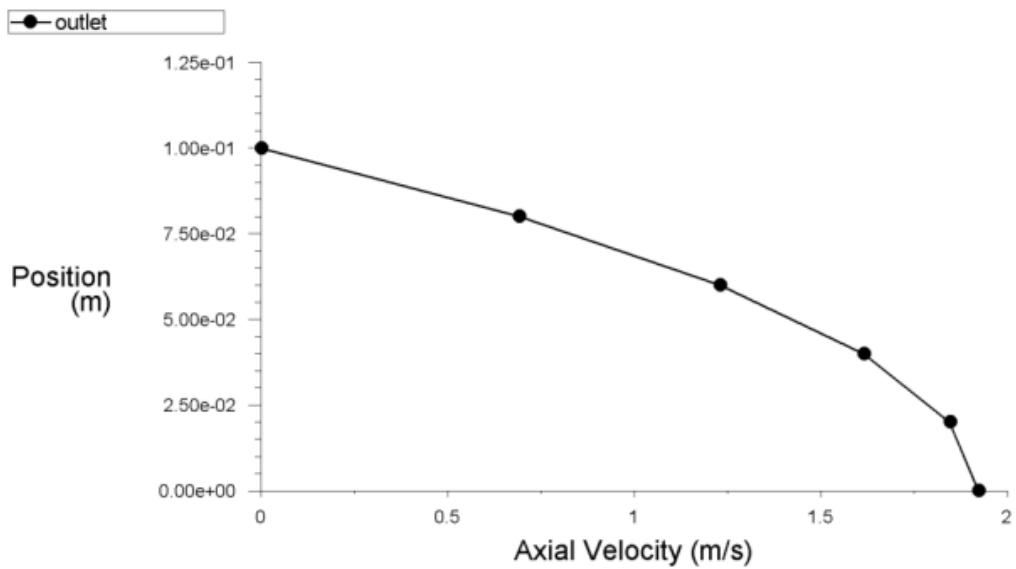


Fig. 20 Longitudinal velocity profile

- Creates a pressure change along the channel axis. To plot the pressure change along the channel axis, we do the same as in the previous paragraph. Results → Plots → XY Plots → Set Up. Set the options of the Solution XU Plot window. The graphics window will show the desired graph (Figure 21).

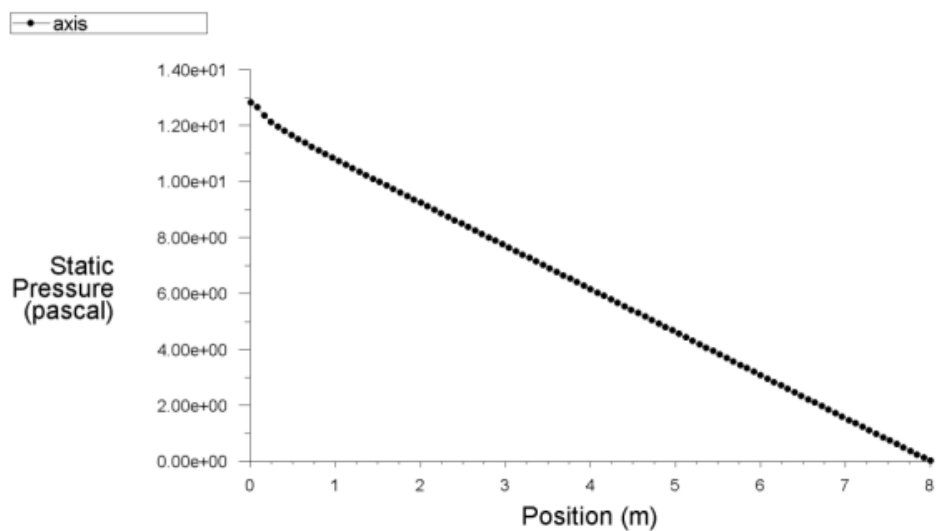


Fig. 21 Graph of pressure change along the channel axis

5. Control and verification of the solution

When performing the calculation, we controlled the value of the inconsistencies for each of the equations. After reaching all the inconsistencies of a value less than 10^{-6} , we believe that the iterative process converged, and we received a numerical solution. Inconsistency, in this case, is an indirect characteristic. We can make sure that the original Navier Stokes system of equations is solved correctly if we check the integral fulfillment of the laws of conservation of mass and momentum.

The continuity equation, which reflects the law of conservation of mass, has the form:

$$\frac{\partial r\rho U}{\partial x} + \frac{\partial r\rho V}{\partial r} = 0.$$

Multiply the equation by 2π , integrate it over r from 0 to R and over x from 0 to L . Apply the Green formula:

$$\int_0^L \int_0^R 2\pi \left(\frac{\partial r\rho U}{\partial x} + \frac{\partial r\rho V}{\partial r} \right) dx dr = \oint 2\pi (-r\rho V dx + r\rho U dr) = 0.$$

Painting the contour integral along the boundary of the region, we get

$$-\int_0^L 2\pi r\rho V \Big|_{r=0} dx - \int_L^0 2\pi r\rho V \Big|_{r=R} dx + \int_0^R 2\pi r\rho U \Big|_{x=L} dr + \int_R^0 2\pi r\rho U \Big|_{x=0} dr = 0.$$

The first two terms turn to 0 , because both on the axis of symmetry and on the wall, the radial velocity of the liquid is equal to 0 , then we get:

$$\int_0^R 2\pi r\rho U \Big|_{x=L} dr - \int_0^R 2\pi r\rho U \Big|_{x=0} dr = 0.$$

This means that in order to test the law of conservation of mass, we must make sure that how much fluid has flowed into the area, as much should flow out of it. To do this, perform the following sequence of actions: Reports → Fluxes → Set Up. The Flux Reports window will appear, in which we highlight the inlet and outlet borders and press the Compute button (Figure 22). The Results field displays the mass flows (kg/sec) for each boundary, and the Net Results field displays the sum of these flows. Note that the mass flow at the exit boundary is negative, which indicates that liquid flows out of the region.

The integral mass error in percent can be defined as the ratio of the sum of the flows at the boundaries of the region to the flow at the input boundary multiplied by 100.

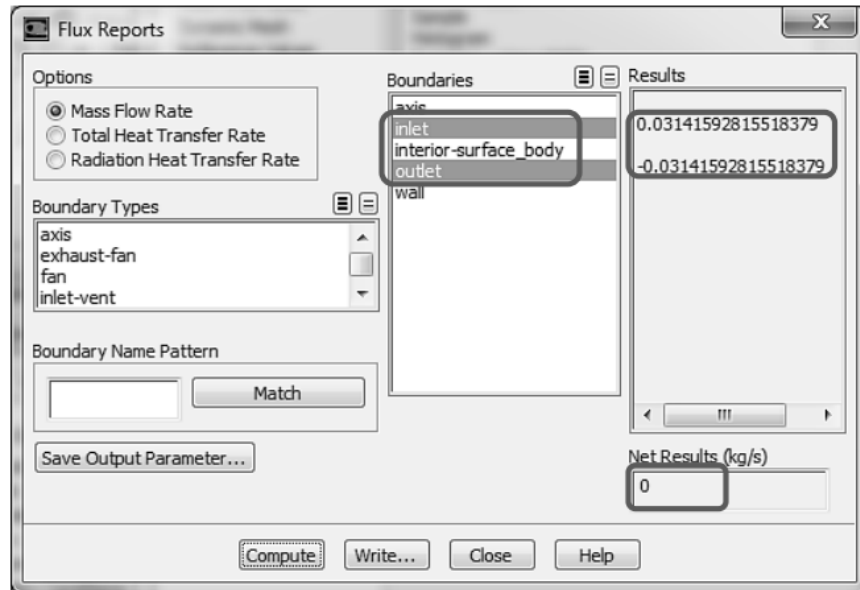


Fig. 22 Flux Reports

Let us now check the fulfillment of the momentum conservation law for the longitudinal component of the velocity vector. The momentum equation in the longitudinal direction can be written as:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left[r \left(\rho U^2 + P - \mu \frac{\partial U}{\partial x} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial r} \left[r \left(\rho UV - \mu \frac{\partial U}{\partial r} \right) \right] = 0.$$

Repeating the same steps that we did with the continuity equation, we get:

$$\begin{aligned} & - \int_0^L 2\pi r \left(\rho UV - \mu \frac{\partial U}{\partial r} \right) \Big|_{r=0} dx - \int_L^0 2\pi r \left(\rho UV - \mu \frac{\partial U}{\partial r} \right) \Big|_{r=R} dx + \\ & + \int_0^R 2\pi r \left(\rho U^2 + P - \mu \frac{\partial U}{\partial x} \right) \Big|_{x=L} dr + \int_R^0 2\pi r \left(\rho U^2 + P - \mu \frac{\partial U}{\partial x} \right) \Big|_{x=0} dr = 0 \end{aligned}$$

Considering that at the entrance to the channel and at the exit from the channel $\frac{\partial U}{\partial x} = 0$, and on the surface of channel $V=0$, we get:

$$\int_L^0 2\pi r \left(\mu \frac{\partial U}{\partial r} \right) \Big|_{r=R} dx + \int_0^R 2\pi r \left(\rho U^2 + P \right) \Big|_{x=L} dr - \int_0^R 2\pi r \left(\rho U^2 + P \right) \Big|_{x=0} dr = 0$$

The first term of the obtained relation is nothing more than the friction force of the liquid on the lateral cylindrical surface of the channel, and the other two are the difference in the momentum fluxes of the liquid at the outlet and inlet to the channel.

To find the friction force, perform Reports → Forces → Set Up. In the Force Reports window that appears, adjust the options and press the Print button. The console window will display information about the friction force on the side surface, which we named wall (Figure 23).

Forces				
Zone	Forces (n)			
wall	Pressure	(0 0 0)	Viscous	(0.39561415 0 0)

Net		(0 0 0)		(0.39561415 0 0)
Forces - Direction Vector (1 0 0)				
Zone	Forces (n)	Viscous	Total	Coefficients
wall	Pressure	0.39561415	0.39561415	Pressure
				0

Net		0.39561415	0.39561415	0

Fig. 23 Friction force

To find the momentum flows through the input and output boundaries, create a new variable called *impulse*. To do this, execute Define → Custom Field Functions through the menu bar. The Custom Field Functions Calculator window opens. In this window, using the values of the Field Functions field, the Select button and the calculator buttons, create the $density \cdot axial-velocity^2 + p$ expression, which will appear in the Definition field, and give the name *impulse* to this expression in the New Function Name field. Click the Define button. Next, follow the steps: Results → Reports → Surface Integrals → Set Up, the Surface Integrals window will appear. In this window, in the Reports Type field, select Integrals. In the field Variable Field, select Custom Field Functions and then the name of the *impulse* variable we created. The pulse flow values at the input and output of the channel appear in the console window.

We find the difference between the pulse flows at the output and input to the channel: 0,395444201. We compare the obtained change in pulse flows with the force acting on the side surface 0,39561415. We see that the error does not exceed 0,04 %.

Integral impulse	
inlet	0.43578309
outlet	0.040338889
Net	0.47612199

Fig. 23 Momentum flow

1.7 View Results

1. In the Laminar Pipe (mesh2) project diagram, right-click on the Fluid Flow (FLUENT) line and select Update from the context menu.
2. We are waiting for some time for FLUENT to carry out the entire calculation. Run FLUENT again. We analyze the results.