

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

Школа Инженерная школа энергетики
 Направление подготовки 13.04.01 Теплоэнергетика и теплотехника
 Отделение школы (НОЦ) НОЦ И.Н. Бутакова

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
АСУ ТП приготовления многокомпонентного жидкого топлива

УДК 681.586:662.75

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5БМ93	Ашихмин Александр Евгеньевич		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент НОЦ И.Н. Бутакова	Пискунов Максим Владимирович	к.ф.-м.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОГН ШБИП	Киселева Елена Станиславовна	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ООД	Пашков Евгений Николаевич	к.т.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель профиля ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ИШФВП	Стрижак Павел Александрович	д.ф.-м.н., профессор		

**Планируемые результаты выпускника освоения образовательной программы
магистратуры по направлению 13.04.01 «Теплоэнергетика и теплотехника»**

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 формулировать цели и задачи исследования, выявлять приоритеты решения задач, выбирать критерии оценки
ОПК(У)-2	Способен применять современные методы исследования, оценивать и представлять результаты выполненной работы
Профессиональные компетенции	
ПК(У)-1	Способен использовать глубокие естественнонаучные, математические и инженерные знания при предварительном анализе, проектировании, синтезе, ресурсоэффективной эксплуатации автоматизированных и автоматических систем управления теплоэнергетическими процессами, а также систем теплотехнических измерений и регистрации
ПК(У)-2	Способен разрабатывать комплекты проектной, конструкторской и эксплуатационной документации для сложных систем теплотехнических измерений и управления
ПК(У)-3	Способен интегрировать знания различных областей для разработки мероприятий по совершенствованию технологии производства, обеспечению экономичности, надежности и безопасности эксплуатации, ремонта и модернизации энергетического, теплотехнического и теплотехнологического оборудования
ПК(У)-4	Способен применять и совершенствовать фундаментальные и прикладные знания по современным динамично изменяющимся теплоэнергетическим технологиям, принципам, методам и системам их управления для прорывных научно-исследовательских работ
ПК(У)-5	Способен применять знания нетехнических ограничений инженерной деятельности, разрабатывать мероприятия по безопасности жизнедеятельности персонала и населения, предотвращать экологические нарушения
ПК(У)-6	Способен проводить теоретические и экспериментальные научные исследования термодинамических и физико-химических процессов в

	теплоэнергетике, а также систем их контроля и управления, интерпретировать, давать практические рекомендации по внедрению результатов исследований в производство, критически их интерпретировать, публично представлять и обсуждать результаты научных исследований
ПК(У)-7	Способен руководить коллективом специалистов различных направлений и квалификаций, действовать в нестандартных ситуациях, принимать организационно-управленческие решения и нести за них ответственность при организации работ, разрабатывать мероприятия по предотвращению экологических нарушений
ПК(У)-8	Способен проектировать и организовывать учебный процесс по образовательным программам с использованием современных образовательных технологий

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

Школа Инженерная школа энергетики
 Направление подготовки 13.04.01 – Теплоэнергетика и теплотехника
 Отделение школы (НОЦ) НОЦ И.Н. Бутакова

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП
 _____ П.А. Стрижак
(Подпись) (Дата)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Магистерской диссертации

Студенту:

Группа	ФИО
5БМ93	Ашихмину Александру Евгеньевичу

Тема работы:

АСУ ТП приготовления многокомпонентного жидкого топлива	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	01.02.2021 №32-75/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	30.05.2021
--	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Публикации с достижениями в области создания и использования эмульгированного топлива на основе н-декана. 2. Экспериментальные стенды, разработанные в ТПУ и методики проведения исследований в рамках выпускной квалификационной работы. 3. Данные о перспективных компонентах многокомпонентных жидких топлив с известными свойствами. 4. Требования к системе управления приготовлением жидкого топлива: <ul style="list-style-type: none"> – трехуровневая система; – на основе микропроцессорной техники; – обеспечение степени затухания переходных процессов не ниже 0,75.
--	---

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	<ol style="list-style-type: none"> 1. Экспериментальные исследования. 2. Проектирование АСУ ТП приготовления многокомпонентного жидкого топлива. 3. Взаимосвязь оборудования верхнего, среднего и полевого уровней в виде схемы. 4. Разработка щита управления АСУ ТП. 5. Расчет параметров настройки регулятора. 6. Мнемосхема АСУ ТП. 7. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение. 8. Социальная ответственность.
Перечень графического материала	<ol style="list-style-type: none"> 1 Схемы структурная. 2 Схема функциональная. 3 Схема принципиальная электрическая щита управления. 4 Схема монтажная. 5 Общий вид щита управления.
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Киселева Елена Станиславовна
Социальная ответственность	Пашков Евгений Николаевич
Иностранный язык	Пичугова Инна Леонидовна
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
<ol style="list-style-type: none"> 1. Введение 2. Экспериментальные исследования 	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	08.02.21
---	----------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент НОЦ И.Н. Бутакова	Пискунов Максим Владимирович	к.ф.-м.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5БМ93	Ашихмин Александр Евгеньевич		

Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит 163 страницы, 19 рисунков, 48 таблиц, 63 источника, 2 приложения.

Ключевые слова: автоматизация, проектирование, автоматизированная система управления, эмульсионное топливо, приготовление топлива, эмульгирование, диспергирование, микропроцессорные технические средства автоматизации, мнемосхема.

Цель работы – разработка АСУ ТП приготовления многокомпонентного жидкого топлива на основе современных микропроцессорных технических средств.

В процессе выполнения работы был произведен анализ существующих методов создания эмульсионного топлива и их свойств. Проведены исследования реологических свойств эмульсий на основе модельного углеводорода и экспериментальные исследования влияния свойств характеристик эмульсионного топлива на взаимодействие их капель с горизонтальной твердой поверхностью. Разработана проектная и конструкторская документация. Осуществлен выбор технических средств автоматизации и составлена заказная спецификация.

В результате выполнения магистерской диссертации разработана система управления процессом приготовления многокомпонентного жидкого топлива на основе современных микропроцессорных средств автоматизации. Автоматизированная система управления разработана с учетом технических требований, нормативных документов и исходя из результатов научно-исследовательской работы.

В число конкурентных преимуществ автоматизированной системы входит экологическая выгода (снижение расхода углеводородного топлива составе эмульсионного топлива и уменьшение количества антропогенных выбросов по сравнению с традиционным топливом), средний срок окупаемости.

Обозначения и сокращения

АРМ – автоматизированное рабочее место оператора;

АСУ – автоматизированная система управления;

КТС – комплекс технических средств;

ИВК – информационно-вычислительный комплекс;

ПК – персональный компьютер;

ПЛК – программируемый логический контроллер;

РО – регулирующий орган;

ЭВМ – электронно-вычислительная машина;

SCADA – комплекс программ, который нужен для разработки и обеспечения работы системы сбора, обработки, архивирования информации в реальном времени;

ПАВ – поверхностно-активное вещество.

Оглавление

Введение.....	11
1 Научно-исследовательская работа	14
1.1 Цель и задачи исследований	16
1.2 Исследуемые материалы	17
1.3 ГЛБ и плотность эмульсий.....	19
1.3.1 Числа ГЛБ.....	19
1.3.2 Плотность	20
1.4 Межфазное натяжение и характеристики адсорбции	21
1.4.1 Измерение межфазного натяжения.....	21
1.4.2 Расчет характеристик адсорбции. Средний диаметр и распределения по размерам капель дисперсной фазы	23
1.5 Динамическая вязкость и поверхностное натяжение	31
1.6 Кинетическая устойчивость и электростабильность	35
1.6.1 Показатель расслоения эмульсии.....	35
1.6.2 Измерение электростабильности	38
1.7 Реологическая модель и безразмерные параметры	40
1.8 Морфологическое наблюдение за процессом взаимодействия ..	42
1.9 Результаты и их обсуждение	44
2 Проектирование АСУ приготовления многокомпонентного жидкого топлива	47
2.1 Системный анализ объекта автоматизации.....	47
2.2 Разработка структуры комплекса технических средств автоматизированной системы управления	49
2.3 Разработка функциональной схемы системы управления	51
2.4 Составление опросных листов на измерительные приборы и средства автоматизации.....	53
2.5 Выбор технических средств системы управления, составление спецификации	53
2.5.1 Выбор датчиков температуры	54

2.5.2	Выбор технических средств измерения уровня	55
2.5.3	Выбор исполнительного механизма	56
2.5.4	Выбор регулирующего устройства	58
2.5.5	Выбор насосного оборудования.....	60
2.6	Проектирование схемы внешних проводок	62
2.7	Проектирование принципиальной электрической схемы щита управления	64
2.8	Разработка сборочного чертежа щита управления.....	67
2.9	Оценка погрешностей измерительных каналов.....	68
2.10	Разработка экранных форм мнемосхем SCADA-системы	70
3	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	74
3.1	Потенциальные потребители результатов исследования	74
3.2	FAST-анализ	78
3.2.1	Выбор объекта FAST-анализа	78
3.2.2	Описание функций объекта	79
3.2.3	Определение значимости выполняемых функций объектом	79
3.2.4	Анализ стоимости функций, выполняемых объектом исследования.....	81
3.2.5	Построение функционально-стоимостной диаграммы объекта и ее анализ	81
3.2.6	Оптимизация функций, выполняемых объектом	82
3.3	SWOT-анализ.....	83
3.4	Оценка готовности проекта к коммерциализации	87
3.5	Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования.....	90
3.6	Инициация проекта.....	91
3.7	Планирование управления научно-исследовательского проекта	93
3.8	Бюджет научного исследования.....	96
3.9	Определение ресурсной, финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	99

Выводы по разделу Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	101
4 Социальная ответственность.....	106
4.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	106
4.2 Профессиональная социальная безопасность.....	108
4.2.1 Анализ вредных и опасных факторов.....	108
4.3 Экологическая безопасность	117
4.3.1 Анализ влияния объекта на окружающую среду	118
4.3.2 Обоснование мероприятий по защите окружающей среды	118
4.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	118
4.4.1 Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований	119
4.4.2 Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть в лаборатории при проведении исследований	119
4.4.3 Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действий в случае возникновения ЧС	120
Выводы по разделу Социальная ответственность.....	120
Заключение	122
Список публикаций.....	124
Список использованных источников	125
Приложение А	132
Приложение В	135
Графический материал: на отдельных листах	
ФЮРА.421000.03 С1 Схема структурная	
ФЮРА.421000.03 С2 Схема функциональная	
ФЮРА.421000.03 С4 Схема монтажная внешних проводок	
ФЮРА.421000.03 Э4 Схема электрическая соединений шкафа автоматизации	
ФЮРА.421000.03 ПЭ Перечень элементов шкафа автоматизации	
ФЮРА.421000.03 СБ Сборочный чертеж шкафа автоматизации	
ФЮРА.421000.03 СП Спецификация оборудования шкафа автоматизации	

Введение

В настоящее время исследователи топливных технологий занимаются решением наиболее значимой группы проблем. В частности, проводятся исследования, связанные с созданием технологии, способствующей минимизации расхода топлива, увеличению эффективности использования, а также повышению динамики процесса горения, снижению антропогенных выбросов в результате горения топлива, повышению полноты сгорания топлива, улучшения качества получаемого топлива в процессе изготовления, и в то же время уменьшению экономических затрат на производство [1-3].

Одним из вариантов решения в научном сообществе принято считать использование многокомпонентных эмульгированных топлив [4]. Согласно исследованиям [5] вода как низкокипящий компонент в составе эмульсий позволяет улучшить характеристики протекающих процессов зажигания и горения топлива во многих ключевых аспектах за счет явлений микровзрывного разрушения [6]. Также преимуществом использования эмульсионного топлива является уменьшение количества вредных выбросов при его сгорании за счет компонентного состава топлива [7-9].

В настоящей работе приведены результаты исследований эмульсионных топлив на основе модельного углеводорода с различными характеристиками, которые оказывают разное влияние на работу двигателя внутреннего сгорания [9-10]. Рассмотрены жидкости с различным реологическим поведением и разной вязкостью, поверхностным натяжением и плотностью. Изучено влияние компонентного состава и природы эмульгатора на стабильность образцов эмульсионного топлива. Также проанализировано влияние свойств жидкости на процесс взаимодействия капель жидкости с твердой поверхностью.

Наиболее важной характеристикой эмульгированного топлива является его стабильность. Основной задачей на практике является обеспечение стабильного состояния эмульсии в долгосрочной перспективе для исключения

разделения фаз топлива при его использовании в двигателях. Обеспечение стабильности такого топлива зависит как от внешних факторов, таких как температура окружающей среды, способа приготовления топлива и компонентного состава. Также небольшая концентрация стабилизатора порождает проблему небольшой стабильности эмульсионного топлива. Поэтому в исследовании был рассмотрен широкий ряд эмульгаторов и выявлен как наиболее оптимальный эмульгатор, так и компонентный состав.

В эмульсиях типа «вода-в-масле» размер капель дисперсной среды составляет 1...10 мкм. Для достижения требуемого размера капель применяют два основных подхода. Первый заключается в «выращивании» капель из малых центров каплеобразования, а второй предполагает дробление больших капель на более мелкие [11].

Для приготовления многокомпонентного эмульсионного топлива в промышленных масштабах применяют следующие методы:

- 1) диспергирование;
- 2) размалывание в жидкой среде;
- 3) дробление при помощи ультразвука.

Для достижения более малых размеров капель дисперсной среды применяют турбинные установки [12].

Целью данной работы является разработка автоматизированной системы управления процессом приготовления многокомпонентного жидкого топлива с учетом фактических условий эксплуатации.

При выполнении работы требуется выполнить следующие задачи:

- провести системный анализ объекта автоматизации;
- выбрать структуру автоматизированной системы регулирования;

- разработать функциональную схему АСУ;
- осуществить выбор технических средств АСУ и составить заказную спецификацию;
- составить перечень входных и выходных сигналов;
- разработать принципиальную электрическую схему щита управления;
- составить перечень элементов щита управления;
- спроектировать схему внешних проводок;
- разработать сборочный чертеж щита управления;
- составить спецификацию щита управления;
- разработать мнемосхему SCADA-системы.

Разработанная система должна отвечать следующим требованиям:

- осуществлять управление технологическим объектом в темпе протекания процесса;
- реализация решений по управлению должна осуществляться средствами вычислительной микропроцессорной техники и человеком-оператором;
- обеспечивать управление технологическим процессом в соответствии с принятыми критериями эффективности функционирования;
- обладать требуемым уровнем надежности;
- обеспечивать возможность функционирования с системами управления смежных уровней иерархии и другими АСУ ТП;
- отвечать эргономическим требованиям;
- допускать возможность модернизации и развития;

1 Научно-исследовательская работа

В настоящий момент в литературе приводится довольно ограниченная информация о возможности регулирования характеристик формируемых двухфазных жидкостей при эмульгировании [13-15]. Не затронутыми остаются вопросы о влиянии химической природы стабилизатора [16,17] на количественные и временные характеристики вторичного распыления эмульсий при нагреве [18,19]. Таким образом, создание экспериментальной информационной базы данных о зависимостях между структурой и свойствами поверхностно-активного вещества и поведением стабилизируемых им эмульсий при нагреве до метастабильного состояния [20-23] и характером дальнейшего разрушения является актуальной задачей. В рамках работы предстоит установить возможность контролируемого добавления эмульгатора с подходящими характеристиками, обеспечивающими извлечение требуемых параметров технологических процессов, в которых используются сформированные двухфазные жидкости. Среди технологий, в которых определено будут востребованы результаты исследования, необходимо выделить, во-первых, эмульгированное топливо [24], как альтернатива существующему в технологических процессах тепловых электрических станций и других стационарных и мобильных энергетических установок, во-вторых, технологии, использующие обратные эмульсии в качестве рабочих жидкостей при экстремальных условиях, например, бурение нефтяных и газовых скважин на инвертно-эмульсионных буровых растворах. Будут получены зависимости между химическим строением эмульгаторов, их поверхностно-активными свойствами и поведением стабилизируемых ими эмульсий в условиях нагрева и последующего взрывного разрушения, а также теоретически обоснованы полученные результаты. Целевые свойства эмульсий, которые планируется оценивать при изменении их начальной температуры, в рамках данной работы, следующие: динамическая вязкость, поверхностное натяжение, скорость коалесценции капель (стабильность эмульсий при повышенных температурах).

Взаимодействие капли с твердыми нагретыми поверхностями является весьма актуальным процессом для широкого ряда практических приложений [25]. Изучение соударения капли при падении на твердую поверхность с самого начала рассматривалось с позиции традиционных технологий, таких как спреи в камерах сгорания, покраска, струйная печать. В последние годы развитие новых технологий, таких, как усовершенствованная обработка клеток [26] и печать биологических материалов [27], способствовали более глубокому пониманию процессов, возникающих при взаимодействии капли с твердой поверхностью. Об этом свидетельствует впечатляющее число публикаций, в которых используются экспериментальные [28-30], теоретические [31,32] и численные [33,34] подходы. Однако большинство из этих работ сосредоточено на взаимодействии капель однокомпонентных ньютоновских жидкостей. В то время как во многих практических приложениях и технологиях используются неоднородные капельные жидкости, зачастую неньютоновские [35,36]. Вязкость таких жидкостей зависит от скорости сдвига, поэтому динамику растекания сложно описать только с помощью вязкости. Для характеристики неньютоновских жидкостей, при взаимодействии с твердой поверхностью, следует использовать реологические свойства, которые связывают напряжение сдвига (σ) и скорость сдвига (γ) [37]. Одним из таких свойств, например, является предел текучести (τ_0), который определяет, когда жидкость начинает течь, а не деформироваться как твердое тело. В настоящий момент влияние реологических характеристик неньютоновских жидкостей на взаимодействие капли с твердой поверхностью остается малоизученным.

В данной работе взаимодействие капель эмульсий на основе н-декана, стабилизированных широким рядом эмульгаторов, с гладкой поверхностью сапфирового стекла рассматривается при нормальных условиях. Компоненты эмульсий смешивались при одинаковых концентрациях.

1.1 Цель и задачи исследований

Целью исследований является анализ влияния характеристик эмульсионных топлив на процесс взаимодействия их капель с твердой поверхностью.

Основными задачами исследования являются:

- 1) приготовление образцов эмульсионного топлива на основе модельного углеводорода стабилизированных широким спектром эмульгаторов;
- 2) разработка методики исследования свойств образцов эмульсионных топлив, а также экспериментального исследования динамики соударения капли с твердой поверхностью;
- 3) разработка и монтаж экспериментального стенда с применением высокоскоростной регистрирующей аппаратуры;
- 4) планирование и проведение экспериментальных исследований;
- 5) определение плотности, вязкости, поверхностного и межфазного натяжения, расчет ГЛБ, расчет адсорбционных характеристик;
- 6) выделение режимов взаимодействия капли эмульсионного топлива с поверхностью;
- 7) определение характеристик взаимодействия капли с поверхностью в момент соударения и спустя некоторое время после;
- 8) сравнение результатов экспериментальных исследований взаимодействия капель эмульсионного топлива с твердой поверхностью с существующими теоретическими моделями;
- 9) апробация результатов исследований на российских и международных конференциях и симпозиумах;

- 10) разработка рекомендаций по использованию результатов фундаментальных экспериментальных исследований в технологиях энергетической отрасли, а также в различных сферах промышленности и бытового использования.

Основными регистрируемыми характеристиками являются: диаметр капли (D_0); диаметр растекания и максимальный диаметр растекания (D и D_{\max}); время существования (t); толщина слоя капли (ζ); коэффициент максимального растекания (β_{\max}).

Варьируемыми параметрами являются: температура поверхности (T_w); скорость в момент соударения (U_0); компонентный состав топливных эмульсий; свойства и характеристики топливных эмульсий (плотность, вязкость, поверхностное натяжение, межфазное натяжение, гидрофильно-липофильный баланс, адсорбционные характеристики).

1.2 Исследуемые материалы

При изготовлении обратных эмульсий применены несмешивающиеся жидкости: дистиллированная вода с удельной электропроводностью не более 5 $\mu\text{См/см}$ в качестве дисперсной фазы, декан в качестве дисперсионной среды. Для обеспечения создания эмульсий из несмешивающихся жидкостей применен ряд эмульгаторов, а именно сорбитанмоноолеат (Span 80), полиизобутиленсукцинамид (РЭМ-5), соевый лецитин, моноэтаноламиды жирных кислот (DcM), относящиеся к неионогенным ПАВ следующих типов: сорбитаны (Span 80), полиалкиленсукцинаты (РЭМ-5), алканоламиды жирных кислот DcM, а также к типам фосфолипидов - природных амфотерных ПАВ (соевый лецитин). Подбор указанных эмульгаторов обусловлен тем, что они являются маслорастворимыми амфифильными соединениями, способными стабилизировать эмульсии типа: «вода в масле», т.е. обратные. В Таблице 1 представлен компонентный состав эмульсий на основе декана.

Образцы эмульсий приготавливались за счет смешивания компонентов в стеклянных или пластиковых пробирках. Эмульгаторы предварительно растворялись в масляной фазе (при наличии твердого осадка эмульгатора раствор нагревался до 50 °С и при ручном перемешивании в течение 5 минут становился полностью однородным). Для диспергирования использовался гомогенизатор DAIHAN Scientific HG-15D-Set-B с установленной скоростью 10 тыс. об/мин. Перемешивание компонентов эмульсий продолжалось в течение трех минут. Указанные параметры выбраны на основе анализа экспериментальных методик недавно опубликованных статей по рассматриваемой теме. Предварительные испытания на стабильность составов при длительном термостатировании при комнатной температуре показали, что механическая гомогенизация с высокими значениями градиента сдвига является наиболее приемлемым методом диспергирования исследуемых эмульсий в сравнении с перемешиванием на меньших скоростях на магнитных и лопастных мешалках, а также ультразвуковым перемешиванием.

Таблица 1 – Компонентный состав топливных эмульсий

№ состава	Вода	Декан	HVI-2	ПАВ	Наименование ПАВ	Масса состава
	г	г	г	г		г
E1	0,8	15,04	0	0,16	Span-80	16
E2	0,8	12	3,04	0,16	Span-80	16
E3	0,8	6,72	8,32	0,16	Span-80	16
E4	0,8	4	11,04	0,16	Span-80	16
E5	0,8	15,04	0	0,16	РЭМ-5	16
E6	0,8	15,04	0	0,16	Лецитин соевый	16
E7	0,8	15,04	0	0,16	ДСМ	16

1.3 ГЛБ и плотность эмульсий

1.3.1 Числа ГЛБ

Гидрофильно-липофильный баланс (ГЛБ) ПАВ определяет, в какой степени вещество является гидрофильным или липофильным. Поскольку исследование на данном этапе носило более поисковый характер, то изначально подбирались эмульгаторы или смеси эмульгаторов с общим ГЛБ в рамках 3-8, что характеризовало их в первую очередь как водонерастворимые (или незначительно растворимые в воде) и в целом способных к формированию обратных эмульсий типа «вода-в-масле». В данном случае базовым принципом было известное правило Банкрофта, которое гласит, что эмульгатор должен иметь большее сродство (в частности, растворимость) к той жидкости, которая образует дисперсионную среду. Важно отметить, что указанное правило предсказывает только тип образующейся эмульсии, однако оно никак не характеризует стабильность получаемых эмульсий. Далее подбирались ПАВ с ГЛБ, немного превышающим установленные для стабилизации обратных эмульсий значения.

В Таблице 2 представлены значения чисел гидрофильно-липофильного баланса для примененных при изготовлении эмульсий ПАВ.

Таблица 2 – Числа ГЛБ для примененных при изготовлении эмульсий ПАВ

Вещество	Число ГЛБ
Span 80	4,3
Олеиновая кислота	1
DcM	2,5
DcD	3
ОП-4	8,8
C12-DEA	13,5
РЭМ-5	1,5
Лецитин соевый	4

1.3.2 Плотность

Плотность эмульсий и их компонентов определена пикнометрическим методом при нормальных условиях. В таблице 3 приводятся значения плотности всех компонентов эмульсий и эмульсий при температуре 25 °С.

Измерения плотности смеси декана и масла HVI-2 проведены для оценки влияния масляной добавки на реологические свойства эмульсии.

Таблица 3 – Плотность эмульсий и их компонентов

Жидкость	Плотность (ρ), кг/м ³
Дистиллированная вода	997
Декан	730
Жидкость	Плотность (ρ), кг/м ³
HVI-2	820
Декан 80%+HVI-2	742
Декан 45%+HVI-2	766
Декан 27%+HVI-2	780
Span 80	994
DcM	956
RAM-5	922
Лецитин соевый	1245

Измерены значения плотностей эмульсий при наибольшей концентрации эмульгатора (8 г/л) в условиях варьирования температуры термостатирования в диапазоне 5-75 °С. Результаты измерений отражены в Таблице 4. Измерения проведены пикнометрическим методом; полученные данные применяются при расчете безразмерных критериев, например, числа Рейнольдса.

Таблица 4 – Плотность эмульсий при разной температуре

№ состава	Плотность (ρ), кг/м ³				
	5 °С	15°С	25°С	50°С	75°С
1	748	738	738	736	724
2	760	760	750	745	745
3	808	808	797	772	762
4	821	821	801	791	785
5	738	743	729	745	745
6	748	738	719	727	727
7	733	729	710	729	721
8	762	743	743	737	737
9	763	763	738	727	721
10	821	821	809	797	791

1.4 Межфазное натяжение и характеристики адсорбции

1.4.1 Измерение межфазного натяжения

Измерение межфазного натяжения на границе жидкость-жидкость проводилось с помощью стагмометра СТ-2. Капилляр шприца с дистиллированной водой погружался в объем углеводородной фазы, в которой предварительно был растворен ПАВ с заданной концентрацией. В момент отрыва капли от среза капилляра подъемная сила равна удерживающей силе, обусловленной межфазным натяжением, действующим по периметру капилляра. Измерения проводились для составов при концентрации ПАВ в углеводородном растворе (также включает смеси углеводород и масло) от 0 г/л до 8 г/л (0 г/л – соответствует чистому декану). Рассчитанные значения межфазного натяжения для исследуемых эмульсий представлены в Таблице 5. На Рисунке 1 показана зависимость межфазного натяжения эмульсий от природы ПАВ (значения

межфазного натяжения аппроксимированы). Полученные значения существенно отличаются при повышенных концентрациях ПАВ, если сравнивать составы на эмульгаторе SPAN-80 с остальными.

Таблица 5 – Межфазное натяжение исследуемых эмульсий

Состав	Межфазное натяжение, мН/м	Концентрации составов, г/л									
		0,0	0,0	0,0	0,1	0,2	0,5	1	2,5	4	8
Декан + Span 80		39,	19,	17,	14,	10,	8,0	7,3	4,4	4,9	3,6
Декан 80% + HVI		47,	30,	24,	12,	11,	6,7	5,7	3,9	3,4	3,5
Декан 45% + HVI		41	30,	25,	22,	15,	10,	9,1	5,7	5,1	4,1
Декан 27% + HVI		37,	25,	15,	9,6	11,	6,2	5,5	3,8	4,2	4,1
Декан + ОП-4+ОК		44,	34,	28,	15,	13,	8,8	4,8	1,8	0,7	0,0
Декан + C12-DEA		39,	27,	24,	18,	9,6	5,2	1,8	0,1	0,2	0,0
Декан + РЭМ-5		39,	28,	25,	23,	21,	14,	11,	8,5	7,7	8,2
Декан + Лецитин		39,	35,	31,	29,	31,	30,	29,	26,	25,	24,
Декан + DcM		39,	6,4	5,1	4,5	4,5	3,2	2,4	1,9	1,7	1,7
Декан + DcD		39,	15,	11,	8,6	5,7	2,4	1,8	1,6	1,4	1,4

*Примечание: состав приготовлен с использованием эмульгатора Span 80.

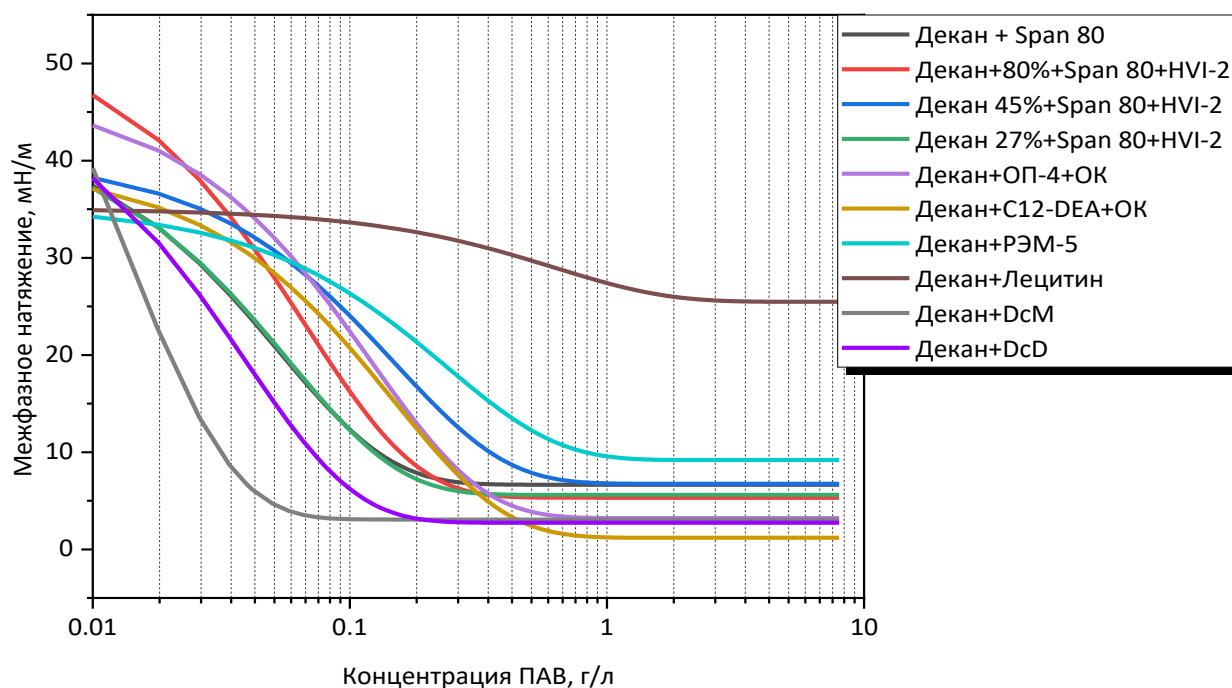


Рисунок 1 – Межфазное натяжение жидкостей в зависимости от концентрации эмульгатора в углеводородном растворе

1.4.2 Расчет характеристик адсорбции. Средний диаметр и распределения по размерам капель дисперсной фазы

Простых и доступных методов для определения величины адсорбции на подвижных границах раздела фаз пока не существует. Однако, благодаря работам Гиббса, имеется уравнение, связывающее величину адсорбции с изменением поверхностного натяжения при изменении концентрации раствора.

Простое термодинамическое соотношение между адсорбцией Гиббса и изменением межфазного натяжения с активной концентрацией растворенного вещества, было выведено Гиббсом [38].

$$\Gamma = \frac{-C \cdot d\sigma/dC}{R \cdot T}, \quad (1)$$

где Γ – адсорбция Гиббса, $г \cdot м^{-2}$;

C – концентрация раствора, $г/л$;

R – универсальная газовая постоянная, Дж/(моль · К);

$d\sigma/dC$ – поверхностная активность, Дж·л/г.

Согласно соотношению (1) вычислены значения адсорбции для исследуемых эмульсий. Результаты вычислений демонстрируются на Рисунке 2 в виде зависимости значений адсорбции Гиббса от концентрации ПАВ. Практически для всех составов наблюдается тенденция к увеличению адсорбции при росте концентрации. Наиболее высокой адсорбцией обладают эмульгаторы типа алканоламидов жирных кислот: DcM и DcD. Это объясняется тем, что данные эмульгаторы, согласно результатам, представленным на Рисунке 1, имеют наиболее высокую поверхностную активность. Самая низкая адсорбция из всех исследуемых эмульгаторов характерна для лецитина. Остальные образцы занимают промежуточное положение. Согласно полученным кривым межфазного натяжения (Рисунок 1) для всех образцов ПАВ насыщение адсорбционного слоя на границе: «масло-вода» наступает при концентрациях в диапазоне примерно 0,08-0,2 г/л. Дальнейшее увеличение концентрации ПАВ слабо влияет на межфазное натяжение, которое в результате выходит на стационарный уровень. Исходя из этого построение изотерм адсорбции Гиббса и Ленгмюра проводилось в диапазоне концентраций эмульгатора от 0,01 до 0,1 г/л.

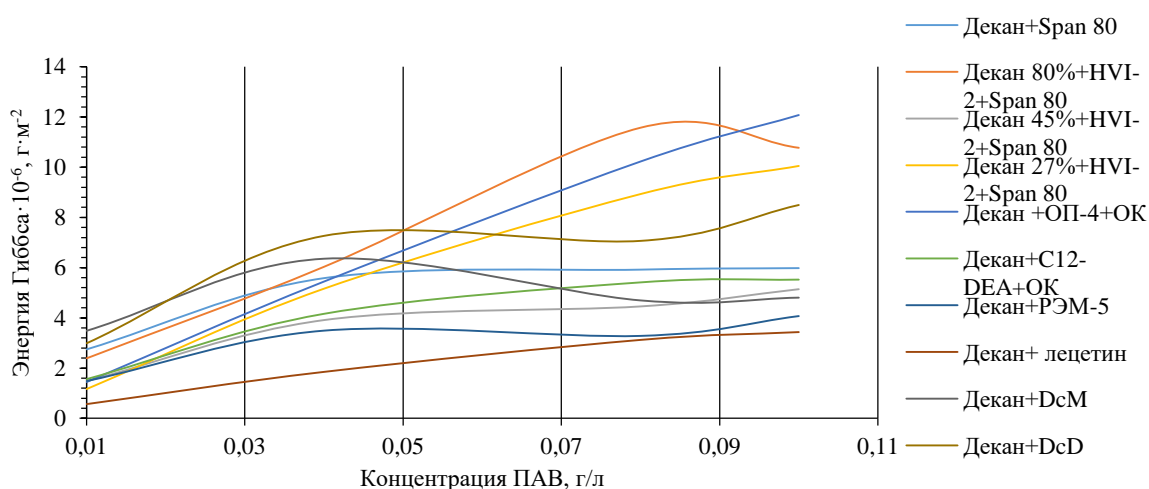


Рисунок 2 – Расчетные значения адсорбции Гиббса в зависимости от концентрации эмульгатора в растворе

Таблица 6 – Площадь, занимаемая молекулой ПАВ в насыщенном адсорбционном слое

№ состава	Площадь молекулы ПАВ, м ²
Декан +Span 80	$1,0526 \cdot 10^{-16}$
Декан+80%+Span 80+HVI-2	$3,4218 \cdot 10^{-17}$
Декан 45%+Span 80+HVI-2	$1,0649 \cdot 10^{-16}$
Декан 27%+Span 80+HVI-2	$2,2931 \cdot 10^{-17}$
Декан +ОП-4+ОК	$1,0025 \cdot 10^{-17}$
Декан+С12-DEA+ОК	$6,158 \cdot 10^{-17}$
Декан+РЭМ-5	$3,6245 \cdot 10^{-16}$
Декан+Лецитин	$1,6095 \cdot 10^{-16}$
Декан+DcM	$1,1311 \cdot 10^{-16}$
Декан+DcD	$6,2896 \cdot 10^{-17}$

$$\Gamma_{\infty} = ctg \theta, \quad (2)$$

где θ – угол наклона прямой к оси абсцисс.

Далее исходя из графического решения уравнения Ленгмюра [39] определялись значения предельной адсорбции по выражению (2), где угол наклона прямой к абсциссе установлен по данным на Рисунке 3, изображающем изотермы адсорбции Ленгмюра в виде зависимости отношения концентраций ПАВ к значениям адсорбции от концентрации ПАВ. Определены значения площадей, приходящихся на одну молекулу ПАВ в насыщенном адсорбционном слое. Результаты получены исходя из уравнения (3). В Таблице 6 приведены вычисленные значения этих площадей. Также на основе известных значений предельной адсорбции рассчитано максимальное количество адсорбированных

молекул ПАВ на 1 м^2 поверхности раздела фаз эмульсии по формуле (4).
Результаты вычислений представлены в Таблице 7.

$$S_{\infty} = 1/(N_a \cdot \Gamma_{\infty}/\mu), \quad (3)$$

где N_a – число Авогадро, моль⁻¹;

Γ_{∞} - предельная адсорбция, г · м⁻²;

μ – молярная масса, г/моль.

$$N = 1/S_{\infty}. \quad (4)$$

Полученные характеристики адсорбции позволяют определить минимальную концентрацию ПАВ для стабилизации эмульсий. Однако, для этого сначала определялось количество ПАВ для заполнения поверхности одной капли воды при заданном размере капель дисперсной фазы. Используется средний диаметр капель воды, измеренный с использованием метода динамического рассеяния света (Рисунок 4). Результаты по количеству ПАВ получены по формуле (5) и представлены на Рисунке 5. В итоге, рассчитано минимальное количество ПАВ, необходимое для процесса эмульгирования, на 100 мл эмульсии. По формуле (6) вычислены соответствующие значения и занесены в Таблицу 8.

$$n = S_{\text{общ}} \cdot (S_{\infty} \cdot N_a)^{-1}, \quad (5)$$

где $S_{\text{общ}}$ – площадь молекул ПАВ, м²;

S_{∞} - площадь, приходящаяся на одну молекулу ПАВ в насыщенном адсорбционном слое, м²;

N_a – число Авогадро, 1/моль.

$$k = \frac{n}{V}, \quad (6)$$

где n – количество ПАВ, необходимое для заполнения поверхности одной капли воды, моль;

V – общий объем эмульсии, м³.

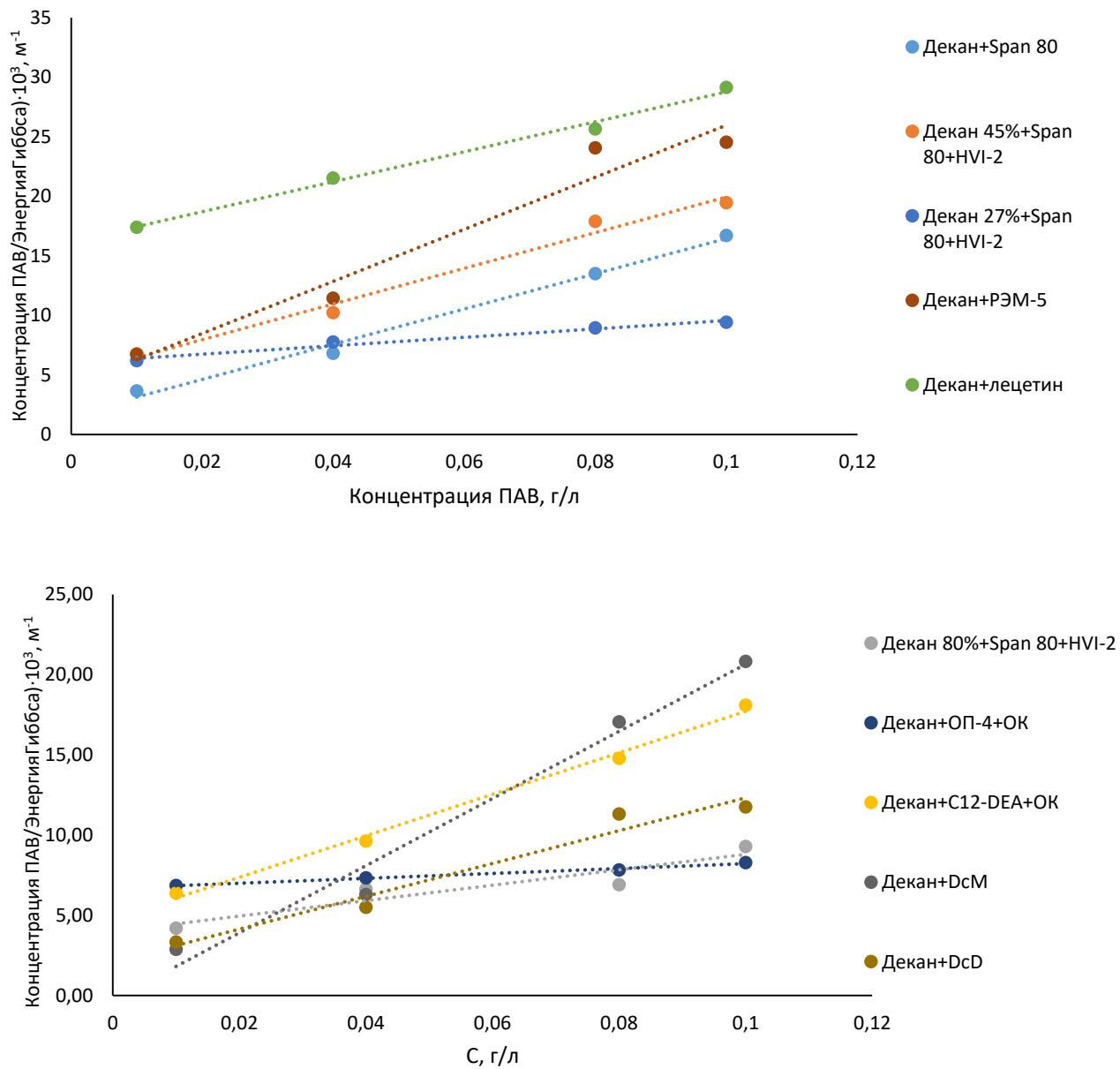


Рисунок 3 – Изотермы адсорбции Ленгмюра

Таблица 7 – Максимальное количество адсорбированных молекул ПАВ на 1 м² поверхности раздела фаз эмульсии

№ состава	Количество
Декан +Span 80	$9,50027 \cdot 10^{15}$
Декан+80%+Span 80+HVI-2	$2,922 \cdot 10^{16}$
Декан 45%+Span 80+HVI-2	$9,39014 \cdot 10^{15}$
№ состава	Количество
Декан 27%+Span 80+HVI-2	$4,3607 \cdot 10^{16}$
Декан +ОП-4+ОК	$9,9742 \cdot 10^{16}$
Декан+С12-DEА+ОК	$1,62371 \cdot 10^{16}$
Декан+РЭМ-5	$2,75894 \cdot 10^{15}$
Декан+Лецептин	$6,2129 \cdot 10^{15}$
Декан+DcM	$8,8404 \cdot 10^{15}$
Декан+DcD	$1,5899 \cdot 10^{16}$

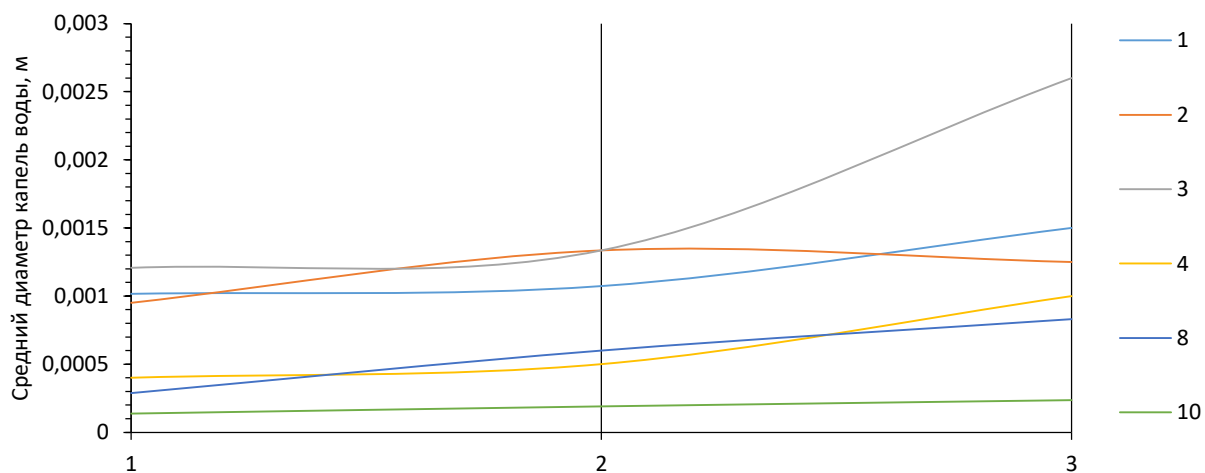


Рисунок 4 – Средние диаметры капель воды дисперсной фазы, определенные методом динамического рассеяния света; по оси X: 1 - средний диаметр капель воды непосредственно после перемешивания при 10 тыс. об/мин в течение 3

минут; 2 - средний диаметр капель воды через сутки после перемешивания; 3 - через трое суток (72 часа) после перемешивания

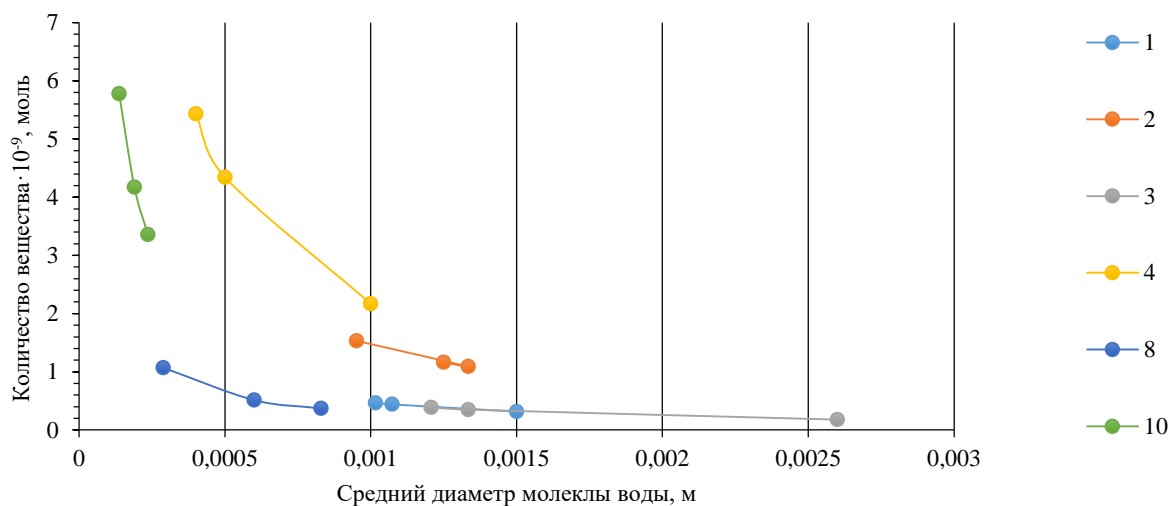


Рисунок 5 – Количество ПАВ для заполнения поверхности одной капли воды дисперсной фазы эмульсий

Таблица 8 – Минимальная концентрация ПАВ для эмульгирования

№ состава	Концентрация, моль/м ³		
	1*	2**	3***
1	0,849	0,682	0,179
2	3,4	0,876	1,14
3	0,421	0,281	0,0196
4	162	66,4	4,15
8	84,8	4,56	1,25
10	4300	1160	488

Примечание: *при среднем диаметре капель воды непосредственно после перемешивания при 10 тыс. об/мин в течение 3 минут; **при среднем диаметре

капель воды через сутки после перемешивания; ***при среднем диаметре капель воды через трое суток (72 часа) после перемешивания.

Результаты (Таблица 8) показывают, что диапазон значений минимальных концентраций ПАВ, необходимых для получения эмульсий с предельной адсорбцией эмульгатора оказывается достаточно широким: от долей моля до сотен моль, что объясняется, во-первых, размерами молекул ПАВ и занимаемой ими площадью на границе раздела фаз, во-вторых, разными размерами капель эмульсии. Наименьшее удельное количество эмульгатора требуется в случае эмульсий, стабилизуемых Span 80, наибольшее количество – для эмульгатора DcD. В последнем случае очень высокие значения минимальной концентрации ПАВ обусловлены в первую очередь очень малыми размерами капель в таких эмульсиях, которые составляют всего порядка 120-150 нм, что выделяет данный эмульгатор и образуемые им эмульсии из общего ряда. В этом случае эмульсии можно уже охарактеризовать как наноэмульсии.

Практически для всех составов наблюдается снижение необходимого количества эмульгатора для полного насыщения адсорбционного слоя. Это вызвано объективными причинами укрупнения капель в процессе старения эмульсий и, следовательно, сокращением общей площади раздела фаз.

Отдельно методом динамического рассеяния света получены результаты по динамике распределений по размерам капель воды дисперсной фазы в течение 72 часов для эмульсионных составов для изучения в следующем проектном периоде влияния «старения» эмульсий на теплообмен и гидродинамику при растекании и разрушения капель в случае изотермического и неизотермического взаимодействия. На Рисунке 6 показан пример динамики распределений по размерам капель воды дисперсной фазы состава 1 (Декан+вода+Span80) в течение 72 часов после приготовления.

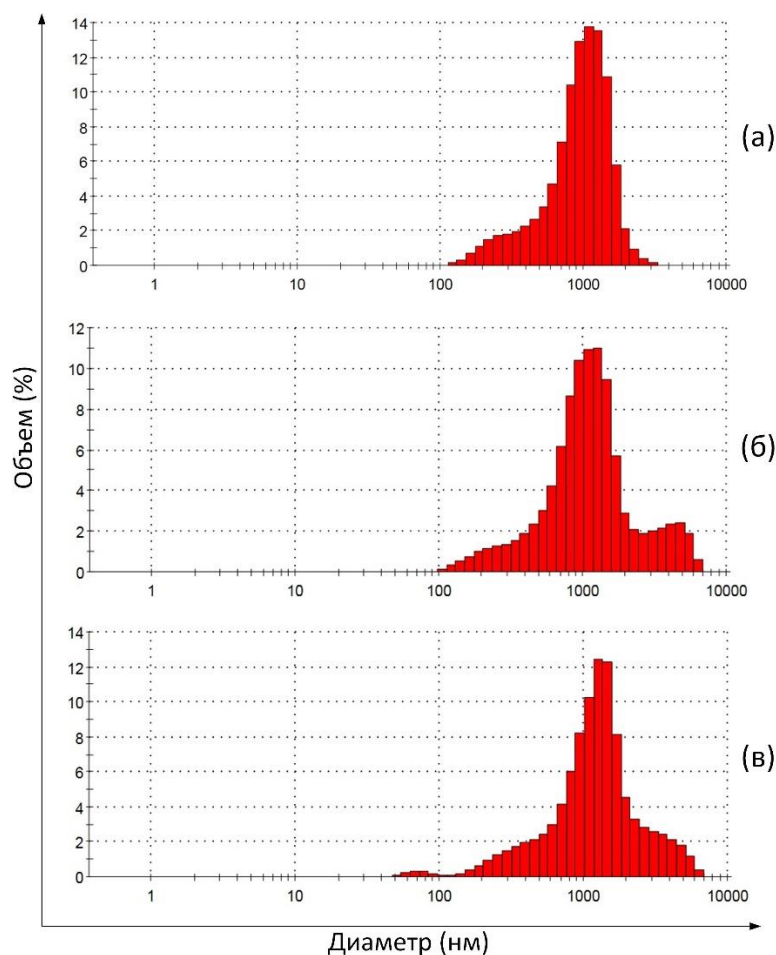


Рисунок 6 – Распределения по размерам капель воды дисперсной фазы (а) непосредственно после перемешивания при 10 тыс. об/мин в течение 3 минут; (б) через сутки после перемешивания; (в) через трое суток (72 часа) после перемешивания

1.5 Динамическая вязкость и поверхностное натяжение

Для измерения динамической вязкости эмульсий использован экспериментальный стенд, представленный на Рисунке 7.

Экспериментальный стенд включает следующее оборудование: персональный компьютер с программным обеспечением Brookfield Rheocalc T, криостат Termex КРИО-ВТ-12-01 (рабочая жидкость – смесь пропиленгликоля и дистиллированной воды в соотношении 50/50, диапазон рабочих температур

-30...+200 °С, точность поддержания температуры $\pm 0,1$ °С), ротационный вискозиметр Brookfield DV3T (диапазон измерения $1 \dots 6 \cdot 10^6$ мПа*с, точность ± 1 %, воспроизводимость $\pm 0,2$ %) с SSA-адаптером и шпиндели SC4-31, SC4-34. SSA-адаптер позволяет проводить измерения вязкости на образцах малого объема от 2 до 16 мл и обеспечивает возможность термостатирования исследуемого состава, выступая в роли термостатируемой рубашки для подключения внешнего контура.

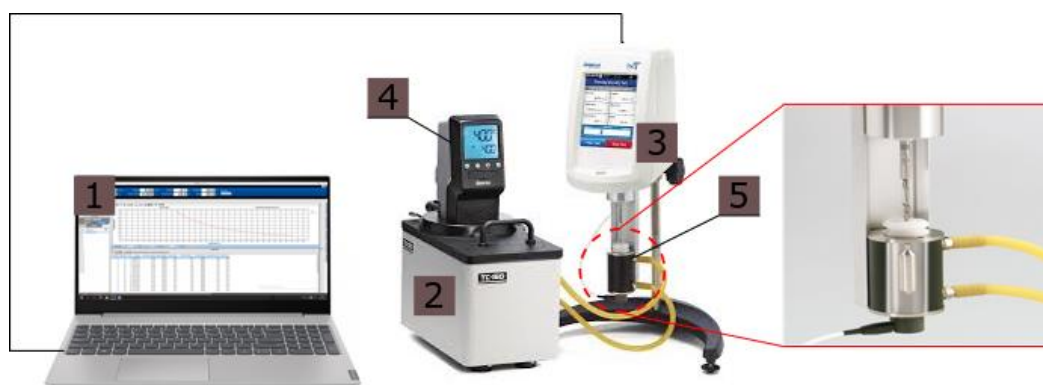


Рисунок 7 – Экспериментальный стенд для измерения вязкости: 1 – ПК, 2 – криостат, 3 – вискозиметр ротационный, 4 – термометр, 5 – SSA-адаптер

Управление ротационным вискозиметром осуществлялось в режиме внешнего управления (external mode). В программном обеспечении Brookfield Rheocalc T задавались параметры проведения измерений (количество измеряемых точек, диапазон температур, точность температурной установки, время измерения, частота вращения шпинделя, время между измерениями). Управление криостатом проводилось вручную.

На Рисунке 8 представлены результаты измерений вязкости эмульсий в виде значений, отнесенных к вязкости декана (или смеси декана и масла HVI-2), при температурах 5-75°C. В Таблице 9 приведены значения вязкости декана и смесей декана и HVI-2 в соотношениях, использованных при изготовлении образцов эмульсий, при тех же температурах.

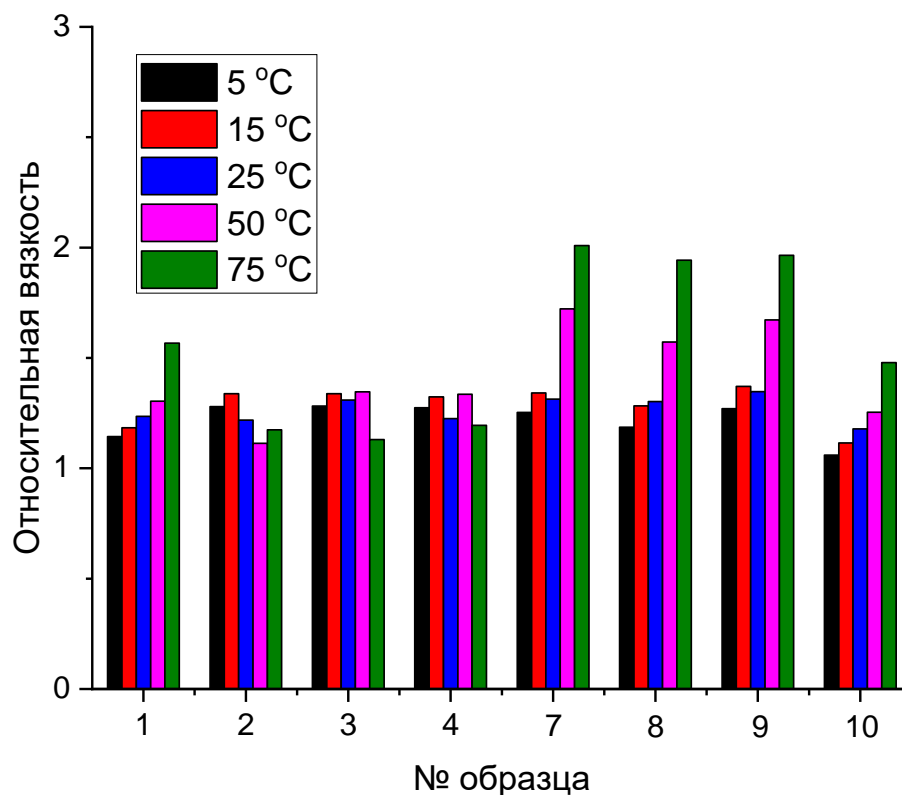


Рисунок 8 – Относительные значения вязкости эмульсий в зависимости от температуры

Исходя из полученных результатов, явно прослеживается зависимость относительной вязкости от температуры. Для 3х компонентных образцов (№1, 7-10) зависимость заключается в увеличении относительной вязкости эмульсии с ростом температуры. Этот результат можно объяснить тем, что абсолютная вязкость декана с ростом температуры изменяется сравнительно существенно по сравнению с абсолютной вязкостью эмульсий. Для 4х компонентных образцов (№ 2-4) зависимость относительной вязкости от температуры менее выражена, хотя в абсолютных значениях вязкость образцов эмульсий снижается с ростом температуры. При этом абсолютные значения вязкости углеводородной части (смесь декана и масла HVI-2) снижаются менее существенно с ростом температуры по сравнению с абсолютной вязкостью эмульсий.

Таблица 9 – Значения динамической вязкости компонентов углеводородной фазы

Температура, °С	5	15	25	50	75
Вязкость декана, мПа·с	1,189	1,014	0,838	0,598	0,453
Вязкость декана+НVI (27%), мПа·с	7,55	5,9	5,07	2,74	1,9
Вязкость декана+НVI (45%), мПа·с	4,08	3,31	2,91	1,82	1,38
Вязкость декана+НVI (80%), мПа·с	1,79	1,54	1,42	1,15	0,92

Измерение поверхностного натяжения жидкостей (на границе жидкость-воздух) проводили методом отрыва кольца (метод дю Нуи) с помощью тензиометра К6 фирмы KRUSS при температуре 25 °С. Калибровку прибора осуществляли с помощью измерения поверхностного натяжения бидистиллированной воды (поправочный коэффициент=1,013). Результаты измерений приведены в Таблице 10.

Таблица 10 – Коэффициенты поверхностного натяжения жидкостей

Наименование состава	Коэффициент поверхностного натяжения, мН/м с учетом поправочного коэффициента
Бидистиллированная вода	71,98
Состав 1	23,40
Состав 2	24,41
Состав 3	25,83
Состав 4	26,84
Состав 7	23,80
Состав 8	24,03

Таблица 10 – Продолжение

Наименование состава	Коэффициент поверхностного натяжения, мН/м с учетом поправочного коэффициента
Состав 9	24,34
Состав 10	24,31

1.6 Кинетическая устойчивость и электростабильность

1.6.1 Показатель расслоения эмульсии

После диспергирования эмульсий гомогенизатором при 10 тыс. об/мин в течение 3 минут, исследуемые образцы эмульсий переливались в градуированные пробирки объемом 14 мл с V-образным дном. В этих пробирках эмульсии выдерживались при заданной температуре (5-75 °С) в течение 72 часов (типичное время существования резервов топлива на промышленных предприятиях). Кинетическая устойчивость эмульсий оценивается с помощью показателя расслоения (от англ. *creaming index* - CI %), который вычисляется по формуле $CI(\%) = (V_s/V_e) \cdot 100\%$, где V_s – это объем осадка, V_e – объем эмульсии.

Максимальное значение CI равно 5 %, что соответствует массовой доле воды в эмульсиях. Когда CI=5 %, в осадке преимущественно находится вся водная фаза эмульсии.

На Рисунке 9 приведены значения показателя расслоения эмульсий при различных температурах термостатирования. Результаты позволяют пока однозначно выделить только роль вязкости в процессах температурно-зависимой седиментации. Увеличение вязкости способствует существенному понижению показателя расслоения при температурах 15-50 °С. Наглядно процесс расслоения исследуемых эмульсий продемонстрирован на Рисунке 10.

Составы № 8, 9, 10 оказались наименее устойчивыми, их интенсивное расслоение наблюдается уже в течение первых 5 минут после приготовления. Однако, со временем динамика увеличения объема осадка существенно снижается. Также отличительной особенностью составов № 8 и 10 является отсутствие выделения углеводородной фазы в верхней части пробирки.

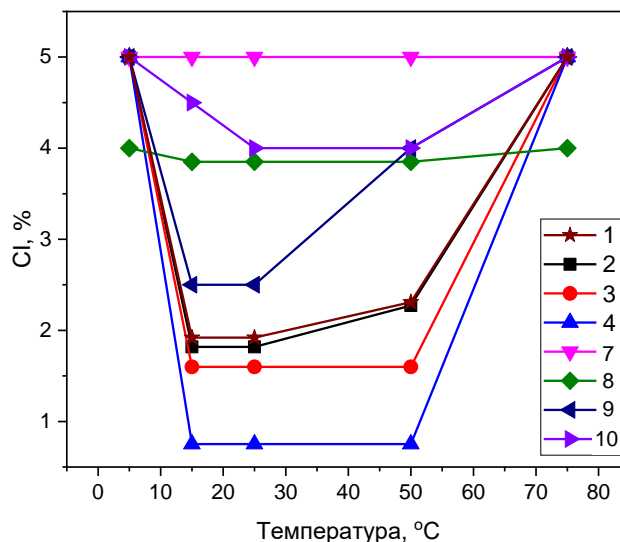
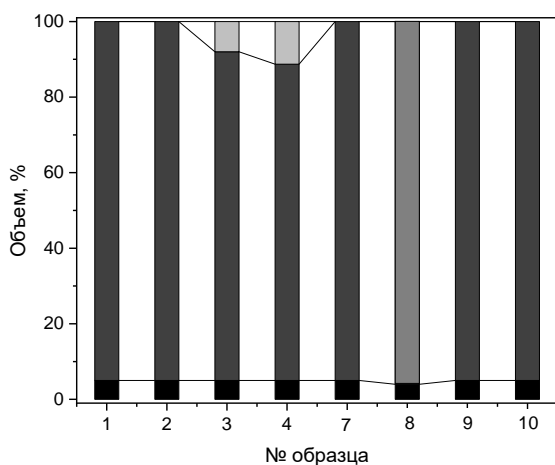
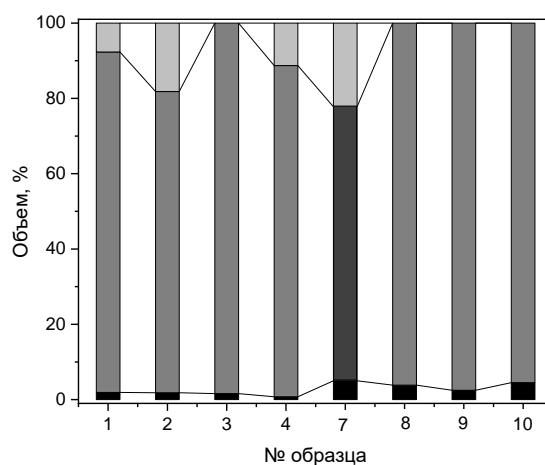


Рисунок 9 – Показатель расслоения эмульсий при различных температурах термостатирования



a



b

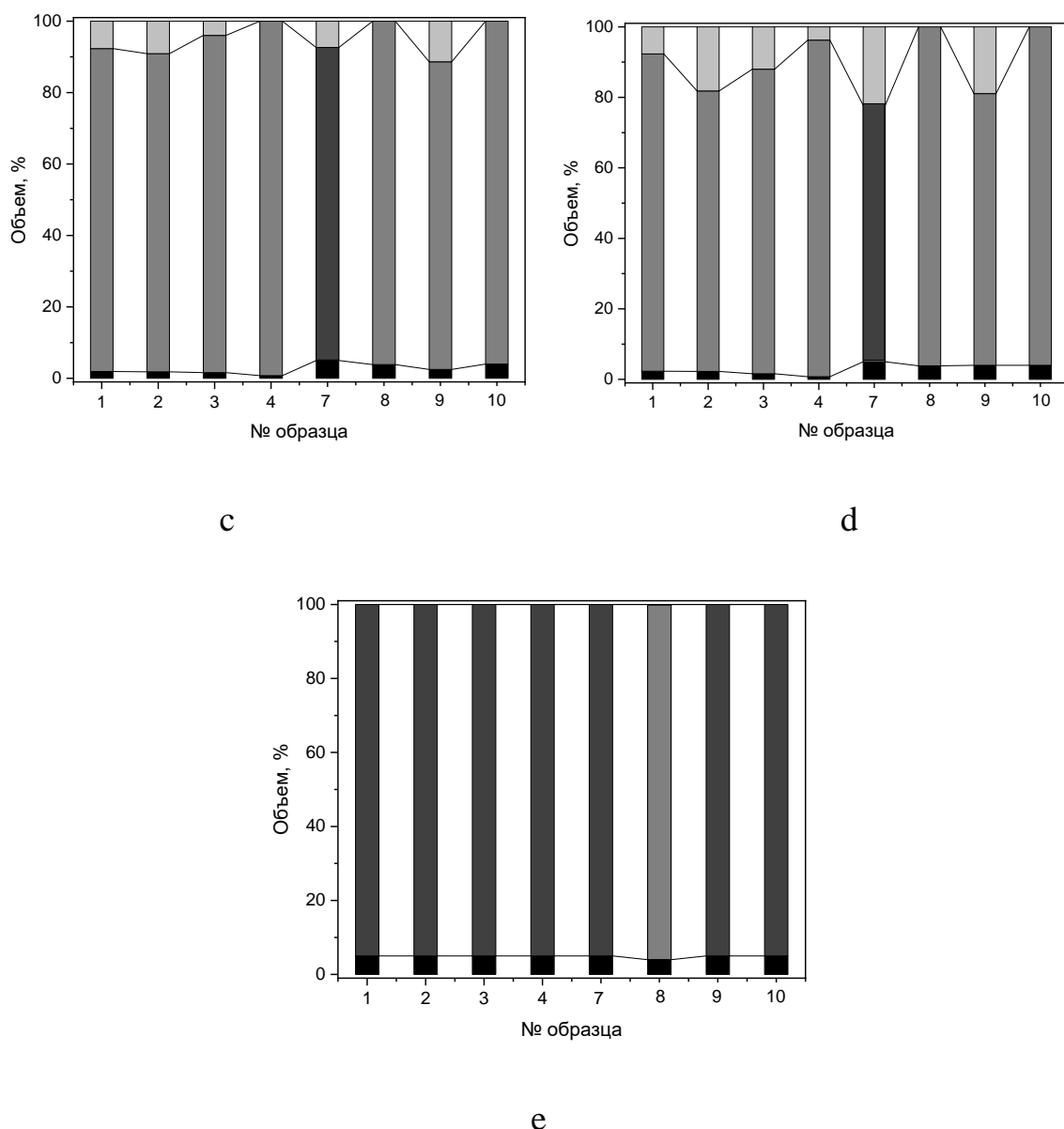


Рисунок 10 – Схематичное представление процесса расслоения эмульсий после отстаивания в течение 72 часов при: (a) – 5 °С, (b) – 15 °С, (c) – 25 °С, (d) – 50 °С, (e) – 75 °С. Черным цветом обозначен водяной осадок, темно-серым – смесь углеводородной части и ПАВ, серым – взвесь (не разрушившаяся эмульсия), светло-серым – отделившаяся углеводородная часть

Наиболее высокой агрегативной стабильностью обладают образцы эмульсий № 2, 3 и 4, стабилизированные Span 80. Для этих эмульсий

наблюдается наименьшее выделение водной фазы в течение времени эксперимента, если не считать температуру 75 °С, при которой для всех образцов происходит разрушение эмульсии. Относительное количество отделившейся углеводородной фазы не обнаруживает каких-либо явно выраженных закономерностей. Вероятно, это связано с особенностями дисперсного состава каждой эмульсии, в частности, со степенью полидисперсности и наличием в них фракций капель с размерами порядка сотен нанометров. В этом случае, даже если более крупные капли к окончанию эксперимента оказываются скоалесцированными, т.е. выделившимися в отдельную водную фазу, более мелкие продолжают существовать в виде эмульсии еще продолжительное время.

1.6.2 Измерение электростабильности

Электростабильность обратных эмульсий является одним из свойств, косвенно характеризующих их агрегативную стабильность, т.е. устойчивость к коалесценции глобул и фазовому разделению. Чем выше значения данного показателя, тем, соответственно, выше стабильность эмульсии против коалесценции. Электростабильность определяется как напряжение (В) электрического пробоя в среде эмульсии, заключенной между двумя электродами специальной конструкции. При прочих равных условиях, эмульгаторы, обладающие более высокой стабилизирующей способностью, будут давать эмульсии с более высокими показателями электростабильности.

Электростабильность измерялась техническим средством OFITE Electrical stability meter с диапазоном измеряемой величины 3-2000 В. Чувствительный элемент погружается в пробирку с исследуемой жидкостью, после чего между электродами чувствительного элемента создается разность потенциалов. Разность потенциалов увеличивается до тех пор, пока не произойдет пробой. Перед проведением каждого измерения чувствительный элемент тщательно промывался. Сначала щуп погружался в изопропиловый спирт, а после в дистиллированную воду. Только после подобных манипуляций

устройство гарантированно выдает точный результат. В Таблице 11 и на Рисунке 11 приводятся результаты измерения электростабильности в условиях варьирования температуры эмульсий в диапазоне 5-75 °С.

Таблица 11 – Значения электростабильности (ES) эмульсий

№ состава	ES ⁵ , В	ES ¹⁵ , В	ES ²⁵ , В	ES ⁵⁰ , В	ES ⁷⁵ , В
1	688	765	867	433	376
2	851	1033	1052	537	631
3	712	656	938	708	733
4	413	425	906	800	833
7	672	666	713	495	668
8	272	326	501	206	328
9	561	536	652	222	290
10	330	376	464	431	188

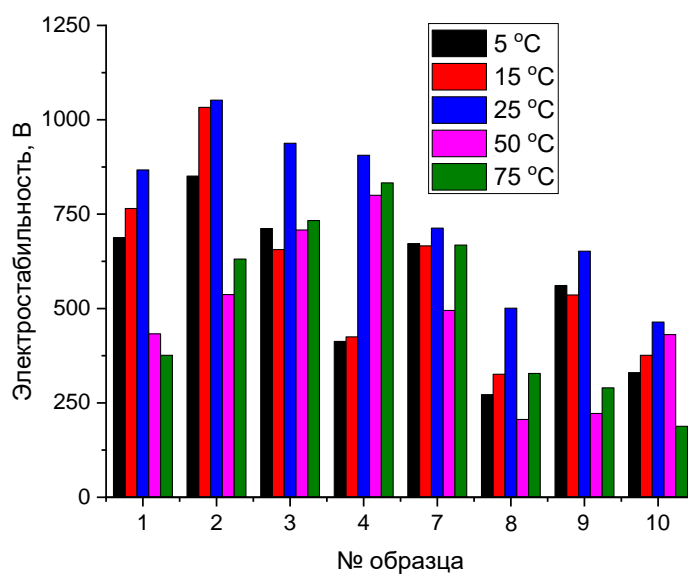


Рисунок 11 – Значения электростабильности эмульсий в зависимости от температуры

Полученные результаты показывают, что наиболее высокими показателями электростабильности обладают эмульсии, стабилизированные эмульгатором Span 80 (образцы № 1-4). Их электростабильность при 25 °С находится на уровне 900-1000 В, что говорит о высокой стабилизирующей способности данного эмульгатора. Остальные составы имеют более низкую электростабильность порядка – 500-700 В, при этом, наименьшие значения данного показателя соответствуют эмульсиям, стабилизированным РЭМ-5 и лецитином. На примере образцов № 1-4 видно, что вязкость дисперсионной среды не оказывает заметного влияния на электростабильность эмульсий. Результаты, полученные при температурах, отличающихся от 25 °С, не поддаются однозначной трактовке. Однако, можно отметить, что в большинстве случаев они оказываются ниже, чем для вышеуказанной температуры. В целом, полученные результаты согласуются с данными по кинетической стабильности эмульсий, приведенными в разделе 1.6.1.

1.7 Реологическая модель и безразмерные параметры

Реологические характеристики исследуемых ньютоновских жидкостей, таких как декан, 5, 6, 7 описываются динамической вязкостью.

Неньютоновское поведение обычно описывается моделью Гершеля-Балкли: $\dot{\gamma} = 0$ при $\tau < \tau_0$, $\tau = \tau_0 + k\dot{\gamma}^n$ при $\tau > \tau_0$. Жидкости 1, 2, 3, 4 демонстрируют вязкопластичное поведение, характерное Бингамовским пластичным жидкостям (скорость сдвига варьировалась от 100 1/с до 250 1/с при рекомендуемом крутящем моменте 10...100 %, соответственно), так как предел текучести τ_0 по модели Гершеля-Балкли увеличивается вместе с кажущейся вязкостью, а показатель текучести n равен $1 \pm 0,01$. Поэтому целесообразнее в данном случае использовать модель Бингама для описания τ_0 и k , по выражению:

$$\tau = \tau_0 + k\dot{\gamma}.$$

Также для описания взаимодействия капель ньютоновских, неньютоновских и бингамовских жидкостей с твердой поверхностью используются такие безразмерные критерии как:

$$Re = \frac{\text{Сила инерции}}{\text{Сила вязкости}} = \frac{\rho U_0 D_0}{\mu},$$

$$Re_n = \frac{\text{Сила инерции}}{\text{Сила вязкости}} = \frac{\rho D_0^n U_0^{(2-n)}}{k},$$

$$We = \frac{\text{Сила инерции}}{\text{Капиллярная сила}} = \frac{\rho U_0^2 D_0}{\sigma_0},$$

$$\hat{B} = \frac{\text{Влияние предела текучести}}{\text{Влияние сил капиллярности}} = \frac{D_0 \tau_0}{\sigma_0},$$

где D_0 – диаметр капли, U_0 – скорость капли перед непосредственным взаимодействием с поверхностью, μ – кинематическая вязкость, n – показатель текучести (показатель степени из выражения для модели Гершеля-Балкли), k – пластическая вязкость.

Исходя из зависимостей, представленных на рисунке 12, следует, что вязкость эмульсий 1, 2, 3, 4 заметно уменьшается при увеличении скорости сдвига (γ). Реологическое поведение этих жидкостей хорошо описывается моделью Бингама для неньютоновских жидкостей при рассмотрении зависимости напряжения сдвига от скорости сдвига, $\sigma(\gamma)$. В свою очередь, вязкость эмульсии 5, 6, 7 не зависит от скорости сдвига (ньютоновское поведение).

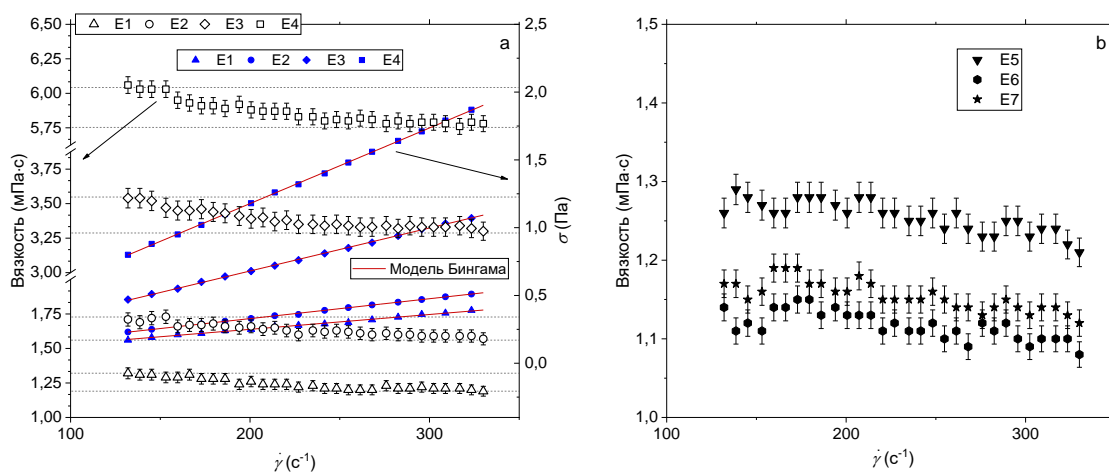


Рисунок 12 – Зависимость динамической вязкости и напряжения сдвига от скорости сдвига неньютоновских эмульсий (а), зависимость динамической вязкости от скорости сдвига ньютоновских эмульсий (б)

1.8 Морфологическое наблюдение за процессом взаимодействия

На рисунке 13 приведена схема экспериментального стенда. Стенд оснащен двумя высокоскоростными видеокамерами: Phantom Miro M310 для съемки сбоку под углом 90° относительно оси движения капли и Phantom Miro M110 для съемки снизу. Система освещения состоит из блока питания GSVITEC MultiLED G8 и двух прожекторов GSVITEC MultiLED QT. Для обеспечения монотонного фона в области видеорегистрации перед прожекторами установлены светодиоды. Система генерирования капель включает дозирующий перистальтический насос LongerPump BT100-1F, подающую трубку Tygon F4040-A для перекачивания углеводородных жидкостей и полую иглу-трубку с внутренним диаметром 0,184 мм, от которой на выходе отделяются капли. Для контроля температуры жидкости на выходе из иглы-трубки используется внешний контур криостата. Контроль локальной температуры хладагента (вблизи иглы-трубки) осуществляется внешним датчиком температуры, который подключен к криостату КРИО-ВТ-12-01.

Жидкость циркулирует по внешнему контуру с предустановленной постоянной температурой 20°C. Терморубашка с иглой-трубкой, соединенной с подающей исследуемую жидкость трубкой, закрепляется на линейном координатном устройстве. Таким образом, появляется возможность варьирования высоты подачи капель относительно подложки H при изменении положения координатного устройства.

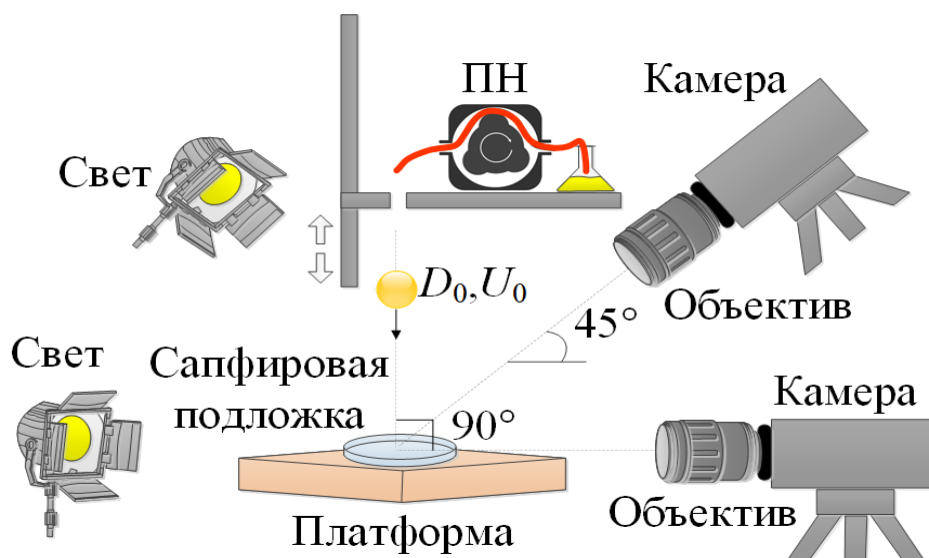


Рисунок 13 – Схема экспериментальной установки

Капли жидкости взаимодействуют с гладко-полированной нагретой поверхностью подложки, изготовленной из сапфирового стекла. Стекло располагается на нагревательном элементе цилиндрической формы со сквозным отверстием около 18 мм по оси цилиндра. В частности, сапфировое стекло устанавливается над этим отверстием для обеспечения видеосъемки снизу. Это позволяет более детально изучить процесс растекания капли по поверхности стекла.

Условия при которых проводились экспериментальные исследования продемонстрированы в виде зависимости $We-Oh$ представленной на рисунке 14. Данная зависимость представляет собой карту режимов, показывающую под действием каких сил, происходит процесс взаимодействия.

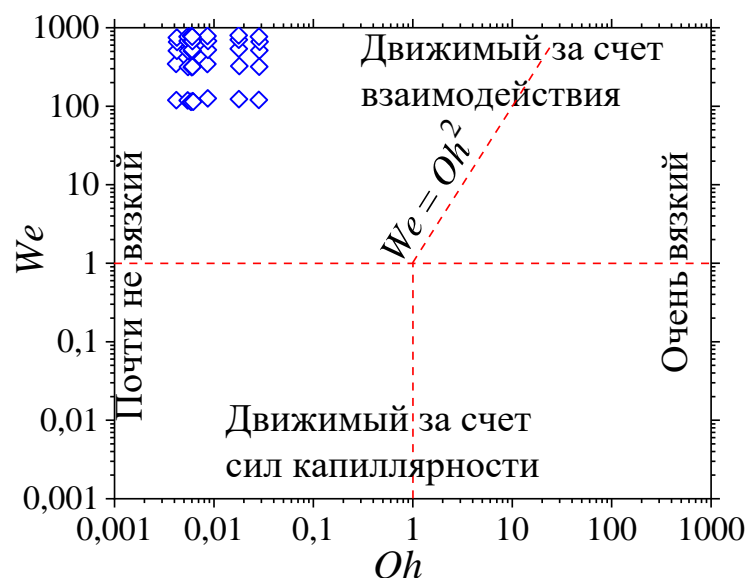


Рисунок 14 – Карта режимов $We-Oh$ для соударений капель с поверхностью

1.9 Результаты и их обсуждение

На рисунке 15 представлена зависимость коэффициентов растекания от безразмерного времени. Более вязкие жидкости (рисунок 15а, б) растекаются меньше и имеют более низкие значения β . Более того, увеличение числа We делает различия в растекании жидкостей более значимыми. На стадии релаксации капли рассматриваемых однородных жидкостей, а именно воды и н-декана, заметно отличаются от эмульсий. Изменение толщины слоя жидкости ζ для разных жидкостей незначительны. Анализ эволюции во времени β для ньютоновских жидкостей, т.е. однокомпонентных жидкостей и ньютоновских эмульсий (рисунок 15 в, г) позволяет определить порог для значений We , выше которого динамика растекания этих жидкостей (кроме воды) практически идентична. Ниже этого порога наблюдается заметное различие в динамике растекания капли в конце фазы растекания и во время фазы релаксации.

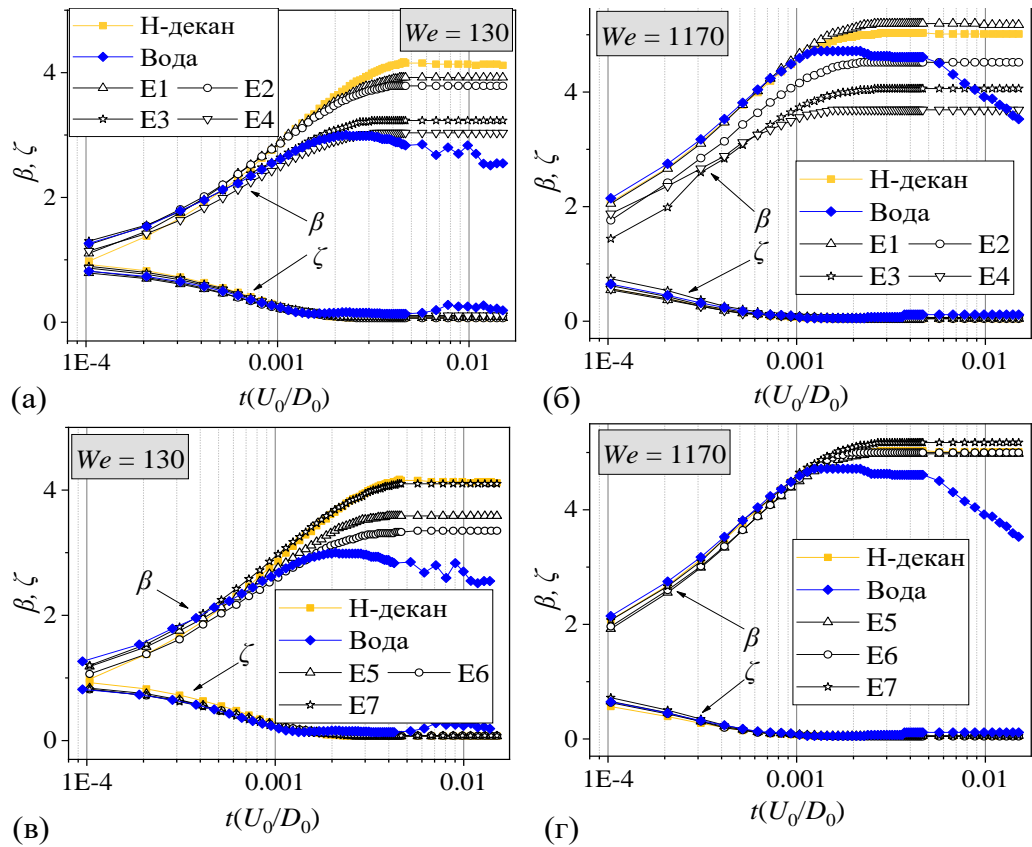
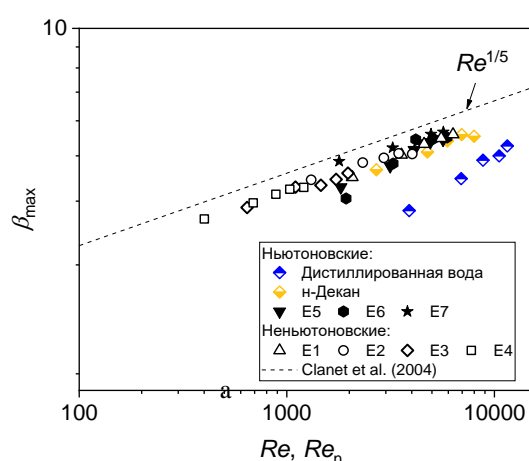


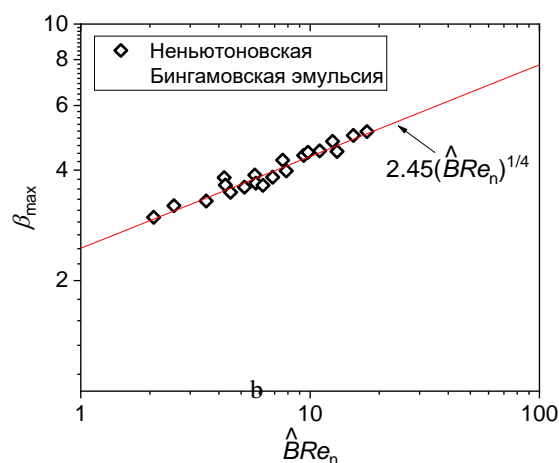
Рисунок 15 – Зависимость коэффициентов растекания и толщины капли от безразмерного времени: Неньютоновские (а, б) и ньютоновские (в, г) эмульсии, а также однофазные жидкости

На рисунке 16 демонстрируется влияние числа Рейнольдса для ньютоновских и неньютоновских жидкостей на β_{max} . Из зависимости видно, что значения β_{max} для неньютоновских эмульсий достаточно близки к теоретической зависимости $Re^{1/5}$ [13] для капель однофазных ньютоновских жидкостей. Тем не менее, расхождение экспериментальных значений от теории является довольно заметным. Предполагается, что для капель ньютоновских жидкостей сильное расхождение результатов сравнения говорит о необходимости учета не только сил инерции и вязкости, но и сил поверхностного натяжения [14-16]. Число Re_n рассматривает все реологические свойства неньютоновской жидкости, за исключением предела текучести τ_0 . Он

учитывается в капиллярном числе Бингама \hat{B} . Чтобы учесть все реологические свойства (включая предел текучести) Бингамовских эмульсий, а также влияние инерционных и капиллярных сил, β_{max} представлен как функция от произведения $\hat{B}Re_n$ (рис. 16б). Соотношение характерных сил в произведении $\hat{B}Re_n$ определяет характер поведения максимального диаметра растекания капли неньютоновской Бингамовской жидкости довольно точно (рис. 16б) согласно эмпирическому соотношению $\beta_{max} = 2,45(\hat{B}Re_n)^{1/4}$.



(а)



(б)

Рисунок 16 – Максимальный диаметр растекания в зависимости от Re или Re_n (зависит от реологического поведения жидкости) (а); влияние капиллярного числа Бингама, масштабированного с помощью Re_n на коэффициент максимального растекания капли (б)

Представленные результаты исследований позволяют спрогнозировать реологическое поведение топливных эмульсий с момента их приготовления, до момента непосредственной подачи в топку. Измеренные физические и реологические свойства эмульсий позволяют сравнить их с традиционными видами топлива.

2 Проектирование АСУ приготовления многокомпонентного жидкого топлива

2.1 Системный анализ объекта автоматизации

Наиболее важной характеристикой эмульгированного топлива является его стабильность. Основной задачей на практике является обеспечение стабильного состояния эмульсии в долгосрочной перспективе для исключения разделения фаз топлива при его использовании в двигателях. Поэтому наилучшим вариантом использования такого вида топлива является незамедлительная подача топлива в двигатель после приготовления.

Объектом автоматизации является смешивающее устройство. Основной причиной внедрения системы контроля приготовления и мониторинга качества эмульгированного топлива заключается в сложной технологии приготовления такого топлива, а также его нестабильность. Кроме того, внедрение системы позволит сократить затраты производств на топливо, а также уменьшить вредные выбросы в окружающую среду. Основными задачами таких систем является:

- автоматизация процесса приготовления топлива;
- контроль и учет объемов произведенного топлива;
- непрерывный контроль и учет физических свойств изготавливаемого топлива;
- изменение химического состава изготавливаемого топлива.

Учитывая характеристики эмульгированного топлива, установлены оптимальные параметры приготовления. Для того чтобы изготовить эмульгированное топливо необходимо смешивать компоненты в течении 20 минут в гомогенизаторе при частоте вращения ножей 15 000 оборотов в минуту. Для контроля качества изготовленного топлива достаточно в тракт перекачки готового топлива разместить плотномер и вискозиметр. Мониторинг качества

топлива осуществляется по 2 параметрам для осуществления более точного анализа топлива. Так как эмульгированное топливо отличается от традиционных нефтепродуктов, физические и реологические свойства определены экспериментальным путем.

В выбранной системе присутствует ряд измеряемых и регулируемых параметров. Их перечень и номинальные значения представлены в таблице 12.

Таблица 12 – Основные измеряемые и регулируемые параметры

Параметр	Номинальное значение
Расход углеводородного топлива, кг/с	40
Расход дистиллированной воды, кг/с	20
Расход эмульгатора, кг/с	10
Температура углеводородного топлива, °С	25
Температура дистиллированной воды, °С	25
Температура эмульгатора, °С	25
Расход эмульгированного топлива, кг/с	30
Температура эмульгированного топлива, °С	40
Плотность эмульгированного топлива, кг/м ³	800
Вязкость эмульгированного топлива, сП	1,4
Положение клапана РО, %	100

Разрабатываемая система необходима для контроля и управления процессом приготовления эмульгированного топлива. Основными функциями разрабатываемой системы являются:

1) сбор информации с первичных датчиков и преобразователей, контроль температуры в топке котла, контроль давления в топочной камере, контроль расхода первичного, вторичного воздуха и топлива, а также контроль расхода питательной воды, нагреваемой котлом для подачи потребителю;

- 2) оповещение персонала о возникновении чрезвычайных ситуаций, связанных с неисправностью технологического оборудования;
- 3) обработка полученной информации, сравнение параметров с уставками и формирование команд управления, включение звуковых и световых средств оповещения;
- 4) отображение получаемой информации в виде мнемосхемы;
- 5) регистрация событий в режиме реального времени.

Для корректной работы системы, целесообразно использовать трехуровневую структуру, которая строится на базе микропроцессорной техники. Верхний уровень включает автоматизированное рабочее место (АРМ) оператора – программно-техническое средство вычислительной техники, предназначенное для накопления, хранения, обработки (обобщения) и представления оператору любой информации и приема команд управления объектами.

2.2 Разработка структуры комплекса технических средств автоматизированной системы управления

Работа системы топливоподготовки возможна при температуре не ниже 25 – 30 °С. Данное условие требуется для того, чтобы топливо сохраняло свою текучесть и стабильность.

Оптимизация процессов производства топлива на различных агрегатах производится при помощи внедрения в исходную систему дополнительной автоматической системы управления. Работа контролируется посредством компьютера, при помощи ввода оператором заданных исходных параметров. При использовании автоматической системы управления процессами минимизируется участие человека в производственной деятельности, уменьшается время работы человека с оборудованием, а также уменьшается влияние человеческого фактора. Автоматизированная система управления процессом приготовления позволяет снизить затраты на производство топлива,

дает возможность непрерывного производства топлива и позволяет повысить безопасность производства.

Перед подачей топлива потребителю определяется температура самого топлива, плотность, а также вязкость. Использование интеллектуальных датчиков позволяет определять ряд параметров за короткий промежуток времени, что позволяет вести процесс производства непрерывно.

Термоэлектрические преобразователи предоставляют информацию о температуре топлива в момент приготовления, а также температуру конечного продукта. Датчики уровня позволяют определить долю подаваемого компонента и рассчитать конечный рецепт изготавливаемого топлива. Основываясь на показаниях датчиков уровня, контроллер формирует дискретный регулирующий сигнал, который поступает на пусковое устройство, где сигнал усиливается и приводит в действие электрический привод исполнительного механизма, отвечающего за изменение расхода топлива.

В разрабатываемой системе в качестве регулирующего устройства предлагается использовать многоканальный микропроцессорный программируемый контроллер (МПК). Микропроцессорный программируемый контроллер исключает использование блока ручного управления, задатчиков регулируемых параметров, стабилизирующего и корректирующего регуляторов, т.к. их функции может выполнять непосредственно контроллер. Сигнал по положению вала может поступать на аналоговый вход МПК без использования дистанционного указателя положения, т.к. в исполнительном механизме используется токовый датчик положения.

Получение информации о текущих значениях происходит при помощи измерительных преобразователей, сигнал с которых подается на МПК. С помощью встроенного аналого-цифрового преобразователя процессор обрабатывает сигналы и вырабатывает управляющие воздействия, подаваемые на пусковое устройство. Аналоговые сигналы усиливаются пусковым

устройством и поступают на обмотку управления ИМ. Вал ИМ вращается, и, соответственно, меняется положение РО.

Кроме того, дистанционное ручное управление возможно будет производить с автоматизированного рабочего места оператора (АРМ).

Структурная схема представлена на ФЮРА.421000.003 С1.

2.3 Разработка функциональной схемы системы управления

Функциональная схема систем автоматизации технологических процессов является основным техническим документом, определяющим структуру и характер систем автоматизации технологических процессов, а также оснащения их приборами и средствами автоматизации.

В процессе разработки функциональной схемы выполнены следующие задачи:

- Изучение схемы технологического объекта автоматизации;
- определение перечня регулируемых и контролируемых параметров и регулирование технологического процесса и оборудования. Перечень регулируемых параметров представлен в таблице 7;
- указание месторасположения точек отбора измерительной информации;
- определение предельно допустимых рабочих значений контролируемых и регулируемых параметров (таблице 7);
- выбор структуры измерительных каналов информационно-управляющей и исполнительной частей системы автоматизации: в состав структуры каналов измерительной части входит первичный преобразователь температуры без нормирующего преобразователя, в состав структуры каналов информационно-управляющей части входит ПЛК, в состав структуры исполнительной части входят пусковое устройство и исполнительный механизм;

- выбор методов и технических средств получения, преобразования, представления и передачи измерительной информации, а также технических средств выработки управляющих воздействий. Выбран контактный метод измерения температуры посредством термоэлектрического преобразователя (ТЭП), т.к. платиновые ТПС имеют большую стоимость. Для реализации функций контроля и управления предусмотрен ПЛК;
- размещение технических средств автоматизации (ТСА) на технологическом оборудовании: первичные преобразователи температуры расположены непосредственно на технологическом оборудовании, пусковое устройство находится в шкафу пусковой арматуры, ПЛК расположен в шкафу управления и автоматики.

Функциональная схема автоматизированной системы управления процессом подготовки и мониторинга качества эмульгированного топлива, разработанная в данном курсовом проекте, представлена на листе ФЮРА.421000.003 С2.

Первичные измерительные преобразователи, регулирующие органы и исполнительные механизмы изображаются на функциональной схеме в виде окружности. От них выводятся линии связи с номером измерительного или управляющего канала.

Далее линии связи идут к прямоугольнику с названием «Щит управления», на котором изображен контроллер, а также к АРМ оператора.

На первом этапе разработки функциональной схемы были определены измерительные каналы (1...6, 17...21), каналы сигнализации (8...16) и каналы управления (8...16). Для измерения температуры топлива используется канал 1. Каналы 2...5 используются для измерения уровня в емкостях с компонентами и смешивающей емкости. По измеренным уровням оценивается рецептура приготовления топлива. 6 канал используется для оценки качества изготовленного топлива. Каналы 17...21 используются для определения

положения задвижки. По каналам 8...16 передаются управляющие сигналы на пускательные устройства и сигнализация о срабатывании исполнительных механизмов.

Технологическое оборудование на функциональной схеме изображено в соответствии с ГОСТ 21.403-80, условные обозначения запорной арматуры изображены по ГОСТ 2.785-70, первичные и функциональные измерительные приборы – в соответствии с ГОСТ 21.404-85.

2.4 Составление опросных листов на измерительные приборы и средства автоматизации

Опросные листы на ТСА необходимы при разработке системы автоматизации, поскольку между выбором оборудования и его закупкой/внедрением может пройти достаточно большой период времени, за который выбранное оборудование может быть снято с производства, либо могли появиться более подходящие по тем или иным критериям варианты. Наличие опросных листов позволяет быстро осуществить подбор альтернативного оборудования, ориентируясь на ранее заложенные в них требования. Опросные листы на используемые средства контроля технологических параметров представлены в приложении А.

2.5 Выбор технических средств системы управления, составление спецификации

Одним из основных аспектов при проектировании автоматических систем управления является выбор технических средств автоматизации. При выборе устройств нужно обращать внимание на доступность и надежность рассматриваемых технических средств. В данной работе предпочтение отдается отечественным производителям, таким как ЭЛЕСИ, МЕТРАН и т.д. Немаловажную роль в выборе технических средств играет унификация и

возможность обеспечения взаимосвязи между устройствами и системой в целом. Еще одним критерием выбора приборов являются габаритные размеры. Все выбранные устройства необходимо устанавливать либо по месту, либо на щитах управления, и то сколько пространства занимает то или иное устройство в ограниченном объеме может стать серьезной проблемой.

В процессе выбора первичных измерительных преобразователей необходимо учитывать предельные значения измеряемого параметра и давлений, в диапазоне которых можно применять различные первичные измерительные преобразователи, а также характеристики выходного сигнала первичных измерительных преобразователей. Необходимо ограничивать количество технических средств, устанавливаемых на щитах, минимальным набором, обеспечивающим выполнение требуемых функций. Стоит обращать внимание на исполнение прибора. Например, в условиях агрессивной среды лучше использовать преобразователи в защитном кожухе.

Техническая документация, в которой отражены все необходимые сведения о приборах и технических средствах автоматизации называется спецификацией.

Заказная спецификация приборов и средств автоматизации системы регулирования представлена на листе ФЮРА.421000.003 СП.

2.5.1 Выбор датчиков температуры

В качестве датчиков температуры используются аналоговые преобразователи температуры с унифицированным выходным сигналом. Датчик температуры выбираем по каталогу завода-изготовителя «EMERSON». По подходящим конфигурациям выбираем интеллектуальные преобразователи температуры типа «Метран 288».

«Метран 288» предназначены для измерения высоких температур различных сред, в том числе и агрессивных сред. Диапазоны измеряемых температур: 0...200 °С или 0...100 °С [40].

Предел допускаемой основной приведенной погрешности по аналоговому сигналу $\pm 0,4$ %. Рабочий спай термопары изолирован относительно корпуса датчика.

Альтернативным вариантом может быть преобразователь типа ТХАУ 205 с НСХ ХК(L) производства ООО НПО «Элемер» [41]. По техническим характеристикам он очень схож с «Метран 281», однако ТХАУ 205 не оборудован защитой от внешних помех, а также не предусмотрена автокомпенсация изменения ТЭДС от изменения температуры холодных концов термопары.

Таким образом, в качестве измерительного преобразователя выбираем «Метран 288», так как он удовлетворяет условиям и соответствует техническим характеристикам.

Монтаж термопары на боковой стенке котельного агрегата осуществляется под прямым углом. Для данного типа термоэлектрического преобразователя предусмотрена защитная гильза и бобышка для монтажа термопары по месту, тем самым при заказе данного преобразователя, в комплекте предусмотрены все необходимые элементы для монтажа.

2.5.2 Выбор технических средств измерения уровня

Для обеспечения контроля уровня жидкости в промежуточных емкостях и емкости с непосредственно готовым эмульсионным топливом необходимо выбрать уровнемеры. По принципу индикации уровня жидкости уровнемеры делятся на магнитные, кондуктивные, емкостные, оптические, поплавковые, вибрационные, ультразвуковые и гидростатические. Для более точного контроля уровня жидкости как чистых компонентов топлива, так и эмульсионного топлива принято решение использовать современные датчики уровня – рефлексные

микроволновые уровнемеры. Но также с условностями и допущениями, подойдут и погружные датчики уровня. Использование таких датчиков является приемлемым только в промежуточных емкостях хранения компонентов топлива.

Местный контроль уровня в баке – рефлексный микроволновый уровнемер MicroTrek, предел допускаемой основной приведенной погрешности 0,5 мм, максимальный диапазон измерения 24 м, выходной сигнал 4...20 мА [42].

Его аналогом может быть погружной датчик уровня PIEZUS ALZ 3720, предел допускаемой основной приведенной погрешности 0,2 %, выходной сигнал 4...20 мА [43].

2.5.3 Выбор исполнительного механизма

Исполнительный механизм – это устройство, преобразующее выходной сигнал регулятора в перемещение регулирующего органа. Обычно исполнительные механизмы состоят из трех основных частей: привод, прибор для управления приводом и регулирующей орган [44].

За счет подвода энергии извне исполнительный механизм развивает усилие и мощность, достаточные для перемещения регулирующего органа в положение, соответствующее командному сигналу. Например, исполнительный механизм может использоваться, чтобы изменить степень открытия клапана для увеличения или уменьшения загрузки, или изменить положение заслонки или жалюзи [44].

Выбор типа ИМ (однооборотный – МЭО, однооборотный фланцевый – МЭОФ, прямоходный постоянной скорости – МЭП, прямоходный кривошипный переменной скорости – МЭПК) определяется типом трубопроводной арматуры.

Исполнительный механизм выбирается не только из вида регулирующего органа, но и от крутящего момента.

Максимальный крутящий момент МЭО вычисляется по формуле:

$$M_{\max} = 6,89 \cdot D_y - 338 = 6.89 \cdot 80 - 338 = 213,2,$$

где D_y - условный диаметр трубопровода, мм.

При выборе ИМ типа МЭО должно выполняться условие $M_H > M_{max}$, где M_H – номинальный крутящий момент на выходном валу ИМ, Н·м.

Выбираем ИМ типа МЭО-250/25-0,25 У-99К. Данный ИМ снабжен датчиком положения выходного вала и функцией управления вручную. Питание ИМ подводится от сети 220В переменного тока. Потребляемая мощность 240 Вт.

Установка фланцевых механизмов производится непосредственно на трубопроводной арматуре и соединяются с регулирующим органом посредством фланца.

Электрическое питание двигателя механизма МЭОФ с номинальным крутящим моментом 1000 Н·м осуществляется от сети переменного тока напряжения 380 В с частотой 50 Гц. Блок датчиков МЭОФ состоит из датчиков положения, а также имеет концевые и путевые выключатели, представляющие собой дискретные уставки по положению и моменту [44].

Конструкция исполнительного механизма МЭО-250/25-0,25 У-99К представлена на рисунке 17.

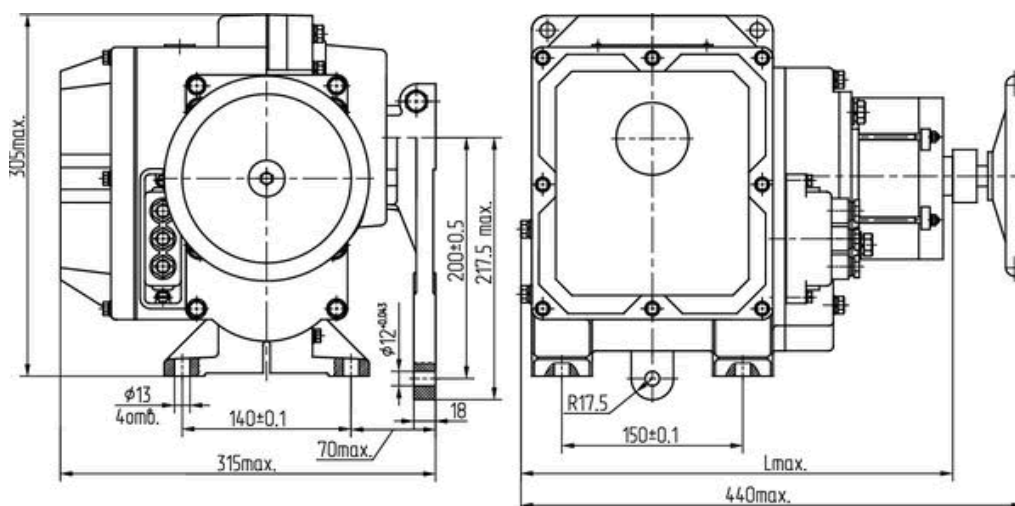


Рисунок 17 – Конструкция МЭО-250/25-0,25 У-99К

2.5.4 Выбор регулирующего устройства

В качестве регулирующего устройства используется микропроцессорный контроллер. В данной работе рассматривались 3 контроллера от различных производителей, таких как: «ОВЕН»[45]; «Элеси ТМК», Siemens «SIMATIC-S7-200»[46]. Для сравнения, технические характеристики рассматриваемых микропроцессорных контроллеров приведены в таблице 13.

Таблица 13 – Технические характеристики рассматриваемых ПЛК

Наименование контроллера	ОВЕН 63	Элеси ТМК	SIMATIC-S7-200
Питание			
Напряжение питания, В	~220 В, 50 Гц; 24 В	~220 В, 50 Гц	~220 В, 50 Гц
Потребляемая мощность, для переменного тока, А	18	12	12
Цифровые (дискретные) входы			
Количество входов	8	20	6
Аналоговые входы			
Количество аналоговых входов	8	4	6
Разрядность АЦП, бит	15	15	
Среда программирования	Xcos	Xcos	Step7
Цена, руб.	12514	13990	13372

Крепление контроллера Элеси ТМК производится исключительно на специальное шасси в шкаф автоматизации. То место, в которое крепится ПЛК, должно обеспечивать защиту контроллера от пыли, влаги и различных механических повреждений. Данный контроллер целесообразно эксплуатировать только при следующих рабочих условиях: взрывобезопасные помещения, атмосферное давление (80-110 кПа), диапазон рабочей температуры (- 40...60 °С), влажность (5...95 %).

Для реализации задачи необходимо 14 аналоговых входов для регистрации температуры и уровня топлива, поэтому необходимо установить один модуль удаленного аналогового ввода-вывода Элеси ТМК. Каждый модуль добавляет 16 аналоговых входов, тем самым обеспечивается наличие необходимого количества аналоговых входов.

Перечень входных и выходных сигналов представлен в таблице 14.

Таблица 14 – Перечень входных/выходных сигналов

№	Наименование параметра (единица измерения)	Тип датчика, прибора	AI	DI	DO
1	Температура топлива	Метран 288	+		
2	Уровень углеводородного топлива	MicroTrek	+		
3	Уровень воды	MicroTrek	+		
4	Уровень эмульгатора	MicroTrek	+		
5	Уровень топлива	MicroTrek	+		
6	Вязкость топлива	FVM	+		
7	Температура готового топлива	FVM	+		
8	Задать положение задвижки 1				+
9	Положение задвижки 1			+	
10	Задать положение задвижки 2				+
11	Положение задвижки 2			+	

Таблица 14 – Продолжение

№	Наименование параметра (единица измерения)	Тип датчика, прибора	AI	DI	DO
12	Задать положение задвижки 3				+
13	Положение задвижки 3			+	
14	Задать положение задвижки 4				+
15	Положение задвижки 4			+	
16	Задать положение задвижки 5				+
17	Положение задвижки 5			+	
18	Пуск насоса 1				+
19	Пуск насоса 2				+
20	Пуск насоса 3				+
21	Пуск насоса 4				+

2.5.5 Выбор насосного оборудования

Для реализации системы приготовления топлива необходимо использование насосного оборудования для перекачки компонентов топлива в емкость для смешивания, а также перекачка готового эмульсионного топлива. Вязкость эмульгаторов, а также готового эмульсионного топлива может принимать значения вплоть до 20 мПа·с. А также углеводородные топлива, являющиеся фракциями нефти, требуют особого исполнения как самого насосного оборудования, так и тракта трубопровода. Рассмотрим оборудование, подходящее для перекачки вязких жидкостей и углеводородных топлив.

Шестеренчатый насос серии Heavy duty предназначен для тяжелых условий эксплуатации. Конструктивная особенность крепления этого насоса позволяет работать без износа при высоком давлении, а также при пиковом

повышении давления из-за неоднородной вязкости перекачиваемой среды. Высокая прочность валов и шестеренных колес и высокая точность обработки позволяют насосу работать в тяжелых условиях. Подходит для перекачки вязких жидкостей и нефтепродуктов. Обладает самовсасыванием. Диапазон рабочих температур перекачиваемой жидкости от 0 °С до 274 °С [47].

Технологический шестеренчатый насос серии GlobalGear большой производительности для промышленного применения. Данный насос подходит для работы в жестких условиях и отличается повышенной надежностью зубчатой передачи и специальным уплотнением для тяжелых условий работы. Подходит для перекачки вязких жидкостей и абразивных сред. Обладает самовсасыванием. Диапазон рабочих температур перекачиваемой жидкости от 0 °С до 316 °С [48].

Шиберный насос Blackmer подходит для перекачки светлых и темных нефтепродуктов и других горюче-смазочных материалов. Обладают самовсасыванием до 8 м. Также оборудование дает возможность перекачивать жидкости с широким диапазоном рабочих температур от -32 °С до 191 °С [49].

В таблице 15 представлены основные технические характеристики оборудования, подходящего для использования в системе приготовления топлива.

Таблица 15 – Технические характеристики насосного оборудования

Тип	Heavy duty	GlobalGear	Blackmer
Производительность, м ³ /час	148	125,5	178
Температура перекачиваемой среды, °С	0...+274	0...+316	-32...+191
Тип привода	Электродвигатель	Электродвигатель	Электродвигатель
Максимальное давление, бар	31	13,8	8,6
Рубашка обогрева	Да	Да	Нет

Таблица 15 – Продолжение

Тип	Heavy duty	GlobalGear	Blackmer
Перекачка среды с абразивными частицами	Да	Да	Нет
Цена, руб.	121500	186563	67300

Исходя из предъявленных требований к насосному оборудованию выбираем насос Heavy duty. Данная модель обладает оптимальными характеристиками для разрабатываемой системы, а также имеет необходимый запас надежности. Данный насос подходит для перекачки вязких и высоковязких жидкостей, нефтепродуктов, а также абразивных сред.

2.6 Проектирование схемы внешних проводок

На схемах внешних электрических и трубных проводок изображают прокладываемые вне щитов электрические провода, кабели, импульсные, командные, питающие, защитные трубы, короба, лотки и металлорукава с указанием их номера, типа (марок) и длин [50]. На чертежах этих схем в виде условных обозначений изображаются:

1. отборные устройства и первичные преобразователи, встраиваемые в технологическое оборудование и трубопроводы;
2. приборы и средства автоматизации, устанавливаемые вне щитов и пультов;
3. щиты, пульты и т.п.;
4. вспомогательные устройства (соединительные и протяжные коробки, фитинги, коробки свободных концов термопар и т.п.);
5. устройства заземления щитов, приборов и других токоприемников.

В верхней части схемы расположена таблица с обозначениями измеряемых параметров, измеряемой среды, мест установки и позиционного обозначения

измерительных приборов. Ниже расположены условно изображенные датчики, от которых отходят кабели, обозначенные на чертеже линиями, прописано название кабеля, его сечение и количество жил, а также протяженность. От каждого датчика температуры, уровня или вязкости каждый измеряемый параметр передается в виде унифицированного аналогового сигнала 4...20 мА по двухпроводной схеме. Линии, проведенные от датчиков, соединены с прямоугольником, обозначающим шкаф автоматизации, через клеммные соединительные коробки КСК-12 и КСК-20. Условно изображены и пронумерованы клеммы, к которым подходят линии от датчиков. В правой части чертежа расположены устройства и механизмы, предназначенные непосредственно для регулирования технологического параметра, путем подачи на них дискретных сигналов. Также проведены линии до шкафа автоматизации, обозначающие кабели, прописаны их характеристики. Для организации разводки сети питания внешних устройств предполагается использовать кабель КРВГЭ 3х2, так как данный тип кабеля предназначен для соединения электрических устройств и оборудования при номинальном переменном напряжении до 660 В, частоте до 100 Гц

Для электропроводок систем автоматизации применяются изолированные провода и кабели с алюминиевыми и медными жилами. В цепях измерения, управления, питания, сигнализации и т.п. (в том числе в цепях телемеханических устройств) допускается применять провода и кабели с медными жилами.

Для прокладки в пластмассовых и стальных защитных трубах (в металлических рукавах) должны применяться провода с сечением медных жил не менее 1 – 1,5 мм², алюминиевых – 1,5 – 2 мм², обладающих достаточной механической прочностью, необходимой для выполнения затяжки этих проводов в трубы.

Помимо требований к материалу проводников (медь и алюминий) и допустимым сечениям при выборе проводов и кабелей особое внимание должно уделяться соответствию их технических данных условиям окружающей среды.

Необходимо, чтобы изоляция, защитные оболочки и наружные покрытия проводов и кабелей отвечали условиям окружающей среды и принятому способу выполнения электропроводки. При выборе проводов и кабелей необходимо учитывать резерв жил.

Монтажная схема соединений внешних проводок проектируемой системы представлена на ФЮРА.421000.003 С4.

2.7 Проектирование принципиальной электрической схемы щита управления

Схема соединений определяет конструктивное выполнение электрических соединений элементов в изделии. На схеме изображаются все устройства и элементы, входящие в схему, а также соединения между ними. Устройства изображаются в виде прямоугольников, элементы – в виде условных графических изображений, установленных в ЕСКД. Около условных графических обозначений устройств и элементов указывают позиционные обозначения. На схеме необходимо указывать обозначения выводов (контактов) элементов, нанесенные на изделие или установленные в документации изделия. Проводам, жгутам, кабелям на схеме присваиваются порядковые номера. Для разработки схемы соединений необходимо выполнить ряд действий:

- 1) нанести на схему технические средства автоматизации с соответствующими стандартами;
- 2) произвести соединение проводок с клеммами устройств по требованиям завода изготовителя оборудования;
- 3) произвести нумерацию проводников.

На первом листе изображаем схему обеспечения питанием всех элементов, размещенных в шкафу. Шкаф автоматизации питается от двухфазной цепи переменного тока с напряжением 220 В. Для обеспечения безопасной работы оборудования в шкаф устанавливаются автоматические выключатели QF1...QF3

и штекерный модуль для защиты от перенапряжений Z1. Источники бесперебойного питания G1 – EF A UPS 1AC/24 DC-4 выполняет функции трансформации переменного тока сети с напряжением 220 В в постоянный с напряжением 24 В. Так же устанавливается диодный модуль – EF R 24DC/24DC для одновременного снятия равного напряжения с двух источников бесперебойного питания. Модули контроллера, коммутатор и вторичные измерительные разделительные преобразователи UY1...UY7, расположенные в шкафу, питаются через блоки бесперебойного питания 24 В. В шкафу установлена розетка XS1 на ~220 В для удобства обслуживания оборудования. Также в шкафу установлена компактная лампа дневного света EL1 – ДКС R5LA21, которая автоматически загорается при открывании двери шкафа в результате срабатывания концевого выключателя SQ1. Для поддержания температуры эксплуатации оборудования в шкафу установлен вентилятор М, приводимый в действие термореле КК1.

На втором листе изображаем ввод на модули программируемого логического контроллера полевых измерительных сигналов – унифицированных аналоговых сигналов. Для обеспечения гальванического разделения непрерывных сигналов предполагается применение преобразователей измерительных разделительных – ET 422 (производства АО "ЭлеСи", Российская Федерация). Каждый унифицированный сигнал 4...20 мА заводится на отдельный токовый ввод разделительного преобразователя (по два сигнала на одно устройство, т.к. ET 422 – двухканальный). От выходов измерительных преобразователей сигнал направляется на модули аналогового ввода контроллера (А2, А3), который связываются с модулем центрального процессора (А1) посредством коммутатора (А6).

На этом же листе показана разработанная принципиальная электрическая схема подсистемы управления исполнительными механизмами регулирующих органов – дутьевого вентилятора и регулирующих клапанов. Разработанная система обеспечивает ввод дискретных сигналов состояния на модуль

центрального процессора (А1) контроллера и модуль дискретного удаленного ввода/вывода (А4), вывод управляющих воздействий с модуля дискретного ввода/вывода (А4). Для обеспечения безопасности контроллера произведем гальваническую развязку входных и выходных дискретных сигналов с помощью контактно-релейной схемы.

От каждого исполнительного механизма каждого регулирующего органа на расположенные в шкафу замыкающие реле (К1...К22) приходят сигналы состояния (+24 В): «Включен», «Отключен». Данные сигналы работают по принципу подачи напряжения или обрыва цепи. В модули контроллера (А1, А4) информация о состоянии поступает после коммутации соответствующего реле посредством сигнала типа "сухой контакт", поэтому с клеммника питания ХТ05 на соответствующие входы замыкаемых контактов реле приходит напряжение +24 В, а на общий вход модуля контроллера – 0 В.

Тем же образом для вывода на задвижку управляющих воздействий («Включить», «Отключить») предусмотрена аналогичная гальваническая развязка цепей. С модуля вывода дискретных сигналов (А6) сигналы будут подаваться на группу реле (К9 – К16), которые в свою очередь должны коммутировать группу контактов, выдающих воздействие на исполнительные механизмы в поле.

Линии связи состоят только из горизонтальных и вертикальных отрезков и имеют минимальное число взаимных пересечений. Расстояние между соседними параллельными линиями не менее 5 мм.

Разработанная в данном разделе схема соединений представлена на ФЮРА.421000.003 Э4.

Совместно с разработкой чертежей электрической схемы соединений системы автоматизации в общем случае должны составляться перечни элементов. Перечень элементов для разработанной электрической схемы соединений АСУ ТП представлен на листе ФЮРА.421000.003 ПЭ.

2.8 Разработка сборочного чертежа щита управления

Сборочный чертёж представляет собой один из элементов конструкторской документации, который содержит графическую и текстовую информацию обо всех деталях, входящих в состав какого-либо изделия. Является одним из основополагающих документов в процессе создания АСУ ТП, поскольку на основании него собирается шкаф автоматизации.

Сборочный чертеж (габаритный чертеж) в автоматизации создает полное представление о том, какой состав имеет сборочная единица, а также каково ее функциональное назначение.

Кроме того, сборочные чертежи содержат информацию о геометрическом расположении объемных элементов внутри шкафа, что позволяет выявить конфликты при взаимном расположении оборудования.

Щиты систем автоматизации предназначены для размещения на них средств контроля и управления технологическими процессами, контрольно-измерительных приборов, сигнальных устройств, аппаратуры управления, автоматического регулирования, защиты, блокировки, линии связи между ними (трубная и электрическая коммутация) и т.п.

Целью данного этапа является составление комплекта чертежей, необходимых для изготовления щита, монтажа технических средств автоматизации, электрических проводок и эффективной эксплуатации средств автоматизации. Учитывая конструктивные особенности, а также степень защиты от прикосновения к токоведущим частям, в операторском помещении разместим для монтажа средств автоматизации разрабатываемой системы управления климатом, выберем щит Rittal ES 5830.580. Щиты Rittal предназначены для размещения аппаратуры управления, сигнализации и автоматики. Конструкция щитов представляет собой металлический сборный корпус напольного исполнения. Подвод кабелей осуществляется снизу. Степень защиты щита: IP66.

Сборочный чертеж щита представлен на чертеж ФЮРА.421000.003 СБ.

2.9 Оценка погрешностей измерительных каналов

Измерительные каналы систем автоматизации могут включать в себя несколько средств измерений различных типов, например, датчики, измерительные преобразователи, модули аналогового ввода и т.д. При проектировании таких каналов необходимо учитывать, какой вклад в общую погрешность канала измерения вносят используемые средства измерения. Перечень измерительных каналов, используемых для контроля технологических параметров, представлен в таблице 16.

Таблица 16 – Перечень измерительных каналов

Номер измерительного канала	Измеряемый параметр	Технические средства, входящие в данный канал	Количество аналогичных измерительных каналов
1	Температура	Метран 288 Измерительный преобразователь Элеси ET-422 Модуль Элеси ТМК	1
2...5	Уровень	Уровнемер MicroTrek Измерительный преобразователь Элеси ET-422 Модуль Элеси ТМК	4
6	Вязкость	Датчик вязкости FVM Измерительный преобразователь Элеси ET-422 Модуль Элеси ТМК	1

Таблица 16 - Продолжение

Номер измерительного канала	Измеряемый параметр	Технические средства, входящие в данный канал	Количество аналогичных измерительных каналов
8...13	Положение регулирующего органа	БСПТ-10М Измерительный преобразователь Элеси ET-422 Модуль Элеси ТМК	1

Систематические погрешности устройств, входящих в состав измерительных каналов, представлены в таблице 17.

Таблица 17 – Систематические погрешности используемых устройств

Устройство	Приведенная погрешность	Абсолютная погрешность
Метран 288	0,4 %	0,28 °С
Уровнемер MicroTrek	0,5 %	0,012 м
Датчик вязкости	1 %	0,2 сП
Измерительный преобразователь Элеси ET-422	0,15%	-
Модуль Элести ТМК	0,2%	-

В качестве примера, произведем расчет погрешности измерительного канала температуры в смешивающей емкости.

$$\gamma = \sqrt{0,4^2 + 0,15^2 + 0,2^2} = 0,472 \%$$

$$\Delta = \frac{110 \times 0,65}{100} = 0,715 \text{ } ^\circ\text{C}. \quad \Delta = \frac{130 \cdot 0,472}{100} = 0,614$$

Значения погрешностей всех каналов, представленных в данной работе, представлены в таблице 18.

Таблица 18 – Приведенные и абсолютные погрешности измерительных каналов

Номер канала	Приведенная погрешность, %	Абсолютная погрешность
1	0,472	0,614 °С
2	0,562	0,017 м
3	0,562	0,017 м
4	0,562	0,017 м
5	0,562	0,017 м
6	1,062	0,22 сП

2.10 Разработка экранных форм мнемосхем SCADA-системы

Мнемосхема представляет собой графическое изображение функциональной схемы управляемого или контролируемого объекта. Таким образом, схема может описывать технологический процесс с программным управлением. Мнемосхема предназначена для работы оператора с производственным процессом, в процессе управления мнемосхема является источником информации о текущем состоянии системы, характере и структуре протекающих в ней процессов.

Требования, предъявляемые к мнемосхеме, устанавливает предприятие, для которого она предназначена. В данной работе схема разрабатывалась в соответствии с общими требованиями:

- 1) мнемосхема должна содержать только те элементы, которые необходимы оператору для контроля и управления объектом;
- 2) отдельные элементы или группы элементов, наиболее существенные для контроля и управления, должны выделяться размерами, формой, цветом;
- 3) форма и размеры панели должны обеспечивать оператору однозначное зрительное восприятие всех необходимых ему информационных элементов.

В соответствие с вышеизложенными требованиями была разработана мнемосхема АСУ ТП приготовления многокомпонентного жидкого топлива, которая приведена на рисунке 18.

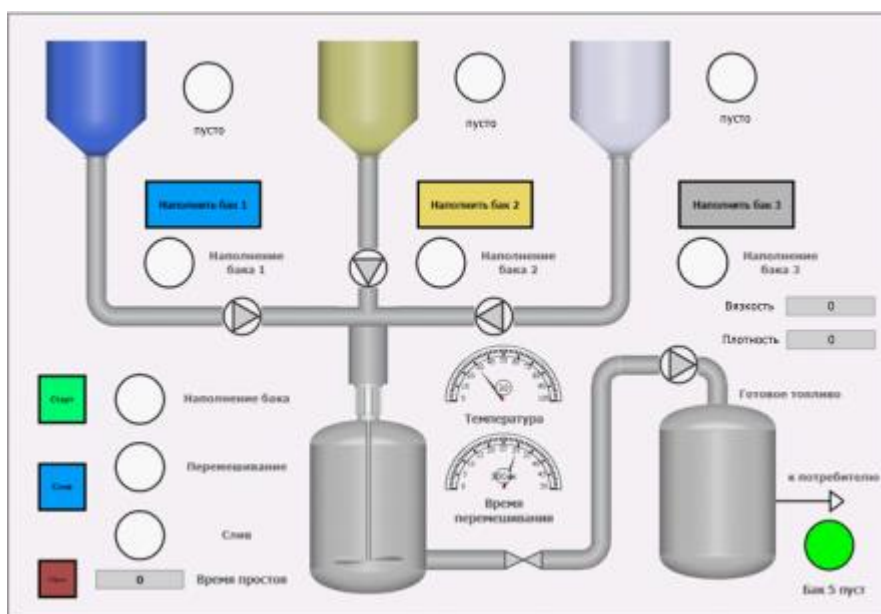


Рисунок 18 – Мнемосхема АСУ ТП приготовления многокомпонентного жидкого топлива

Управление процессом топливоприготовления осуществляется оператором. На щит оператора выведена сигнализация, отображающая этап процесса, а также сигнализирующая о выполнении какого-либо действия. Управление осуществляется путём нажатия кнопок. При нажатии на кнопку старт запускается алгоритм, который позволяет в определённых пропорциях заполнить емкость перемешивания 3 компонентами, а также включается

сигнализация процесса наполнения бака перемешивания. После того как бак заполнится, включается механизм перемешивания, работающий в двух режимах. Работа механизма перемешивания сопровождается соответствующей сигнализацией. 1 режим: если бак хранения пуст, то производится перемешивание в течение определённого промежутка времени и последующая перекачка готовой продукции в бак хранения. 2 режим: если бак хранения заполнен, перемешивающий механизм будет работать до тех пор, пока не освободится емкость хранения. И уже после этого будет осуществляться перекачка готового топлива. Опустошение бака хранения осуществляется путём нажатия кнопки слив. Процесс слива продукции из бака хранения сопровождается соответствующей сигнализацией. Баки с исходными компонентами имеют индикацию уровня, как и все баки, представленные на мнемосхеме. Данные емкости имеют сигнализацию опустошения. Если происходит опустошение одного из баков, загорается соответствующая лампа и вся технология останавливается. Наполнение баков с исходным веществом осуществляется путём нажатия соответствующей кнопки. Также в работе системы предусмотрена защита от случайного нажатия оператором на кнопки старта и слива, во время выполнения алгоритма заполнения.

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

Студенту:

Группа	ФИО
5БМ93	Ашихмину Александру Евгеньевичу

Школа	ИШЭ	Отделение школы (НОЦ)	НОЦ И.Н. Бутакова
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	13.04.01 «Теплоэнергетика и теплотехника»

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	1. Стоимость материальных ресурсов и специального оборудования; 2. Норматив заработной платы.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Коэффициенты для расчета заработной платы.
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Отчисления во внебюджетные фонды (30,2%).

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ	1. Анализ и оценка конкурентоспособности; 2. FAST-анализ; 3. SWOT – анализ.
2. Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок	1. Структура работ в рамках научного исследования; 2. Определение трудоемкости выполнения работ и разработка графика проведения научного исследования; 3. Расчет бюджета научно - технического исследования (НТИ).
3. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности	1. Определение интегрального финансового показателя разработки; 2. Определение интегрального показателя ресурсоэффективности разработки; 3. Определение интегрального показателя эффективности.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Анализ и оценка конкурентоспособности 2. Диаграмма FAST 3. Матрица SWOT 4. График проведения и бюджет НТИ 5. Бюджет затрат НТИ 6. Оценка ресурсной, финансовой и экономической готовности эффективности НТИ	
---	--

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	06.04.2021
--	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Киселева Елена Станиславовна	К.Э.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5БМ93	Ашихмин Александр Евгеньевич		

3 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Цель дипломной работы: разработка автоматической системы управления приготовлением многокомпонентного жидкого топлива.

Целью раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» является определение перспективности и успешности, разработанной АСУ ТП приготовления многокомпонентного жидкого топлива. Эта оценка является важным фактором для разработчиков, которые должны опираться на существующие перспективы проводимых научных исследований. Благодаря такой оценке инженер может найти партнера для качественного и быстрого проведения научного исследования, а также утверждения и коммерциализации результатов.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Определить потенциальных потребителей результатов исследования.
2. Провести анализ конкурентных технических решений.
3. Выполнить SWOT-анализ: описать сильные и слабые стороны проекта, выявить возможности и угрозы для реализации проекта.
4. Оценить степень готовности научной разработки к коммерциализации.
5. Построить календарный план-график проведения работ научно-исследовательского проекта.
6. Рассчитать бюджет научного исследования.
7. Определить ресурсную, финансовую, бюджетную, социальную и экономическую эффективности исследования.

3.1 Потенциальные потребители результатов исследования

В процессе написания магистерской диссертации были определены потенциальные потребители результатов исследования. К ним можно отнести энергетические компании, объекты добычи нефти и газа, организации

осуществляющие горячее водоснабжение, также любые другие объекты использующие традиционное топливо для выработки энергии. Для анализа потребителей необходимо рассмотреть целевой рынок и провести его сегментирование.

Целевой рынок – сегменты рынка, на котором будет продаваться в будущем разработка.

Сегмент рынка – группы потребителей, обладающих определенными общими признаками.

Сегментирование – разделение покупателей на однородные группы, для каждой из которых может потребоваться определенный товар (услуга).

В зависимости от категории потребителей необходимо использовать соответствующие критерии сегментирования. Для коммерческих организаций критериями сегментирования могут быть: месторасположение, отрасль, выпускаемая продукция, объем производства. В таблице 19 приведены эффекты от внедрения системы приготовления многокомпонентного жидкого топлива.

Таблица 19 – Карта сегментирования рынка по эффективности внедрения системы

Эффект от внедрения	Мощность установки		
	Большая	Средняя	Малая
Увеличение производительности	+	+	+
Сокращение затрат	+	+	-
Сокращение численности персонала	+	+	-
Снижение количества вредных выбросов	+	+	+
Целесообразность внедрения	+	+	-

4.2 Анализ конкурентных технических решений

Анализ конкурентных решений позволяет провести оценку сравнительной эффективности научной разработки и определить направления для ее будущего повышения.

Проведем данный анализ с помощью оценочной карты, которая приведена в таблице 4.2. Сравним разрабатываемую технологию по приготовлению многокомпонентного жидкого топлива (индекс «ф») с технологией приготовления каменного угля (индекс «к1») и с технологией приготовления мазута (индекс «к2»). В таблице 20 приведено сравнение различных технологий и разработки данного НИ с точки зрения технических и экономических критериев оценки эффективности.

Таблица 20 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентно-способность		
		Б _ф	Б _{к1}	Б _{к2}	К _ф	К _{к1}	К _{к2}
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Повышение производительности труда пользователя	0,12	4	3	3	0,48	0,36	0,36
2. Удобство в эксплуатации	0,05	4	4	3	0,2	0,2	0,15
3. Энергоэкономичность	0,1	4	3	4	0,4	0,3	0,4
4. Надежность	0,1	4	4	4	0,4	0,4	0,4
5. Уровень шума	0,03	3	4	4	0,09	0,12	0,12
6. Безопасность	0,1	5	4	4	0,5	0,4	0,4
7. Функциональная мощность	0,04	4	4	4	0,16	0,16	0,16
8. Качество интеллектуального интерфейса	0,03	4	3	2	0,12	0,09	0,06

Таблица 20 – Продолжение

Экономические критерии оценки эффективности							
1. Конкурентоспособность продукта	0,05	3	4	4	0,15	0,2	0,2
2. Уровень проникновения на рынок	0,03	0	4	4	0	0,12	0,12
3. Цена	0,1	3	4	4	0,3	0,4	0,4
4. Предполагаемый срок эксплуатации	0,1	4	4	3	0,4	0,4	0,3
5. Послепродажное обслуживание	0,1	4	4	4	0,4	0,4	0,4
6. Финансирование научной разработки	0,05	4	2	3	0,2	0,1	0,15
Итого	1	50	51	50	3,8	3,65	3,62

Позиция разработки и конкурентов оценивается по пятибалльной шкале. Веса показателей в сумме должны составлять 1.

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum B_i \cdot B_i, \quad (1)$$

где

B_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – балл i -го показателя.

Основным недостатком конкурентных систем является их узкая специализация. В то же время, элементы разрабатываемой системы могут стать частями существующих конкурентных систем и улучшить их. Это позволяет расширить рынок потребителей посредством появления конкурирующих производителей. Разрабатываемая система выполняется с использованием современных технических средств автоматизации, разработок человеко-машинного интерфейса и программного обеспечения. Широкие возможности внедрения предлагаемой системы делают ее более универсальной и применимой

в широком диапазоне сфер производства, чем существующие аналоги. Несмотря на большую цену, система имеет большую безопасность для рабочего персонала, экономичность и качество интеллектуального интерфейса. Расчетная производительность системы также оказалась выше конкурирующих.

3.2 FAST-анализ

FAST-анализ представляет собой метод базирующийся на том, что затраты связанные с созданием и использованием любого объекта, выполняющего заданные функции, состоят из необходимых для его изготовления и эксплуатации и дополнительных, функционально неоправданных, излишних затрат. FAST-анализ включает в себя 6 стадий, а именно:

- 1) выбор объекта FAST-анализа;
- 2) описание функций объекта (главной, основной и вспомогательной);
- 3) определение значимости выполняемых функций объектом;
- 4) анализ стоимости функций, выполняемых объектом исследования;
- 5) построение функционально-стоимостной диаграммы объекта и ее анализ;
- 6) оптимизация функций, выполняемых объектом.

3.2.1 Выбор объекта FAST-анализа

В качестве объекта FAST-анализа в данной работе выступает объект исследования – автоматическая система управления приготовлением многокомпонентного жидкого топлива. Внедрение такой системы позволяет минимизировать расходы топлива, повысить динамику процесса горения, снизить количество антропогенных выбросов и повысить полноту выгорания топлива, улучшить качество и удешевить процесс подготовки, распыления и сжигания топлива.

3.2.2 Описание функций объекта

В данном разделе проведен анализ объекта с позиции его функциональности. Определены главные, основные и вспомогательные функции. Главная функция объекта представляет собой внешнюю функцию, определяющую назначение, сущность и главную цель создания объекта в целом. Основные и вспомогательные функции отражают внутренние функции объекта. Классификация функций, выполняемых объектом исследования представлена в таблице 21.

Таблица 21 – Классификация функций, выполняемых объектом исследования

Наименование	Выполняемые функции	Ранг функции		
		Главная	Основная	Вспомогательная
Автоматическая система	Обеспечивает повышение эффективности управления объектом исследования	+		
Программные средства	Позволяет выполнять комплекс программ или отдельных задач		+	
Аппаратные средства	Режим автоматического управления		+	
Персонал	Режим ручного управления		+	
SCADA-системы	Обеспечивает визуализацию технологического процесса			+
Организационные мероприятия	Направлены на успешное внедрение системы и безопасное ведение технологического процесса			+

3.2.3 Определение значимости выполняемых функций объектом

Для оценки значимости функций воспользуемся методом расстановки приоритетов. В основе данного метода лежит расчетно-экспертное определение значимости каждой функции.

На первом этапе формируем матрицу смежности функций (таблица 22). Функции определены согласно классификации функций (таблица 21) в порядке упоминания.

Таблица 22 – Матрица смежности функций

	Функция 1	Функция 2	Функция 3	Функция 4	Функция 5	Функция 6
Функция 1	=	>	>	>	>	>
Функция 2	<	=	=	=	>	>
Функция 3	<	=	=	=	>	>
Функция 4	<	=	=	=	>	>
Функция 5	<	<	<	<	=	>
Функция 6	<	<	<	<	<	=

На втором этапе преобразуем матрицу смежности в матрицу количественных соотношений функций (таблица 23).

Таблица 23 – Матрица количественных соотношений функций

	Функция 1	Функция 2	Функция 3	Функция 4	Функция 5	Функция 6	Итого
Функция 1	1	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	8,5
Функция 2	0,5	1	1	1	1,5	1,5	6,5
Функция 3	0,5	1	1	1	1,5	1,5	6,5
Функция 4	0,5	1	1	1	1,5	1,5	6,5
Функция 5	0,5	0,5	0,5	0,5	1	1,5	4,5
Функция 6	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	1	3,5
Сумма							36

В рамках третьего этапа определена значимость функций путем деления балла, полученного по каждой функции на общую сумму баллов по всем функциям. Таким образом, для функции 1 относительная значимость равна $8,5/36 = 0,24$; для функции 2 – 0,18; для функции 3 – 0,18; для функции 4 – 0,18; для функции 5 – 0,13; для функции 6 – 0,09.

3.2.4 Анализ стоимости функций, выполняемых объектом исследования

Используя нормативный метод определен уровень затрат на выполнение каждой функции. Соответствующие расчеты функций приведены в таблице 24. Стоимость рассчитана с учетом средних затрат на выполнения функций 1-6.

Таблица 24 – Определение стоимости функций, выполняемых объектом

Наименование функции	Стоимость оборудования, руб	Заработная плата, руб	Себестоимость, руб
Функция 1	400 000	200 000	600 000
Функция 2	100 000	0	100 000
Функция 3	200 000	0	200 000
Функция 4	30 000	300 000	330 000
Функция 5	50 000	30 000	80 000
Функция 6	20 000	20 000	40 000

3.2.5 Построение функционально-стоимостной диаграммы объекта и ее анализ

В данном разделе, информация об объекте исследования обобщается в виде функционально-стоимостной диаграммы (рисунок 19). Построенная функционально-стоимостная диаграмма позволяет выявить диспропорции между важностью (полезностью) функций и затратами на них.

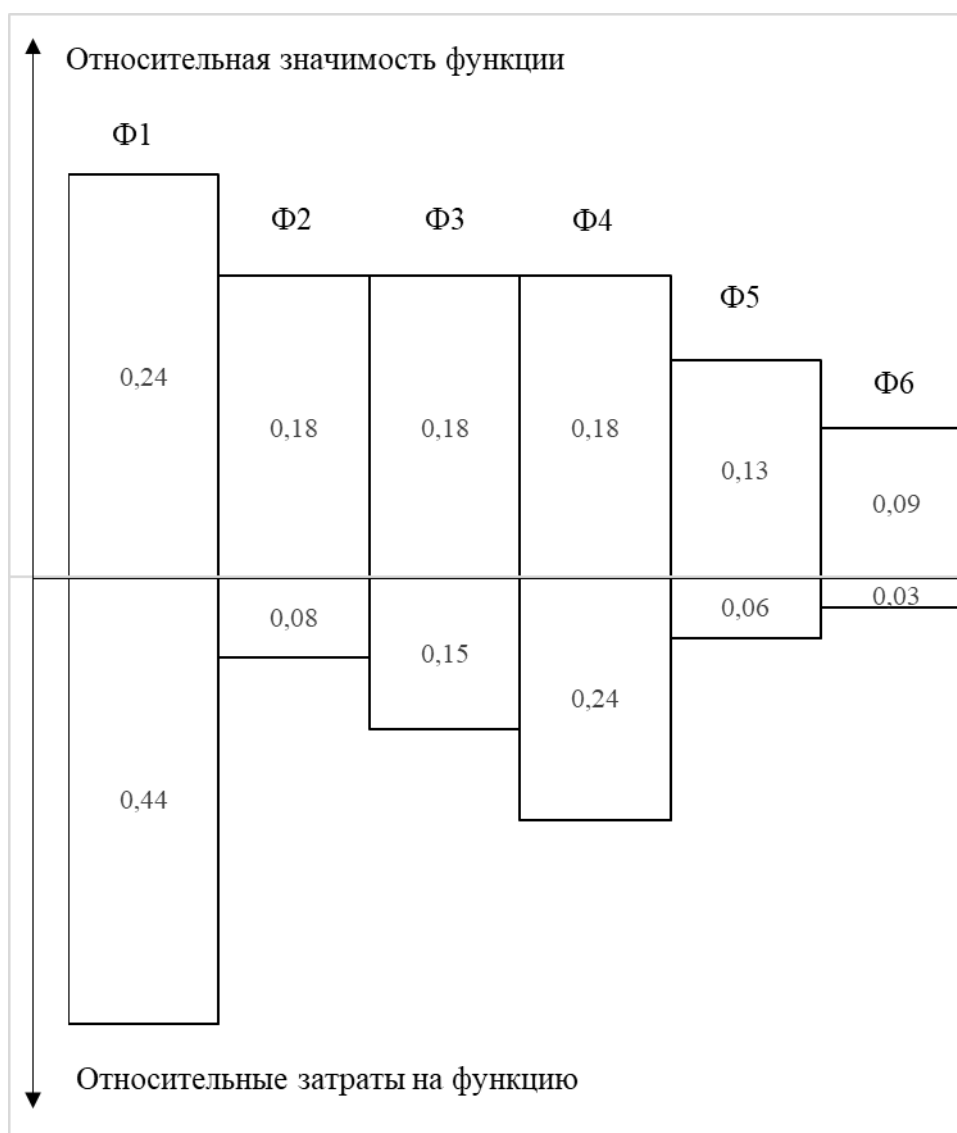


Рисунок 19 – Функционально-стоимостная диаграмма

Анализ приведенной выше функционально-стоимостной диаграммы показывает явное наличие диспропорции между значимостью и затратами на функцию 4. Отсюда следует необходимость ликвидировать данное рассогласование.

3.2.6 Оптимизация функций, выполняемых объектом

В качестве конкретных шагов по снижению диспропорции между относительной значимостью и относительными затратами на функцию 4 предлагается предпринять следующее: оптимизировать технические параметры и параметры надежности системы; применять современные методы разработки автоматических систем, а также улучшить взаимодействие персонала и

оборудования для получения более ресурсоэффективного и высокотехнологичного результата.

3.3 SWOT-анализ

SWOT-анализ представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта. Целью данного анализа является описание сильных и слабых сторон проекта, выявление возможностей и угроз для реализации проекта, которые проявились или могут появиться в его внешней среде. SWOT-анализ проводится в несколько этапов.

Приведем матрицу SWOT-анализа для портфеля ценных бумаг на основе котировок европейского рынка акций.

Таблица 25 – Матрица SWOT

	<p>Сильные стороны (С): С1. Надежная работа технологии. С2. Востребованность топлива. С3. Низкая стоимость производства. С4. Наличие финансирования. С5. Экологичность.</p>	<p>Слабые стороны (Сл): Сл1. Отсутствие прототипа научной разработки. Сл2. Отсутствие у потенциальных потребителей квалифицированных кадров по работе с научной разработкой.</p>
<p>Возможности (В): В1. Возможность долговременной эксплуатации технологии. В2. Обслуживание новых групп потребителей и товарных сегментов. В3. Появление спроса на разработанную технологию.</p>		

<p>В4. Обновление методик, работающих в данной области.</p> <p>В5. Повышение стоимости конкурентных разработок.</p>		
<p>Угрозы (У):</p> <p>У1. Отсутствие спроса на разработанную технологию.</p> <p>У2. Развитая конкуренция технологий производства.</p> <p>У3. Непригодность предприятия для реализации технологии.</p> <p>У4. Неблагоприятные изменения курсов валют или или торговой политики в других странах.</p> <p>У5. Несвоевременное финансовое обеспечение проекта.</p>		

Таблица 26 – Интерактивная матрица возможностей

Возможности проекта	Сильные стороны проекта					
	C1	C2	C3	C4	C5	
В1	+	+	+	0	+	
В2	+	+	+	+	+	
В3	+	-	+	-	+	
В4	+	+	+	0	+	
В5	-	-	+	0	+	

Таблица 26 – Продолжение

Угрозы	Сильные стороны проекта					
		C1	C2	C3	C4	C5
	У1	+	+	-	+	+
	У2	+	+	+	0	+
	У3	+	-	+	-	+
	У4	+	+	-	0	+
	У5	+	-	-	-	+
Возможности проекта	Слабые стороны проекта					
		Сл1			Сл2	
	В1	-			-	
	В2	-			-	
	В3	-			+	
	В4	-			+	
	В5	-			+	
Угрозы	Слабые стороны проекта					
		Сл1			Сл2	
	У1	-			+	
	У2	-			+	
	У3	+			-	
	У4	-			+	
	У5	-			+	

Таким образом, можно сделать вывод о том, что сильные стороны проекта коррелируют с возможностью оборудования предприятий данной технологией и возможным появлением спроса на разработанную систему.

Результаты анализа вносятся в итоговую матрицу SWOT-анализа (таблица 27).

Таблица 27 – Итоговая матрица SWOT-анализа

	Сильные стороны (С): С1. Надежная работа технологии. С2. Востребованность топлива. С3. Низкая стоимость производства. С4. Наличие финансирования. С5. Экологичность.	Слабые стороны (Сл): Сл1. Отсутствие прототипа научной разработки. Сл2. Отсутствие у потенциальных потребителей квалифицированных кадров по работе с научной разработкой.
Возможности (В): В1. Возможность долговременной эксплуатации технологии. В2. Обслуживание новых групп потребителей и товарных сегментов. В3. Появление спроса на разработанную технологию. В4. Обновление методик, работающих в данной области. В5. Повышение стоимости конкурентных разработок.	В1С1С2С3С5 В2С1С2С3С4С5 В3С1С3С5 В4С1С2С3С5 В5В3В5	 В3Сл2 В4Сл2 В5Сл2
Угрозы (У): У1. Отсутствие спроса на разработанную технологию. У2. Развитая конкуренция технологий производства. У3. Непригодность предприятия для реализации технологии.	У1С1С2С4С5 У2С1С2С3С5 У3С1С3С5 У4С1С2С5	У1Сл2 У2Сл2 У3Сл1 У4Сл2

<p>У4. Неблагоприятные изменения курсов валют или или торговой политики в других странах.</p> <p>У5. Несвоевременное финансовое обеспечение проекта.</p>	<p>У5С1С5</p>	<p>У5Сл2</p>
--	---------------	--------------

SWOT-анализ показал, что для реализации проекта наиболее благоприятными направлениями являются: возможность оборудования завода данной технологией и появление спроса на разработанную технологию у других предприятий. А главными угрозами для реализации проекта являются: неблагоприятные изменения курсов валют или торговой политики в других странах и отсутствие спроса на разработанную технологию.

По полученным результатам можно сделать вывод, что разрабатываемая технология является перспективным проектом, о чем свидетельствует большое количество сильных сторон и маловероятные угрозы.

3.4 Оценка готовности проекта к коммерциализации

Оценим степень готовности научной разработки к коммерциализации и выясним уровень собственных знаний для ее проведения. Для этого заполним специальную форму, содержащую показатели о степени проработанности проекта с позиции коммерциализации и компетенциям разработчика научного проекта. При проведении анализа по таблице, приведенной выше, по каждому показателю ставится оценка по пятибалльной шкале. При этом система измерения по каждому направлению (степень проработанности научного проекта, уровень имеющихся знаний у разработчика) отличается.

Таблица 28 – Бланк оценки степени готовности научного проекта к коммерциализации

№ п/п	Наименование	Степень проработанности научного проекта	Уровень имеющихся знаний у разработчика
1.	Определен имеющийся научно-технический задел	5	5
2.	Определены перспективные направления коммерциализации научно-технического задела	4	4
3.	Определены отрасли и технологии (товары, услуги) для предложения на рынке	4	4
4.	Определена товарная форма научно-технического задела для представления на рынок	4	3
5.	Определены авторы и осуществлена охрана их прав	5	5
6.	Проведена оценка стоимости интеллектуальной собственности	4	4
7.	Проведены маркетинговые исследования рынков сбыта	3	3
8.	Разработан бизнес-план коммерциализации научной разработки	3	3
9.	Определены пути продвижения научной разработки на рынок	3	3
10.	Разработана стратегия (форма) реализации научной разработки	3	3
11.	Проработаны вопросы международного сотрудничества и выхода на зарубежный рынок	4	4
12.	Проработаны вопросы использования услуг инфраструктуры поддержки, получения льгот	3	3
13.	Проработаны вопросы финансирования коммерциализации научной разработки	4	4
14.	Имеется команда для коммерциализации научной разработки	4	4
15.	Проработан механизм реализации научного проекта	5	5
	ИТОГО БАЛЛОВ	58	57

При оценке степени проработанности научного проекта 1 балл означает не проработанность проекта, 2 балла – слабую проработанность, 3 балла – выполнено, но в качестве не уверен, 4 балла – выполнено качественно, 5 баллов – имеется положительное заключение независимого эксперта. Для оценки уровня имеющихся знаний у разработчика система баллов принимает следующий вид: 1 означает не знаком или мало знаю, 2 – в объеме теоретических знаний, 3 – знаю теорию и практические примеры применения, 4 – знаю теорию и самостоятельно выполняю, 5 – знаю теорию, выполняю и могу консультировать.

Оценка готовности научного проекта к коммерциализации (или уровень имеющихся знаний у разработчика) определяется по формуле:

$$B_{\text{сум}} = \sum B_i \quad (2)$$

где

$B_{\text{сум}}$ – суммарное количество баллов по каждому направлению;

B_i – балл по i -му показателю.

Значение $B_{\text{сум}}$ позволяет говорить о мере готовности научной разработки и ее разработчика к коммерциализации. Так, если значение $B_{\text{сум}}$ получилось от 75 до 60, то такая разработка считается перспективной, а знания разработчика достаточными для успешной ее коммерциализации. Если от 59 до 45 – то перспективность выше среднего. Если от 44 до 30 – то перспективность средняя. Если от 29 до 15 – то перспективность ниже среднего. Если 14 и ниже – то перспективность крайне низкая.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что перспективность коммерциализации находится на высоком уровне. Этот уровень можно повысить путем более детального исследования коммерческой составляющей проекта, которая включает в себя анализ рынков сбыта, разработку бизнес-плана и стратегий коммерциализации.

3.5 Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования

Время продвижения товара на рынок во многом зависит от правильности выбора метода коммерциализации. Выделяют следующие методы коммерциализации научных разработок:

1. Торговля патентными лицензиями, т.е. передача третьим лицам права использования объектов интеллектуальной собственности на лицензионной основе.
2. Передача ноу-хау, т.е. предоставление владельцем ноу-хау возможности его использовать другим лицом, осуществляемое путем раскрытия ноу-хау.
3. Инжиниринг предполагает предоставление на основе договора инжиниринга одной стороной, именуемой консультантом, другой стороне, именуемой заказчиком, комплекса или отдельных видов инженерно-технических услуг.
4. Франчайзинг, т.е. передача или переуступка разрешения продавать чьи-либо товары или оказывать услуги в некоторых областях.
5. Организация собственного предприятия.
6. Передача интеллектуальной собственности в уставной капитал предприятия.
7. Организация совместного предприятия, т.е. объединение двух и более лиц для организации предприятия.
8. Организация совместных предприятий, работающих по схеме «российское производство – зарубежное распространение».

Таким образом, для данного научно-технического исследования наиболее предпочтительным является такой метод коммерциализации как инжиниринг. Благодаря этому методу можно будет использовать разработку в качестве технического решения для снижения затрат при генерации энергии связанных с топливным сегментом, а также уменьшить количество антропогенных выбросов.

3.6 Инициация проекта

Устав научного проекта магистерской работы должен иметь следующую структуру:

1. Цели и результат проекта.

Приведем информацию о заинтересованных сторонах проекта, иерархии целей проекта и критериях достижения целей.

Под заинтересованными сторонами проекта понимаются лица или организации, которые активно участвуют в проекте или интересы которых могут быть затронуты как положительно, так и отрицательно в ходе исполнения или в результате завершения проекта. Информацию по заинтересованным сторонам проекта представим в таблице 29.

Таблица 29 – Заинтересованные стороны проекта

Заинтересованные стороны проекта	Ожидания заинтересованных сторон
Заказчик проекта	Достижение желаемого результата, выполнение поставленных задач
Спонсор	Успешная реализация поставленных задач, публикации в известных изданиях
Руководитель проекта	Выполнение всех обязательств, успешная реализация проекта
Команда проекта	Получение опыта работы

Представим информацию об иерархии целей проекта и критерия достижения целей в таблице 30.

Таблица 30 – Цели и результаты проекта

Цели проекта:	Разработка технологии приготовления жидкого многокомпонентного топлива
Ожидаемые результаты проекта:	Автоматическая система приготовления жидкого многокомпонентного топлива
Критерии приемки результата проекта:	Разработанная система соответствует всем требованиям
Требования к результату проекта:	Требование:
	Выполнены все цели проекта.

	Система успешно функционирует как в автоматическом, так и в ручном режиме.
	Полученное топливо соответствует современным стандартам качества.
	Публикация статей по разработанной технологии.

2. Организационная структура проекта.

Определим участников рабочей группы данного проекта, роль каждого участника в данном проекте, а также функции, выполняемые каждым из участников и их трудозатраты в проекте. Представим эту информацию в таблице 31

Таблица 31 – Рабочая группа проекта

№ п/п	ФИО, основное место работы, должность	Роль в проекте	Функции	Трудозатраты, час.
1	Ашихмин А.Е., ТПУ, магистр	Исполнитель проекта	Проведение экспериментальных исследований, разработка конструкторской документации и защита проекта	492
2	Пискунов М.В., ТПУ, доцент	Руководитель проекта	Координация и проверка деятельности исполнителя	62
ИТОГО:				554

3. Ограничения и допущения проекта.

Ограничения проекта – все факторы, которые могут послужить ограничением степени свободы участников команды проекта, а также «границы проекта» – параметры проекта или его продукта, которые не будут реализованных в рамках данного проекта. Представим эту информацию в таблице 32.

Таблица 32 – Ограничения проекта

Фактор	Ограничения/ допущения
3.1. Бюджет проекта	Не более 2000000 руб
3.1.1. Источник финансирования	НИ ТПУ
3.2. Сроки проекта:	4 месяцев
3.2.1. Дата утверждения плана управления проектом	01.02.2021
3.2.2. Дата завершения проекта	31.05.2021

Таким образом, установлены цели и результаты проекта, рассмотрена организационная структура проекта, определены ограничения и допущения проекта.

3.7 Планирование управления научно-исследовательского проекта

Для выполнения работы формируется рабочая группа, в состав которой входит научный руководитель проекта (НР) и инженер (И). После чего, в рамках проведения научного исследования выполняется ряд основных этапов, представленных в Таблице 33.

Таблица 33 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение задания	И, НР
	2	Календарное планирование работ по теме	И, НР
	3	Обзор научной литературы	И
Выбор направления исследований	4	Выбор методов исследования	И
	5	Планирование эксперимента и подготовка материалов	И, НР
Теоретические и экспериментальные исследования	6	Проведение экспериментальных исследований	И
	7	Анализ результатов работы	И, НР
Обобщение и оценка результатов	8	Составление отчета по работе	И

В рамках планирования научного проекта необходимо построить календарный график проекта. Линейный график представлен в таблице 34.

Таблица 34 – Календарный план проекта

Код работы	Название	Длительность, дни	Дата начала работ	Дата окончания работ	Состав участников
1	Составление и утверждение задания магистерской диссертации	4	01.02.2021	04.02.2021	Ашихмин А.Е. Пискунов М.В.
2	Календарное планирование работ по теме	4	05.02.2021	09.02.2021	Ашихмин А.Е. Пискунов М.В.
3	Обзор научной литературы	7	10.02.2021	17.02.2021	Ашихмин А.Е.
4	Выбор методов исследования	8	18.01.2021	26.02.2021	Ашихмин А.Е.
5	Планирование эксперимента и подготовка материалов	7	27.02.2021	6.03.2021	Ашихмин А.Е. Пискунов М.В.
6	Проведение экспериментальных исследований	30	7.03.2021	06.04.2021	Ашихмин А.Е.
7	Анализ результатов работы	30	07.04.2021	07.05.2021	Ашихмин А.Е. Пискунов М.В.
8	Составление отчета по работе	23	08.05.2021	31.05.2021	Ашихмин А.Е.
ИТОГО:		113			

Диаграмма Гантта – тип столбчатых диаграмм (гистограмм), который используется для иллюстрации календарного плана проекта, на котором работы

по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

График строится в виде таблицы 35 с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней) за период времени выполнения научного проекта. При этом работы на графике следует выделить различной штриховкой в зависимости от исполнителей, ответственных за ту или иную работу.

Таблица 35 – Календарный план-график проведения работ

Код работы	Вид работ	Исполнители	T_{ki}	Продолжительность выполнения работ														
				январь			февраль			март			апрель			май		
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	Составление и утверждение задания магистерской диссертации	Руководитель, инженер	4	■														
2	Календарное планирование работ по теме	Инженер	4	■														
3	Обзор научной литературы	Инженер	7	■	■	■												
4	Выбор методов исследования	Инженер	8			■	■	■	■									
5	Планирование эксперимента и подготовка материалов	Руководитель, инженер	7				■	■	■									
6	Проведение экспериментальных исследований	Инженер	30							■	■	■	■	■	■			
7	Анализ результатов работы	Инженер	30										■	■	■	■	■	■
8	Составление отчета по работе	Инженер	23															■

■ – инженер, ■ – руководитель.

Таким образом, построен план управления научным проектом, определены виды работ, установлены даты начала и окончания работ и состав участников.

3.8 Бюджет научного исследования

При планировании бюджета НИИ должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением. В процессе формирования бюджета НИИ используется следующая группировка затрат по статьям:

- материальные затраты НИИ;
- основная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления).

Отразим стоимости всех материалов, используемых при разработке проекта, включая расходы на их приобретение и, при необходимости, на доставку.

Таблица 36 – Сырье, материалы, комплектующие изделия и покупные полуфабрикаты

Наименование	Единица измерения	Кол-во	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы, руб.
Бумага, формат А4	Пачка	1	295	295
Картридж для принтера	Шт	1	2650	2650
Модельный углеводород	Шт	6	2205	13230
Итого:				16175

Основная заработная плата ($Z_{осн}$) руководителя (инженера) от предприятия рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_p, \quad (3)$$

где

T_p – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн.;

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d}, \quad (4)$$

где

Z_m – месячный должностной оклад работника, руб.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года: 10,4;

F_d – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн.

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_m = Z_{\text{тс}} \cdot (1 + k_{\text{пр}}) \cdot k_p, \quad (5)$$

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

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

k_p – районный коэффициент, равный 1,3 (г. Томск).

Таблица 37 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней		
– выходные дни	52	52
– праздничные дни	14	14
Потери рабочего времени:		
– отпуск	48	48
– невыходы по болезни		
Действительный годовой фонд рабочего времени	251	251

Приведем расчет заработной платы для научного руководителя:

$$Z_M = 33300 \cdot (1 + 0,3) \cdot 1,3 = 56277 \text{ руб.}$$

$$Z_{\text{дн}} = \frac{56277 \cdot 10,4}{251} = 2331,8 \text{ руб.}$$

$$Z_{\text{осн}} = 2331,8 \cdot 32 = 18654,4 \text{ руб.}$$

Приведем расчет заработной платы для инженера:

$$Z_M = 14874,45 \cdot (1 + 0,3) \cdot 1,3 = 25137,82 \text{ руб.}$$

$$Z_{\text{дн}} = \frac{25137,82 \cdot 10,4}{251} = 1041,57 \text{ руб.}$$

$$Z_{\text{осн}} = 1041,57 \cdot 113 = 117697,41 \text{ руб.}$$

Расчет основной заработной платы приведем в таблице 38.

Таблица 38 – Расчет основной заработной платы

Исполнители	Оклад, руб.	$k_{\text{пр}}$	k_p	Z_M , руб	$Z_{\text{дн}}$, руб.	T_p , раб. дн.	$Z_{\text{осн}}$, руб.
Руководитель	33300	0,3	1,3	56277	2331,8	32	74617,6
Инженер	14874,45	0,3	1,3	25137,82	1041,57	113	117697,41
Итого:							192315,01

Отразим обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$C_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot Z_{\text{осн}}, \quad (6)$$

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

В соответствии с Федеральным законом от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30,2%.

Расчет отчислений во внебюджетные фонды приведем в таблице 39.

Таблица 39 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.
Руководитель	74617,6
Инженер	117697,41
Коэффициент отчислений	0,302
Итого:	58079,13

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции. Расчет бюджета научно-исследовательской работы приведен в таблице 40.

Таблица 40 – Расчет бюджета затрат НИИ

Наименование статьи	Сумма, руб.
Материальные затраты	16175
Основная заработная плата	192315,01
Отчисления во внебюджетные фонды	58079,13
Бюджет затрат:	266569,14

Таким образом, проведено планирование бюджета научного исследования, рассчитаны материальные затраты, основная заработная плата руководителя и инженера, отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления). Бюджет затрат составил 266569,14 рублей.

3.9 Определение ресурсной, финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

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

Интегральный финансовый показатель разработки:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}}, \quad (7)$$

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

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

Интегральный показатель ресурсоэффективности:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i, \quad (8)$$

где

a_i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки;

b_i – бальная оценка i -го варианта исполнения разработки.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности приведен в таблице 41.

Таблица 41 Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

ПО Критерии	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект	Аналог
1. Способствует росту производительности труда пользователя	0,10	5	3
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,15	5	4
3. Помехоустойчивость	0,20	4	4
4. Энергосбережение	0,20	4	4
5. Надежность	0,25	5	4
6. Материалоемкость	0,10	5	3
Итого:	1	28	22

$$I_{\text{ТП}} = 5 \cdot 0,1 + 5 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,2 + 5 \cdot 0,25 + 5 \cdot 0,1 = 4,6$$

$$I_{\text{аналог}} = 3 \cdot 0,1 + 4 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,25 + 3 \cdot 0,1 = 3,8$$

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

$$I_{\text{исп.}i} = \frac{I_{p-\text{исп.}i}}{I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i}} \quad (9)$$

Сравнительная эффективность проекта:

$$\mathcal{E}_{\text{ср}} = \frac{I_{\text{исп.}1}}{I_{\text{исп.}2}} \quad (10)$$

Таблица 42 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Разработка	Аналог
	Интегральный финансовый показатель разработки	1	1
	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,6	3,8
	Интегральный показатель эффективности	4,8	3,8
	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1,00	0,6

Сравнение значений интегральных показателей эффективности позволяет понять и выбрать более эффективный вариант решения поставленной в магистерской диссертации технической задачи с позиции финансовой и ресурсной эффективности.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что разрабатываемый проект является более эффективным вариантом решения поставленной задачи по сравнению с предложенным аналогом, основываясь на показателях эффективности.

Выводы по разделу Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

В рамках данного раздела были решены следующие задачи: составлен перечень работ и произведена оценка времени их выполнения; составлена смета

затрат на проект; составлена смета затрат на оборудование и монтажные работы для реализации проекта; определена ресурсоэффективность проекта.

Выполнена оценка конкурентных технических решений. В результате оценки выявлено что использование многокомпонентного эмульсионного топлива является более перспективным вариантом, чем использование традиционных видов топлива в энергетической промышленности.

Проведен FAST-анализ проекта, в результате которого выявлены значимые функции проекта, а также проведена оценка затрат на реализацию каждой функции.

Выявлены сильные и слабые стороны научно-исследовательского проекта, а также его возможности и вероятные угрозы при помощи SWOT-анализа. Определены наиболее эффективные стратегии развития и коммерциализации проекта. Для реализации проекта наиболее благоприятными направлениями являются: возможность оборудования производственного объекта данной технологией и появление спроса на разработанную технологию у других предприятий. А главными угрозами для реализации проекта являются: неблагоприятные изменения курсов валют или торговой политики в других странах и отсутствие спроса на разработанную технологию. Оптимальным методом коммерциализации проекта является инжиниринг. Благодаря этому методу можно будет использовать разработку в качестве технического решения для снижения затрат при генерации энергии связанных с топливным сегментом, а также уменьшить количество антропогенных выбросов.

Интегральный критерий ресурсоэффективности имеет высокий показатель (4,8 из 5), что говорит об эффективности использования проекта. Исследования выполнялись исполнителями: научным руководителем (32 дней) и инженером (113 дней). На исследование потрачено 266569,14 рублей. На основе всех результатов НИИ можно считать успешным.

Внедрение системы приготовления жидкого многокомпонентного топлива позволит минимизировать расходы топлива, повысить динамику процесса горения, поспособствует снижению антропогенных выбросов и т.д.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
5БМ93	Ашихмину Александру Евгеньевичу

Школа	Инженерная школа энергетики	Отделение (НОЦ)	И.Н. Бутакова
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	13.04.01 Теплоэнергетика и теплотехника

Тема ВКР:

АСУ ТП приготовления многокомпонентного жидкого топлива	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Объектом исследования является система смешивания и контроля качества многокомпонентного жидкого топлива. Область применения: энергетическая отрасль. Рабочая зона:
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: <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. 	<ul style="list-style-type: none"> – Трудовой Кодекс Российской Федерации» от 30.12. 2001 № 197-ФЗ. – ГОСТ 12.2.032-78 Рабочее место при выполнении работ сидя. – ГОСТ 21958-76 Система «Человек-машина». – ГОСТ 12.4.011-89 ССБТ Средства защиты работающих.
2. Производственная безопасность: 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия	Вредные факторы: - повышенная или пониженная температура воздуха рабочей зоны; - повышенный уровень шума; - -электромагнитное излучение; - воздействие химических веществ. Опасные факторы: - движущиеся машины и механизмы, подвижные части производственного оборудования; - поражение электрическим током; - тепловое воздействие.
3. Экологическая безопасность:	Гидросфера: утечка жидких компонентов топлива и нефтепродуктов в близлежащие водоемы.

	Литосфера: загрязнение почвы нефтепродуктами и хим. веществами.
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	Возможные ЧС: возникновение пожара, возгорание компонентов топлива, взрывы. Наиболее типичная ЧС – возникновение пожара.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	27.02.2021
---	-------------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Пашков Е.Н.	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5БМ93	Ашихмин Александр Евгеньевич		

4 Социальная ответственность

К вопросам социальной ответственности в данной работе относятся: правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности; производственная безопасность; экологическая безопасность; безопасность в чрезвычайных ситуациях.

Охраной труда называют систему сохранения здоровья и жизни работников в процессе трудовой деятельности, включающую в себя правовые, социально-экономические, организационно-технические, санитарно-гигиенические, лечебно-профилактические, реабилитационные и иные мероприятия. Главной задачей охраны труда является создание условий для безопасной трудовой деятельности человека, которые подразумевают исключение или минимизацию воздействия вредных факторов в процессе трудовой деятельности.

В данной работе спроектирована система подготовки многокомпонентного жидкого топлива. Предполагается использование системы на уже существующих объектах энергетической промышленности. Для обеспечения работоспособности системы необходим оператор, который будет отслеживать состояние контролируемых параметров. Также необходима бригада для обслуживания системы. Помещение, в котором будет находиться оператор, состоит из двух рабочих мест. Общая площадь помещения составляет не менее 150 квадратных метров. При выполнении работ на оператора могут воздействовать следующие вредные факторы: повышенная температура воздуха рабочей зоны; повышенная влажность; недостаточная освещенность рабочего места; повышенный уровень шума; электромагнитное излучение.

4.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

В основе правового законодательства Российской Федерации лежит Конституция РФ [51]. Согласно основному закону, законы и правовые акты,

принимаемые в РФ, не должны противоречить Конституции. Трудовой кодекс РФ [52] устанавливает права и обязанности работодателей и работников в отношении охраны труда. Принятые нормы в области охраны труда гласят: на первом месте жизнь и здоровье работника, а потом уже результат производственной, интеллектуальной или научной деятельности; единые нормативные требования по охране труда; защита интересов работников, пострадавших в результате несчастных случаев. Действующим нормативным документом по охране труда является ГОСТ 12.0.004-2015 [53].

Спецодежда, спецобувь и другие средства защиты должны соответствовать действующему стандарту ГОСТ 12.4.011-89 ССБТ [54].

5.1.1 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны

Основным объектом является рабочее место, представляющее собой в общем случае пространство, в котором может находиться человек при выполнении рабочих задач.

Согласно Трудовому кодексу РФ [52] каждый работник имеет право на рабочее место, защищенное от воздействия вредных или опасных производственных факторов; на возмещение вреда, причиненного увечьем, профессиональным заболеванием или иным повреждением здоровья, связанным с исполнением им трудовых обязанностей; на обучение безопасным методам и приемам труда за счет работодателя и т.д.

Рабочее место оператора и обслуживающего персонала должно соответствовать нормативному документу ГОСТ 12.2.032-78 [55], а расположение рабочего места согласно ГОСТ 21958-76 [56].

Согласно приведенным выше нормативным документам, при компоновке рабочего места необходимо учитывать: проход вокруг рабочего стола должен составлять не менее 500-550 мм; расположение экрана монитора должно быть от глаз пользователя на расстоянии примерно равным 600-700 мм, но не ближе чем

500 м; окраска корпуса ПК должна быть выполнена в спокойных нейтральных тонах; корпус ПК, клавиатура и другие блоки ПК должны обладать матовой поверхностью и не иметь блестящих деталей, которые могут создавать блики и мешать работе персонала; конструкция рабочего стола должна обладать удобной рабочей поверхностью и необходимым количеством места для монтажа оборудования; все электрооборудование необходимо размещать на оптимальном расстоянии от мест, в которых возможен прямой контакт оборудования с водой (раковины, открытые емкости с водой).

4.2 Профессиональная социальная безопасность

Профессиональная социальная безопасность – система организационных мероприятий и технических средств, предотвращающих или уменьшающих вероятность воздействия на работающих опасных травмирующих факторов, возникающих в рабочей зоне в процессе трудовой деятельности.

К работе на объекте приготовления многокомпонентного топлива с использованием горючих компонентов допускаются лица, прошедшие обучение правилам техники безопасности.

4.2.1 Анализ вредных и опасных факторов

Анализ опасных и вредных производственных факторов проводится как с точки зрения реального технологического процесса, так и экспериментальное рассмотрение работы в учебной аудитории с использованием компьютера. На производстве предполагается работа оператора, который находится в помещении за компьютером, удаленно на небольшом расстоянии от объекта.

Для идентификации потенциальных факторов необходимо использовать ГОСТ 12.0.003-2015 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация». Перечень опасных и вредных факторов, характерных для проектируемой производственной среды представлен в таблице 43.

Таблица 43 – Перечень вредных и опасных факторов

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разрабо тка	Изготов ление	Эксплуа тация	
1. Воздействие топлива на организм человека			+	<p>Углеводороды ароматические моноциклические – ГОСТ Р 56343-2015 [57].</p> <p>Пожарная безопасность. Общие требования – ГОСТ 12.1.004-91, ППР 12 [58]</p> <p>Требование к микроклимату в помещении – ГОСТ Р 56638-2015 [59].</p> <p>Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. – ГОСТ 12.1.038-82 [60].</p> <p>Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны. – ГОСТ 12.1.005-88 [61].</p> <p>ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности [62].</p> <p>Требования к освещению устанавливаются СП 52.13330.2016 [63]</p> <p>ГОСТ 12.1.005-88 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны [64]</p>
2. Опасность возникновения пожара	+	+	+	
3. Повышенная температура и загазованность в помещении	+		+	
4. Тепловое воздействие	+		+	
5. Поражение электрическим током	+	+	+	
6. Превышение уровня шума		+	+	
7. Недостаточная освещенность рабочей зоны		+	+	
8. Вещества обладающие свойствами химического воздействия на организм человека			+	

По результатам таблицы 43 проведен более подробный анализ выделенных восьми возможных вредных и опасных факторов с обоснованием мероприятий по защите исследователя от действия опасных и вредных факторов.

Воздействие топлива на организм человека

Проведение экспериментальных исследований подразумевает работу с легковоспламеняющимися веществами, в частности модельные углеводороды и технические масла. Классификация и состав углеводородов приведен в ГОСТ Р 56343-2015.

Н-декан является компонентом бензиновых и легких керосиновых фракций, при длительном и частом воздействии на кожный покров может привести к кожным заболеваниям. Попадая через кожный покров в организм человека н-декан способен вызывать отравления. Пары нефтепродуктов также оказывают на человека раздражающее и наркотическое действие. При больших концентрациях паров возможны потери сознания, а также нарушения сердечной деятельности.

Возникновение пожаров

Используемые в ходе проведения экспериментов жидкости являются легко воспламеняемыми. Пары н-декана под действием источника зажигания способны вспыхивать при температуре выше 46 °С, поэтому при проведении экспериментов в обязательном порядке следует соблюдать правила пожарной безопасности (ППР 12), нормы противопожарной безопасности регламентируются в соответствии с ГОСТ 12.1.004-91.

Микроклимат

Находясь на рабочем месте в производственном помещении человек подвержен влиянию определённых метеоусловий, или микроклимату рабочих помещений. Окружающая среда влияет на тепловое состояние организма. Основными параметрами производственного микроклимата являются действующими на организм человека температура влажность и скорость движения воздуха, а также температура окружающих поверхностей.

Работа на ПК в офисном помещении относится к классу легких работ с энергозатратами 150 ккал/час. Для поддержания соответствующих

микроклиматических параметров на рабочем месте используются системы вентиляции и отопления. Согласно СанПиН 2.2.4.548-96 оптимальные параметры микроклимата должны соответствовать данным таблицы 44.

Таблица 44 – Оптимальные параметры микроклимата на рабочем месте

Период года	Температура, °С	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодное	21-23	60-40	< 0,1
Теплое	22-24	60-40	< 0,1

В таблице 45 приведены допустимые величины показателей микроклимата на рабочих местах.

Таблица 45 – Допустимые величины показателей микроклимата на рабочих местах

Период года	Категория работ по уровню энергозатрат, Вт	Температура воздуха, °С		Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с	
		ниже оптимальных величин	выше оптимальных величин		ниже оптимальных величин, не более	выше оптимальных величин, не более**
Холодный	Іб (140 – 174)	19,0 – 20,9	23,1 – 24,0	15 - 75	0,1	0,2
Теплый	Іб (140 – 174)	20,0 – 21,9	24,1 – 28,0	15 - 75 *	0,1	0,3

* При температурах воздуха 25° С и выше максимальные величины относительной влажности воздуха должны приниматься в соответствии со специальными требованиями

** При температурах воздуха 26 - 28° С скорость движения воздуха в теплый период года должна приниматься в соответствии со специальными требованиями

Поражение электрическим током

В помещении с большим количеством аппаратуры, использующей однофазный электрический ток, промышленной частоты напряжением 220 В, есть вероятность электропоражения.

Во время нормального режима работы оборудования опасность электропоражения крайне мала, однако, возможны аварийные режимы работы, когда происходит случайное электрическое соединение частей оборудования, находящегося под напряжением с заземленными конструкциями.

Поражение человека электрическим током может произойти в следующих случаях:

- при прикосновении к токоведущим частям во время ремонта электрооборудования;
- при однофазном (однополюсном) прикосновении незаземленного от земли человека к незаземленным токоведущим частям электроустановок, находящихся под напряжением;
- при прикосновении к нетоковедущим частям, находящимся под напряжением, то есть в случае нарушения изоляции;
- при соприкосновении с полом и стенами, оказавшимися под напряжением.

Основными мероприятиями по обеспечению электробезопасности являются:

- изолирование (ограждение) токоведущих частей, исключающее возможность случайного прикосновения к ним;
- установки защитного заземления;
- наличие общего рубильника;
- своевременный осмотр технического оборудования, изоляции.

Тепловое воздействие

Во время работы с криостатом некоторые части оборудования сильно нагреваются (задняя крышка криостата, насосный отсек). Неосторожное

обращение с нагретым оборудованием может привести к ожогам. Согласно ГОСТ Р 30331.4-95:

- запрещается прикасаться к нагретым частям оборудования во время его работы (или после завершения работы при остывании криостата);
- требуется соблюдать осторожность при работе с исследуемыми нагретыми образцами;
- запрещается выполнять работы по обслуживанию и чистке оборудования только при включенном в сеть питания оборудовании и нагретых частях;
- рекомендуется использовать специальные зажимы при работе с образцами для защиты рук от ожогов.

Превышение уровня шума

Одним из методов уменьшения воздействия шума является снижение или ослабление шума в его источниках – генераторы, электрические машины, вентиляторы, двигатели. Ненормальный повышенный шум, создаваемый электрическими машинами и двигателями, часто бывает по причине неплотных соединений элементов. Своевременное устранение этих причин позволяет снизить уровень шума.

В качестве индивидуальных средств защиты от шума используют специальные наушники, вкладыши в ушную раковину, противозумные каски, защитное действие которых основано на изоляции и поглощения шума.

Также при наличии шума необходимо использовать материалы, имеющие хорошие звукопоглощающие свойства (применять звукоизоляцию). Стены могут быть покрыты звукопоглощающим материалом. В таблице 46 приведены допустимые уровни шума (ГОСТ 12.1.003-2014).

Таблица 46 – Допустимые уровни шума

Рабочие места	Уровни звукового давления (ДБ) в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц								Уровни звука и эквивалентные уровни звука, по дБА
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
ОРУ	99	92	86	83	80	78	76	74	85

Недостаточная освещенность рабочей зоны

Рациональное освещение имеет большое значение в процессе эксплуатации смешивающей установки. Освещение должно быть таким, чтобы работающий персонал мог без напряжения зрения выполнять свою работу. Неудовлетворительное освещение может исказить информацию, а также утомляет зрение и вызывает утомление всего организма в целом. Применяют два вида освещения: естественное и искусственное. При недостаточном естественном освещении помещения необходимо использовать искусственные источники света.

Для искусственного освещения применяют электрические люминесцентные лампы. Для участков, где требуемая освещенность, превышает 3 лк (СП 52.13330.2016) необходимо предусмотреть общее локализованное освещение. Это выключатели, генераторы, указатели масла и т.д. Общее локализованное освещение следует осуществлять осветительными приборами, устанавливаемыми на порталах, конструкциях и мачтах равномерного освещения. В качестве осветительных приборов применяют газоразрядные лампы. В таблице 47 приведены нормы освещенности участков помещения с агрегатом системы приготовления топлива.

Таблица 47 – Нормы освещенности открытых участков

Освещаемые объекты	Средняя освещенность E_{cp} , лк, не менее
Операторская, серверная, лаборатории органической и неорганической химии, радиоизмерительное помещение	400

Вещества, обладающие свойствами химического воздействия на организм человека

В состав многокомпонентного топлива входят поверхностно активные вещества, а также различные углеводороды. Опасными факторами при работе смешивающей установки является наличие паров компонентов топлива в помещении. Для уменьшения количества концентрации паров проводят следующие профилактические мероприятия: установка очистительного оборудования для фильтрации воздуха в помещении, герметизация технологических отверстий. Также в помещении устанавливается вытяжная система.

Помещение оборудовано приточно-вытяжной вентиляцией с нижним и верхним отсосом, обеспечивающей равномерный приток свежего воздуха и удаление загрязненного. Приточно-вытяжная вентиляция в помещении работает постоянно.

Расчет потребного воздухообмена

Производственное оборудование и аппаратура, работающая под давлением, зачастую, не является полностью герметичной. Герметичность оборудования уменьшается по мере ее эксплуатации. Будем считать, что просачивание газов и паров через неплотности и зазоры подчиняется тем же

законам, что и истечения через небольшие отверстия, и, предположим, что истечение происходит адиабатически, тогда количество газов и паров, просачивающихся через неплотные соединения, можно рассчитать по выражению:

$$G = kcv\sqrt{\frac{M}{T}}, \text{ кг / ч}$$

где k – коэффициент, учитывающий повышение утечки от износа оборудования ($k=1-2$); c – коэффициент, учитывающий влияние давления газа в аппарате; v – внутренний объем аппаратуры и трубопроводов, находящихся под давлением, м³; M – молекулярный вес газов, находящихся в аппаратуре; T – абсолютная температура газов в аппаратуре, К.

Потребный воздухообмен вычисляется по выражению:

$$L = \frac{1000G}{x_n - x_e}, \text{ м}^3 / \text{ч},$$

где L , м³/ч – потребный воздухообмен; G , г/ч – количество вредных веществ, выделяющихся в воздух помещения; x_e , мг/м³ – предельно допустимая концентрация вредности в воздухе рабочей зоны помещения, согласно ГОСТ 12.1.005-88 [61]; x_n , мг/м³ – максимально возможная концентрация той же вредности в воздухе населенных мест (ГН 2.1.6.1338-03)[64].

В таблице 48 приведены значения коэффициента c для различных давлений газа в оборудовании.

Таблица 48 – Значения коэффициента, учитывающего влияние давления газа в аппарате

Давление p , атм	До 2	2	7	17	41	161
c	0,121	0,166	0,182	0,189	0,25	0,29

В системе приготовления топлива рабочее давление в аппаратуре 1 атм, а в проводящих трубопроводах 2 атм. Внутренний объем аппаратуры составляет 100 м³, трубопроводов 12 м³. Температура газов в аппаратуре 30 °С, в трубопроводе 40 °С.

Определим величины утечек газа из аппаратуры и трубопроводов. Принимаем $k=1,5$; $c=0,166$ (по таблице 5.6); $M=142,2817$, для C₁₀H₂₂; Утечка газа из аппаратуры составляет:

$$G_a = 1,5 \cdot 0,121 \cdot 100 \cdot \sqrt{\frac{142,2817}{303,15}} = 12,434 \text{ кг / ч.}$$

Утечка газа из трубопроводов составляет:

$$G_{mp} = 1,5 \cdot 0,166 \cdot 12 \cdot \sqrt{\frac{142,2817}{313,15}} = 2,014 \text{ кг / ч,}$$

$$G = G_a + G_{mp} = 2,014 + 12,434 = 14,448 \text{ кг / ч.}$$

Используя данные из таблиц [64], находим что для декана $x_b=100$ мг/м³; $x_n=5$ мг/м³. Потребный воздухообмен равен:

$$L = \frac{1000 \cdot 14,448}{100 - 5} = 152,084 \text{ м}^3 / \text{ч}$$

4.3 Экологическая безопасность

Загрязнение (окружающей среды, природной среды, биосферы) – это привнесение в окружающую среду (природную среду, биосферу) или возникновение в ней новых, обычно не характерных физических, химических или биологических агентов (загрязнителей), или превышение их естественного среднесуточного уровня в различных средах, приводящее к негативным воздействиям.

4.3.1 Анализ влияния объекта на окружающую среду

В процессе хранения углеводородного топлива в открытых емкостях может происходить испарение. Пары нефтепродуктов, как известно, могут содержать значительное количество вредных веществ, таких как оксиды серы и азота. Смешиваясь с воздухом вредные вещества могут нанести серьезный ущерб жизни и здоровью человеческого организма, а также может отразиться на состоянии окружающей среды. Поэтому хранение углеводородного топлива необходимо производить в герметичном закрытом баке.

Дистиллированная вода и смесь поверхностно активных веществ не настолько губительны для окружающей среды и организма человека, но в целях безопасности и экономии компонентов хранение необходимо производить в герметичных закрытых баках.

4.3.2 Обоснование мероприятий по защите окружающей среды

Для уменьшения воздействия паров углеводородного топлива и смеси поверхностно активных веществ, выделяющихся при длительном хранении необходимо принять ряд мер по изоляции и герметизации емкостей хранения, а также узлов, производящих перекачку и слив как компонентов в отдельности, так и уже готового эмульсионного топлива. В качестве емкостей хранения необходимо выбирать закрытые баки и уплотнителями на крышках и местах стыка трубопровода, а в помещениях устанавливать вытяжную систему. Также рекомендуется произвести дополнительные меры по герметизации емкостей и узлов транспортировки.

4.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Чрезвычайная ситуация — это обстановка на определенной территории, сложившаяся в результате аварии, опасного природного явления, катастрофы, стихийного или иного бедствия, которая может повлечь или повлекла за собой человеческие смерти, а также ущерб здоровью людей или окружающей среде,

значительные материальные потери и нарушение условий жизнедеятельности людей.

4.4.1 Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований

В лаборатории и на производстве наибольшую опасность представляет возникновение возгорания. Поскольку топливо необходимо хранить, для дальнейшего сжигания, то существует вероятность воспламенения.

При эксплуатации необходимо контролировать состояние емкостей с горючим путем внешнего осмотра и измерения температуры в них. Признаками самовозгорания являются повышение температуры, появление характерного запаха.

Самой распространенной причиной возникновения пожара является нарушение противопожарных правил. Поэтому персонал должен знать и соблюдать правила пожарной безопасности.

4.4.2 Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть в лаборатории при проведении исследований

Особое внимание стоит уделить пожаробезопасности и электробезопасности. При функционировании криостата существуют риски возникновения опасных ситуаций, как и при работе любого высокомоощного электрического прибора. Так как установка работает в режиме нагрев/охлаждение, одним из таких рисков является перегрев оборудования выше температуры, рассчитанной для его стабильной работы, что может привести к воспламенению экспериментального стенда, а вследствие и лаборатории. Для предотвращения появления такой ситуации необходимо тщательно следить за изменением температуры в насосном отсеке и следить за правильностью подключения к электрической сети. Также, причиной возникновения чрезвычайных ситуаций, связанных с возгоранием помещения,

может послужить короткое замыкание в проводке экспериментального стенда. Поэтому, для предотвращения возгорания помещение должно быть оборудовано средствами пожаротушения (огнетушителями, ящиком с песком, стендом с противопожарным инвентарем), средствами связи.

4.4.3 Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действий в случае возникновения ЧС

В качестве мероприятий по предотвращению ЧС были проведены следующие противопожарные мероприятия: помещение было оборудовано: средствами тушения пожара (огнетушителями, ящиком с песком, стендом с противопожарным инвентарем); средствами связи; проверена исправность электрической проводки осветительных приборов и электрооборудования; персонал знает место нахождения средств пожаротушения и средств связи; помнит номера телефонов для сообщения о пожаре; умеет пользоваться средствами пожаротушения.

В случае невозможности самостоятельного устранения очага возгорания необходимо вызвать пожарную команду, после чего поставить в известность о случившемся инженера по техники безопасности.

Для тушения пожаров в помещении с компьютерами необходимо применять углекислотные и порошковые огнетушители, которые обладают высокой скоростью тушения, большим временем действия, возможностью тушения электроустановок, высокой эффективностью борьбы с огнем. В лаборатории, в которой выполнялась работа, имеется пенный и углекислотный огнетушитель.

Выводы по разделу Социальная ответственность

В заключение всего вышеперечисленного хочется отметить основную задачу, поставленную данным разделом, – формирование у индивида

социальной ответственности перед другими людьми и окружающей его средой обитания, а также необходимости выполнения всех возможных мероприятий, ведущих к улучшению условий окружающего мира. В результате разработки данного раздела были выполнены следующие задачи:

- рассмотрены специальные правовые нормы трудового законодательства и перечислены организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны;

- выявлены и описаны вредные и опасные факторы, которые могут оказывать воздействие на организм человека;

- проанализировано воздействие процесса формирования топлива на окружающую среду, а также представлены рекомендации по защите окружающей среды;

- проанализированы возможные ЧС, а также описаны меры по их предупреждению и оповещению, а также приведены требования по поведению персонала при ЧС.

Заключение

В рамках магистерской диссертации разработана автоматизированная система приготовления многокомпонентного жидкого топлива на основе современных технических средств автоматизации.

В ходе научных исследований установлено влияние характеристик эмульсионных топлив на динамику растекания их капель при взаимодействии с твердой поверхностью. Изучены свойства всех исследуемых образцов. Оценена стабильность эмульсий, а также рассчитана минимальная концентрация эмульгатора, необходимая для стабилизации состава эмульсии. На основе проведенных исследований приведены рекомендации к разработке и эксплуатации системы. Также проведенные фундаментальные исследования позволяют расширить базу знаний о неоднородных капельных жидкостях.

Спроектированная система является трехуровневой. Первый или полевой уровень включает в себя датчики измерения температуры, уровня, а также запорную арматуру и исполнительные механизмы с указателем положения. Средний уровень занимает регулирующее устройство, реализованное в качестве программируемого логического контроллера. А также имеется возможность управления процессом дистанционно с верхнего уровня системы управления посредством АРМ-оператора с установленной SCADA-системой.

Также разработан комплект проектной и конструкторской документации: структурная схема, функциональная схема, заказная спецификация, схема монтажная схема, принципиальная электрическая, перечень элементов, общий вид щита управления.

При эксплуатации реальных объектов, работающих на многокомпонентных топливах, важно контролировать состояние топлива. Экспериментально определены температурные диапазоны стабильности топливных композиций в зависимости от концентрации ПАВ. Для эффективно

использования эмульсионного топлива необходимо соблюдать температурные условия таким образом, чтобы температура эмульсии соответствовала диапазону устойчивого состояния.

Проведена оценка экономической эффективности проекта при его внедрении на практике.

Рассмотрено влияние вредных факторов на организм человека и окружающую среду в процессе работы технологического оборудования. Разработаны инструкции и мероприятия по устранению и минимизации влияния негативных факторов производства.

Пояснительная записка к проекту содержит подробное описание основного оборудования, приборов и технических средств автоматизации, а также мнемосхема и алгоритмы управления. При выборе приборов руководствовались каталогами и сайтами производителей.

Список публикаций

1. Ashikhmin A. E. , Khomutov N. A. , Piskunov M. V. , Strizhak P. A. , Yanovsky V. A. Synergistic effect of the fuel microemulsion characteristics on drop interaction with a hot wall // *Energy and Fuels*. - 2021 - Vol. 35 - №. 9. - p. 8042-8050.
2. Ashikhmin A. E. , Piskunov M. V. , Yanovsky V. A. , Yan W. M. Properties and Phase Behavior of Water-in-Diesel Microemulsion Fuels Stabilized by Nonionic Surfactants in Combination with Aliphatic Alcohol // *Energy and Fuels*. - 2020 - Vol. 34 - №. 2. - p. 2135-2142.
3. Ashikhmin A. E. , Khomutov N. A. , Piskunov M. V. , Yanovsky V. A. Secondary Atomization of a Biodiesel Micro-Emulsion Fuel Droplet Colliding with a Heated Wall // *Applied Sciences*. - 2020 - Vol. 10, Article number 685. - p. 1-21.
4. Ashikhmin A. E. , Piskunov M. V. , Royzman I. -. , Yanovsky V. A. Thermal stability control of the water-in-diesel microemulsion fuel produced by using a nonionic surfactant combined with aliphatic alcohols // *Journal of Dispersion Science and Technology*. - 2020 - Vol. 41 - №. 5. - p. 771-779.
5. Ashikhmin A. E. , Piskunov M. V. , Yanovsky V. A. Hydrodynamic Regimes of Interaction between a Droplet of Water-in-Diesel Microemulsion and a Horizontal Heated Wall // *Technical Physics Letters*. - 2019 - Vol. 45 - №. 6. - p. 544-548.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Kadota T, Yamasaki H. Recent advances in the combustion of water fuel emulsion. *Prog Energy Combust Sci* 2002; 28:385–404.
2. Debnath BK, Saha UK, Sahoo N. A comprehensive review on the application of emulsions as an alternative fuel for diesel engines. *Renew Sustain Energy Rev* 2015; 42:196–211.
3. Lif A, Holmberg K. Water-in-diesel emulsions and related systems. *Adv Colloid Interface Sci* 2006;126:231–239.
4. Lijian Leng, Xingzhong Yuan, Guangming Zeng, Hou Wang. The comparison of oxidative thermokinetics between emulsion and microemulsion diesel fuel. *Adv Energy Conversion and Management* 2015; 101; 364–370
5. Lin YC, Lee WJ, Chao HR, Wang SL, Tsou TC, Chang Chien GP, et al. Approach for energy saving and pollution reducing by fueling diesel engines with emulsified biosolution/biodiesel/diesel blends. *Environ Sci Technol* 2008; 42:3849–55
6. A. Lif, K. Holmberg, Water-in-diesel emulsions and related systems, *Adv. Colloid Interface Sci.* 2006; 123: 231–239.
7. R. Ochoterena, A. Lif, M. Nydén, S. Andersson, I. Denbratt, Optical studies of spray development and combustion of water-in-diesel emulsion and microemulsion fuels, *Fuel* 2010; 89: 122–132.
8. Debnath BK, Saha UK, Sahoo N. A comprehensive review on the application of emulsions as an alternative fuel for diesel engines. *Renew Sust Energ Rev* 2015; 42:196 – 211.
9. Lin Ch-Y, Lin Sh-A. Effects of emulsification variables on fuel properties of two- and three - phase biodiesel emulsions. *Fuel* 2007; 86:210 – 7.
10. Lim WH. Phase diagram, viscosity and conductivity of α - sulfonate methyl ester derived from palm stearin/1-butanol/alkane/water systems. *J Surfactants Deterg* 2006; 9:349 – 355.

- 11.P. Sherman Emulsion since, Academic Press, 1972.
- 12.Leng L, Yuan X, Zeng G, Wang H, Huang H, Chen X. The comparison of oxidative thermokinetics between emulsion and microemulsion diesel fuel. *Energy Convers Manag* 2015;101.
- 13.Roisman I.V., Breitenbach J., Tropea C. *J. Fluid Mech.* 2018; 842: 87–101;
- 14.A. L. Yarin, “Drop impact dynamics: Splashing, spreading, receding, bouncing..” *Annual Review of Fluid Mechanics* 38, 159–192 (2006).
- 15.C. Josserand and S. T. Thoroddsen, “Drop Impact on a Solid Surface,” *Annual Review of Fluid Mechanics* 48, 365–391 (2016).
- 16.F. M. Tenzer, I. V. Roisman, and C. Tropea, “Fast transient spray cooling of a hot thick target,” *Journal of Fluid Mechanics* 881, 84–103 (2019).
- 17.A. L. N. Moreira, A. S. Moita, and M. R. Panão, “Advances and challenges in explaining fuel spray impingement: How much of single droplet impact research is useful?” *Progress in Energy and Combustion Science* 36, 554– 580 (2010).
- 18.C. W. Visser, T. Kamperman, L. P. Karbaat, D. Lohse, and M. Karperien, “In-air microfluidics enables rapid fabrication of emulsions, suspensions, and 3D modular (bio)materials,” *Science Advances* 4 (2018).
- 19.M. Pasandideh-Fard, V. Pershin, S. Chandra, and J. Mostaghimi, “Splat shapes in a thermal spray coating process: Simulations and experiments,” *Journal of Thermal Spray Technology* 11, 206–217 (2002).
- 20.C. Vernay, L. Ramos, J.-P. Douzals, R. Goyal, J.-C. Castaing, and C. Liguore, “Drop impact experiment as a model experiment to investigate the role of oil-in-water emulsions in controlling the drop size distribution of an agricultural spray,” *Atomization and Sprays* 26, 827–851 (2016).
- 21.C. Antonini, M. Innocenti, T. Horn, M. Marengo, and A. Amirfazli, “Understanding the effect of superhydrophobic coatings on energy reduction in anti-icing systems,” *Cold Regions Science and Technology* 67, 58–67 (2011).

- 22.B. Prunet-Foch, F. Legay, M. Vignes-Adler, and C. Delmotte, "Impacting Emulsion Drop on a Steel Plate: Influence of the Solid Substrate," *Journal of Colloid and Interface Science* 199, 151–168 (1998).
- 23.D. B. van Dam and C. Le Clerc, "Experimental study of the impact of an ink-jet printed droplet on a solid substrate," *Physics of Fluids* 16, 3403– 3414 (2004).
- 24.D. Foresti, K. T. Kroll, R. Amissah, F. Sillani, K. A. Homan, D. Poulikakos, and J. A. Lewis, "Acoustophoretic printing," *Science Advances* 4 (2018).
- 25.N. Blanken, M. S. Saleem, M.-J. Thoraval, and C. Antonini, "Impact of compound drops: a perspective," *Current Opinion in Colloid & Interface Science* 51, 101389 (2021).
- 26.N. Blanken, M. S. Saleem, C. Antonini, and M.-J. Thoraval, "Rebound of self-lubricating compound drops," *Science Advances* 6 (2020).
- 27.C. Ukiwe and D. Y. Kwok, "On the Maximum Spreading Diameter of Impacting Droplets on Well-Prepared Solid Surfaces," *Langmuir* 21, 666–673 (2005).
- 28.M. Pasandideh-Fard, Y. M. Qiao, S. Chandra, and J. Mostaghimi, "Capillary effects during droplet impact on a solid surface," *Physics of Fluids* 8, 650–659 (1996).
- 29.M. Piskunov, J. Breitenbach, J. B. Schmidt, P. Strizhak, C. Tropea, and I. V. Roisman, "Secondary atomization of water-in-oil emulsion drops impinging on a heated surface in the film boiling regime," *International Journal of Heat and Mass Transfer* 165, 120672 (2021).
- 30.S. Chandra and C. T. Avedisian, "On the collision of a droplet with a solid surface," *Proceedings of the Royal Society of London. Series A: Mathematical and Physical Sciences* 432, 13–41 (1991).
- 31.A. Kumar and D. Mandal, "Impact of emulsion drops on a solid surface: The effect of viscosity," *Physics of Fluids* 31 (2019).
- 32.B. L. Scheller and D. W. Bousfield, "Newtonian drop impact with a solid surface," *AIChE Journal* 41, 1357–1367 (1995).

33. I. Roisman, “Inertia dominated drop collisions. II. An analytical solution of the Navier–Stokes equations for a spreading viscous film,” *Physics of Fluids* 21, 52104 (2009).
34. S. Lin, B. Zhao, S. Zou, J. Guo, Z. Wei, and L. Chen, “Impact of viscous droplets on different wettable surfaces: Impact phenomena, the maximum spreading factor, spreading time and post-impact oscillation,” *Journal of Colloid and Interface Science* 516, 86–97 (2018).
35. S. Wildeman, C. W. Visser, C. Sun, and D. Lohse, “On the spreading of impacting drops,” *Journal of Fluid Mechanics* 805, 636–655 (2016).
36. H. Almohammadi and A. Amirfazli, “Droplet impact: Viscosity and wettability effects on splashing,” *Journal of Colloid and Interface Science* 553, 22–30 (2019).
37. Xu Z., Li P., Qiao W., Li Z., Cheng L. Effect of Aromatic Ring in the Alkyl Chain on Surface Properties of Arylalkyl Surfactant Solutions // *J. Surfact. Deterg.* 9:245 (2006)
38. Paul D.T. Huibers. *Langmuir*. 1997. V. 13. P. 5762-5765
39. Седякина Н.Е. и др. Бутлеровские сообщения. 2012. Т.32. №11. С.15-23
40. Термопреобразователь сопротивления медный ТСМ Метран – 243 (50М) 2019. [Электронный ресурс]. – Режим доступа <http://www.td-utr.ru>. – Загл. с экрана.
41. Погружная термопара в алюминиевом корпусе EF4/Т 2019. [Электронный каталог]. – Режим доступа <http://www.vec-ing.ru> свободный. – Загл. с экрана.
42. Рефлексный микроволновый уровнемер MicroTrek 2019. [Электронный каталог]. – Режим доступа <https://www.rospribor.com> свободный. – Загл. с экрана.
43. Погружной датчик уровня PIEZUS ALZ 3720 2019. [Электронный каталог]. – Режим доступа <https://piezus.ru/alz-3720.html> свободный. – Загл. с экрана.

44. МЭО-100/25-0,25 М-99 2019. [Электронный каталог]. – Режим доступа <http://cheber.ru> свободный. – Загл. с экрана.
45. ПЛК Элсима M01 2019. [Электронный каталог]. – Режим доступа <http://elesy.ru/products/products/elsyma.aspx> свободный. – Загл. с экрана.
46. ПЛК ЭЛСИ-ТМК 2019. [Электронный каталог]. – Режим доступа <http://elesy.ru/products/products/plc.aspx> свободный. – Загл. с экрана.
47. Промышленный насос серии Heavy duty. [Электронный каталог]. – Режим доступа <http://nasos-ru.ru/nasos/seriya-heavy-duty> свободный. – Загл. с экрана.
48. Промышленный насос серии GlobalGear. [Электронный каталог]. – Режим доступа <http://nasos-ru.ru/nasos/seriya-globalgear> свободный. – Загл. с экрана.
49. Насос для перекачки дизельного и других видов топлива Blackmer серии ТХ. [Электронный каталог]. – Режим доступа <https://tehnogrupp.com/katalog/nasosy-po-zhidkosti/nasos-dlya-gsm> свободный. – Загл. с экрана.
50. Герасимов, А. В. Проектирование автоматизированных систем управления технологическими процессами : учебное пособие / Герасимов А. В. - Казань : Издательство КНИТУ, 2016. - 124 с. - ISBN 978-5-7882-1987-5. - Текст : электронный // ЭБС "Консультант студента" : [сайт]. - URL : <https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785788219875.html>
51. Баглай М. В. Конституционное право Российской Федерации. – М. : НОРМА-ИНФРА. М, 1999.
52. РФ Т. К. Трудовой Кодекс Российской Федерации» от 30.12. 2001 № 197-ФЗ // Российская газета. – 2001. – №. 256.
53. ГОСТ 12.0.004-2015. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Организация обучения безопасности труда. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200136072>. – Загл. с экрана.

- 54.ГОСТ 12.4.011-89 ССБТ. Средства защиты работающих. Общие требования и классификация. – Москва: ИПК Издательство стандартов, 2001. – 19 с.
- 55.ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования. – М.; Москва: Изд. Издательство стандартов, 2001. – 15 с.
- 56.ГОСТ 21889-76 Система "Человек-машина". Кресло человека-оператора. Общие эргономические требования. – М.; Москва: Изд. Издательство стандартов, 1993. – 15 с.
- 57.ГОСТ 56343-2015. Углеводороды ароматические моноциклические. Определение микропримесей методом газовой хроматографии с использованием внешней калибровки. – М., Москва: Изд. Москва Стандартиформ, 2015. – 14 с.
- 58.ГОСТ 12.1.004-91 Пожарная безопасность. Общие требования. – М., Москва: Изд. Москва Стандартиформ, 2006. – 68 с.
- 59.ГОСТ Р 56638-2015 Чистые помещения. Вентиляция и кондиционирование воздуха. Общие требования. - М., Москва: Изд. Москва Стандартиформ, 2015. – 20 с.
- 60.ГОСТ 12.1.038-82. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/5200313>. – Загл. с экрана
- 61.ГОСТ 12.1.005-88. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200003608>. – Загл. с экрана.

- 62.ГОСТ 12.1.003-2014. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Шум. Общие требования безопасности. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200118606>. – Загл. с экрана.
- 63.СП 52.13330.2016. Естественное и искусственное освещение. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/456054197>. – Загл. с экрана.
- 64.ГН 2.1.6.1338-03 Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест. – М., Москва: Изд. Москва Минздрав России, 2003 – 86 с.

Приложение А

Таблица А1 – Опросный лист на датчик температуры

Информация для заказа			
Общие сведения	Назначение прибора		Измерение температуры в Емкости смешивания
	Место установки		Смешивающая емкость
	Позиция		1
	Вид установки		По месту
	Тип прибора		Датчик температуры
	Прибор аварийной защиты		Нет
	Класс зоны	по взрывоопасности Федеральный закон от 22.07.2008 г. N123-ФЗ, ГОСТ Р 51330.9-99 (ПУЭ)	Д
Технические параметры	Контролируемая среда		Жидкое топливо
	Диапазон измеряемой температуры, °С		От +0 до +200
	Давление рабочей среды, МПа		Атмосферное
Прибор и его техническая характеристика	Диапазон измерения, °С		От 0 до +100
	С индикацией/без индикации*		Без индикации
	Материал корпуса		-
	Напряжение питания, В/источник		Пост. 24/системное
	Выходной сигнал		4...20 мА
	Схема подключения		2-х проводная
	Диаметр кабельного ввода (поставляется комплектно), мм		Для кабеля диаметром 8 мм
	Класс допуска		А
	Длина погружаемой части, мм		1500
	В комплекте с защитной гильзой		Да
	Резьба для установки гильзы		M16x1,5
	Диаметр защитной арматуры прибора, мм		6
	Вид взрывозащиты		Взрывозащищенный Edx или Edi
	Заземление		-
	Тип чувствительного элемента		Нихросил-нисиловая, Хромкль-копель
	Климатическое исполнение		ХЛ1
	Степень защиты корпуса по ГОСТ 14254-96		Не меньше IP 54
	Наличие сертификата об утверждении типа средств измерений (о регистрации в Государственном реестре средств измерений)		Да
	Наличие разрешения на применение в поднадзорных Ростехнадзору производствах и объектах		Да

Таблица А2 – Опросный лист на уровнемер

Информация для заказа			
Общие сведения	Назначение прибора		Измерение уровня компонентов топлива в закрытой емкости
	Место установки		Емкость-хранилище
	Позиция		2
	Вид установки		По месту
	Тип прибора		Рефлексный микроволновый уровнемер
	Прибор аварийной защиты		Нет
	Класс зоны	по взрывоопасности Федеральный закон от 22.07.2008 г. N123-ФЗ, ГОСТ Р 51330.9-99 (ПУЭ)	Д
Технические данные	Контролируемая среда		Топливо
	Диапазон измеряемого уровня, м		От 0 до 24
	Давление рабочей среды, МПа		Атмосферное
Прибор и его техническая характеристика	Диапазон измерения, м		От 0 до 5
	С индикацией/без индикации*		Без индикации
	Материал корпуса		-
	Напряжение питания, В/источник		Пост. 5/от блока питания 220 В переменного тока
	Выходной сигнал		4...20 мА
	Схема подключения		2-х проводная
	Степень защиты корпуса по ГОСТ 14254-96		Не меньше IP 54
	Наличие сертификата об утверждении типа средств измерений (о регистрации в Государственном реестре средств измерений)		Да
	Наличие разрешения на применение в поднадзорных Ростехнадзору производствах и объектах		Да

Таблица А3 – Опросный лист на датчик вязкости

Информация для заказа			
Общие сведения	Назначение прибора		Измерение вязкости
	Место установки		Закрытая емкость
	Позиция		6
	Вид установки		По месту
	Тип прибора		Датчик вязкости камертонного типа
	Прибор аварийной защиты		Нет
	Класс зоны	по взрывоопасности Федеральный закон от 22.07.2008г. N123-ФЗ, ГОСТ Р 51330.9-99 (ПУЭ)	Д
Технические данные	Контролируемая среда		Воздух
	Диапазон измеряемой вязкости, сП		От 0,5 до 20000
	Давление рабочей среды, МПа		Атмосферное
Прибор и его техническая характеристика	Диапазон измерения, сП		От 0,5 до 20 сП
	С индикацией/без индикации*		Без индикации
	Материал корпуса		-
	Напряжение питания, В/источник		Пост. 48/от блока питания 220 В переменного тока
	Выходной сигнал		4...20 мА
	Схема подключения		2-х проводная
	Степень защиты корпуса по ГОСТ 14254-96		Не меньше IP 54
	Наличие сертификата об утверждении типа средств измерений (о регистрации в Государственном реестре средств измерений)		Да
	Наличие разрешения на применение в поднадзорных Ростехнадзору производствах и объектах		Да

Приложение В

(справочное)

Effect of rheology and interfacial tension on spreading of emulsion drops impacting a solid surface

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5БМ93	Ашихмин Александр Евгеньевич		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент НОЦ И.Н. Бутакова	Пискунов М.В.	к.ф.-м.н.		

Консультант – лингвист отделения иностранных языков ШБИП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ст. преп. ОИЯ ШБИП	Пичугова И.Л.			

I. Introduction

Drop interaction with solid surfaces upon impact has attracted a lot of focus of a growing community of researchers due to the complexity of physical phenomena characterizing the process [1,2]. Moreover, the impact of a drop on a solid surface is encountered in a wide range of household and industrial applications, such as spray cooling and sprays in internal combustion engines [3,4], pharmaceuticals [5], food industry [2], coatings [6], agricultural sprays [7], icing [8], lubrication [9], hardening in metallurgy [9], inkjet printing [10], and bioprinting [11].

Numerous studies devoted to impact dynamics consider the kinetic energy (inertial force), surface energy (capillary force), and viscous dissipation as the main drivers of spreading and receding of the drop [1,2]. The impact begins from the radial drop spreading on the surface due to the inertia. The viscous force and friction at the solid-liquid interface constrain the flow of the forming axisymmetric lamella. This occurs until the kinetic energy will exhaust. As soon as this occurs, the drop spreads on the surface maximally. At this moment, different mechanisms can be implemented. Among them are deposition or receding, splashing with the formation of secondary droplets, and bouncing [1,2,12].

The normal drop impact is usually described by several dimensionless criteria, namely, the Weber number, characterising the ratio between inertia and surface tension ($We = \rho U_0^2 D_0 / \sigma_{LA}$), the Reynolds number, characterising the ratio between the inertial and viscous forces ($Re = \rho U_0 D_0 / \mu$), the Ohnesorge number that relates the viscous forces to inertial and surface tension forces ($Oh = \mu / \sqrt{\rho \sigma_{LA} D_0}$), and the capillary number that considers the ratio between the viscous and surface tension forces acting across the liquid-gas interface, or the interface between two immiscible liquids as in the case of compound drops [12,13], where ρ is the density, σ_{LA} is the liquid-air surface tension, μ is the dynamic viscosity of the liquid, U_0, D_0 is the impact velocity and diameter, respectively. It is also essential to determine the transition from spreading to splashing in drop impacts on dry surfaces, which is characterized by the parameter K ($K =$

$We^{1/2}Re^{1/4}$). One of the main characteristics, which describes the spreading dynamics, is the maximum spreading factor β_{\max} (i.e. the maximum spreading diameter (D_{\max}) normalized by D_0) [14-20]. Another one is the minimum splat thickness factor ζ_{\min} (i.e. the minimum splat thickness (h_{\min}) normalized by D_0). Many studies on drop spreading focus on the effects of the mentioned parameters, separately or in combination, on the process dynamics.

In particular, there are many numerical [14,15,17,21-24] and experimental [17,23,25-28] studies, in which β_{\max} is scaled and estimated primarily through Re , We , and the equilibrium, advancing, or dynamic contact angle. These studies consider four deposition phases [25], namely kinematic, spreading, relaxation, and wetting or equilibrium, independently or in combination. Rioboo et al.[25] revealed that in the kinematic phase β ($\beta = D/D_0$, where D is the spreading diameter) scales as $\beta \sim t^{1/2}$, where t is the nondimensional time. This phase is followed by the spreading one, where the impact dynamics is mostly described by nondimensional parameters that include viscosity, surface tension, and impact drop diameter and velocity. Then, the relaxation phase is mainly defined by a receding contact angle. It is worth to note that the receding can be very little or even negligible [26]. Finally, the lamella considerably decelerates and stops, attaining the constant diameter or continuing gradually to wet the surface. The impact velocity can achieve the critical threshold, above which the prompt and corona splashing phenomena occur [1,9,18,29,30].

Most of the studies known in this research area [1,2] deal with one-phase Newtonian liquids. However, the above-mentioned applications and technologies are now provided with advanced compound liquids [12,13] to improve their performance. They are very often non-Newtonian shear-thinning [31] or yield-stress (Bingham Plastic liquid) fluids [32-34]. This essentially means that their viscosity depends on the shear rate usually by a power law, and then the spreading dynamics can hardly be described only by viscosity. Several other rheological properties that relate shear stress and shear rate should be used to adequately characterize the non-Newtonian drop impact on the

solid surface [31,33,34]. Although Kumar and Mandal [18] compared the experimental β_{\max} for water in Jatropha biodiesel emulsion drops with various existing models for the single phase Newtonian liquid drop impact, they ignored characterization of the rheological behavior for the studied emulsions that is highly likely to be non-Newtonian. The model of Chandra and Avedisian [17] described well the experimental β_{\max} for high-viscosity emulsions possibly due to the fact that the characteristic length for viscous dissipation is roughly similar to the splat thickness.

One of the rheological properties that relate shear stress and shear rate is the yield stress that defines when the fluid begins to flow rather than deform like a solid. Saïdi et al.[34] reported that the presence of yield stress at high impact velocities inhibits the spreading and weakens the retraction. The increase in the yield stress enhances the effect. Kim et al.[33] stated that the spreading phase is governed by the non-Newtonian Reynolds number Re_n , the Weber number We , and the power law index n derived from the Herschel–Bulkley model commonly written as $\tau = \tau_0 + k\dot{\gamma}^n$, where τ is the shear stress, $\dot{\gamma}$ is the shear rate, τ_0 is the yield stress, k is the consistency index, and n is the flow index. Defining the independent influence of k , n , and τ_0 , they found that an increase in n weakens the spreading. In contrast, an increase in Re_n and We contributed to a larger spreading rate and extent. It is worth to note that Kim et al.[33] derived the scaling relation for β_{\max} of the non-Newtonian yield stress drop impact, $\beta_{\max} \sim Re_n^{1/(2n+3)} We^{0.0862}$. Dechelette et al.[31] varied the same non-Newtonian rheological parameters (except of τ_0) for shear-thinning fluids in the developed computational model based on the one developed by Roisman et al.[35] and Roisman et al.[22] for Newtonian liquids. This approach has not been successful because of poor agreement with experimental data. Dechelette et al.[31] concluded that a specific computational model taking into account the shear-thinning rheological behavior is required to be developed for more accurate simulation. Such a model should involve viscous force expressions describing the variations of the effective viscosity during the drop deposition.

In summary, there are numerous studies on the Newtonian deposition process, while a wide research gap is observed in the field of non-Newtonian liquid drop impact on solid surfaces. In particular, only few works on the impact dynamics of compound drops [12,13,31,33,34,36,37], including emulsion drops [9,18], reported so far. Very little information is available about the effects of the rheological properties of shear-thinning and yield-stress fluids of different compositions on the spreading and receding dynamics. Moreover, recent studies [12,13,38] reported that the interfacial tension at the interface between two liquids of the compound drop can influence the maximum spreading. Thus, Liu et al.[38] extended the existing numerical models [27,39,40] for pure liquid drops to compound liquid-liquid ones by using a modified Weber number We^* , calculated involving the liquid-liquid surface tension. However, further experiments are needed to verify and improve the model.

In this paper, the impact of drops of water in n-decane emulsions stabilized by a wide range of surfactants on the smooth sapphire glass surface is investigated at normal conditions. The components of the emulsions are mixed at a fixed percentage, while the nature of the surfactants changes. The effect of the surface energy at the liquid-liquid interface on the maximum spreading is studied. In addition, the research considers the influence of the yield stress of viscous emulsions on the impact dynamics. The experimental maximum spreading factor is compared with the existing models of the drop impact on a solid non-heated surface. The scaling relation for β_{max} is derived taking into account all the rheological properties of Bingham plastic emulsions, the inertial and capillary effects; the theoretical relation for β_{max} is also derived to consider the surface energy at the liquid-liquid interface of the emulsified drops and all rheological properties.

II. Experimental methods

A. Materials

Water-in-oil emulsions are prepared by the following immiscible liquids: distilled water with the specific conductivity of no more than 5 $\mu\text{s}/\text{cm}$ as a dispersed phase, n-decane, chemically pure (an alkane hydrocarbon with the chemical formula $\text{C}_{10}\text{H}_{22}$, JSC VEKTON, Russia, CAS number 124-18-5) and base oil isoparaffinic Tatneft HVI-2 (TANECO base 2) according to TC 38.401-58-416-2014, as a continuous phase. Water is a low-boiling component of fuel emulsions typically used as a dispersed phase of such fluids in laboratory and field tests. n-Decane is a component of gasoline (petrol) and kerosene. The isoparaffinic oil is used in the production of high-quality transmission and transformer oils. In the study, it is utilized to vary the rheological properties of emulsions and so to determine the influence of these properties on the drop spreading.

A number of surfactants traditionally used for stabilizing water-in-oil emulsions in different branches of industry, namely, petrochemicals and cosmetology, food industry, are selected. The surfactants used in the study, namely, sorbitanmonooleate (Span-80, Sigma-Aldrich, Inc., CAS number 1338-43-8), polyisobutylene cytophymide (RAM-5, TC 7511903-631-93, JSC NPP AltaiSpecProduct, Biysk, Russia) dissolved in mineral oil (40 % of RAM-5), soy lecithin (SL, Latincorp Group S.R.L.), and domestically produced fatty acid monoethanolamides (DcM) produced by the direct amidation of distilled tall oil at 150-160 $^{\circ}\text{C}$ under vacuum [41], are related to the oil-soluble non-ionogenic surfactants of the following types: sorbitans (Span 80), polyalkylenscanates (RAM-5), fatty acid alkanolamids (DcM), and phospholipids - natural amphoteric surfactants (soy lecithin).

Emulsions are prepared by mixing the components in glass or plastic test tubes. The emulsifiers are previously dissolved in the continuous phase. A homogenizer DAIHAN Scientific HG-15D-Set-B is used for mixing the components at a speed of 10,000 rpm.

The mixing process continues for three minutes without heating. Table 1 presents the component composition and the mass concentrations of the components of all emulsions studied. The concentrations are typical of water-in-oil emulsions [42-44]. The emulsifier concentration remains constant to establish the influence of the surface energy at the liquid-liquid interface on the emulsion drop impact by changing the surfactant nature rather than its content.

Table 1. Samples of the n-decane-based emulsions and mass concentrations of the components

Emulsion №	Water	<i>n</i> -decane	Oil HVI-2	Emulsifier	Emulsifier name	Sample mass	Water	<i>n</i> -decane	Oil HVI-2	Emulsifier
	g	g	g	g		g	g/L	g/L	g/L	g/L
1	0.8	15.04	0	0.16	Span 80	16	40	752	0	8
2	0.8	12	3.04	0.16	Span 80	16	40	600	152	8
3	0.8	6.72	8.32	0.16	Span 80	16	40	336	416	8
4	0.8	4	11.04	0.16	Span 80	16	40	200	552	8
5	0.8	15.04	0	0.16	RAM-5	16	40	752	0	8
6	0.8	15.05	0	0.16	Soy lecitin	16	40	752	0	8
7	0.8	15.04	0	0.16	DcM	16	40	752	0	8

B. Methods

1. HLB and density

The hydrophilic-lipophilic balance (HLB) of the surfactant defines to what extent the substance is hydrophilic or lipophilic. The emulsifiers with the HLB number of 3- 6 or a little lower are selected according to the Griffin's method [45,46] (Table 2). This characterizes them primarily as water-insoluble (or slightly soluble in water) and generally capable of forming water-in-oil emulsions. In this case, the basic principle is the well-known Bancroft rule [47], which states that the emulsifier must have a greater affinity (in particular solubility) to the liquid that forms the continuous phase. The density of the emulsions and some of their components is determined by a pycnometer

(Table 3) at 25 °C (precision 5%, accuracy 8%); the data obtained are used in the calculation of dimensionless criteria, e.g., the Reynolds number.

Table 2. HLB numbers for the surfactants used to prepare the emulsions

Surfactant	HLB number
Span 80	4.3
DcM	2.5
RAM-5	1.5
Soy lecitin	4

2. Static surface tension at the liquid-air and liquid-liquid interfaces

The surface tension (σ_{LA}) of the liquids at the liquid-air interface (Table 3) is measured by the du Noüy ring method using the K20 Force Tensiometer (KRUSS) at 25 °C, resolution of 0.01 mN/m. The device is calibrated by measuring σ_{LA} of bi-distilled water (the correction factor is 1.013).

Table 3. Density of the emulsions and their components, liquidair and liquid-liquid surface tension

Liquid	ρ (kg/m ³)	σ_{LA} (mN/m)	σ_{LL} (mN/m)
Distilled water	997	71.98	-
<i>n</i> -Decane	730	24.55	28.12
E1	738	24.85	3.73
E2	750	24.41	3.57
E3	797	25.83	2.94
E4	801	26.84	2.82
E5	710	23.80	5.86
E6	743	24.03	4.14
E7	738	24.34	7.02

The interfacial tension (σ_{LL}) at the liquid-liquid interface (Table 3) is determined by the spinning drop method (using the SDT Spinning Drop Tensiometer, KRUSS) at 25 °C (resolution of 10⁻⁶ mN/m) from the Vonnegut's equation [48]:

$$\sigma_{LL} = \Delta\rho\omega^2 R^3 / 4,$$

where $\Delta\rho$ is the density difference between two liquid phases, ω is the angular velocity and R is the elongated cylinder radius.

Using the software Drop Shape Analysis by Kruss, the values of a hydrodynamic contact angle $\theta_{\beta_{max}}$ are determined at the maximum drop spreading. Table 4 contains these values as well as the values of We and Re or Re_n for the nonNewtonian emulsion drops, at which the capillary effects must not be neglected, i.e. the condition of $We \gg \sqrt{Re_n}$ is not met [15]. A relative standard deviation in determining $\theta_{\beta_{max}}$ does not exceed 3%.

Table 4. Hydrodynamic contact angles $\theta_{\beta_{max}}$, We , and Re (Re_n for the non-Newtonian emulsion drops)

Liquid	$\theta_{\beta_{max}}$ (°)	We	$Re(Re_n)$
<i>n</i> -Decane	30	131	2764
<i>n</i> -Decane	30	393	4758
E1	31,5	127	(2068)
E1	31,5	382	(3567)
E2	30,5	129	(1311)
E2	29,9	398	(2322)
E3	30,5	132	(644)
E4	38,2	129	(401)
E5	30,4	124	1821
E5	30,4	374	3145

E6	31,8	126	1886
----	------	-----	------

Table 4. Hydrodynamic contact angles $\theta_{\beta_{max}}$, We , and Re (Re_n for the non-Newtonian emulsion drops)

Liquid	$\theta_{\beta_{max}}$ (°)	We	$Re(Re_n)$
E6	31,7	380	3252
E7	31,8	122	1789
E7	31,3	386	3237

3. DLS measurements

The size distribution profiles of the water droplets of the dispersed phase are determined by the dynamic light scattering (DLS) technique using the device Zetasizer Nano S by Malvern Panalytical (the particle size range is 0.3 nm to 10 μm) at 25 °C. The measurement occurs immediately after manufacturing the emulsions; the preparation process is the same as the one described above. The determined size distributions contain information on the maximum and Z-average water droplet diameters. The Z-average water droplet diameter is further used in the study as D_w (the average diameter of water droplets of the dispersed phase of the emulsion).

4. Rheological model and nondimensional parameters

The rheological properties of the Newtonian liquids under study, namely, n-decane, E5, E6, and E7, involve only the dynamic viscosity measured at 25 °C (Fig. 1b), which is equal to 0.891 $\text{mPa} \cdot \text{s}$ (the value from the manufacturer), 1.17 $\text{mPa} \cdot \text{s}$, 1.16 $\text{mPa} \cdot \text{s}$, and 1.20 $\text{mPa} \cdot \text{s}$, respectively. The values remain constant at different shear rates and they are measured using a Brookfield DV3T rotational viscometer (measurement range is 1...6·10⁶ $\text{mPa} \cdot \text{s}$, accuracy is $\pm 1\%$, reproducibility is $\pm 0.2\%$) with the SSA adapter and a spindle SC4-31 (the devices are also utilized to determine the rheological properties of non-Newtonian fluids). The chosen shear rates (Fig. 1) provide the torque

required for reliable measurements according to the manufacturer's recommendation, i.e., in the range of 10-100 %.

The non-Newtonian behavior is generally described by the Herschel–Bulkley model, given by:

$$\dot{\gamma} = 0 \text{ for } \tau < \tau_0, \quad (1)$$

$$\tau = \tau_0 + k\dot{\gamma}^n \text{ for } \tau > \tau_0 \quad (2)$$

The liquids of E1, E2, E3, and E4 demonstrate the viscoplastic behavior of the Bingham plastic fluids [49] (Fig. 1) because according to the Herschel-Bulkley model the yield stress τ_0 is clearly determined and increases with increasing the apparent viscosity μ_{eff} of the emulsions, while the flow index n equals to 1 ± 0.01 . The latter allows the usage of a more suitable rheological model, the Bingham one (Fig. 1), to determine τ_0 and k , given by:

$$\tau = \tau_0 + k\dot{\gamma} \quad (3)$$

This study discusses the effects of various parameters on the impact dynamics of the Newtonian and Bingham fluid drops in terms of nondimensional parameters, namely, the Reynolds number Re , the non-Newtonian Reynolds number Re_n , the Weber number We , the characteristic Weber number associated with the water dispersed droplets We_w [13], the Ohnesorge number Oh , the Bingham-capillary number \hat{B} [50], and the capillary number Ca for two-phase fluids. These parameters are defined as follows:

$$Re = \frac{\text{Inertial force}}{\text{Viscous force}} = \frac{\rho U_0 D_0}{\mu}, \quad (4)$$

$$Re_n = \frac{\text{Inertial force}}{\text{Viscous force}} = \frac{\rho D_0^n U_0^{(2-n)}}{k}, \quad (5)$$

$$We = \frac{\text{Inertial force}}{\text{Capillary force}} = \frac{\rho U_0^2 D_0}{\sigma_{LA}}, \quad (6)$$

$$We_w = \frac{\text{Inertial force}}{\text{Capillary force}} = \frac{\rho_w U_0^2 D_w}{\sigma_{LL}}, \quad (7)$$

$$Oh = \frac{\text{Viscous force}}{\sqrt{\text{Inertial force} \cdot \text{capillary force}}} = \frac{\mu}{\sqrt{\rho \sigma_{LA} D_0}}, \quad (8)$$

$$\hat{B} = \frac{\text{Yieldstress effects}}{\text{Capillary effects}} = \frac{D_0 \tau_0}{\sigma_{LA}}, \quad (9)$$

$$Ca = \frac{\mu U_0 \dot{\gamma}}{\sigma_{LA} \hat{\mu}}, \quad (10)$$

where ρ_w is the density of water (kg/m³), D_w is the diameter of the water dispersed droplet, k is the plastic viscosity in this case, μ' and $\hat{\mu}$ are the viscosity of the continuous and the dispersed phases (Pa·s), respectively [51].

In the current case, the apparent viscosity μ_{eff} is determined as $\mu_{eff} = k + \dot{\gamma}/\sigma$. Since the term $\dot{\gamma}/\sigma$ is very small, then one can assume that $\mu_{eff} \sim k$. Thus, Re_n can be recalculated using the apparent viscosity, the changes of which for E1, E2, E3, and E4 are observed, but they are obviously small (Fig. 1a)

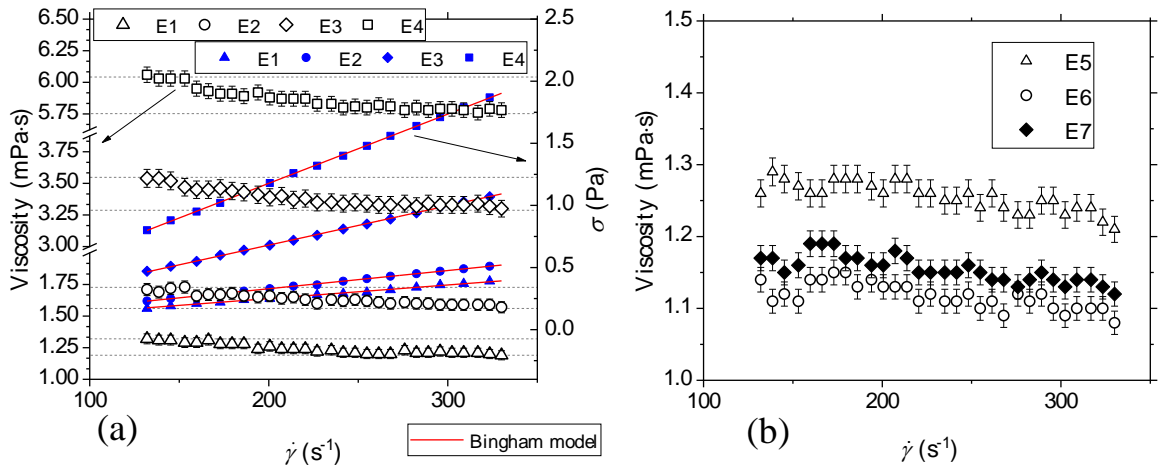


Figure 1. Apparent viscosity and shear stress (σ) vs. shear rate for non-Newtonian emulsions (a); apparent viscosity vs. shear rate for Newtonian emulsions (b)

5. Test bench and video post-processing

The experimental study of the emulsion drop impact on a solid surface is carried out using the test bench schematically depicted in Figure 2. It is equipped with a high-speed recording system, including two videocameras (Cam) Phantom Miro M310 (settings: resolution 704×344 pix, frame rate 13,000 fps) for the side-view and 45-

degree angled-view recording, the macro lens (L) Sigma AF 105/2.8 EX DG macro (characteristics: focal length 105 mm, minimum aperture f32), and the lighting subsystem (Light) composed of the power supply GSVITEC MultiLED G8, the two lamp heads GSVITEC MultiLED QT with an exchangeable lens of 60° , and the additional light diffuser in front of the lamp head.

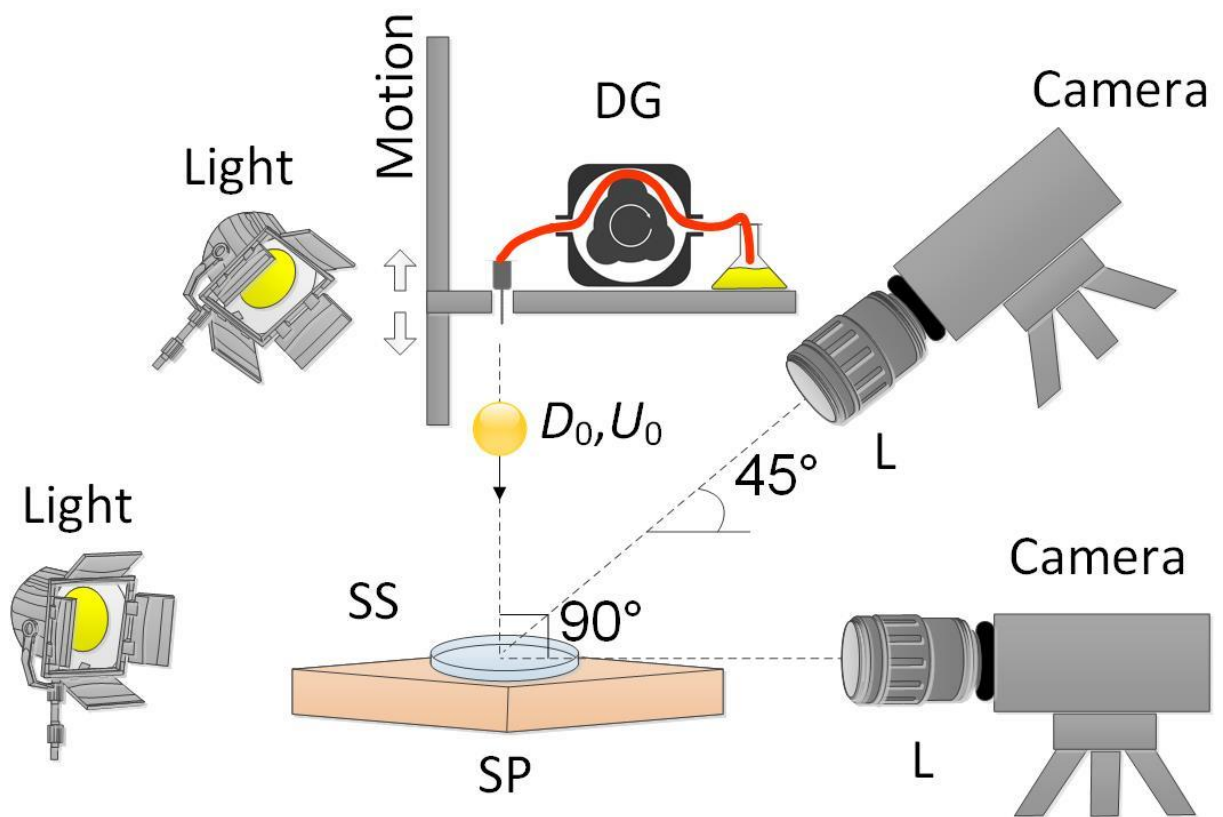


Figure 2. Scheme of the experimental setup

The drop generation system (see Fig. 2, DG) consists of the dispensing peristaltic pump LongerPump BT100-1F (settings: dispensing volume 0.01 mL), the tubing Tygon® F-4040-A for petroleum products (internal diameter of 2.03 mm), and the blunt needle with an internal diameter of 0.184 mm. The pump supplies the liquid slowly through the needle until a drop detaches from the needle tip due to gravity. Such a system can produce drops with a diameter $D_0 = 2.2 \pm 0.1$ mm. The impact diameter is calculated by the formula $D_0 = (D_{hor}^2 D_{vert})^{1/3}$, where D_{hor} and D_{vert} are the measured horizontal and vertical diameters of a drop. The DG is fixed to the linear motor allowing different

distances from the impact surface. This feature contributes to the variation of the impact velocity U_0 in the range of 1.4 m/s to 4.2 m/s. These values are determined by the formula $U_0 = 2g(H - D_0)^{1/2}$, where H the height of the drop detachment from the needle tip, g the acceleration due to gravity. The impact surface is a smooth substrate (SS) made of sapphire glass (Thorlabs, Inc., WG31050, surface quality 60-40 scratch-dig, diameter 25.4 mm, thickness 5 mm) and placed on the supporting platform (SP). The temperature of the liquids and substrate is 23-25 °C during all the tests. The impact parameters and properties of the liquids allow the variation of Weber and Reynolds numbers in wide ranges, namely, $122 < We < 1219$ and $401 < Re$ (or Re_n) < 7974 , specific to many household and industrial applications [1,2].

The data obtained as a result of the high-speed recording includes side-view videos, which are used to analyze the impact dynamics regimes and characteristics, i.e. D_0 , U_0 , $\beta = DD_0^{-1}$ (D is the spreading diameter at a certain impact time, m), β_{max} , $\zeta = hD_0^{-1}$ (h is the splat thickness, m), ζ_{min} , and K . This is possible due to the usage of the commercial software Tema Automotive (Image Systems Motion Analysis) having the built-in image-processing tracking algorithm [52,53]. The algorithm is based on the adjustment of the optimum image binarization threshold. Nevertheless, the results obtained using the algorithm are selectively compared with the results of manual data processing (D_{hor} and D_{vert} is measured manually in all tests). The divergence of the results does not exceed a few percent. In addition, the data include video with a 45 degree viewing angle, which allows extensive morphological observations of single-phase impacts and emulsion fall.

6. Uncertainty analysis

At the same experimental conditions, at least five tests are carried out to measure D_{max} and h_{min} . As a result, the total number of tests performed taking into account all liquids examined and the changes of U_0 are at least 225. The expanded uncertainties of the measurement results for D_{max} and h_{min} do not exceed ± 0.08 mm. These uncertainties

are based on the standard uncertainty multiplied by a coverage factor $k=2$ providing a level of confidence of approximately 95%.

The systematic errors of measuring liquid properties mainly depend on the measuring equipment and techniques. From three to eight measurements of the properties of a liquid are performed.

III. Results and discussion

A. Morphological observations

The drop impact conditions are represented in the $We-Oh$ regime map as demonstrated in Figure 3. Figure 3 clearly shows that the considered experimental impact conditions generally belong to the impact-driven and almost inviscid case.

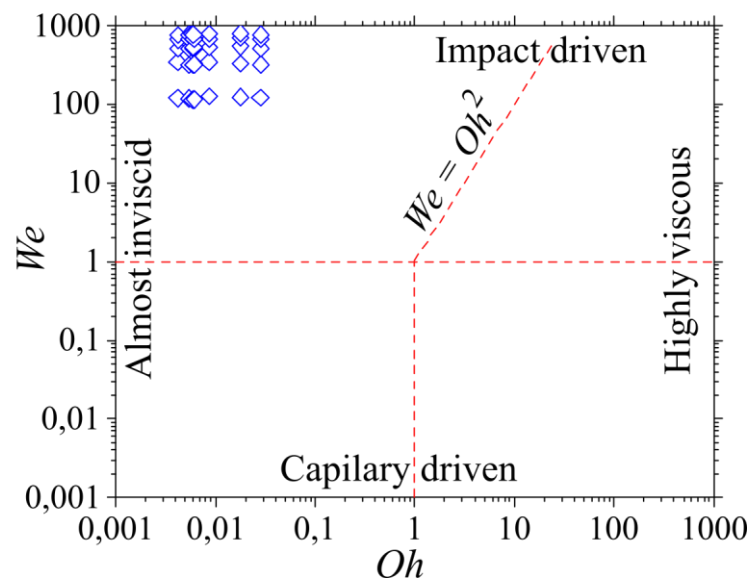


Figure 3. $We - Oh$ regime map for the impact conditions taken in the experiments; the correlation of $We=Oh^2$ is from Ref [26]

Similar to Almohammadi and Amirfazli [29], the experiments reveal three possible outcomes of the drop impact on a dry surface, namely, deposition, prompt splash, and corona splash. Each of them is identified according to the kinetic, spreading, and relaxation stages [25]. The drop impact conditions describing the outcome thresholds are represented as the map of $We-Re$ or Re_n , depending on the rheological behavior

(see Fig.4a). The prompt splash is the disintegration mechanism addressed in this study as the splashing threshold characterizing the drop impact on the smooth dry surface, K . It occurs as the inertial forces begin to overcome the capillary effects. In that case, small droplets detach from the front of the radially expanding liquid sheet and move along the impact surface. The corona splash occurs when the expanding lamella lifts off the impact surface and then disintegrates with the production of small droplets moving from the impact surface. The deposition is not followed by the lamella disintegration, i.e., the lamella radially just spreads over the surface during the kinetic and spreading stages.

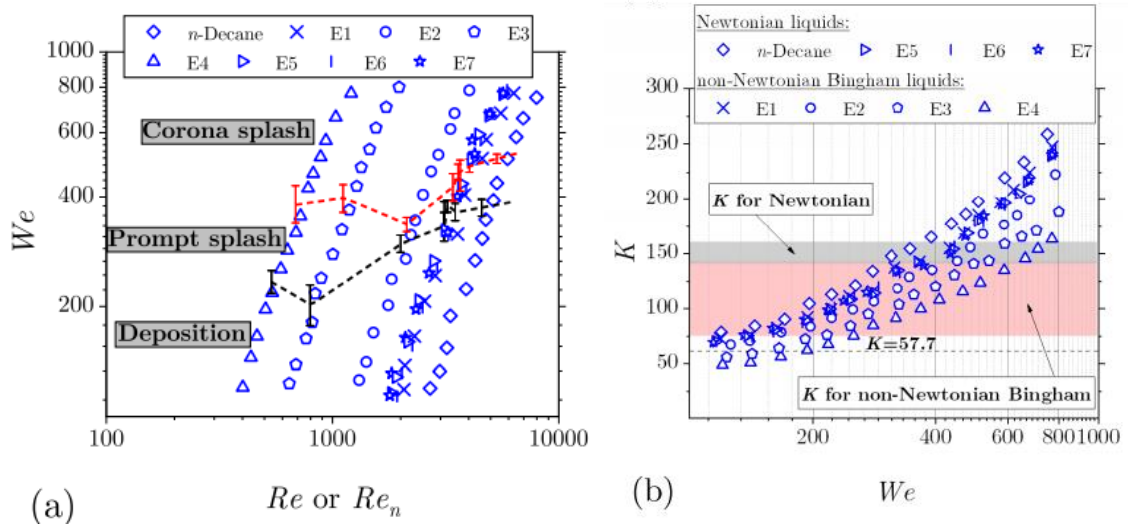


Figure 4. $We-Re$ or Re_n regime map for the impact outcomes thresholds (a); the splashing factor vs. We for the Newtonian and non-Newtonian Bingham plastic liquids (b)

The splashing threshold, K , significantly differs for the Newtonian and non-Newtonian liquids under study (see Fig.4b). Under the values of $K > 136-158$ the splashing outcome is observed for the single-phase Newtonian liquids (distilled water and n -decane) and Newtonian emulsions (E5, E6, and E7), whereas the splashing threshold for the non-Newtonian Bingham plastic liquids (emulsions E1, E2, E3, and E4) is characterized by a considerably wider range, $K > 74 - 147$. In this case, the values of K strongly depend on the viscosity. In particular, the higher the effective viscosity of

the Bingham liquid, the lower the value of K is. The prompt-corona threshold also distinguishes for liquids with different rheological behavior. Generally, the splashing threshold K and the prompt-corona threshold for the single-phase and two-phase (emulsion) Newtonian liquids are more predictable than those for the Bingham emulsion liquids. The obtained values of K are markedly higher than the limit of deposition and splashing for the smooth surface [54], $K = 57.7$ (at $K > 57.7$ the splashing occurs, whereas K less than 57.7 leads to the complete deposition).

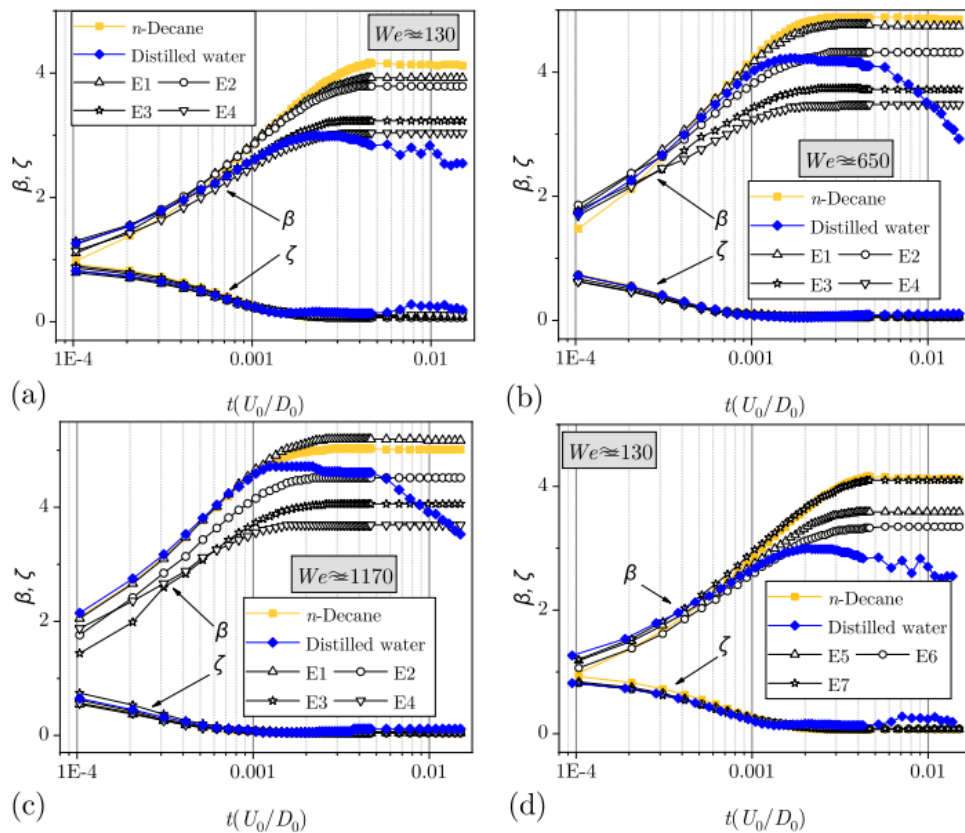
The observations and analysis of the droplet impact outcomes are implemented using side-view videos. However, to demonstrate the details of the processes observed, the sequences of video frames obtained from the 45-degree angled-view video recording are used. In general, the viscous effects are important for the emulsion drop impact. Obviously, the liquid sheet of the emulsion E4, as the most viscous liquid under consideration due to the highest concentration of isoparaffinic oil, expands slower and weaker. Thus, the viscous force acting against the inertia seems to be greater, comparing with other liquids. The prompt splash for the emulsion E4 is characterized by noticeable contact line instabilities and the formation of larger fingers through a Rayleigh-Taylor instability, whereas this outcome for single-phase and two-phase fluids is characterized by the formation of small droplets, moving from the impact surface. The deposition is not followed by the lamella disintegration, i.e., the lamella radially just spreads over the surface during the kinetic and spreading stages. The splashing threshold, K , significantly differs for the Newtonian and non-Newtonian liquids under study (see Fig.4b). Under the values of $K > 136-158$ the splashing outcome is observed for the single-phase Newtonian liquids (distilled water and n-decane) and Newtonian emulsions (E5, E6, and E7), whereas the splashing threshold for the non-Newtonian Bingham plastic liquids (emulsions E1, E2, E3, and E4) is characterized by a considerably wider range, $K > 74 - 147$. In this case, the values of K strongly depend on the viscosity. In particular, the higher the effective viscosity of the Bingham liquid is the lower the value of K is. The prompt-corona threshold also

distinguishes for liquids with different rheological behavior. Generally, the splashing threshold K and the prompt-corona threshold for the single-phase and two-phase (emulsion) Newtonian liquids are more predictable than those for the Bingham emulsion liquids. The obtained values of K are markedly higher than the limit of deposition and splashing for the smooth surface [54], $K = 57.7$ (at $K > 57.7$ the splashing occurs, whereas K less than 57.7 leads to the complete deposition). The observations and analysis of the droplet impact outcomes are implemented using side-view videos. However, to demonstrate the details of the processes observed, the sequences of video frames obtained from the 45-degree angled-view video recording are used. In general, the viscous effects are important for the emulsion drop impact. Obviously, the liquid sheet of the emulsion E4, as the most viscous liquid under consideration due to the highest concentration of isoparaffinic oil, expands slower and weaker. Thus, the viscous force acting against the inertia seems to be greater, comparing with other liquids. The prompt splash for the emulsion E4 is characterized by noticeable contact line instabilities and the formation of larger fingers through a Rayleigh-Taylor instability, whereas this outcome for single-phase liquids and two-phase latter finally contributes to a larger spreading diameter.

B. Quantitative analysis

The above discussed features on the impact outcomes and the viscous effects are confirmed by the analysis of the evolution of β and ζ with non-dimensional time, $t(U_0/D_0)$, where t is the dimensional time obtained from the recorded videos. The viscous effects are evident in Figure 5a-c under different We . More viscous emulsions spread weaker and have lower values of β . Moreover, the increase in We makes the differences in β more significant. During the relaxation stage, the drops of the single-phase liquids considered, namely water and n -decane, visibly recoil in contrast to the emulsions. The changes in ζ for different liquids seem to be negligible.

The comparison of β_{\max} as functions of We and Re_n (see Fig. 7) for the non-Newtonian emulsions with the known scaling behavior [55] $We^{1/4}$ and $Re_n^{1/5}$ demonstrates a clear difference. Thus, it is rather impossible to describe how the values of β_{\max} depend on the relationships between the inertial and capillary effects or the inertial and viscous effects separately, although the values of β_{\max} for the non-Newtonian emulsions are close enough to the scaling behavior $Re_n^{1/5}$. It is noteworthy that the non-Newtonian Reynolds number Re_n takes into account all the rheological properties of the Bingham plastic fluids, except for the yield stress τ_0 . The variation of τ_0 is taken into consideration in the Bingham capillary number [50,56,57], which compares the yield stress magnitude and the capillary (Laplace) pressure, depending on the surface tension σ_{LA} according to the Young-Laplace equation $p = 2\sigma_{LA}r^{-1}$ (r the radius of curvature for a spherical drop). This number is the product of the Bingham number, $Bn = \tau_0 D_0 \hat{\mu} / \dot{\mu} U_0 \dot{u}$, and the capillary number (see Eq. 10) for non-Newtonian fluids.



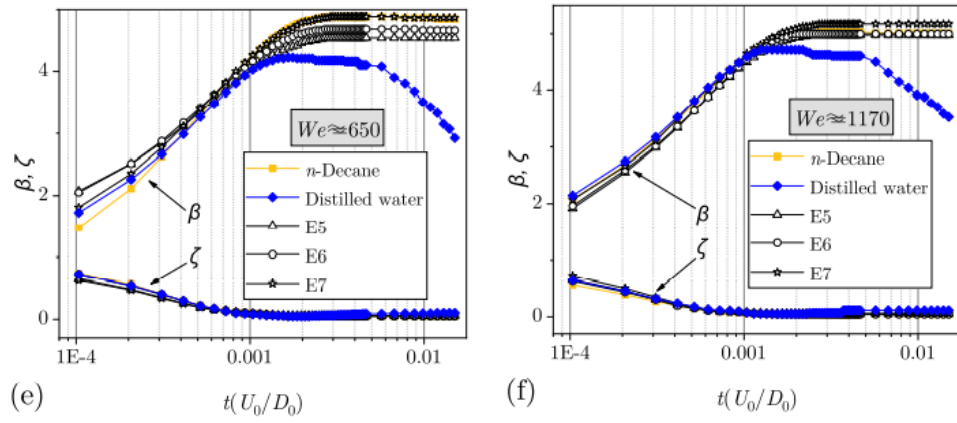


Figure 5. Drop spreading factor and splat thickness factor vs. non-dimensional time: non-Newtonian (a-c) and Newtonian (d-f) emulsions as well as single-phase Newtonian liquids

Figure 8a demonstrates the influence of the yield stress on the maximum spreading factor. The yield stress rises with the increase of the oil concentration (see Table 1). Thus, for emulsions E1, E2, E3, and E4 the values of yield stress are 0.031 Pa, 0.036 Pa, 0.046 Pa, and 0.062 Pa, respectively. The values of $\hat{B} < 1$ allow the conclusion that there is no noticeable dependency of the contact angles on the yield stress for the smooth surface used [58]. Generally, the values of β_{max} decrease with increasing in k and τ_0 , showing this behavior as follows:

$$\beta_{max} = \alpha \hat{B}^{-1/2}, \quad (11)$$

where α the constant depending on We ; the higher the Weber number, the higher the constant α is. At $We = 130$, the constant α equals to 0.20, whereas at $We = 1170$, α is 0.27.

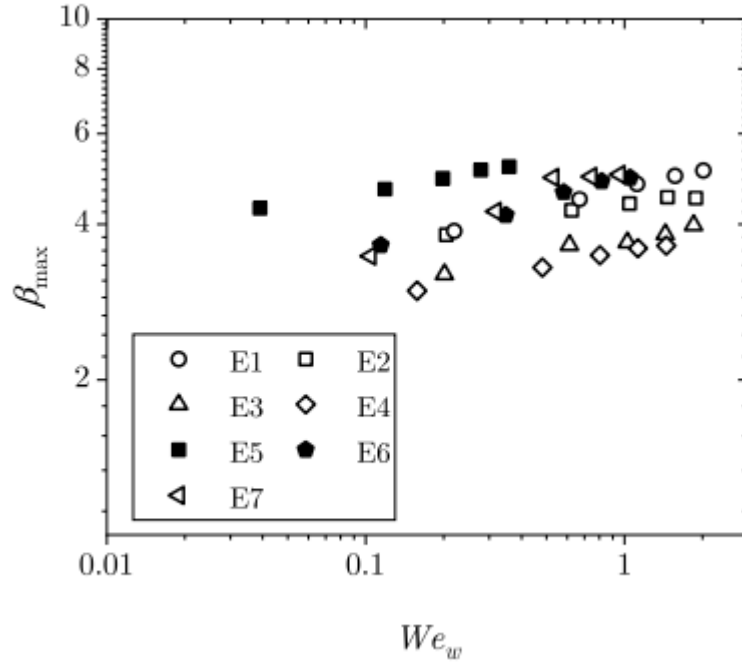


Figure 6. Maximum spreading factor as a function of We_w for the Newtonian emulsions

Furthermore, to account for all rheological properties (including the yield stress effects) of the Bingham plastic emulsions, as well as the inertial and capillary effects, β_{\max} is presented as a function of $\hat{B}Re_n$. The relationship between these forces defines the maximum spreading factor as follows:

$$\beta_{max} = 2.45(\hat{B}Re_n)^{1/4}. \quad (12)$$

It is important to emphasize that for all studied Newtonian emulsions, We and Re remain almost equal under the same D_0 and U_0 . This means that other effects govern the spreading dynamics depicted in Figure 5d-f. This phenomenon is one of the causes of initiating research.

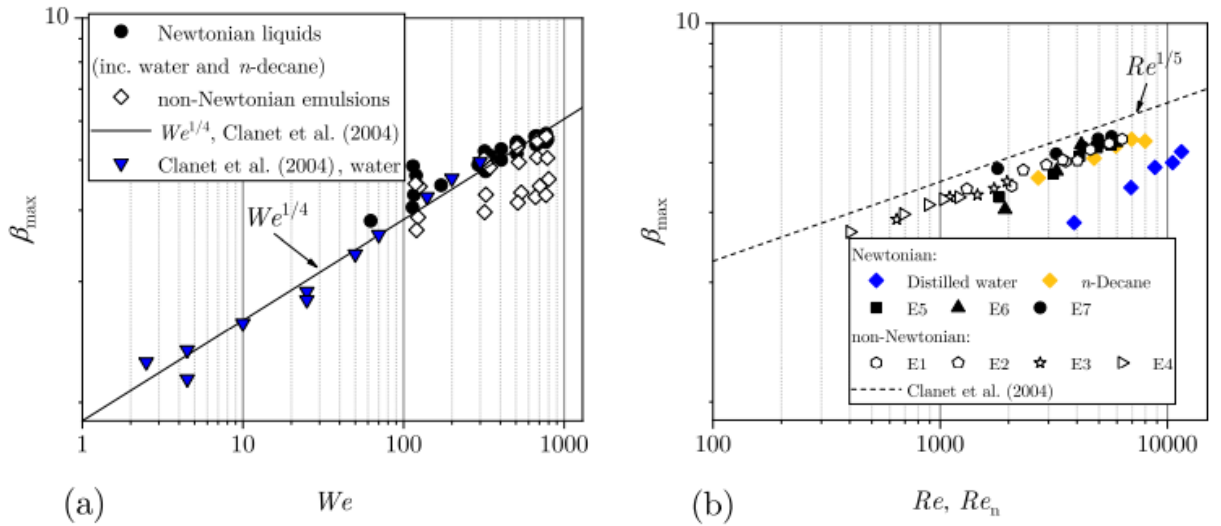


Figure. 7. Maximum spreading factor as a function of We for Newtonian and non-Newtonian liquids, with scaling behavior $We^{1/4}$ and experimental data for water from Ref. [55] (a); variation of maximum spreading factor with Re or Re_n depending on the liquid, the scaling behavior of $Re^{1/5}$ is from Ref. [55] (b)

The analysis of the evolution of β with time, $t(U_0/D_0)$, for the Newtonian fluids, i.e. the single-phase liquids and the two-phase emulsions (see Fig. 5d-f), enables the determination of some threshold for We , above which the spreading dynamics for these liquids (except for water) is almost identical (see Fig. 5f). Below this threshold, there is a noticeable distinction in the spreading dynamics at the end of the spreading phase and during the relaxation one. At the same time, Figure 8 depicts that β_{max} for all the liquids under study is rather well described by the scaling behavior $We^{1/4}$ and is far worse by $Re^{1/5}$ (except for the non-Newtonian emulsion drops). Nevertheless, the study requires explaining the difference in the spreading dynamics of the Newtonian emulsions at $We < 1000$. One of the possible reasons for that is the governing role of capillary effects inside the drop (Fig. 6) at least for the Newtonian emulsions, which are expressed as a surface tension at the liquid-liquid interface. Although there is no clear dependence between the values of σ_{LL} and the change in the experimental β_{max} , the capillary effects occurring between the water droplets of the dispersed phase and the liquid of the continuous phase in the water-in-oil emulsion certainly influence the

spreading in terms of the total surface energy and should be considered in the emulsion drop spreading modeling. Another "morphological" reason is based on the data on the DLS measurements of D_w and the data on ζ_{\min} (Fig. 5), which make clear that the maximum dimensions of dispersed phase droplets can reach 5% of the splat thickness, thus underlining again the significance of capillary effects at the internal interface of the emulsion drop in the total surface energy at least during the spreading. Actually, it is assumed that the increase in β_{\max} relates to the growth in the measured values of σ_{LL} (Table 3). However, the values of We_w in Figure 7 are also defined by the size of water droplets in emulsions, but this characteristic is quite difficult to be predicted even in the case of repeated measurements because it depends on the kinetic stability of each particular emulsion. Therefore, in Figure 7 we observe only a trend towards the increase in β_{\max} with rising σ_{LL} .

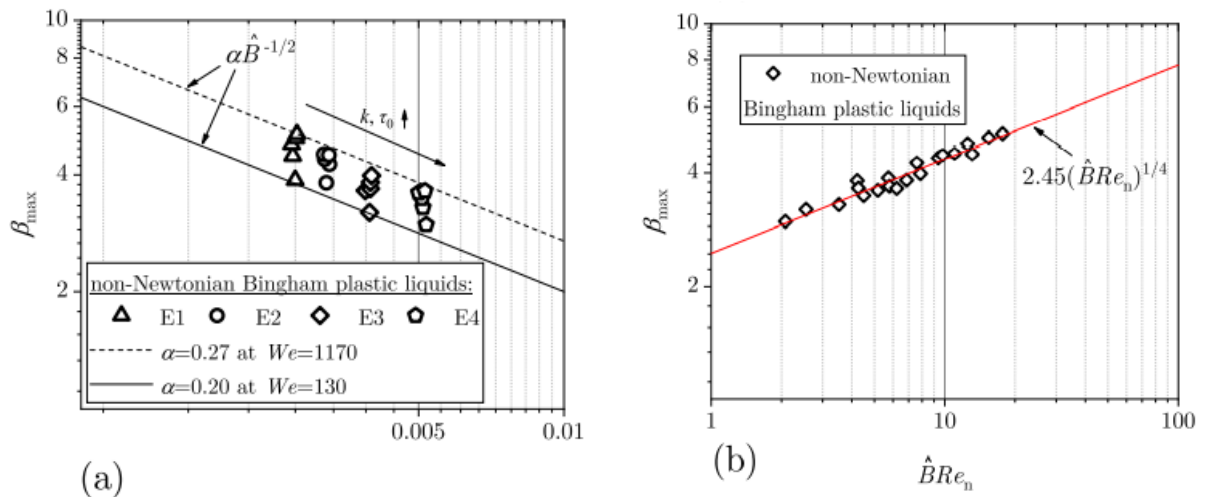


Figure 8. Effects of viscoplasticity and capillary on the maximum spreading factor (a); the maximum spreading factor vs. Bingham-capillary number multiplied by non-Newtonian Reynolds number (b)

A. References

1. A. L. Yarin, "Drop impact dynamics: Splashing, spreading, receding, bouncing.." Annual Review of Fluid Mechanics 38, 159–192 (2006).

2. C. Josserand and S. T. Thoroddsen, “Drop Impact on a Solid Surface,” *Annual Review of Fluid Mechanics* 48, 365–391 (2016).
3. F. M. Tenzer, I. V. Roisman, and C. Tropea, “Fast transient spray cooling of a hot thick target,” *Journal of Fluid Mechanics* 881, 84–103 (2019).
4. A. L. N. Moreira, A. S. Moita, and M. R. Panão, “Advances and challenges in explaining fuel spray impingement: How much of single droplet impact research is useful?” *Progress in Energy and Combustion Science* 36, 554–580 (2010).
5. C. W. Visser, T. Kamperman, L. P. Karbaat, D. Lohse, and M. Karperien, “In-air microfluidics enables rapid fabrication of emulsions, suspensions, and 3D modular (bio)materials,” *Science Advances* 4 (2018).
6. M. Pasandideh-Fard, V. Pershin, S. Chandra, and J. Mostaghimi, “Splat shapes in a thermal spray coating process: Simulations and experiments,” *Journal of Thermal Spray Technology* 11, 206–217 (2002).
7. C. Vernay, L. Ramos, J.-P. Douzals, R. Goyal, J.-C. Castaing, and C. Liguore, “Drop impact experiment as a model experiment to investigate the role of oil-in-water emulsions in controlling the drop size distribution of an agricultural spray,” *Atomization and Sprays* 26, 827–851 (2016).
8. C. Antonini, M. Innocenti, T. Horn, M. Marengo, and A. Amirfazli, “Understanding the effect of superhydrophobic coatings on energy reduction in anti-icing systems,” *Cold Regions Science and Technology* 67, 58–67 (2011).
9. B. Prunet-Foch, F. Legay, M. Vignes-Adler, and C. Delmotte, “Impacting Emulsion Drop on a Steel Plate: Influence of the Solid Substrate,” *Journal of Colloid and Interface Science* 199, 151–168 (1998).
10. D. B. van Dam and C. Le Clerc, “Experimental study of the impact of an ink-jet printed droplet on a solid substrate,” *Physics of Fluids* 16, 3403–3414 (2004).
11. D. Foresti, K. T. Kroll, R. Amissah, F. Sillani, K. A. Homan, D. Poulikakos, and J. A. Lewis, “Acoustophoretic printing,” *Science Advances* 4 (2018).

- 12.N. Blanken, M. S. Saleem, M.-J. Thoraval, and C. Antonini, "Impact of compound drops: a perspective," *Current Opinion in Colloid & Interface Science* 51, 101389 (2021).
- 13.N. Blanken, M. S. Saleem, C. Antonini, and M.-J. Thoraval, "Rebound of self-lubricating compound drops," *Science Advances* 6 (2020).
- 14.C. Ukiwe and D. Y. Kwok, "On the Maximum Spreading Diameter of Impacting Droplets on Well-Prepared Solid Surfaces," *Langmuir* 21, 666–673 (2005).
- 15.M. Pasandideh-Fard, Y. M. Qiao, S. Chandra, and J. Mostaghimi, "Capillary effects during droplet impact on a solid surface," *Physics of Fluids* 8, 650–659 (1996).
- 16.M. Piskunov, J. Breitenbach, J. B. Schmidt, P. Strizhak, C. Tropea, and I. V. Roisman, "Secondary atomization of water-in-oil emulsion drops impinging on a heated surface in the film boiling regime," *International Journal of Heat and Mass Transfer* 165, 120672 (2021).
- 17.S. Chandra and C. T. Avedisian, "On the collision of a droplet with a solid surface," *Proceedings of the Royal Society of London. Series A: Mathematical and Physical Sciences* 432, 13–41 (1991).
- 18.A. Kumar and D. Mandal, "Impact of emulsion drops on a solid surface: The effect of viscosity," *Physics of Fluids* 31 (2019).
- 19.B. L. Scheller and D. W. Bousfield, "Newtonian drop impact with a solid surface," *AIChE Journal* 41, 1357–1367 (1995).
- 20.I. Roisman, "Inertia dominated drop collisions. II. An analytical solution of the Navier–Stokes equations for a spreading viscous film," *Physics of Fluids* 21, 52104 (2009).
- 21.N. Laan, K. G. de Bruin, D. Bartolo, C. Josserand, and D. Bonn, "Maximum Diameter of Impacting Liquid Droplets," *Phys. Rev. Applied* 2, 44018 (2014).
- 22.I. V. Roisman, R. Rioboo, and C. Tropea, "Normal impact of a liquid drop on a dry surface: model for spreading and receding," *Proceedings of the Royal*

- Society of London. Series A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences 458, 1411–1430 (2002).
23. S. Lin, B. Zhao, S. Zou, J. Guo, Z. Wei, and L. Chen, “Impact of viscous droplets on different wettable surfaces: Impact phenomena, the maximum spreading factor, spreading time and post-impact oscillation,” *Journal of Colloid and Interface Science* 516, 86–97 (2018).
 24. S. Wildeman, C. W. Visser, C. Sun, and D. Lohse, “On the spreading of impacting drops,” *Journal of Fluid Mechanics* 805, 636–655 (2016).
 25. R. Rioboo, M. Marengo, and C. Tropea, “Time evolution of liquid drop impact onto solid, dry surfaces,” *Experiments in Fluids* 33, 112–124 (2002).
 26. S. Sen, V. Vaikuntanathan, and D. Sivakumar, “Experimental investigation of biofuel drop impact on stainless steel surface,” *Experimental Thermal and Fluid Science* 54, 38–46 (2014).
 27. G. Riboux and J. M. Gordillo, “Experiments of Drops Impacting a Smooth Solid Surface: A Model of the Critical Impact Speed for Drop Splashing,” *Phys. Rev. Lett.* 113, 24507 (2014).
 28. Y. Yonemoto and T. Kunugi, “Universality of Droplet Impingement: Low to-High Viscosities and Surface Tensions,” *Coatings* 8, 409 (2018).
 29. H. Almohammadi and A. Amirfazli, “Droplet impact: Viscosity and wettability effects on splashing,” *Journal of Colloid and Interface Science* 553, 22–30 (2019).
 30. J.-M. Tian and B. Chen, “Dynamic behavior of non-evaporative droplet impact on a solid surface: Comparative study of R113, water, ethanol and acetone,” *Experimental Thermal and Fluid Science* 105, 153–164 (2019).
 31. A. Dechelette, P. Sojka, and C. Wassgren, “Non-newtonian drops spreading on a flat surface,” *Journal of Fluids Engineering, Transactions of the ASME* 132 (2010), 10.1115/1.4002281.
 32. P. Coussot, “Yield stress fluid flows: A review of experimental data,” *Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics* 211, 31–49 (2014).

- 33.E. Kim and J. Baek, “Numerical study of the parameters governing the impact dynamics of yield-stress fluid droplets on a solid surface,” *Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics* 173-174, 62–71 (2012).
- 34.A. Saïdi, C. Martin, and A. Magnin, “Influence of yield stress on the fluid droplet impact control,” *Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics* 165, 596–606 (2010).
- 35.I. V. Roisman, B. Prunet-Foch, C. Tropea, and M. Vignes-Adler, “Multiple Drop Impact onto a Dry Solid Substrate,” *Journal of Colloid and Interface Science* 256, 396–410 (2002).
- 36.N. Mourougou-Candoni, B. Prunet-Foch, F. Legay, M. Vignes-Adler, and K. Wong, “Influence of Dynamic Surface Tension on the Spreading of Surfactant Solution Droplets Impacting onto a Low-Surface-Energy Solid Substrate,” *Journal of Colloid and Interface Science* 192, 129–141 (1997).
- 37.D. Bolleddula, A. Berchielli, and A. Aliseda, “Impact of a heterogeneous liquid droplet on a dry surface: Application to the pharmaceutical industry,” *Advances in Colloid and Interface Science* 159, 144–159 (2010).
- 38.H.-R. Liu, C.-Y. Zhang, P. Gao, X.-Y. Lu, and H. Ding, “On the maximal spreading of impacting compound drops,” *Journal of Fluid Mechanics* 854, R6 (2018).
- 39.J. Eggers, M. A. Fontelos, C. Josserand, and S. Zaleski, “Drop dynamics after impact on a solid wall: Theory and simulations,” *Physics of Fluids* 22, 62101 (2010).
- 40.J. B. Lee, N. Laan, K. G. de Bruin, G. Skantzaris, N. Shahidzadeh, D. Derome, J. Carmeliet, and D. Bonn, “Universal rescaling of drop impact on smooth and rough surfaces,” *Journal of Fluid Mechanics* 786, R4 (2016).
- 41.Yanovsky, V. A., Andropov, M. O., Fakhrislamova, R. S., Churkin, R. A., Minaev, K. M., and Ulyanova, O. S., “Rheological properties of inverse emulsions stabilized by ethanalamides of tall oil fatty acids,” *MATEC Web Conf.* 85, 1020 (2016).

- 42.A. Lif and K. Holmberg, "Water-in-diesel emulsions and related systems," *Advances in Colloid and Interface Science* 123-126, 231–239 (2006).
- 43.M. Yahaya Khan, Z. A. Abdul Karim, F. Y. Hagos, A. R. A. Aziz, and I. M. Tan, "Current trends in water-in-diesel emulsion as a fuel," (2014).
- 44.D. Antonov, M. Piskunov, P. Strizhak, D. Tarlet, and J. Bellettre, "Dispersed phase structure and micro-explosion behavior under different schemes of water-fuel droplets heating," *Fuel* 259 (2020).
- 45.W. C. Griffin, "Classification of surface active agents by HLB," *J. Soc. Cosmet. Chem.* 1, 311–326 (1949).
- 46.W. C. Griffin, "Calculation of HLB values of non-ionic surfactants," *J. Soc. Cosmet. Chem.* 5, 249–256 (1954).
- 47.E. Ruckenstein, "Microemulsions, Macroemulsions, and the Bancroft Rule," *Langmuir* 12, 6351–6353 (1996).
- 48.J. Viades-Trejo and J. Gracia-Fadrique, "Spinning drop method: From Young–Laplace to Vonnegut," *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects* 302, 549–552 (2007).
- 49.R. P. Chhabra and J. F. Richardson, "Chapter 1 - Non-Newtonian Fluid Behaviour," in *Non-Newtonian Flow and Applied Rheology (Second Edition)*, edited by R. P. Chhabra and J. F. Richardson (Butterworth-Heinemann, Oxford, 2008) second edition ed., pp. 1–55.
- 50.V. Bertola, "Wicking with a yield stress fluid," *Journal of Physics: Condensed Matter* 21, 35107 (2008).
- 51.A. Günther and K. F. Jensen, "Multiphase microfluidics: from flow characteristics to chemical and materials synthesis," *Lab Chip* 6, 1487–1503 (2006).
- 52.D. O. Glushkov, A. O. Pleshko, O. S. Yashutina, Heat, and M. T. S. Laboratory, "Influence of heating intensity and size of gel fuel droplets on ignition characteristics," *International Journal of Heat and Mass Transfer* 156 (2020), 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2020.119895.

- 53.D. O. Glushkov, G. V. Kuznetsov, A. G. Nigay, and V. A. Yanovsky, “Influence of gellant and drag-reducing agent on the ignition characteristics of typical liquid hydrocarbon fuels,” *Acta Astronautica* 177, 66–79 (2020).
- 54.C. Mundo, M. Sommerfeld, and C. Tropea, “Droplet-wall collisions: Experimental studies of the deformation and breakup process,” *International Journal of Multiphase Flow* 21, 151–173 (1995).
- 55.C. CLANET, C. BÉGUIN, D. RICHARD, and D. QUÉRÉ, “Maximal deformation of an impacting drop,” *Journal of Fluid Mechanics* 517, 199–208 (2004).
- 56.A. Eslami and S. M. Taghavi, “Viscous fingering of yield stress fluids: The effects of wettability,” *Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics* 264, 25–47 (2019).
- 57.S. Chen and V. Bertola, “The impact of viscoplastic drops on a heated surface in the Leidenfrost regime,” *Soft Matter* 12, 7624–7631 (2016).
- 58.G. German and V. Bertola, “The spreading behaviour of capillary driven yield-stress drops,” *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects* 366, 18–26 (2010).