

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

Институт природных ресурсов
Направление подготовки 18.04.01 Химическая технология
Кафедра Химическая технология топлива и химическая кибернетика

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Повышение эффективности смешения компонентов товарных бензинов методом вычислительной гидродинамики

УДК 665.65

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2ДМ4Б	Майлин Максим		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Киргина М.В.	к.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Криницына З.В.	к.т.н., доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Чулков Н.А.	к.т.н., доцент		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ХТТиХК	Юрьев Е.М.	к.т.н., доцент		

Томск – 2016 г.

Планируемые результаты обучения
по направлению подготовки магистров
18.04.01 «Химическая технология»

Код результата	Результат обучения
Профессиональные компетенции	
P1	Применять <i>глубокие</i> естественно-научные, математические и инженерные <i>знания</i> для создания <i>новых</i> материалов
P2	Применять <i>глубокие знания</i> в области современных технологий химического производства для решения <i>междисциплинарных</i> инженерных задач
P3	Ставить и решать <i>инновационные</i> задачи <i>инженерного анализа</i> , связанные с созданием материалов и изделий, с использованием системного анализа и моделирования объектов и процессов химической технологии
P4	Разрабатывать химико-технологические процессы, <i>проектировать</i> и использовать <i>новое</i> оборудование для создания материалов, конкурентоспособных на <i>мировом</i> рынке
P5	Проводить теоретические и экспериментальные <i>исследования</i> в области создания <i>новых</i> материалов, современных химических технологий, нанотехнологий
P6	Внедрять, <i>эксплуатировать</i> современные высокотехнологичные линии автоматизированного производства, обеспечивать их <i>высокую эффективность</i> , соблюдать правила охраны здоровья и безопасности труда на химическом производстве, выполнять требования по защите окружающей среды
Универсальные компетенции	
P7	Использовать <i>глубокие знания</i> по <i>проектному менеджменту</i> для ведения <i>инновационной</i> инженерной деятельности с учетом юридических аспектов защиты интеллектуальной собственности
P8	<i>Активно</i> владеть <i>иностранным языком</i> на уровне, позволяющем работать в иноязычной среде, разрабатывать документацию, презентовать и защищать результаты инновационной инженерной деятельности
P9	Эффективно работать индивидуально, в качестве <i>члена и руководителя группы</i> , состоящей из специалистов различных направлений и квалификаций, демонстрировать ответственность за результаты работы и готовность <i>следовать корпоративной культуре</i> организации
P10	Демонстрировать <i>глубокие знания социальных, этических и культурных аспектов</i> инновационной инженерной деятельности, компетентность в вопросах <i>устойчивого развития</i>
P11	<i>Самостоятельно учиться</i> и непрерывно <i>повышать квалификацию</i> в течение всего периода профессиональной деятельности

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

Институт природных ресурсов
Направление подготовки 18.04.01 Химическая технология
Кафедра Химическая технология топлива и химическая кибернетика

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой

(Подпись) _____ (Дата) Юрьев Е.М.
(Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Магистерской диссертации

Студенту:

Группа	ФИО
2ДМ4Б	Майлину Максиму

Тема работы:

Оптимизация процесса производства товарных бензинов

Утверждена приказом директора (дата, номер)

09.03.2016 г. №1750/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:

01.06.2016 г.

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Данные о технологии и рецептурах смешения компонентов товарных бензинов на автоматической станции смешения АО «ГАЗПРОМНЕФТЬ-ОНПЗ».
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	<ol style="list-style-type: none">1. Автомобильные бензины<ol style="list-style-type: none">1.1 Характеристики качества автомобильных бензинов<ol style="list-style-type: none">1.1.1 Испаряемость автомобильных бензинов1.1.2 Детонационная стойкость автомобильных бензинов1.2 Требования, предъявляемые к качеству автомобильных бензинов1.3 Технология производства и компоненты автомобильных бензинов2 Современные программные комплексы для моделирования движения жидкости и газа3 Технология приготовления товарных бензинов на АО «ГАЗПРОМНЕФТЬ-ОНПЗ»<ol style="list-style-type: none">3.1 Приём компонентов бензинов по ходовым трубопроводам с установок

	3.2 Приготовление товарных бензинов на АССБ 4 Повышение эффективности смешения компонентов товарных бензинов методом вычислительной гидродинамики 4.1 Программный комплекс FlowVision 4.2 Создание модели смешительного трубопровода и задание начальных условий 4.3 Задание физической модели 4.4 Генерация и сходимость расчетной сетки 4.5 Расчет гидродинамики смешения компонентов бензина 4.6 Расчет гидродинамики смешения компонентов бензина с применением насадочных устройств 4.7 Расчет гидродинамики смешения компонентов бензина с применением U-образного трубопровода 4.8 Расчет экономической эффективности 5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение 6 Социальная ответственность
--	--

Перечень графического материала нет

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Креницына Зоя Васильевна, к.т.н., доцент
Социальная ответственность	Чулков Николай Александрович, к.т.н., доцент

Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:

На иностранном языке:
Современные программные комплексы для моделирования движения жидкости и газа.

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	01.03.2016 г.
---	---------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент каф. ХТТ и ХК	Киргина М.В.	к.т.н.		01.03.16 г.

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2ДМ4Б	Майлин М.В.		01.03.16 г.

Оглавление

Введение.....	7
1. Автомобильные бензины.....	10
1.1 Характеристики качества автомобильных бензинов	10
1.1.1 Испаряемость автомобильных бензинов.....	11
1.1.2 Детонационная стойкость автомобильных бензинов	12
1.2 Требования, предъявляемые к качеству автомобильных бензинов	13
1.3 Технология производства и компоненты автомобильных бензинов.....	16
2 Современные программные комплексы для моделирования движения жидкости и газа	22
3 Технология приготовления товарных бензинов на АО «ГАЗПРОМНЕФТЬ-ОНПЗ»	46
3.1 Приём компонентов бензинов по ходовым трубопроводам с установок ..	58
3.2 Приготовление товарных бензинов на АССБ.....	59
5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	63
5.1 Потенциальные потребители результатов исследования	64
5.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	64
5.3 SWOT-анализ.....	65
5.4 Оценка готовности проекта к коммерциализации.....	67
5.5 Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования	70
5.6 Инициация проекта	70
5.7 Планирование управления научно-техническим проектом	74
5.7.1 Иерархическая структура работ проекта.....	74
5.7.2 Контрольные события проекта.....	75
5.8. План проекта.....	77
5.9 Бюджет научного исследования.....	82
5.10 Организационная структура проекта	85
5.11 Матрица ответственности	86

5.12 План управления коммуникациями проекта.....	87
5.13 Реестр рисков проекта	87
5.14 Оценка сравнительной эффективности исследования	88
Список публикаций студента.....	92

Введение

Нефтеперерабатывающий завод – крупное индустриальное предприятие, основной целью которого является производство различного типа топлив, масел и сырья для нефтехимии. Наиболее значимой статьёй затрат любого НПЗ являются расходы на энергоресурсы: электроэнергию, водяной пар, оборотную воду и т.д. Поэтому энергосбережение и ресурсоэффективность – основной приоритет модернизации и развития нефтеперерабатывающего комплекса России.

Сегодня в мире производство высокооктанового бензина достигает 1 млрд. тонн в год. В России более половины производимого высокооктанового бензина приходится на долю АО «ГАЗПРОМНЕФТЬ-ОНПЗ».

Завершающим этапом производства бензина на любом НПЗ является компаундирования – процесс смешения различных углеводородных потоков, антидетонационных присадок и высокооктановых добавок. Однако зачастую при смешении бензиновых компонентов не учитывается гидродинамика движения потоков, что отражается на дополнительных затратах предприятия на получение однородной бензиновой смеси. Так, для полного растворения, вовлекаемого в процесс компаундирования толуольного концентрата, необходимо перемешивание конечной смеси в пределах 3-4 часов. С учетом объемов производства товарных бензинов, на осуществления данной технологической операции затрачивается значительное количество электроэнергии. В связи с этим вопрос повышения энерго- и ресурсоэффективности производства товарных бензинов различных марок и требуемого качества за счет уменьшения энергозатрат производства является актуальным для любого нефтеперерабатывающего завода.

Таким образом, целью данной работы является повышение эффективности смешения компонентов товарных бензинов на АО «ГАЗПРОМНЕФТЬ-ОНПЗ» методом вычислительной гидродинамики.

Для достижения данной цели были поставлены следующие задачи:

- разработать модель финального смесительного трубопровода для смешения углеводородных потоков, а также определить физико-химические свойства индивидуальных углеводородов, входящих в состав компонентов автомобильных бензинов;
- определить оптимальную расчетную область с точным набором расчетных ячеек для более точного и в тоже время быстрого расчета;
- провести расчеты гидродинамики смешения компонентов бензина для двух различных рецептур;
- разработать насадочные элементы различной конструкции для исключения необходимости дополнительного перемешивания;
- рассчитать гидродинамику смешения компонентов бензина для двух различных рецептур с использованием разработанных насадочных элементов;
- рассчитать гидродинамику смешения компонентов бензина для двух различных рецептур с использованием U-образного трубопровода.

Объектом исследования в данной работе является автоматическая станция смешения бензинов АО «ГАЗПРОМНЕФТЬ-ОНПЗ». Предмет исследования – гидродинамики процесса смешения компонентов товарных бензинов. Работа выполнялась с применением метода вычислительной гидродинамики, как наиболее эффективного метода для моделирования движения жидкостей.

Научная новизна работы:

1. Показано, что с использованием метода вычислительной гидродинамики можно определить концентрацию каждого углеводорода в смеси в любой точке объема, установить гидродинамический режим движения потоков, использовать подобные расчеты разработки рецептур смешения с целью повышения энергоэффективности процесса.

2. Установлено, что для получения однородной смеси необходимо применение насадочных элементов, которые повышают турбулентность потока и интенсифицируют процесс перемешивания.

3. Показано, что при использовании U-образного трубопровода турбулентность потока возрастает незначительно, что свидетельствует о нецелесообразности его применения.

Практическая значимость работы: в ходе работы установлено, что при использовании трех гофрированных или одной вихревой насадок исключается необходимость дополнительного перемешивания, что позволяет сэкономить около 89 млн. рублей в год и увеличить энергоэффективность процесса и конкурентоспособность товарных бензинов.

1. Автомобильные бензины

1.1 Характеристики качества автомобильных бензинов

Бензин – это горючая смесь лёгких углеводородов с температурой кипения от 30 до 200 °С, плотностью около 0,75 г/см³, теплотворной способностью примерно составляющей 10500 ккал/кг (46 МДж/кг; 34,5 МДж/литр), температурой замерзания ниже -60 °С [1].

Бензины предназначены для применения в поршневых двигателях внутреннего сгорания с принудительным воспламенением (от искры). В зависимости от назначения их разделяют на автомобильные и авиационные. Несмотря на различия в условиях применения автомобильные и авиационные бензины характеризуются в основном общими показателями качества, определяющими их физико-химические и эксплуатационные свойства [2].

Современные автомобильные и авиационные бензины должны соответствовать ряду требований, обеспечивающих экономичную и надежную работу двигателя [3]:

- иметь хорошую испаряемость, позволяющую получить однородную топливовоздушную смесь оптимального состава при любых температурах;
- иметь групповой углеводородный состав, обеспечивающий устойчивый, бездетонационный процесс сгорания на всех режимах работы двигателя;
- не изменять своего состава и свойств при длительном хранении и не оказывать вредного влияния на детали топливной системы, резервуары, резинотехнические изделия и др.

В последние годы экологические свойства топлива выдвигаются на первый план. Сегодня в целях повышения благосостояния окружающей среды резко сокращается допустимое содержание тех или иных веществ в бензине. К примеру, содержание бензола не должно превышать 1 об. %, ароматических углеводородов – 35 об. %, серы – 50 мг/кг, олефинов – 18 об. %. Также

запрещено вовлечение в бензины металлосодержащих добавок, таких как тетраэтилсвинец, органические соединения марганца и железа.

1.1.1 Испаряемость автомобильных бензинов

Для обеспечения полного сгорания топлива в двигателе необходимо перевести его в короткий промежуток времени из жидкого состояния в парообразное и смешать с воздухом в определенном соотношении – 1:14 – т.е. создать рабочую смесь. К физико-химическим показателям, от которых зависит испаряемость бензинов, относят давление насыщенных паров, фракционный состав, скрытую теплоту испарения, коэффициент диффузии паров, вязкость, поверхностное натяжение, теплоемкость, плотность.

Давление насыщенных паров зависит от температуры и от соотношения паровой и жидкой фаз и уменьшается с уменьшением температуры и увеличением отношения паровой фазы к жидкой. В лабораторных условиях давление насыщенных паров определяют при температуре 37,8 °С и соотношении паровой и жидкой фаз (3,8-4,2):1 в «Бомбе Рейда» (ГОСТ 1756-52) или аппарате с механическим диспергированием типа «Вихрь» (ГОСТ 28781-90) [3].

Фракционный состав бензинов определяют перегонкой на специальном приборе, при этом отмечают температуру начала перегонки, температуру выпаривания 10, 50, 90 % и конца кипения, или объем выпаривания при 70, 100 и 180 °С. Требования к фракционному составу и давлению насыщенных паров бензинов определяются конструкцией автомобильного двигателя и климатическими условиями его эксплуатации [3].

От фракционного состава зависят такие показатели как скорость прогрева двигателя, его приемистость, износ цилиндропоршневой группы. Приемистость – способность бензинов к повышению детонационной стойкости при добавлении антидетонаторов. Наиболее существенное влияние на скорость прогрева двигателя и его приемистость оказывает температура перегонки 50 % бензина. Температура выкипания 90 % бензина также влияет на эти

характеристики, но в меньшей степени. Скорость прогрева двигателя, его приемистость зависят и от температуры окружающего воздуха. Чем ниже температура воздуха, тем ниже должна быть температура перегонки 50 % бензина для обеспечения быстрого прогрева и хорошей приемистости двигателя. При понижении температуры это влияние усиливается. Поэтому нормы на этот показатель также зависят от температурных условий эксплуатации и различаются по сезону и климатическим зонам [3].

1.1.2 Детонационная стойкость автомобильных бензинов

Детонационная стойкость характеризует способность автомобильных бензинов противостоять самовоспламенению при сжатии. Высокая детонационная стойкость топлив обеспечивает их нормальное сгорание на всех режимах эксплуатации двигателя.

Процесс горения топлива в двигателе носит радикальный характер. При сжатии рабочей смеси температура и давление повышаются и начинается окисление углеводородов, которое интенсифицируется после воспламенения смеси. Если углеводороды несгоревшей части топлива обладают недостаточной стойкостью к окислению, начинается интенсивное накапливание перекисных соединений, а затем их взрывной распад. При высокой концентрации перекисных соединений происходит тепловой взрыв, который вызывает самовоспламенение топлива. Самовоспламенение части рабочей смеси перед фронтом пламени приводит к взрывному горению оставшейся части топлива, к так называемому детонационному сгоранию. Детонация вызывает перегрев, повышенный износ или даже местные разрушения двигателя и сопровождается резким характерным звуком, падением мощности, увеличением дымности выхлопа. На возникновение детонации оказывает влияние состав применяемого бензина и конструктивные особенности двигателя [3].

Показателем детонационной стойкости автомобильных бензинов является октановое число. Октановое число численно равно содержанию (% об.) изооктана (2,2,4,-триметилпентана) в его смеси с *n*-гептаном, которая по

детонационной стойкости эквивалентна топливу, испытываемому на одноцилиндровом двигателе с переменной степенью сжатия в стандартных условиях на бедной рабочей смеси. В лабораторных условиях октановое число автомобильных бензинов и их компонентов определяют на одноцилиндровых моторных установках УИТ-85 или УИТ-65. Склонность исследуемого топлива к детонации оценивается сравнением его с эталонным топливом, детонационная стойкость которого известна. Октановое число на установках определяется двумя методами: моторным (по ГОСТ 511-82) и исследовательским (по ГОСТ 8226-82). Октановое число углеводородов снижается в следующем порядке [3]:

ароматические > изопарафины > олефины > нафтены > n-парафины.

1.2 Требования, предъявляемые к качеству автомобильных бензинов

На сегодняшний день основную массу автомобильных бензинов в России вырабатывают по ГОСТ Р 51866-2002 «Топлива моторные. Бензин неэтилированный. Технические условия» и Техническому регламенту Таможенного Союза ТР ТС 013/2011 «О требованиях к автомобильному и авиационному бензину, дизельному и судовому топливу, топливу для реактивных двигателей и мазуту».

В связи с новыми требованиями резко сократились основные экологические характеристики бензина. К примеру, содержание серы уменьшилось с 0,05 мас. % (500 мг/кг) до максимального 150 мг/кг, объемная доля бензола уменьшилась с 5 об. % до 1 об. %. Также с введением новых стандартов ограничивается содержание ароматики (35 об. %, класс 4, 5) и олефинов (18 об. %), запрещены любые антидетонационные присадки на основе марганца, железа и свинца.

Таблица 1.2 – Нормы и требования к качеству автомобильных бензинов по
ГОСТ Р 51866-2002 «Топлива моторные. Бензин неэтилированный.
Технические условия» [4]

Наименование показателя	Значение
1 Октановое число, не менее:	
по исследовательскому методу	95,0
по моторному методу	85,0
2 Концентрация свинца, мг/дм ³ , не более	Отсутствие
3 Плотность при 15 °С, кг/м ³	720-775
4 Концентрация серы, мг/кг, не более	
вид I	150
вид II	50
вид III	10
5 Устойчивость к окислению, мин, не менее	360
6 Концентрация смол, промытых растворителем, мг на 100 см ³ бензина, не более	5
7 Коррозия медной пластинки (3 ч при 50 °С), единицы по шкале	Класс 1
8 Внешний вид	Прозрачный и чистый
9 Объемная доля углеводородов, %, не более:	
Олефиновых	18
Ароматических	
вид I	42,0
вид II	35,0
вид III	35,0
10 Объемная доля бензола, %, не более	1,0
11 Массовая доля кислорода, %, не более	2,7
12 Объемная доля оксигенатов, %, не более:	
Метанола	Отсутствие
Этанола	5
изопропилового спирта	10
изобутилового спирта	10
третбутилового спирта	7
эфиров (C ₅ и выше)	15
других оксигенатов	10
12 Объемная доля монометиланилина (N-метиланилина), %, не более:	
вид I и II	1,0
вид III	Отсутствие

Таблица 1.3 – Нормы и требования к качеству автомобильных бензинов согласно Техническому регламенту Таможенного Союза ТР ТС 013/2011 «О требованиях к автомобильному и авиационному бензину, дизельному и судовому топливу, топливу для реактивных двигателей и мазуту» [5]

Характеристики автомобильного бензина	Нормы в отношении экологического класса			
	К2	К3	К4	К5
Массовая доля серы, мг/кг, не более	500	150	50	10
Объемная доля бензола, %, не более	5	1		
Массовая доля кислорода, %, не более	не определяется	2,7		
Объемная доля углеводородов, %, не более				
Ароматических	не определяется	42	35	
Олефиновых	не определяется	18		
Октановое число				
по исследовательскому методу не менее	80			
по моторному методу, не менее	76			
Давление насыщенных паров, кПа				
в летний период	35 – 80			
в зимний период	35 – 100			
Концентрация железа, мг/дм ³ , не более	отсутствие			
Концентрация марганца, мг/дм, не более	отсутствие			
Концентрация свинца*, мг/дм ³ , не более	5			
Объемная доля монометиланилина, не более, %	1,3			отсутствие
Объемная доля оксигенатов, не более, %				
метанола**	не определяется	1		
Этанола	не определяется	5		
Изопропанола	не определяется	10		
Третбутанола	не определяется	7		
Изобутанола	не определяется	10		
эфиров, содержащих 5 или более атомов углерода в молекуле	не определяется	15		
других оксигенатов (с температурой конца кипения не выше 210 °С)	не определяется	10		
* – для Российской Федерации для экологических классов К2, К3, К4 и К5 отсутствие;				
** – для Российской Федерации для экологических классов К3, К4 и К5 отсутствие.				

1.3 Технология производства и компоненты автомобильных бензинов

По составу автомобильные бензины представляют собой смесь компонентов, получаемых в результате различных технологических процессов: прямой перегонки нефти, каталитического риформинга, каталитического крекинга и гидрокрекинга вакуумного газойля, изомеризации прямогонных фракций, алкилирования, ароматизации термического крекинга, висбрекинга, замедленного коксования.

Бензины каталитического риформинга характеризуются низким содержанием серы, в их составе практически отсутствуют олефины, поэтому они высокостабильны при хранении. К их недостаткам также относится неравномерность распределения детонационной стойкости по фракциям.

Бензины каталитического крекинга характеризуются низкой массовой долей серы, октановыми числами по исследовательскому методу 90-93 единицы. Содержание в них ароматических углеводородов составляет 30-40 %, олефиновых – 25-35 % [2].

Изомеризат, продукт процесса изомеризации нормальных парафинов, обладает высокими значениями октановых чисел. Октановые числа изомеризатов фракции C_5 колеблются в пределах 88-92 ед., фракции C_6 – 84-92 ед. по исследовательскому методу.

Алкилат, продукт алкилирования парафинов олефинами, представляет собой смеси изопарафинов. Алкилат характеризуется высокими значениями октановых чисел (90-95 ед.), низкой чувствительностью (разница между ОЧМ и ОЧИ не превышает 1-2 ед.), химической стабильностью [3]. Алкилат – идеальный компонент бензина, поскольку имеет высокие октановые числа по исследовательскому (не ниже 95) и моторному (не ниже 92) методам, низкое давление насыщенных паров (менее $0,43 \text{ кг/см}^2 \text{ абс.}$), не содержит ароматических соединений, олефинов и серы [6].

Прямогонные бензиновые фракции получают в процессе атмосферной разгонки нефти. Их октановые числа зависят от температурных пределов перегонки [3]. Бензины прямой перегонки, в которых много парафиновых углеводородов слабо разветвленного строения с низкой детонационной стойкостью, обладают низкими октановыми числами [7]. В результате компаундирования бензина при увеличении доли прямогонной бензиновой фракции и прочих неизменных составляющих октановая характеристика товарной продукции снижается, так как прямогонный бензин имеет невысокое октановое число – 50-60 по моторному методу. Поэтому в составе топлива необходимо будет увеличить долю высокооктановых компонентов, что в свою очередь приведет к возрастанию стоимости товарного продукта [8].

Антидетонационные присадки – химические агенты, разрушающие пероксиды, образующиеся на предпламенной стадии горения топлива и вызывающие детонацию. Введение присадок в бензин позволяет увеличить объемы выработки топлива и улучшить его эксплуатационные свойства.

В настоящее время наибольший интерес представляют присадки на основе N-метиланилина. Присадки на базе других аминов в России не применяются, хотя также характеризуются достаточно высоким антидетонационным эффектом. Недостатком ароматических аминов является повышенная склонность к смолообразованию, вследствие чего их концентрация в бензинах ограничена величиной 1,0-1,3 %. [9].

Оксигенаты – собирательное название кислородсодержащих компонентов топлив: спиртов и простых эфиров. Оксигенаты характеризуются высоким октановым числом смешения, низкой летучестью, пониженной фотохимической активностью.

МТБЭ по объему применения является основным оксигенатом в нашей стране и за рубежом. Это единственный эфир, допущенный к применению в России в качестве компонента автомобильных бензинов. МТБЭ имеет самые высокие октановые характеристики по сравнению с другими эфирами. Максимально допустимая концентрация МТБЭ в бензинах составляет 15 % из-

за его относительно низкой теплоты сгорания и высокой агрессивности по отношению к резинам [10].

На сегодняшний день существуют различные технологии, позволяющие получить готовое смесевое топливо (в объеме и в потоке). В основном, они отличаются энергозатратами, эффективностью производства и влиянием на окружающую природную среду.

Первый тип смешения представляет собой процесс смешения в объеме – это смешение базового компонента и присадок прямо в резервуаре. Данная технология применима лишь для небольших емкостей, ненадежна и давно уже устарела, так как процесс смешивания компонентов в смесительных емкостях отдельными замесами (партиями готового продукта) требует применения большого объема ручных операций, связанных с последовательными загрузками рецептурных компонентов, и производится при помощи насосов. Кроме того, традиционные смесительные установки обвязываются длинными рециркуляционными трубопроводными линиями и зачастую характеризуются неоправданным завышением качественных показателей готовой продукции и повышенными трудозатратами. Если говорить конкретно, то при традиционной технологии каждый рецептурный компонент подается при помощи насоса из своего хранилищного резервуара в смесительную (хранилищную) емкость готового продукта через систему трубопроводов. В этом случае важно соблюдать последовательность подачи компонентов, а именно: сначала подаются наиболее тяжелые компоненты (с высоким удельным весом), а затем более легкие компоненты (с низким удельным весом). Подача в резервуар сначала тяжелых компонентов обеспечивает создание в его нижней части достаточного давления с тем, чтобы последующая подача в него легких компонентов не вызывала образования паров. Дозирование каждого подаваемого на смешение компонента выполняется при помощи расходомерных приборов, установленных на их хранилищных резервуарах. После подачи всех компонентов при помощи рециркуляционного насоса, которым оснащается резервуар готового продукта, производится смесительный

цикл. Точность такой технологии смешения зависит от точности дозирующего приборного обеспечения резервуарного парка, системы управления подающими насосами (обычно ручной режим) и времени, которое требуется для рециркуляции смеси с целью получения гомогенизированного конечного продукта. Однако, исходя из требований сегодняшнего и будущего рынка сбыта готовой продукции в отношении ужесточившихся стандартов по охране окружающей среды, а также рентабельности производства, такая технология все чаще и чаще рассматривается как устаревшая, и в этой связи большинство нефтеперерабатывающих компаний в мире переводят свои производства моторных топлив на автоматизированные поточные смесительные установки [11].

Технология смешения в потоке имеет ряд преимуществ: простота в обслуживании; возможность точного контроля дозируемых компонентов; высокое качество конечного продукта; высокая производительность; возможность использования большого количества присадок; возможность контроля расходов компонентов; возможность привязки оборудования как к новым объектам, так и к уже действующим; значительное сокращение продолжительности смесительного цикла и отказ от использования смесительных емкостей для обеспечения гомогенизации готового продукта. В поточном смесителе используется смесительный процесс, позволяющий одновременно подавать все компоненты в заданном рецептурном соотношении в общий смесительный коллектор, по которому готовый продукт подается в хранилищный резервуар. На поточных смесительных установках для постоянного мониторинга процесса могут устанавливаться анализаторы двух типов: NIR – анализатор около-инфракрасного спектра и MRA – магнитно-резонансный анализатор [12].

Смешение в потоке производится двумя способами: дозированным впрыском или с использованием оборудования эжекторного типа. Одной из самых ранних и уже отработанных является технология компаундирования дозированного впрыска.

Она позволяет с помощью насоса подмешивать дополнительные вещества к базовому компоненту. Также, на НПЗ устанавливаются задвижки, их связывают с компьютером, просчитывают объем впрыска компонента и т.д. У оператора есть утвержденная рецептура, на основании которой он добавляет к исходному веществу определенное количество необходимых присадок и в конечном результате получает бензин.

Обязательно берутся пробы, которые должны подтвердить качество, соответствующие ГОСТ. Такое оборудование позволяет программировать объемы смешения и осуществлять его в потоке струйновихревого типа.

По техническим характеристикам установки дозированного впрыска могут быть: многотоннажными (от 100 м³/час) и малотоннажными (до 100 м³/час) [12].

К основному достоинству применения данного оборудования можно отнести высокую производительность – более 100 м³/ч, которой установки эжекторного типа похвастаться не могут. Недостатком этой технологии является высокая стоимость оборудования.

Приборы эжекторного типа представляют собой набор смесителей, которые по специальной схеме устанавливаются внутри резервуара. Дозирование производится либо самостоятельным, встроенным в линию подачи компонентов электронным счетчиком, либо средствами дозирования (имеющимися на предприятии) с установленной в рецептуре точностью.

Установки эжекторного типа могут применяться на предприятиях нефтеперерабатывающей промышленности, нефтебазах и автозаправочных станциях. Они предназначены для эксплуатации и в помещениях, и на открытых площадках под навесом. Конструкция установки обеспечивает безопасную эксплуатацию в помещениях повышенной опасности как на вновь строящихся, так и на действующих предприятиях.

Смесевая установка эжекторного типа состоит из следующих основных узлов и агрегатов: центробежного насоса, подающего основной поток; смесителя эжекторного типа; индикаторов-ротаметров расхода компонентов и

присадок; запорной арматуры; фильтров-ловушек; индикаторов-манометров режима работы.

Основная стадия технологического процесса производства смесевых бензинов – непрерывная эжекция топливных компонентов и их механическое мелкодисперсное ультразвуковое компаундирование. Работа установки начинается с подачи центробежным многоступенчатым насосом высокого давления основного потока в систему жиклеров эжектора. Струя основного потока под давлением не менее 1,7 МПа, проходя по жиклерам, создает разрежение в коллекторе установки. За счет созданного вакуума происходит дозируемая подача компонентов, добавок и присадок. Далее частично перемешанное в потоке и дозированное топливо попадает в смеситель, где разбивается в мелкодисперсную смесь и, проходя через ультразвуковую головку, смешивается окончательно [12].

Эжекторная технология позволяет в полном объеме: производить смесевые бензины, контролировать качество готового продукта, вносить корректировку в имеющиеся рецепты в зависимости от качества входных компонентов. Также в процессе производственного процесса может осуществляться любая корректировка по рецептурам, установка за несколько секунд перестраивается с выпуска одного продукта на другой.

Смесительные установки бывают как стационарного, так и мобильного исполнения (мобильные могут монтироваться на прицепах и полуприцепах, фургонах и железнодорожных платформах, а так же любых других мобильных средствах).

Таким образом, инжекционная технология позволяет устранить неудобства, возникающие при обычных методах смешивания, известных на сегодняшний день, в результате которых топливо при добавлении отдельных составляющих частей имеет свойства расслаиваться.

2 Современные программные комплексы для моделирования движения жидкости и газа

На сегодняшний день для моделирования движения жидкости и газа существуют большое количество программных комплексов, которые помимо моделирования гидродинамики позволяют считать и эксплуатационные характеристики процессов. Однако программные комплексы могут отличаться как по набору расчетных уравнений, так и по времени и точности расчета. Далее будет приведен обзор наиболее применяемых программных комплексов.

Acusolve

Построенный на строгом научном фундаменте, AcuSolve является проверенным пакетом для компаний, которые изучают свои разработки. AcuSolve предоставляет большие возможности анализа потоков жидкости без трудностей, связанных с традиционными программами CFD.

Численные методы AcuSolve дают стабильные и точные результаты моделирования вне зависимости от качества и топологии элементов сетки. Единая архитектура постпроцессора AcuSolve и постоянно развивающийся набор функций обеспечивает ценный инструмент для любой компании, которой необходимо выполнение CFD анализа

AcuSolve обладает следующими преимуществами [13]:

1. Надежность.

Мощная технология расчета AcuSolve предоставляет пользователям самое надежное решение на рынке CFD. Технология расчета AcuSolve, в сочетании с автоматизированной неструктурированной сеткой, уменьшает нагрузку процессора для предварительной обработки и позволяет ученым и инженерам достичь своих конечных целей быстрее: анализа результатов и изучение физики их применения. В AcuSolve не требуется дополнительных операций пользователей, чтобы проанализировать бесчисленные методы и исследовать различные процедуры решения. AcuSolve использует единый

механизм расчета для всех режимов течения с очень малыми параметрами для задачи условий.

2. Скорость.

AcuSolve быстро выдает результаты решения в сочетании с системой уравнений давления/скорость с помощью самых передовых научно-доказанных численных методов. Это дает быструю линейную и нелинейную сходимость скорости как для стационарного моделирования, так и для переходных процессов моделирования. В дополнение к эффективности численных методов, AcuSolve была спроектирована с нуля, чтобы воспользоваться всеми преимуществами параллельных вычислительных платформ. Все алгоритмы в постпроцессоре предназначены для многоядерных параллельных кластеров с использованием гибридных распределенных или с общей памятью параллельных моделей, которые полностью автоматизированы в рамках выполнения расчета.

3. Точность.

Численные методы AcuSolve были настроены так, чтобы обеспечить достаточную скорость и точность для самых сложных задач CFD моделирования. Одним из методов высокой точности является применение равных интерполяций для всех переменных. Данный акцент на точность еще больше повышает скорость расчета, позволяя достичь высокого уровня точности с AcuSolve через сетку гораздо меньшего размера, чем требуется для достижения сравнимых результатов с помощью других программ моделирования CFD, которые встречаются на рынке. В дополнение к меньшему размеру сетки, для получения сопоставимых результатов AcuSolve способен сохранять второй порядок точности по всем топологиям элемента.

ANSYS Fluent

ANSYS Fluent – это самый мощный инструмент программного обеспечения вычислительной гидродинамики (CFD) и позволяет совершенствовать расчеты по мере оптимизации производительности продукта. Программа включает в себя также проверку возможности физического

моделирования, чтобы быстро предоставлять точные результаты в широком спектре CFD и конечных приложений [14].

Программное обеспечение ANSYS Fluent содержит широкие материальные возможности, необходимые для моделирования потоков, турбулентности, теплообмена и реакций для промышленных установок, начиная от потока воздуха над крылом самолета до сжигания в печи, от воздушно-пузырьковых колонн до нефтяных платформ, от движения частиц в производстве полупроводников и до проектирования дизайна в очистных сооружениях. Также имеется расширенный пакет специальных моделей, которые дают программы возможность моделирования процесса горения, аэроакустики, турбомашин, а также многофазных систем.

В статье [15] авторы проводят моделирование с использованием гофрированной гибкой трубы. Целью моделирования является оценка перепада давления и установление поведения потока в различных конфигурациях геометрии гофры. Для оценки изменения давления в гофре авторы не моделировали изменения фазы и пузырьков кавитации, но точно оценили падение давления вдоль трубы.

Все решения, представленные в статье, производятся с использованием программы AcuSolve™ с конечно-элементными уравнениями Навье-Стокса, где постпроцессор основан на методе Галеркина и методе наименьших квадратов. Учитывая, что используемая здесь геометрия гофрированной трубы имеет цилиндрическую симметрию, декартовы координаты заняты, иллюстрируя потенциал постпроцессора для моделирования сложной геометрии с большими изгибами (3 контактных сети с разной кривизной) и с использованием неструктурированных сеток.

Авторы исследуют полномасштабное 3D моделирование, используя устойчивую модель Рейнольдса для усредненных уравнений Навье-Стокса (RANS) и переходные модели DDES для трех конфигураций диапазонов скоростей потока. На рисунке 2.1 (верхний) можно увидеть контуры величины скорости с помощью модели RANS при числе Рейнольдса равным $9,38 \cdot 10^6$ для

базовой модели с гофрированной трубой. Полностью разработанные и усредненные по времени устойчивые поведения потоков можно наблюдать из данного рисунка. Как и ожидалось от модели RANS, нет никаких физических неустановившихся движений в поле скоростей. На рисунке 2.1 можно наблюдать контуры продольных скоростей по сечению трубы из волнистого листового металла при использовании модели DDES. Из данного рисунка достаточно хорошо видно нестационарность потока и турбулентность 3-D структуры.

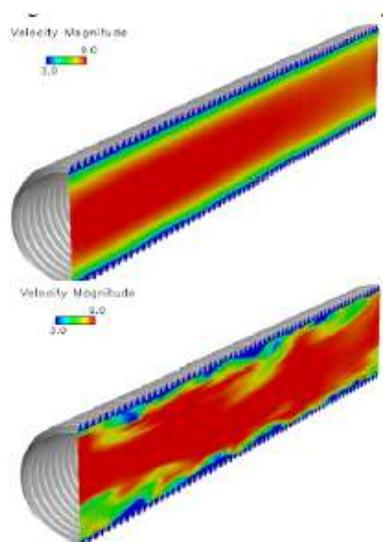


Рисунок 2.1 – Разброс продольных скоростей контура величины гофрированных труб при $Q=3333 \text{ м}^3/\text{ч}$ для базовой модели RANS (сверху) и DDES (внизу)

На рисунке 2.2 показаны изолинии поперечного потока величины скорости в трех плоскостях поперечного сечения гофрированной трубы. Также на данном рисунке можно увидеть значительные вариации в величине окружных скоростей. Эти местные различия связаны с завихрением, которое определяется как вращение поля скоростей.

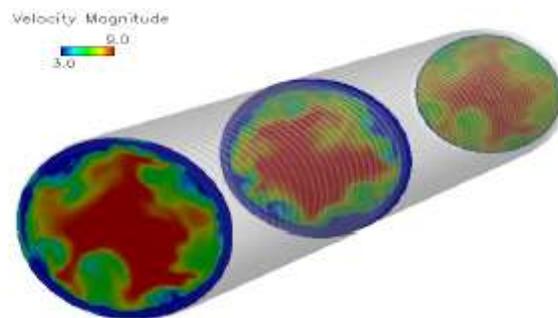


Рисунок 2.2 – Мгновенная величина скорости контуров в поперечной плоскости для скорости потока $Q=3333 \text{ м}^3/\text{ч}$ ($Re = 9,38 \cdot 10^6$)

На рисунке 2.3 показаны сложные полосы 3D турбулентной структуры малой скорости и плоскости продольных вихрей. Взаимодействие между этими структурами является необходимым составляющим для пристеночной ограниченной турбулентности. Данные колебания определенным образом организованных завихренностей структуры часто называют вихревой структурой потока.

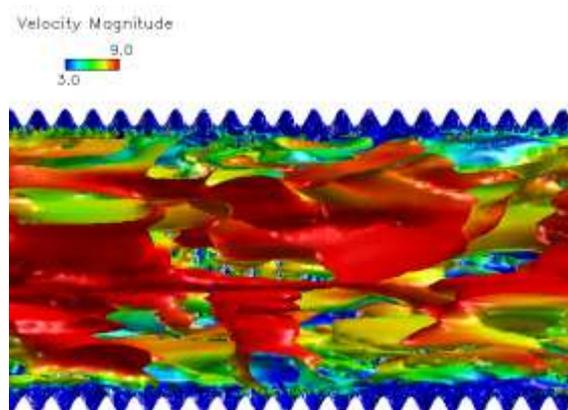


Рисунок 2.3 – Изо-поверхности переменной завихренности

На рисунке 2.4 показано количественное определение мгновенного изменения поля скоростей в ядре потока. Колебания скорости нормированы на среднюю скорость на входе потока. Колебания скорости предполагают максимальный уровень турбулентности до 20% в точке ядра течения.

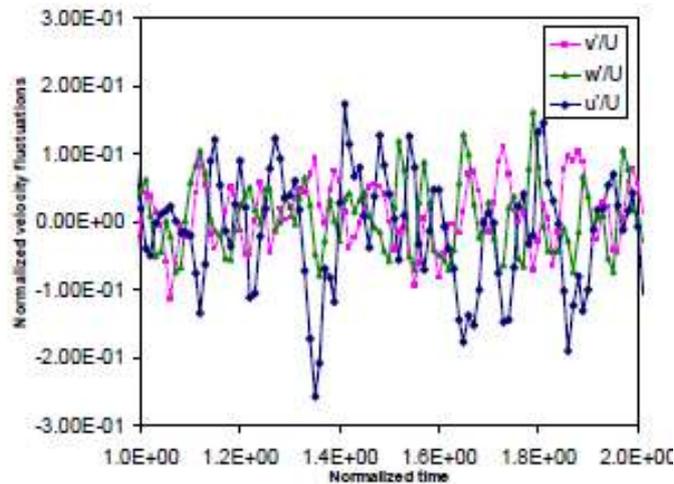


Рисунок 2.4 – Мгновенные колебания скорости

Таким образом, результаты перепада давления оказались довольно чувствительны к глубине рифлей трубы. Путем введения линейных материалов, коэффициент трения может быть уменьшен на 80% по отношению к более рифленной конфигурации металлической трубы. Результаты CFD моделирования представляются достаточно точным, что позволяет серьезно рассматривать вопрос об использовании таких моделей для исследования относительного геометрического расхождения и для исследования различных конфигурации гофры.

Авторы в статье [16] исследуют сверхкритический поток в круглой изогнутой трубе. Сверхкритический поток в круговой трубе с горизонтально-измененном направлением плоскости является причиной резкой глубины и скорости возмущения, распространяясь при этом вниз по течению в виде стоячих волн (рисунок 2.5). В начале изгиба позитивная волна развивается вдоль наружной стены изгиба (вогнутая стена), а отрицательные волны – вдоль внутренней стены (выпуклые стены). Свободные поверхностные потоки в круговом изгибе могут переходить в геликоидальный поток или в избыточное давление потока (захлебывание потока). Угол отклонения и изгиб кривизны считаются наиболее значимыми геометрическими факторами этого типа течения. В этом исследовании рассматривается влияния угла отклонения. В

данной статье также сравниваются результаты, полученные с помощью гидравлического масштаба (физического) и численной модели.

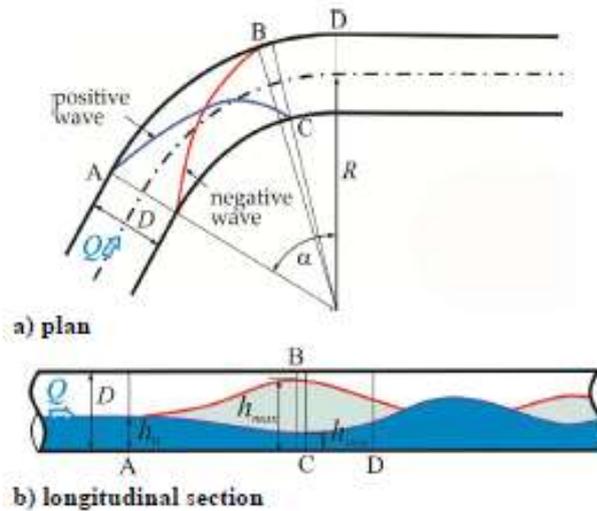


Рисунок 2.5 – Распространение положительных и отрицательных волн вдоль трубопровода

Численная модель основана на дифференциальных уравнениях с частными производными для пространственного потока воды и воздуха и на уравнениях Навье-Стокса. Систему уравнений можно записать следующим образом:

$$\frac{\delta}{\delta t} \begin{pmatrix} \rho \\ \rho v \\ \rho E \end{pmatrix} + \nabla \begin{pmatrix} \rho v \\ \rho v \cdot v + \rho \bar{I} - \bar{\tau} \\ \rho v H - \bar{\tau} \cdot v - k \nabla T \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ \rho f \\ \rho f \cdot v + q \end{pmatrix} \quad (2.1)$$

С введением полного напряжения вектора $\bar{\sigma} = -\rho \bar{I} + \bar{\tau}$, с учетом того, что \bar{I} единичный вектор, можно записать выражение для вектора потока:

$$F_t - F - F_v = \begin{pmatrix} \rho v \\ \rho v \cdot v + \rho \bar{I} \\ \rho v H \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 \\ -\bar{\tau} \\ -\bar{\tau} \cdot v - k \nabla T \end{pmatrix} = vU = \begin{pmatrix} 0 \\ \bar{\sigma} \\ \bar{\sigma} \cdot v - k \nabla T \end{pmatrix} \quad (2.2)$$

Тогда, уравнение Навье-Стокса примет следующий вид:

$$\frac{\delta U}{\delta t} + \nabla(F - Fv) = Q \quad (2.3)$$

В данной работе используется модель турбулентности для анализа вязких эффектов турбулентного потока, разработанная Прандтлем.

Численная модель, разработанная в программе Fluent (Ansys-Fluid Dynamic), которая использует метод конечных объемов. Расчетная сетка вычисления состоит из 1330724 шестиугольных элементов. Отслеживание интерфейсов между компонентами осуществляется путем решения уравнения непрерывности для объемной доли одного или нескольких компонентов. Расчетная сетка является более плотной в области изгиба и становится менее плотной по потоку от изгиба, а также в непосредственной близости от контура. Уровень воды и массовый расход воды и воздуха задавались на входе в трубопровод, в то время как свободный выход задавался на конечном участке потока. На рисунке 2.6 представлено сравнение результатов, полученных с помощью гидравлической модели и численной модели, для геликоидального потока без захлебывания при угле отклонения 45° и кривизне $D/R = 1/3$. Геликоидальному потоку соответствует поток воды с расходом 22,4 л/с и глубина потока 9,1 см. Хорошо согласуются течения потока между макетом и вычисленной моделью.

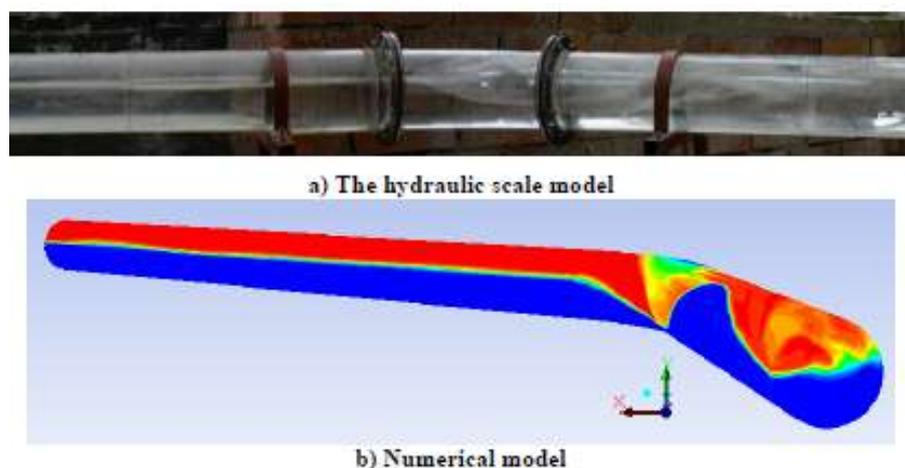


Рисунок 2.6 – Сравнение гидравлической масштабной модели и численной модели: а) модель гидравлического масштаба, б) численная модель

Таким образом, на основе экспериментов с гидравлическими и численными моделями были разработаны эмпирические соотношения для геликоидального потока и захлебывания потока в круглой трубе с изгибами и со свободной поверхностью потока.

В работе [17] представлено моделирование двухфазного потока газа и жидкости в восходящей трубе газлифтных систем. В данной работе для численного моделирования газожидкостного двухфазного потока в вертикальной трубе используются два подхода: модель объемной жидкости (МОЖ) и модель Эйлера. Модель МОЖ применима для моделирования двух или более несмешивающихся жидкостей путем решения одного набора уравнений движения и отслеживания объемной доли каждой жидкостей во всей области. Модель МОЖ в основном применима для прогнозирования движения больших пузырьков в жидкости и для наблюдения стационарного или временного состояния газожидкостной системы.

Структура модели МОЖ зависит от того факта, что две или более текучих сред (или фаз) не взаимопроницающие. В расчетной ячейке каждого контрольного объема для каждой дополнительной фазы, добавленной в модель, вводится объемная доля. Объемные доли всех фаз сводятся к единице. Усредненные по объему значения представляют так, что поля для всех переменных и свойств разделяют фазы до тех пор, пока объемная доля каждой фазы известна в каждой точке.

Таким образом, переменные и свойства в любой заданной ячейке с учетом значений объемной доли можно представить либо как одну из фаз или как смесь фаз. Соответствующие свойства и переменные будут присвоены каждому контрольному объему в ячейке при рассмотрении локального значения α_q .

Описанная здесь модель Эйлера основана на модели двух жидкостей – модели Эйлер-Эйлера. Для каждой фазы моделирование системы Эйлера основывается на ансамблевых усредненных уравнениях переноса массы и импульса. В настоящем исследовании жидкая фаза ведет себя как дисперсионная среда, а газовая фаза (т.е. пузырьки) представлена в качестве дисперсной фазы. Уравнения непрерывности для эйлеровой модели и модели МОЖ одинаковы.

В данной работе для непрерывной фазы учитывается турбулентность. Несмотря на то, что дисперсная газовая фаза моделируется как ламинарный поток, влияние дисперсной фазы на турбулентность непрерывной фазы учитывается с учетом дополнительного члена Сато. Для модели турбулентности жидкой фазы в Эйлер-Эйлеровом многофазном моделировании, как правило, используются хорошо известные модели однофазной турбулентности. В данном случае, наиболее распространенной моделью является стандартная k - e модель, которая используется для моделей Эйлера и модели МОЖ. Основные уравнения для турбулентной кинетической энергии k и турбулентной диссипации e приведены в следующем виде:

$$\begin{aligned} \frac{\delta}{\delta t}(\alpha_q \rho_q k_q) + \nabla(\alpha_q \rho_q \bar{U}_q k_q) = V \cdot \left(\alpha_q \frac{u_{t,q}}{\sigma_k} \nabla k_q \right) + (\alpha_q G_{kq} - \alpha_q \rho_q \epsilon_q) + \\ + \sum_{\rho=1}^N K_{pq} (c_{pq} k_p - c_{qp} k_q) - \sum_{\rho=1}^N K_{pq} (\bar{U}_p - \bar{U}_q) \cdot \frac{\mu_{tp}}{\alpha_p \sigma_p} \nabla \alpha_t + \\ + \sum_{\rho=1}^N K_{pq} (\bar{U}_p - \bar{U}_q) \cdot \frac{\mu_{tq}}{\alpha_q \sigma_q} \nabla \alpha_q. \end{aligned} \quad (2.4)$$

$$\begin{aligned} \frac{\delta}{\delta t}(\alpha_q \rho_q \epsilon_q) + \nabla(\alpha_q \rho_q \bar{U}_q \epsilon_q) = \nabla \cdot \left(\alpha_q \frac{u_{t,q}}{\sigma_\epsilon} \nabla \epsilon_q \right) + \\ + \frac{\epsilon_q}{k_q} \left[C_{1e} \alpha_q G_{kq} - C_{2e} \alpha_q \rho_q \epsilon_q + C_{2e} \left(\begin{array}{l} \sum_{\rho=1}^N K_{pq} (C_{pq} k_p - C_{qp} k_q) \\ \sum_{\rho=1}^N K_{pq} (\bar{U}_p - \bar{U}_q) \cdot \frac{\mu_{tp}}{\alpha_p \sigma_p} \nabla \alpha_t \\ \sum_{\rho=1}^N K_{pq} (\bar{U}_p - \bar{U}_q) \cdot \frac{\mu_{tq}}{\alpha_q \sigma_q} \nabla \alpha_q \end{array} \right) \right] \end{aligned} \quad (2.5)$$

В настоящей работе исследуется поток двух фаз в вертикальной трубе аэролифтного насоса с длиной трубы 1 м и диаметром 5 см. Также рассматривается три геометрии для подачи воздушного потока. В первой из них

имеется круглое отверстие диаметром 1 см в центре пластины для подачи воздуха. Во второй геометрии были рассмотрены 5 круглых отверстий диаметром 1 см. Последняя геометрия имеет круглое отверстие в центре трубы с той же площадью поверхности, что и 5 отверстий.

На рисунке 2.7 показаны схематические геометрии вертикальной трубы с отверстиями. В настоящей работе область решения выбиралась таким образом, чтобы границы соответствовали цилиндрической системе координат, а также для того, чтобы линии расчетной сетки разделяли диапазон геометрии на шестигранные поля для управления объемом формирования. Схема этого объема управления показана на рисунке 2.8.

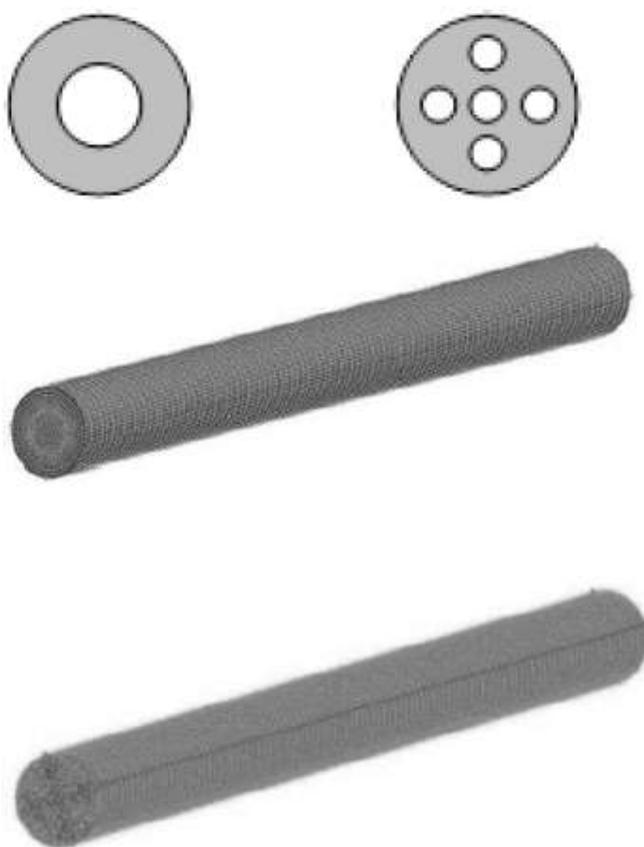


Рисунок 2.7 – Схематические геометрии труб с отверстиями для входа воздуха

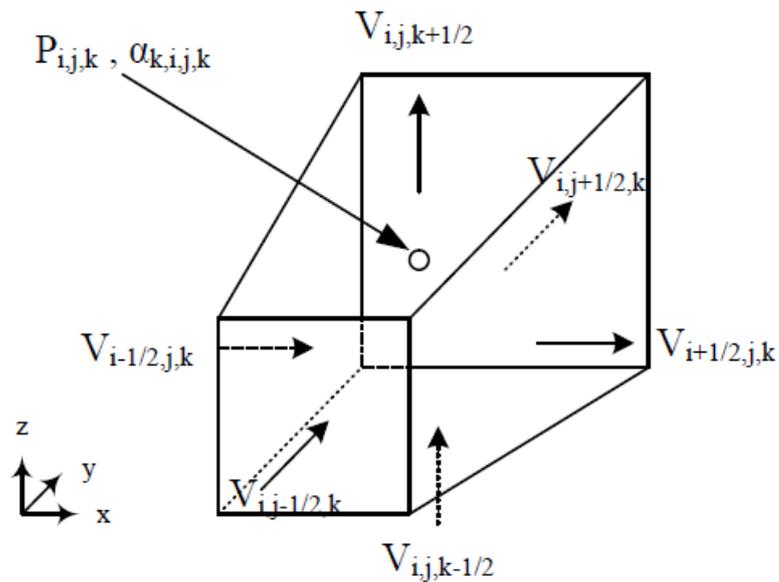


Рисунок 2.8 – Схема контрольного объема

Были рассмотрены несколько скоростей для подачи воздуха и воды с целью создания различных газожидкостных двухфазных режимов потока в трубе. Для сравнения результатов все эти условия были смоделированы как с Эйлеровыми моделями, так и с моделями МОЖ.

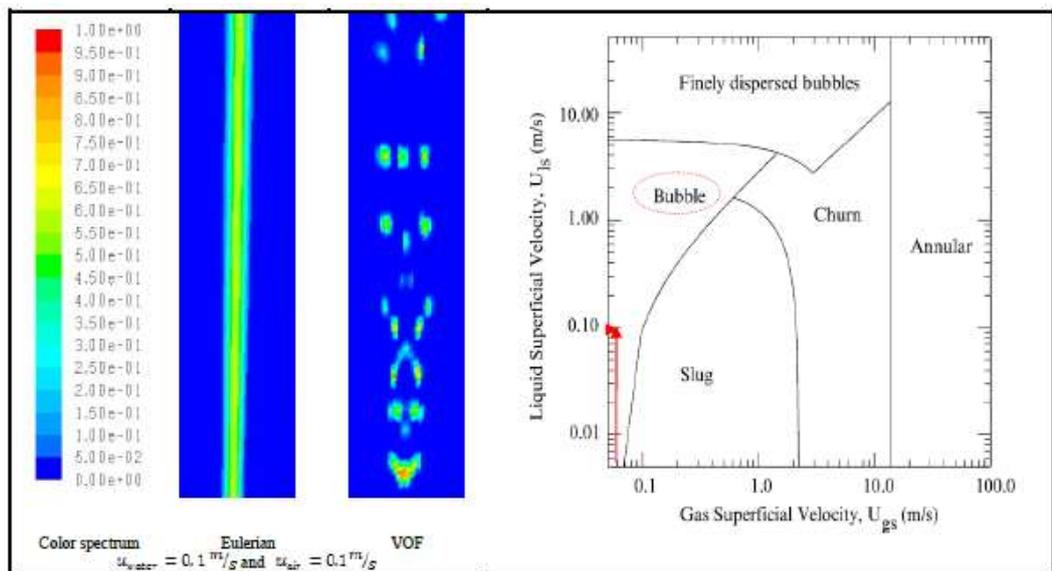


Рисунок 2.9 – Сравнение модели МОЖ и Эйлеровой модели

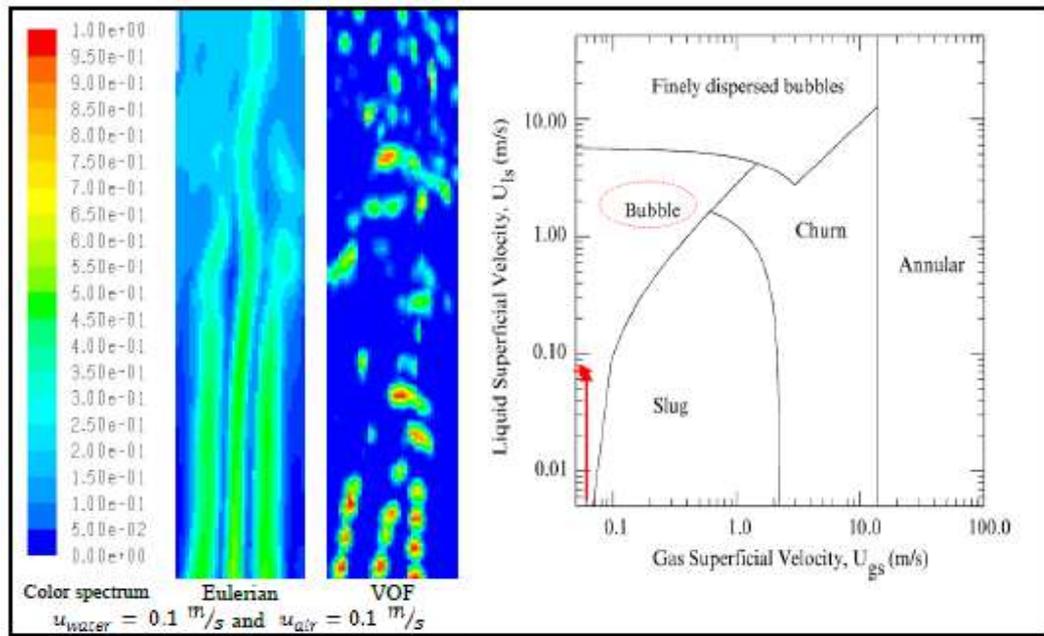


Рисунок 2.10 – Сравнение модели МОЖ и Эйлеровой модели

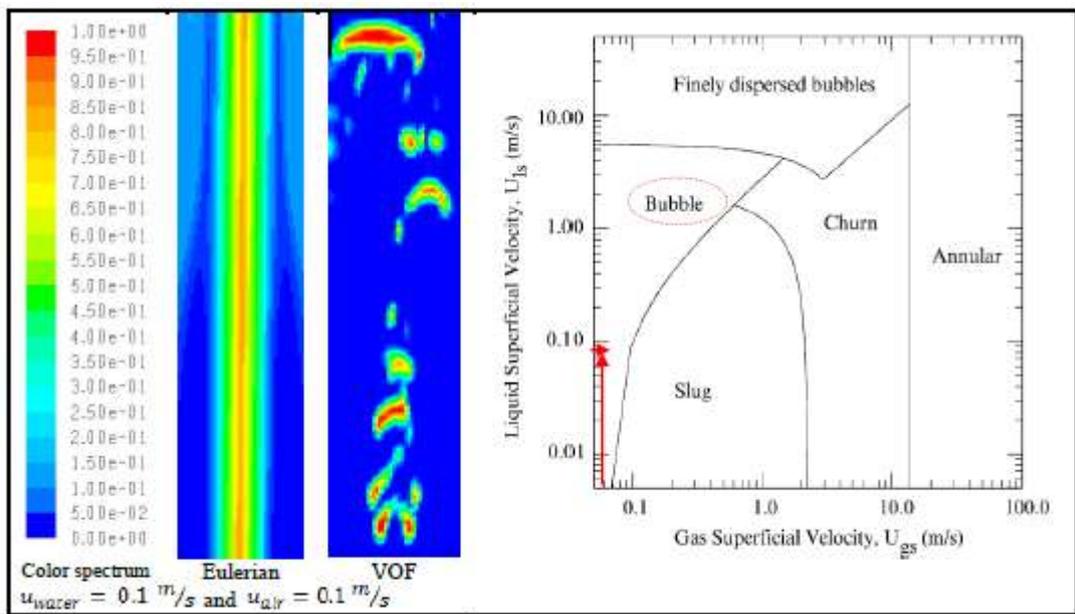


Рисунок 2.11 – Сравнение модели МОЖ и Эйлеровой модели

На рисунках 2.9, 2.10 и 2.11 показаны сравнения двух вышеуказанных моделей, в которых были реализованы одновременно две фазы потока воздух-вода вертикальной трубе. Каждая фигура показывает контуры фаз и содержит разницу между Эйлеровой моделью моделирования и моделью МОЖ для различных скоростей воды и воздуха на входе. Результаты показывают, что модель МОЖ может предсказать пузырьковые и псевдооживленные режимы

лучше, чем модели Эйлера. В модели МОЖ достаточно хорошо было смоделировано взаимодействие газовой и жидкой фаз. В модели Эйлера сделать тоже самое не представляется возможным. В данной модели отдельные пузырьки рассматривались как единое целое с более низким газосодержанием. Это означает, что в модели Эйлера моделирование газофазной области иллюстрируется как полоса. Цвет и ширина этой полосы зависит от газовой фазы летучей фракции. Увеличение скорости потока газовой фазы на входе увеличивает содержание в газовой фазе летучей фракции и изменяет режим потока от пузырькового к кольцевому.

В статье [18] авторы представляют работу по моделированию (CFD) дисперсного течения вязкой нефти в воде в горизонтальной трубе методом вычислительной гидродинамики. Представленная здесь вычислительная область моделируется с помощью экспериментальной установки Sotgia. Длина трубы L составляет 5,0 м, а внутренний диаметр D равен 26,0 мм. В геометрии используются многогранные сетки, состоящие примерно из 470 тысяч сеток (рисунок 2.12). Граничным условием на входе в трубу является входная скорость, а на выходе – давление на выходе. Отношение входной скорости воды

$$\varepsilon_w = J_w / (J_w + J_o) \quad (2.6)$$

где J_w и J_o являются поверхностная скорость воды и нефти соответственно. На выходе манометрическое давление устанавливается равным 0. Фактическая скорость фазы

$$V_p = J_p / \alpha_p \quad (2.7)$$

где J_p – поверхностная скорость фазы, а α_p – объемная доля фазы.

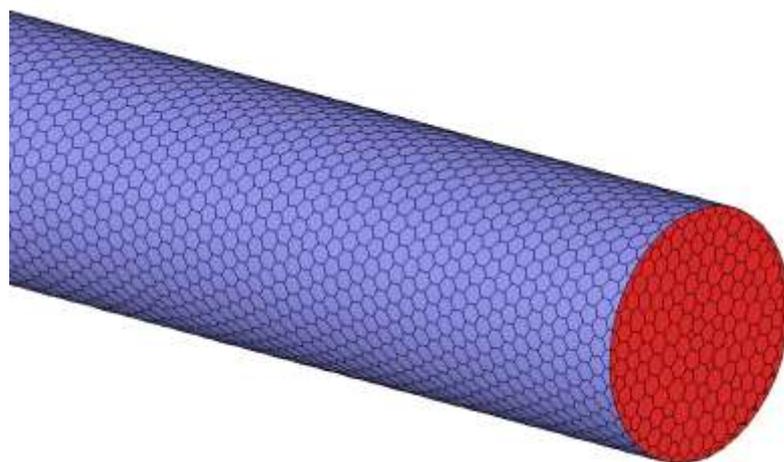


Рисунок 2.12 – График расчетной сетки на поверхности трубы с многогранными типами сеток. Труба была смоделирована с использованием 470 тысяч многогранных сеток. Длина трубы $L = 5,0$ м и диаметром $\Phi = 26,0$ мм

Физика потока внутри трубы была решена с использованием вычислительной гидродинамики (CFD) программы ANSYS Fluent. Было выполнено стационарное моделирование состояния с учетом гравитационной силы. Поскольку в моделировании рассматривается взаимодействие между двумя жидкостями, была реализована многофазная модель Эйлера. Для этой модели предполагается, что вода будет выполнять роль непрерывной фазы, а нефть представлена в виде капель с конечным диаметром. Кроме того при моделировании предполагается, что капли имеют сферическую форму. Была использована $k-\epsilon$ модель турбулентности, потому что для конкретных условий потока – поток будет турбулентным.

Термодинамические свойства нефти и воды соответствуют данным Sotgia. Были использованы следующие характеристики нефти: плотность $\rho_n = 889$ кг/м³ и вязкость $\mu_n = 0,919$ мПа·с. Для воды – плотность и вязкость равны $\rho_v = 998$ кг/м³ $\mu_v = 1,026 \times 10^{-3}$ Па·с соответственно. Поверхностное натяжение на границе вода-нефть $\sigma = 20 \cdot 10^{-3}$ Н/м. Предполагается, что капли нефти имеют сферическую форму с постоянным диаметром в диапазоне от 1,0 мм до 8,0 мм. Коэффициент подъемной силы C_L , капли нефти колеблется в

диапазоне от -0,50 до 0,50. Кроме того, также учитывается и коэффициент аэродинамического сопротивления – C_D .

Были исследованы влияния коэффициента подъемной силы C_L на дисперсное течение нефти с поверхностной скоростью $J_o = 0,64$ м/с и воды с поверхностной скоростью $J_w = 2,20$ м/с. Диаметр капли масла поддерживали на уровне 1,0 мм. Моделирование было проведено для $C_L = -0,50, 0, 0,10$ и $0,50$. На рисунке 2.13 показан фазовый контур поперечного сечения трубы на 4,5 м от входа. При $C_L = -0,50$, вода находится в центре, а нефть в кольцевом пространстве трубы. При $C_L = 0$ нефть рассеивается с более высокой концентрацией воды ($\alpha_w = 0,775$) в ядре. При $C_L = 0,10$ капли нефти рассеяны с более высокой концентрацией нефти ($\alpha_o = 0,23$) в ядре. При $C_L = 0,50$ нефть находится в центре, а вода в кольцевом пространстве трубы. Результаты при $C_L = 0,10$ и $0,50$ более согласуются с экспериментом, так как фазовый контур показывает рассеянный поток с более высокой концентрацией нефти в ядре по сравнению с кольцевым пространством. Из результатов, можно сделать вывод, что коэффициент подъемной силы, действующий на капли нефти может составлять от 0,10 до 0,50 при диаметре капель нефти 1,0 мм.

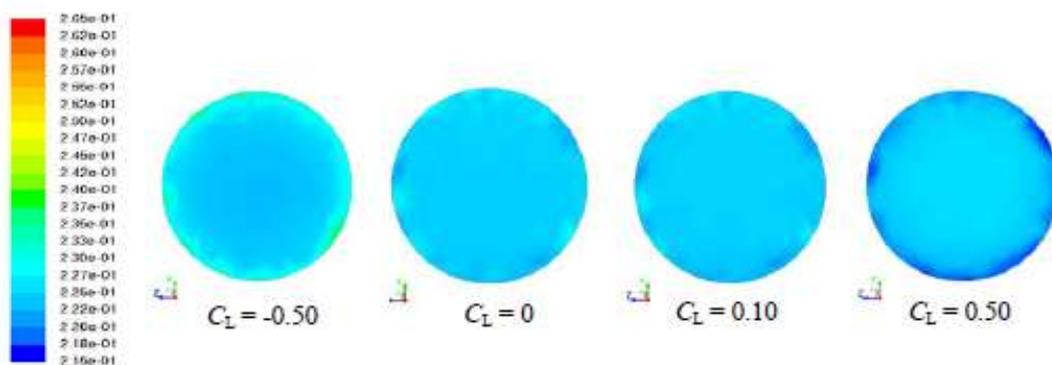


Рисунок 2.13 – Зависимость объемной доли нефти при различных C_L для дисперсного потока диаметра капли нефти диаметром равным 1,0 мм.

Положительный C_L более близко согласуется с экспериментом по сравнению с отрицательным C_L

Было дополнительно исследовано влияние диаметра капель нефти для различных коэффициентов подъемной силы C_L на дисперсность потока.

Диаметр капли нефти поддерживался постоянным и изменяется от 1,0 мм, 2,0 мм, 4,0 мм и 8,0 мм. Было исследовано влияние коэффициента подъемной силы C_L (0,01, 0,10 и 0,50) на дисперсность потока. На рисунке 2.14 по результатам моделирования приведен участок фазовых контуров. При $C_L = 0,01$ и $d = 1,0$ мм или 2,0 мм капли нефти рассеиваются ($\alpha_o = 0,214$). При $C_L = 0,01$ и $d = 4,0$ мм существует более высокая концентрация нефти в ядре ($\alpha_o = 0,214$) по сравнению с кольцевым пространством ($\alpha_o = 0,211$) и ядро смещается вертикально вверх. Ядро нефти окружено более высокой концентрацией воды. При $C_L = 0,01$ и $d = 8,0$ мм масло концентрируется в ядре ($\alpha_o = 0,217$), которое перемещается вертикально вверх. Ядро нефти было окружено кольцевым зазором, имеющим более низкую концентрацию нефти ($\alpha_o = 0,208$).

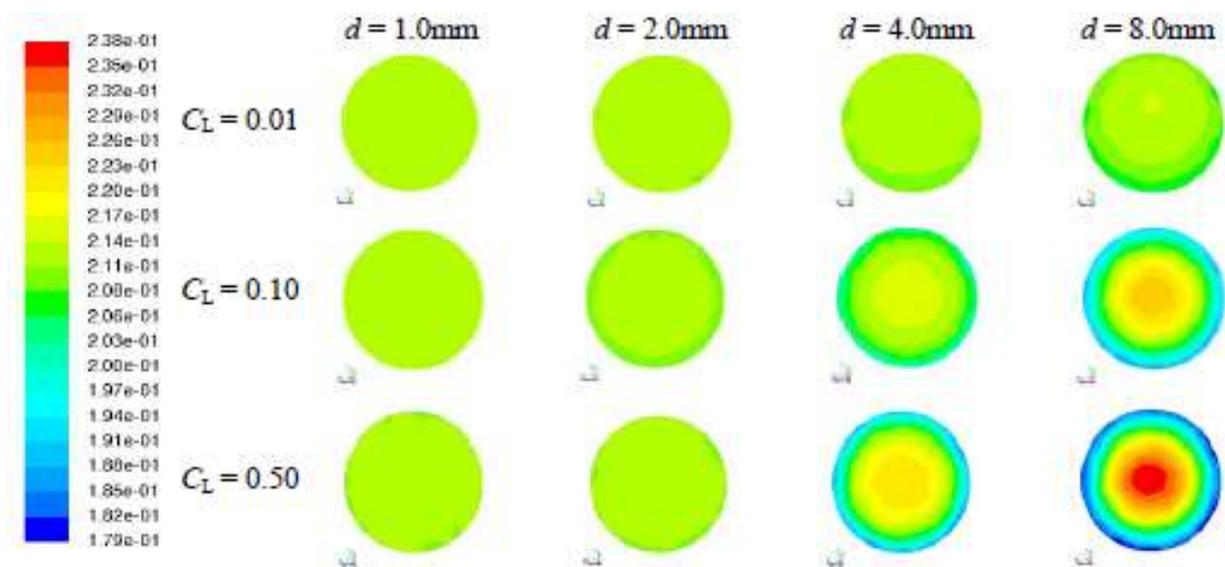


Рисунок 2.14 – Графики объемной доли нефти при разном диаметре капли нефти и C_L для дисперсного потока. $C_L = 0,01$ и $d = 4,0$ мм или 8,0 мм более схожи с экспериментом, так как ядро нефти вытесняется вертикально вверх

При $C_L = 0,10$ и $d = 1,0$ мм нефть расслаивается. При $C_L = 0,10$ и $d = 2,0$ мм наблюдается более высокая концентрация нефти в ядре ($\alpha_o = 0,214$) по сравнению с кольцевым пространством ($\alpha_o = 0,208$). При $C_L = 0,10$ и $d = 4,0$ мм наблюдается более высокая концентрация нефти в ядре ($\alpha_o = 0,217$) по сравнению с кольцевым пространством ($\alpha_o = 0,208$). При $C_L = 0,10$ и $d = 8,0$ мм

наблюдается более высокая концентрация нефти в ядре ($\alpha_o = 0,226$) по сравнению с кольцевым пространством ($\alpha_o = 0,182$).

При $C_L = 0,50$ и $d = 1,0$ мм или $2,0$ мм наблюдается расслаивание нефти ($\alpha_o = 0,214$). При $C_L = 0,50$ и $d = 4,0$ мм наблюдается более высокая концентрация нефти в ядре ($\alpha_o = 0,223$) по сравнению с кольцевым пространством ($\alpha_o = 0,194$). При $C_L = 0,50$ и $d = 8,0$ мм наблюдается более высокая концентрация нефти в ядре ($\alpha_o = 0,381$) по сравнению с кольцевым пространством ($\alpha_o = 0,182$). Из результатов авторы делают вывод, что при увеличении диаметра капли нефти наблюдается более высокая тенденция к коагуляции нефти в объеме вытесняющей воды из кольцевого пространства. Данный эффект коагуляции проявляется значительно сильнее, когда подъемный коэффициент возрастает от $0,10$ до $0,50$ и увеличивается диаметр капель нефти от $1,0$ мм до $8,0$ мм. Тем не менее, при $C_L = 0,10$ или $0,50$, ядро нефти остается в центре, что не согласуется с экспериментом.

Было исследовано влияние скорости образования водонефтяной эмульсии на коэффициент уменьшения падения давления при $J_o = 0,64$ м/с и $J_w = 2,20$ м/с, $2,30$ м/с, $2,40$ м/с, $2,50$ м/с и $2,60$ м/с. На рисунке 2.15 показан участок объемной доли нефти при различных скоростях образования водонефтяной эмульсии для $C_L = 0,01$ и капли нефти диаметром $4,0$ мм и $8,0$ мм.

Когда скорость воды J_w увеличивается от $2,20$ м/с до $2,60$ м/с концентрация нефти уменьшается. Наблюдается тенденция коагулирования капель нефти в центре трубы, образующая ядро-кольцевой поток.

При $d = 4,0$ мм, когда поверхностная скорость воды возрастает от $2,2$ м/с до $2,6$ м/с, объемная доля нефти в ядре уменьшается от $0,226$ до $0,213$ соответственно. Объемная доля нефти в кольцевом пространстве уменьшается от $0,213$ до $0,156$ соответственно. При $d = 8,0$ мм при возрастании поверхностной скорости воды от $2,2$ м/с до $2,6$ м/с, объемная доля нефти в ядре уменьшается от $0,238$ до $0,213$ соответственно. Объемная доля нефти в кольцевом пространстве уменьшается от $0,197$ до $0,156$ соответственно.

Результаты показывают, что при увеличении скорости образования водонефтяной эмульсии возрастает объемная доля нефти в ядре, а объемная доля в кольцевом пространстве уменьшается. Это может быть связано с тем, что при повышении скорости образования водонефтяной эмульсии увеличивается турбулентность потока воды, что вызывает более сильное расслоение капель нефти.

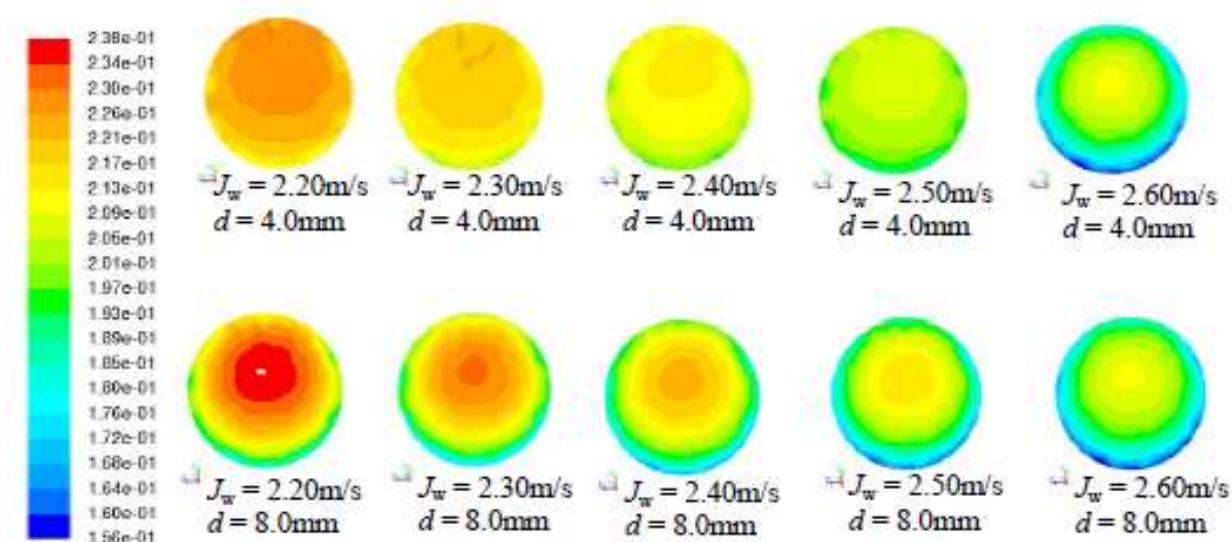


Рисунок 2.15 – Графики доли объема нефти для различных поверхностных скоростей воды J_w . Диаметр каплей нефти $d = 4,0$ мм и $8,0$ мм. Постоянные параметры коэффициент $C_L = 0,01$ и поверхностная скорость нефти $J_o = 0,64$ м/с

Кроме того, при увеличении диаметра капли нефти от $4,0$ мм до $8,0$ мм, объемная доля нефти в ядре увеличивается, но в кольцевом пространстве остается постоянной. Это можно объяснить тем, что при увеличении диаметра капли нефти существует тенденция к более сильному концентрированию капель нефти в ядре. Для всех режимов потоков ядро капли нефти вытесняется вертикально вверх от центра, что соответствует экспериментам. CFD моделирование также показывает, что при увеличении поверхностной скорости воды коэффициент уменьшения давления увеличивается незначительно. Кроме того, когда диаметр капли нефти возрастает от $4,0$ мм до $8,0$ мм, коэффициент уменьшения давления также возрастает. Установлено, что более предпочтительно увеличивать поверхностную скорость воды, так как это

способствует увеличению коэффициента уменьшения давления. Кроме того, более предпочтительно использовать больший диаметр капель нефти, так как это способствует их коагуляции в центре ядра, что способствует увеличению коэффициента уменьшения давления (т.е. уменьшается градиент давления). Данное исследование имеет практическое значение для нефтяной промышленности, поскольку помогает снизить общие энергозатраты, необходимые для транспортировки вязкой нефти по горизонтальным трубопроводам.

В статье [19] на конкретных примерах показано использование программного комплекса FLUENT для решения такого круга актуальных задач, как подбор основных гидродинамических и тепловых параметров ведения процесса, осуществление масштабного перехода, проектирование нового оборудования. В данной работе показано использование CFD пакета FLUENT 6.1 для решения трёх конкретных задач:

- подбор основных гидродинамических и тепловых параметров ведения процесса распылительной сушки в аппарате со сложной структурой потоков фирмы NIRO, которая широко используется в химической, пищевой и фармацевтической промышленности.
- масштабирование процессов в биореакторах.
- Проектирование нового оборудования для получения мелкодисперсных порошков с заданной наноструктурой.

Так, авторами были предложены две модификации нижней части камеры сушильного аппарата (рисунок 2.16). На рисунке 2.16 приведены расчетные траектории движения высушиваемых капель.

Из анализа результатов моделирования авторы установили, что вторая модификация нижней части камеры предпочтительней, так как практически отсутствуют завихрения потока сушильного агента после газораспределительной решетки, и такая конструкция камеры может быть рекомендована для создания опытной установки.

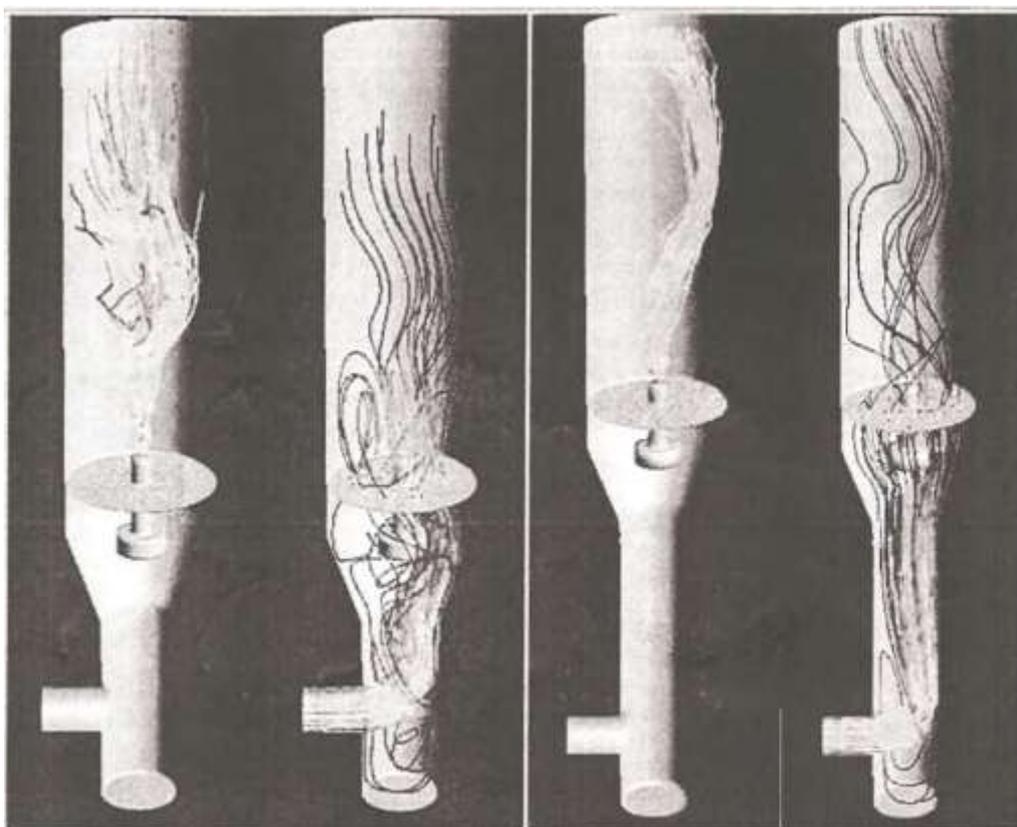


Рисунок 2.16 – Конструкции дна аппарата и их влияние на гидродинамику внутри аппарата

В работе [20] с помощью методов вычислительной гидродинамики авторами проведена оценка эффективности работы нового смесительного устройства, а также оценка целесообразности реконструкции смесительного оборудования перед реакторным блоком установки алкилирования бензолаэтиленом. Для моделирования рассматриваемого смесителя были выбраны программные комплексы ABAQUS и Flow Vision, позволяющие в совокупности с высокой точностью решать задачи по моделированию гидродинамики смешения жидких и газовых потоков.

С помощью программного продукта Abaqus 6.6 Student Edition авторами была создана геометрическая модель смесительного элемента (рисунок 2.17).

Также была создана модель смесительного устройства, в которую монтируются данные элементы (рисунок 2.18).

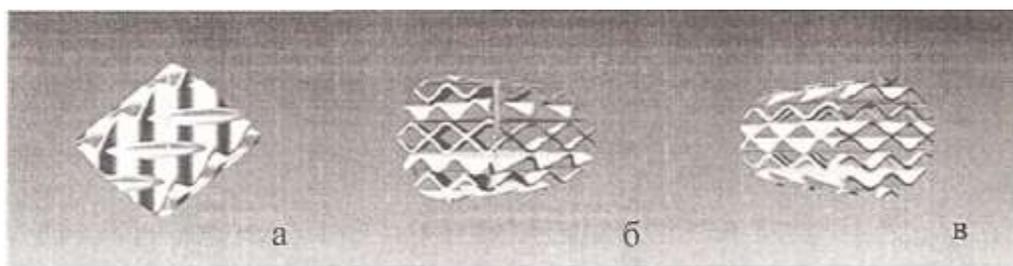


Рисунок 2.17 – Геометрические модели смесительных элементов

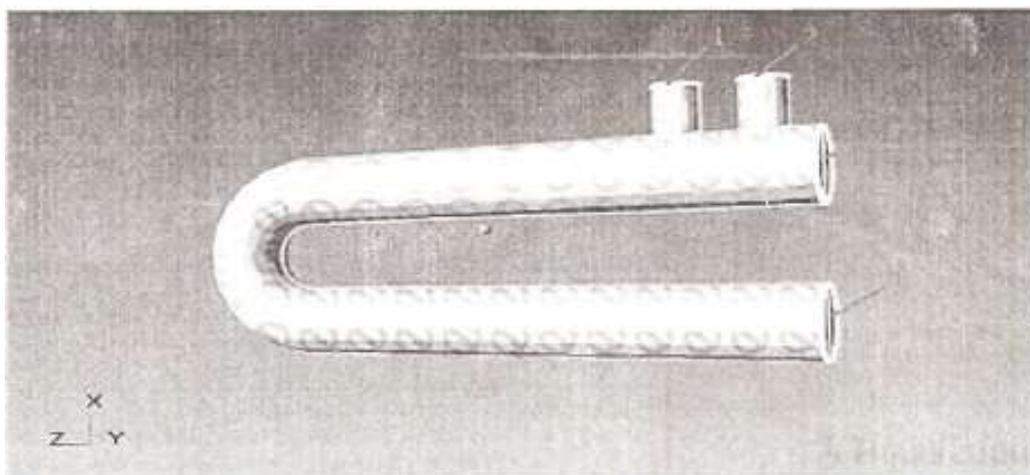


Рисунок 2.18 - Модель участка трубы

Применение методов вычислительной гидродинамики к исследованию процесса смешения подразумевало последовательное выполнение следующих этапов с использованием специального программного обеспечения:

1. На подготовительном этапе была сформирована геометрия модели, которая в дальнейшем дискретизировалась, заданы необходимые физические условия, начальные и граничные условия решения дифференциальных уравнений.

2. На этапе выполнения расчетов с использованием программного продукта Flow Vision численно решались основные уравнения динамики жидкости и газа, с точки зрения определения базовых физических параметров.

3. На этапе анализа результатов решения отображались в виде графиков, таблиц, а также контурных/векторных схем, привязанных к исходной геометрии.

В качестве модели турбулентности была выбрана стандартная $k-\epsilon$ модель. При проведении расчетов необходимо было определить, какой из

патрубок целесообразнее использовать для ввода бензола, а какой – для ввода катализаторного комплекса. Поэтому расчет проводился для двух вариантов: в первом случае был задан ввод бензола в первый патрубок, катализатора – во второй; во втором случае, наоборот, в первый патрубок вводили катализатор, во второй – бензол. Схема ввода реагентов представлена на рисунке 2.19. Как видно из рисунка 2.20, эффективное перемешивание потоков наблюдается уже после второго смесительного элемента, мольная доля бензола на выходе из смесительного устройства находится на уровне 0,7-0,8.

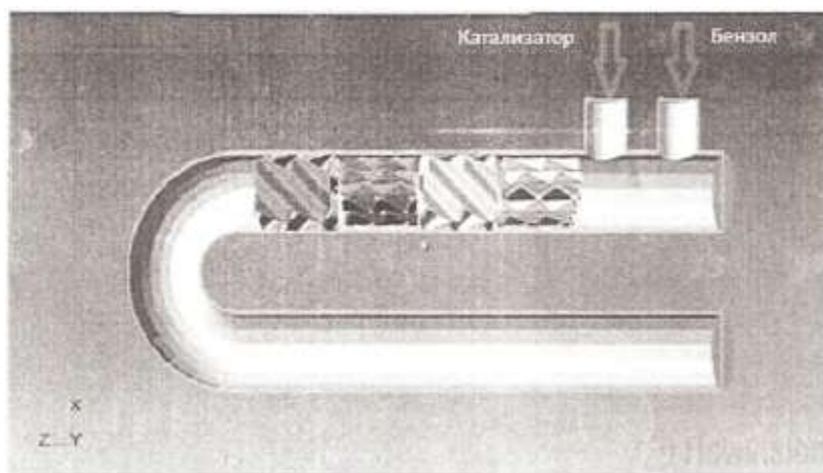


Рисунок 2.19 – Схема ввода реагентов: ввод катализатора – в первый патрубок, бензола – во второй



Рисунок 2.20 – Мольная доля бензола в продольном сечении устройства

Таким образом, поскольку для гетерогенной реакции увеличение поверхности раздела фаз означает более эффективное ее протекание, наиболее оптимальным вариантом ввода реагентов в смесительную камеру перед

реактором алкилирования, характеризующимся более равномерным распределением веществ, стал ввод катализатора в первый патрубок, бензола— во второй.

3 Технология приготовления товарных бензинов на АО «ГАЗПРОМНЕФТЬ-ОНПЗ»

Бензин – один из наиболее дорогих и квалифицированных энергоносителей. Для его получения используют сложный комплекс технологических процессов первичной и вторичной переработки нефти на нефтеперерабатывающем заводе, а также различные присадки и добавки, обеспечивающие соответствие современным требованиям к составу и качеству этого вида моторного топлива. Рекомендуется для улучшения ряда эксплуатационных свойств, в том числе экологических, вводить в бензины кислородсодержащие эфиры и этанол. Наиболее распространенными и широко применяемыми являются: метил-трет-бутиловый эфир (МТБЭ), этил-трет-бутиловый эфир (ЭТБЭ), этанол, а также метил-трет-амиловый эфир (ТАМЭ). Мировое потребление бензина в 2011 году составило – около 1 млрд. тонн. США являются крупнейшим потребителем бензина в мире, потребляя ежегодно около 40% всего бензина мира. Страны Азии и Океании – потребляют – 210 млн. тонн, что равно – 21,6% мирового потребления бензина, чуть меньше половины этого потребления приходится на Китай – 61,8 млн. тонн и Японию – 35,9 млн. тонн. На Западную и Восточную Европу, включая страны СНГ – приходится около 17% мирового потребления бензина. Наибольшая динамика увеличения потребления бензина на протяжении последних лет у Китая, то есть прирост потребления бензина в 2011 году по сравнению с 2003 годом составил – 46,9% [21].

По оценкам ИнфоТЭК [22], потребление моторных топлив в России в 2012 г. Составило 70,1 млн. тонн, из которых 32,7 млн. тонн приходится на бензин и 34,2 млн. тонн – на дизельное топливо.

Кроме того, регулярно приводится статистика по потреблению бензина и дизельного топлива по регионам. Так в 2010 г. Имело место следующее распределение.

Таблица 3.1 – Потребление автобензина и дизельного топлива по федеральным округам в 2012 г., млн. тонн [21]

Округ	Автобензин	Дизельное топливо
Центральный Федеральный округ	9,834	8,888
Северо-Западный Федеральный округ	3,220	4,111
Приволжский Федеральный округ	6,949	6,145
Южный Федеральный округ	2,977	3,679
Северо-Кавказский Федеральный округ	1,034	0,32
Уральский Федеральный округ	3,146	3,537
Сибирский Федеральный округ	4,291	5,218
Дальневосточный Федеральный округ	1,246	2,296
Всего по РФ	32,697	34,194

В России с 2000 г. по настоящее время изменилась структура производства автобензина. Так, автобензин с октановым числом 80 исключен и замещается на автобензин с октановым числом 92 и 95, доля автобензина с октановым числом 98 в 2011 году составила 0,8% и продолжает расти. Практически 70% российского производства автомобильного бензина приходится на бензин с октановым числом 92. Что касается экологических характеристик, то 41% российского автобензина соответствует стандарту «Евро-3», 26,5% – «Евро-4», 9,9% – «Евро-2», оборот которого запрещен на российском рынке с начала 2013 года, и 21% так называемым «внекатегорийным» бензинам. И только 1,6% автобензина, производимого на нефтеперерабатывающих (НПЗ) и газоперерабатывающих заводах (ГПЗ), соответствует «Евро-5» [21].

Для производства огромного количества бензина требуются большие расходы. Основной статьей расходов для любого НПЗ является электроэнергия, большая часть которой затрачивается на транспортировку компонентов бензина от одного резервуарного парка к другому. Также в товарном парке предусмотрено большое количество насосов для перемешивания конечной смеси бензина.

Так, на заводе ООО «ЛУКОЙЛ-Нижегороднефтеоргсинтез»: по итогам 2013 г. структура распределения количества потребляемых предприятием топливно-энергетических ресурсов в их процентном соотношении выглядит следующим образом: 75% составляют различные виды топлива; 16% – электрическая энергия и около 9% – тепловая энергия, покупаемая со стороны. В ОАО «НК «Роснефть» также был проведен анализ энергопотребления по методике Solomon: было выявлено, что на сегмент переработки приходится 1/4 всех топливно-энергетических ресурсов по состоянию на 2013 год (около 30 млрд. руб. в стоимостном эквиваленте), при этом 46% в структуре энергодолга переработки нефти занимает электроэнергия, 28% – топливо и 26% приходится на тепловую энергию [23]. В денежном эквиваленте расходы ОАО «НК «Роснефть» на электроэнергию составляли порядка 4 долларов США на 10 баррелей перерабатываемой нефти.

Таким образом, на производство около 35 млн. тонн бензина требуется достаточно большое количество электроэнергии. Примерно до 50% операционных расходов нефтеперерабатывающего завода составляют затраты на приобретение энергии. Поэтому эффективное использование энергии имеет важнейшее значение для любого НПЗ, стремящегося отвечать мировым стандартам энергоэффективности.

Приготовление товарных бензинов на АО «ГАЗПРОМНЕФТЬ-ОНПЗ» может осуществляться как последовательной закачкой компонентов с последующей циркуляцией смеси в резервуаре, так и в потоке автоматизированной станцией смешения бензинов при одновременной подаче всех компонентов в трубопровод смешения.

В настоящее время в состав технологического объекта входят [24]:

- Резервуарный парк № 1 (содержит 8 резервуаров);
- Резервуарный парк № 2 (содержит 7 резервуаров);
- Резервуарный парк № 3 (содержит 4 шаровых резервуаров);
- Резервуарный парк № 4 (содержит 4 шаровых резервуаров);
- Резервуарный парк № 5 (содержит 4 резервуара);

- Резервуарный парк № 6 (содержит 2 резервуара);
- Резервуарный парк № 7 (содержит 3 резервуара);
- Резервуарный парк № 8 (содержит 6 горизонтальных ёмкостей);
- Насосный парк;
- Узел управления № 1;
- Узел управления № 2;
- Насосная пенотушения;
- Резервуарный парк № 9 (содержит 8 резервуаров).

Для производства товарных бензинов на АО «ГАЗПРОМНЕФТЬ-ОНПЗ» вовлекается достаточно большое количество углеводородных поток. К каждому вовлекаемому потоку предъявляют требования по химическому составу, по физико-химическим характеристикам и т.д. Основные требования к исходному сырью приведены в таблице 3.2 [24].

Таблица 3.2 – Характеристика исходного сырья, материалов, реагентов, полуфабрикатов, изготавливаемой продукции

№ п/п	Наименование сырья, материалов, реагентов, полуфабрикатов, готовой продукции.	Показатели качества, подлежащие проверке	Норма по нормативному документу
1	2	4	5
1	Фракции бензиновые – компоненты товарных бензинов.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Внешний вид 2. Фракционный состав: <ul style="list-style-type: none"> - температура начала перегонки, °С, не ниже - для фракции НК-62 °С установки АВТ-10, °С, не ниже - для бензина установки 21-10/3М, °С, не ниже - с 1 октября по 1 апреля - 90 % перегоняется при температуре, °С, не выше - температура конца кипения, °С, не выше - для бензина установки 21-10/3М, °С, не выше 3. Детонационная стойкость: <ul style="list-style-type: none"> - октановое число, определяемое по моторному методу, не менее: <ul style="list-style-type: none"> для установок 43-103, КТ-1/1 для установки Л-35-11/600 для установки Л-35-11/1000 - октановое число, определяемое по исследовательскому методу (для Л-35-11/1000), не менее 4. Давление насыщенных паров, кПа, не более с 01.10. до 01.04., не более 5. Испытание на медной пластине. 6. Массовая доля серы, (для КТ-1/1), %, не более 	<p>Бесцветная прозрачная жидкость, не содержащая воды и мех. примесей.</p> <p>35,0</p> <p>30,0</p> <p>30,0</p> <p>не нормируется</p> <p>190,0</p> <p>215,0</p> <p>160,0</p> <p>80</p> <p>80</p> <p>85</p> <p>не нормируется</p> <p>определение обязательно</p> <p>79,9</p> <p>93,3</p> <p>выдерживает</p> <p>0,05</p>

Продолжение таблицы 3.2

№ п/п	Наименование сырья, материалов, реагентов, полуфабрикатов, готовой продукции.	Показатели качества, подлежащие проверке	Норма по нормативному документу	
2	Фракция изо-пентановая	Массовая доля изо-пентана, % не менее	85	
3	Алкилбензин	1. Октановое число, не менее: - по моторному методу - по исследовательскому методу 2. Фракционный состав: - температура начала перегонки, °С, не ниже - конец кипения, °С, не выше 3. Испытание на медной пластине 4. Содержание механических примесей и воды	92 95 35 215 выдерживает отсутствие	
4	Эфир метил-трет-бутиловый (МТБЭ) Марка Б	1. Внешний вид 2. Массовая доля МТБЭ, %, не менее 3. Массовая доля спиртов, %, не более 4. Массовая доля у/в С4 и С8, %, не более 5. Массовая доля влаги, %, не более 6. Механические примеси	Прозрачная жидкость 96 2,5 1,5 0,10 отсутствие	
			Марка А	Марка Б
5	Бензин газовый стабильный Марка А Марка Б	1. Плотность при 20 ⁰ С, кг/м ³ 2. Фракционный состав: температура начала кипения, °С, не ниже 50% перегоняется при температуре, °С, не выше температура конца кипения, °С, не выше 3. Массовая доля ароматических у/в, %, не более 4. Йодное число, г йода на 100 г продукта, не более 5. Массовая доля серы, %, не более 6. Испытание на медной пластинке 7. Содержание воды и механических примесей 8. Содержание водорастворимых кислот и щелочей	Не нормируется определение обязательно	
			25	30
			115	-
			195	205
			10,0	-
			6,0	-
			0,1	0,1
			выдерживает отсутствие отсутствие	

Продолжение таблицы 3.2

№ п/п	Наименование сырья, материалов, реагентов, полуфабрикатов, готовой продукции.	Показатели качества, подлежащие проверке	Норма по нормативному документу
6	Агидол-12	1. Внешний вид 2. Плотность кг/м ³ , не более 3. Массовая доля активного компонента, % не менее 4. Массовая доля 4-метил-2,6-дитретичного бутилфенола и основания Манниха в активном компоненте в т. ч., 4-метил-2,6 дитретичного бутилфенола, %, не менее 5. Температура начала кристаллизации, °С, не выше 6. Массовая доля воды, %, не более 7. Содержание механических примесей	Однородная подвижная жидкость от светло-коричневого до коричневого цвета. 910 50,0 65,0 55,0 минус 50 следы отсутствие
7	Агидол-1 Марка Б	1. Внешний вид 2. Температура конца плавления, °С, в пределах 3. Разность температур между началом и концом плавления, °С, не более 4. Температура кристаллизации, °С, не ниже 5. Содержание воды, % 6. Зольность, %, не более	Белый кристаллический порошок без посторонних примесей 69,5 – 70,0 1,0 69 отсутствие 0,01

Продолжение таблицы 3.2

№ п/п	Наименование сырья, материалов, реагентов, полуфабрикатов, готовой продукции.	Показатели качества, подлежащие проверке	Норма по нормативному документу
8	Метанол Марка А	1. Внешний вид 2. Плотность при 20 ⁰ С, г/см ³ , в пределах 3. Смешиваемость с водой 4. Температурные пределы: предел кипения, ⁰ С 99% продукта перегоняется в пределах, ⁰ С, не более 5. Массовая доля воды, %, не более 6. Массовая доля свободных кислот в пересчете на муравьиную кислоту, %, не более 7. Массовая доля альдегидов и кетонов в пересчете на ацетон, %, не более 8. Массовая доля летучих соединений железа в пересчете на железо, %, не более 9. Испытание с перманганатом калия, мин., не менее 10. Массовая доля аммиака и аминосоединений в пересчете на аммиак, %, не более 11. Массовая доля хлора, %, не более 12. Массовая доля серы, %, не более 13. Массовая доля нелетучего остатка после испарения, %, не более 14. Удельная электрическая проводимость, см/м, не более 15. Массовая доля этилового спирта, %, не более 16. Цветность по платиново-кобальтовой шкале, единицы Хазена, не более	Бесцветная прозрачная жидкость без нерастворимых примесей. 0,791 - 0,792 Без следов помутнения и опалесценции. 64,0 – 65,5 0,8 0,05 0,0015 0,003 0,00001 60 0,00001 0,0001 0,0001 0,001 3 – 10 ⁻⁵ 0,01 5

Продолжение таблицы 3.2

№ п/п	Наименование сырья, материалов, реагентов, полуфабрикатов, готовой продукции.	Показатели качества, подлежащие проверке	Норма по нормативному документу		
			А-80	А-92	А-96
11	Бензины автомобильные экспортные	1. Плотность при 15 ⁰ С, кг/м ³ , не более	759	774	780
		2. Детонационная стойкость:			
		октановое число по исследовательскому методу, не менее	80,0	92,0	96,0
		октановое число по моторному методу, не менее	76,0	83,0	85,0
		3. Массовая концентрация свинца, г/дм ³ бензина, не более:	0,005	0,005	0,005
		4. Фракционный состав:			
		10% бензина перегоняется при температуре ⁰ С, не выше	70	75	75
		50% бензина перегоняется при температуре ⁰ С, не выше	120	120	120
		90% бензина перегоняется при температуре ⁰ С, не выше	190	190	190
		конец кипения, ⁰ С, не выше	215	215	215
		остаток в колбе, %, не более	1,5	1,5	1,5
		остаток и потери, %, не более	4,0	4,0	4,0
		5. Давление насыщенных паров, кПа, не более	35-79,9	35-79,9	35-79,9
		6. Кислотность, мг КОН на 100 см ³ бензина, не более	3	3	3
		7. Концентрация фактических смол в мг на 100 см ³ бензина, не более			
		8. Индукционный период бензина, мин., не менее	5	5	5
9. Массовая доля серы, %, не более	600	600	600		
10. Докторская проба или массовая доля меркаптановой серы, %, не более	0,05	0,05	0,05		
	отриц. 0.001	отриц. 0.001	отриц. 0.001		
11. Испытание на медной пластинке	выдерживает отсутствие отсутствие бесцветный или бледно-желтый				
12. Содержание водорастворимых кислот и щелочей					
13. Содержание воды и механических примесей					
14. Цвет					
15. Объемная доля бензола, %, не более	5	5	5		
16. Массовая концентрация железа, мг/дм ³ , не более	37	18	18		

Продолжение таблицы 3.2

№ п/п	Наименование сырья, материалов, реагентов, полуфабрикатов, готовой продукции.	Показатели качества, подлежащие проверке	Норма по нормативному документу
12	Бензин автомобильный А-76 неэтилированный	1. Детонационная стойкость, октановое число, не менее: по моторному методу по исследовательскому методу 2. Массовая концентрация свинца, г на 1 дм ³ бензина, не более 1. Фракционный состав: температура начала перегонки бензина, °С, не ниже: летнего/зимнего 10 % бензина перегоняется при температуре, °С, не выше: летнего/зимнего 50 % бензина перегоняется при температуре, °С, не выше: летнего/зимнего 90 % бензина перегоняется при температуре, °С, не выше: летнего/зимнего конец кипения бензина, °С, не выше: летнего/зимнего остаток в колбе, %, не более остаток и потери, %, не более 4. Давление насыщенных паров бензина, кПа (мм.рт.ст.), не более: летнего/зимнего 5. Кислотность мг КОН на 100 см ³ бензина, не более 6. Концентрация фактических смол на месте производства в мг на 100 см ³ бензина, не более 7. Индукционный период бензина на месте производства, мин, не менее 8. Массовая доля серы, %, не более 9. Испытание на медной пластине 10. Водорастворимые кислоты и щелочи 11. Механические примеси и вода 12. Цвет 13. Плотность при 20 °С, кг/м ³	76,0 Не нормируется 0,013 35 / не нормируется 70/55 115/100 180/160 195/185 1,5 4,0 66,7 (500) / 66,7-93,3(500-700) 1,0 5,0 1200 0,10 выдерживает отсутствие отсутствие - не нормируется

Окончание таблицы 3.2

№ п/п	Наименование сырья, материалов, реагентов, полуфабрикатов, готовой продукции.	Показатели качества, подлежащие проверке	Норма по нормативному документу			
			Нормаль- 80	Регуляр- 92	Премиум - 95	Супер-98
13	Топлива для двигателей внутреннего сгорания. Неэтилированный бензин.	1. Октановое число, не менее: по моторному методу	76,0	83,0	85,0	88,0
		по исследовательскому методу	80,0	92,0	95,0	98,0
		2. Концентрация свинца, г/дм ³ , не более	0,010			
		3. Концентрация фактических смол, мг на 100 см ³ бензина, не более	5,0			
		4. Индукционный период бензина, мин, не менее	360			
		5. Массовая доля серы, %, не более	0,05			
		6. Объемная доля бензола, %, не более	5			
		7. Испытание на медной пластине	выдерживает класс 1			
		8. Внешний вид	чистый прозрачный			
		9. Плотность при 15 °С, кг/м ³	700-750	725-780	725-780	725-780
	2 класс (Летний)		4 класс (Зимний)			
	1. Давление насыщенных паров бензина, кПа минимум/максимум	45/80		60/95		
	2. Фракционный состав: температура начала перегонки, °С, не ниже	35		не нормируется		
	пределы перегонки, °С, не выше	70		60		
	10%	115		105		
	50%	185		170		
	90%	215		215		
	конец кипения, °С, не выше	2		2		
	доля остатка в колбе, %, (по объему)	4		4		
	остаток и потери, % (по объему)	15/45		15/50		
	или объем испарившегося бензина, %, при температуре:	40/70		40/70		
	70 °С: минимум/максимум	85		85		
	100 °С: минимум/максимум	215		215		
	180 °С: не менее	2		2		
	конец кипения, °С, не выше	1000		1200		
	остаток в колбе, % (по объему), не более					
	3. Индекс испаряемости, не более					

3.1 Приём компонентов бензинов по ходовым трубопроводам с установок

Приём основного перечня компонентов бензинов и продуктов с установок предприятия производится в вертикальные стальные резервуары (РВС) без избыточного давления; приём МТБЭ и газового бензина осуществляется в шаровые резервуары (рабочее давление – до 4,0 кгс/см²). Температура поступающих продуктов – не выше +35 °С. Объёмные скорости поступления продуктов в резервуары автоматической станции смешения бензинов (АССБ) определяются пропускной способностью трубопроводов, производительностью насосов установок по откачке и соответствуют пропускной способности дыхательной арматуры всех резервуаров. Объёмная скорость поступления продуктов определяется по уровнемерам «ENRAF» соответствующих резервуаров.

После наполнения нефтепродуктом каждый резервуар отстаивается не менее 2-х часов, дренируется от воды и механических примесей (дренирование производится в промышленно-ливневую канализацию), производится отбор проб, проба анализируется в соответствующей лаборатории согласно нормативной документации (НД) и далее используется либо в приготовлении товарных бензинов, либо как товарный продукт [24].

Давление внутри шаровых резервуаров контролируется манометрами по месту и датчиками давления «Сапфир-22 ДИ», показания от которых выведены в операторную. Рабочее давление внутри шаровых резервуаров – до 4,0 кгс/см². Каждый шаровой резервуар для защиты от превышения давления оборудован контрольным СППК-4 (давление срабатывания – 4,3 кгс/см²) и рабочим СППК-4 (давление срабатывания – 5,0 кгс/см²). Каждый шаровой резервуар подключён через ручную запорную арматуру к трубопроводу инертного газа для продувки.

Шаровые резервуары соединены между собой уравнивающим трубопроводом через ручную запорную арматуру.

Сброс избыточного давления от контрольных СППК-4 шаровых резервуаров производится в факельный трубопровод, от рабочих СППК-4 – через каплеотбойник в атмосферу.

Каждый резервуар, в том числе – шаровый, оснащён прибором «ENRAF», который, в сочетании с системой ENTIS, определяет уровень нефтепродукта, температуру, объёмную скорость заполнения/опорожнения, имеющийся объём нефтепродукта и свободный объём. Данные от «ENRAF» выведены на компьютер и систему МОД-300 в операторной.

3.2 Приготовление товарных бензинов на АССБ

Приготовление товарных бензинов на АССБ происходит по принципу смешения в потоке нескольких компонентов, путем их одновременной подачи в один из 3-х финальных трубопроводов смешения, согласно заданной рецептуре в об. % [24].

Перемешивание смеси компонентов происходит при их прокачке через диафрагмовый смеситель, установленный на каждом из 3-х финальных трубопроводов. Максимальная производительность при приготовлении – 1100 м³/час.

Единовременно АССБ может производить приготовление только одной марки бензина по одному из финальных трубопроводов (№ 1 или № 2). Одновременно возможно приготовление бензина газового стабильного насосами насосного парка по трубопроводу № 2. Расход компонентов при приготовлении бензинов контролируется ультразвуковыми расходомерами «DANFOSS», установленными в узле смешения АССБ на всех трубопроводах их подачи. Общий расход смеси компонентов по финальному трубопроводу (производительность работы

АССБ) также контролируется ультразвуковыми расходомерами «DANFOSS». Соотношение компонентов согласно заданной рецептуре поддерживается регулирующими клапанами КАМФЛЕКС, управление которыми осуществляется с помощью контроллеров MOD-30 и системы MOD-300 на основании показаний расходомеров «DANFOSS» [24].

В некоторых случаях – например, при выводе в ремонт части насосов АССБ, требуется сборка технологических схем для подачи компонентов в смешение бензинов с использованием имеющегося насосного оборудования станции смешения. В этих случаях возможно использование участка трубопровода № 1а за насосным парком для осуществления так называемых «переходов», что позволяет собрать различные варианты схем подачи компонентов в смешение. Кроме того, возможно использование для «переходов» из одного приёмного трубопровода в другой трубопроводной обвязки насосов АССБ, имеющихся перемычек.

В случае сборки таких схем необходимо в обязательном порядке убедиться в правильности сборки технологических схем и невозможности нежелательного смешения компонентов между собой, что исключит получение некондиционного продукта.

На случай неисправности на трубопроводах № 3-10 в узле смешения АССБ одного из ультразвуковых расходомеров «Danfoss» (либо в случае его снятия для проведения поверки) или регулирующего клапана имеется возможность перехода из одного трубопровода в другой для подачи необходимых компонентов бензинов в приготовление. Дополнительно необходимо убедиться в закрытии запорной арматуры на соответствующих нагнетательных трубопроводах насосов АССБ.

В резервуарах резервуарного парка № 9 готовятся следующие марки автомобильных бензинов: АИ-92 (Регуляр-92), АИ-96 (Премиум-95),

Супер-98. Приготовление партии товарного бензина производится в соответствии с рассчитанной рецептурой.

Применяется 2 способа смешения компонентов [24]:

- 1) в потоке, при помощи АССБ;
- 2) последовательная закачка насосами, АССБ и перемешивание смеси путём её принудительной циркуляции насосами.

В виду вовлечения толуольного концентрата в процесс приготовления товарных бензинов необходимо дополнительное перемешивание конечной смеси в резервуарах для полной гомогенизации толуола в бензине. Для циркуляции смеси компонентов в резервуарах резервуарного парка № 9 имеются циркуляционные трубопроводы, подключенные внутри каждого резервуара к системе смесителей (вертикально установленных эжекторов) [24]:

- от насосов Н-1, 2 – в резервуары № 1, 2, 3, 4;
- от насосов Н-3, 4 – в резервуары № 5, 6, 7, 8.

Резервуары № 1-6 оснащены системами перемешивания с 8 эжекторами, резервуары № 7, 8 – с 4 эжекторами. Расположение перемешивающих устройств и их суммарная пропускная способность обеспечивают полную гомогенизацию всего объёма нефтепродукта.

Минимально-допустимый уровень смеси компонентов в резервуаре, при котором возможна циркуляции через эжекторы (для исключения бурного перемешивания образующимися вертикальными струями и разбрызгивания нефтепродукта внутри резервуара), должен составлять 800 см. Оптимальная продолжительность перемешивания составляет 3 часа и при необходимости может быть увеличена.

При приготовлении необходимо соблюдать порядок закачки компонентов в резервуары. Последовательность, как правило, должна быть такой, чтобы в первую очередь закачивались компоненты с большей плотностью, а затем – с меньшей плотностью. При необходимости –

возможна закачка компонентов в любом порядке, однако время перемешивания циркуляционным насосом должна составлять в этом случае не менее 5-6 часов.

Толуольный концентрат и фракции ароматических углеводородов C_8 , C_9 должны закачиваться либо в первую очередь, либо во время циркуляции смеси для их лучшего перемешивания.

После окончания циркуляции смеси компонентов в резервуаре производится отстой нефтепродукта в течение 2-х часов, освобождение от воды и механических примесей (дренирование производится в промышленно-ливневую канализацию). Контроль качества нефтепродукта в резервуаре производится товарной лабораторией.

5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Данное исследование проводилось с применением программного вычислительного комплекса «FlowVision», который основан на решении уравнений движения в гидродинамики и Навье-Стокса.

При производстве бензинов делается акцент на улучшение основного эксплуатационного свойства топлива – детонационной стойкости, численным эквивалентом которой является октановое число. Значительной трудностью при расчете процесса компаундирования является то, что при производстве бензина не учитываются гидродинамические характеристики вовлекаемых потоков и используемого оборудования. Поэтому на НПЗ расходуется большое количество электроэнергии на дополнительное перемешивание товарного продукта.

Целью исследования является:

- Создание модели смешительного трубопровода
- Получение графического распределения концентрации толуола методом вычислительной гидродинамики;
- Разработка методов интенсификации процесса перемешивания в смешительном трубопроводе.

Данное исследование имеет достаточно высокий коммерческий потенциал и является ресурсосберегающей, потому что исследование процесса компаундирования с помощью вычислительной гидродинамики позволяет получить товарный продукт с наименьшими энергозатратами на перемешивание конечной смеси, что в, конечном итоге, отражается на ценовые характеристики бензина, увеличивая его конкурентоспособность.

5.1 Потенциальные потребители результатов исследования

По результатам проведенного сегментирования рынка были определены основные сегменты, а также выбраны наиболее благоприятные (табл. 5.1).

Таблица 5.1– Сегментирование рынка

		Вид услуги				
		Расчет гидродинамики	Расчет технических показателей	Доступность и цена	Возможность интеграции с моделирующими программами	Мультиязычность
Программные комплексы	FlowVision					
	ANSYS Fluent					
	AcuSolve					

Таким образом, оптимальной программой для исследования гидродинамики смешения потоков является программный комплекс «FlowVision», который помимо основного расчета гидродинамики позволяет рассчитать технические показатели процесса, имеет широкую доступность для российского рынка и имеет возможность интеграции с существующими моделирующими системами.

5.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

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

Таблица 5.2 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б _ф	Б _{к1}	Б _{к2}	К _ф	К _{к1}	К _{к2}
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Повышение производительности процесса	0,25	5	5	5	1,25	1,25	1,25
2. Удобство интерфейса и его качество	0,1	5	4	3	0,5	0,4	0,3
3. Потребность в ресурсах оперативной памяти для быстрого расчета	0,2	3	2	3	0,6	0,4	0,6
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Конкурентоспособность продукта	0,1	4	5	5	0,4	0,5	0,5
2. Отзывы от пользователей	0,1	5	5	5	0,5	0,5	0,5
3. Цена	0,25	5	3	3	1,25	0,75	0,75
Итого	1				4,5	3,8	3,9

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

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

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

B_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – балл i -го показателя.

Как видно из табл. 5.2 программный комплекс «FlowVision» (K_f) наиболее конкурентоспособный в отличие от ANSYSFluent (K_{k1}) и AcuSolve (K_{k2}), так как помимо его ценовой характеристики он способен удовлетворить основные потребности производителей в области расчета гидродинамики при этом, обладая удобным интерфейсом и сравнительно небольшими потребностями в оперативной памяти.

5.3 SWOT-анализ

SWOT – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – представляет собой

комплексный анализ научно-исследовательского проекта. SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта.

Таблица 5.3 – SWOT-анализ проекта

	<p>СИЛЬНЫЕ СТОРОНЫ:</p> <p>С1. Быстрый и точный расчет гидродинамики смещения потоков С2. Возможность расчета технических показателей процесса компаундирования С3. Возможность интеграции с существующими системами моделирования С4. Уменьшение не затрат предприятия на дополнительную электроэнергию С5. Экономия времени процесса С6. Доступность и цена</p>	<p>СЛАБЫЕ СТОРОНЫ:</p> <p>Сл1. Большой срок внедрения на производство Сл2. Необходимость наличия точных данных хроматографического анализа каждого вовлекаемого потока Сл3. Необходимость запроса повторной лицензии в связи с обновлением/переустановкой программного обеспечения компьютера Сл4. Невозможность тестирования на промышленных установках без остановки производства</p>
<p>ВОЗМОЖНОСТИ: В1. Повсеместное внедрение на НПЗ В2. Применение для расчетов гидродинамики в смесительных аппаратах В3. Создание единого программного комплекса для учета гидродинамических характеристик потоков, получаемых на всех процессах нефтепереработки В4. Увеличение спроса на программу как в России, так и за рубежом</p>	<p>В связи с возможностью интеграции программного комплекса с другими моделирующими программами у данной научной разработки есть большие шансы найти применение на НПЗ в качестве единого комплекса, позволяющего рассчитывать характеристики продукта и учитывать гидродинамические характеристики потоков и оборудования. Также исследование позволит минимизировать энергозатраты предприятия, что положительно сказывается на конкурентоспособности продукта.</p>	<p>Несмотря на достоинства научного проекта, могут возникнуть трудности, так как необходимо будет обрабатывать огромный поток информации от начальной нефти до каждого используемого реагента. Также невозможность тестирования программы без остановки производства насторожит многие НПЗ. Для того, чтобы данные проблемные ситуации не вызывали вопросов у НПЗ необходимо провести не менее 10 расчетов с разными по составу нефтями, при этом применить моделирующие системы, которые обладают прогнозирующей способностью и могут предсказать состав потоков без проведения промышленных опытов</p>

Окончание табл. 5.3

<p>Угрозы: У1. Выход на рынок конкурентов У2. Невозможность применения на производстве вследствие больших изменений регламента процесса У3. Отказ от внедрения в связи с удовлетворением нынешнего потребления продукции</p>	<p>Существуют множество конкурентов, которые активно продвигают свои программные продукты. Также многие НПЗ не хотят использовать чего-то нового вследствие изменения технологических регламентов. Следует делать акцент на доступность данного проекта и его эффективность. Для этого необходимо помимо публикации в журналах ВАК публиковать данные исследования в журналах Scopus и Web of Science, привлекая при этом инженерно-технический персонал НПЗ, который усилит эффект технического применения</p>	<p>Отсутствие финансирования и незаинтересованность потенциальных потребителей в научной разработке является проблемой для дальнейшего ее развития. Необходимо проводить больше исследований для подтверждения эффективности проекта</p>
--	---	--

5.4 Оценка готовности проекта к коммерциализации

На какой бы стадии жизненного цикла не находилась научная разработка полезно оценить степень ее готовности к коммерциализации и выяснить уровень собственных знаний для ее проведения (или завершения). Для этого необходимо заполнить специальную форму, содержащую показатели о степени проработанности проекта с позиции коммерциализации и компетенциям разработчика научного проекта.

Таблица 5.4 – Бланк оценки степени готовности
научного проекта коммерциализации

№ п/п	Наименование	Степень проработанности научного проекта	Уровень имеющихся знаний у разработчика
1.	Определен имеющийся научно-технический задел	3	4
2.	Определены перспективные направления коммерциализации научно-технического задела	3	3

Окончание табл. 5.4

№ п/п	Наименование	Степень проработанности научного проекта	Уровень имеющихся знаний у разработчика
3.	Определены отрасли и технологии (товары, услуги) для предложения на рынке	4	4
4.	Определена товарная форма научно-технического задела для представления на рынок	3	3
5.	Определены авторы и осуществлена охрана их прав	3	3
6.	Проведена оценка стоимости интеллектуальной собственности	3	3
7.	Проведены маркетинговые исследования рынков сбыта	2	2
8.	Разработан бизнес-план коммерциализации научной разработки	3	4
9.	Определены пути продвижения научной разработки на рынок	4	4
10.	Разработана стратегия (форма) реализации научной разработки	4	4
11.	Проработаны вопросы международного сотрудничества и выхода на зарубежный рынок	1	2
12.	Проработаны вопросы использования услуг инфраструктуры поддержки, получения льгот	1	1
13.	Проработаны вопросы финансирования коммерциализации научной разработки	3	4
14.	Имеется команда для коммерциализации научной разработки	3	3
15.	Проработан механизм реализации научного проекта	2	2
	ИТОГО БАЛЛОВ	42	46

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. Так, 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:

$$B_{\text{сум}} = \sum B_i ,$$

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.

По результатам оценки можно сделать вывод о том, что необходимо усилить акцент на продвижение научного исследования на международной арене путем увеличения публикаций и цитирований в иностранных журналах, необходимо увеличить инвестирование в проект (покупка лицензии) за счет выигранных грантов. Также необходимо провести маркетинговые исследования для увеличения компетенций научного проекта.

5.5 Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования

При коммерциализации научно-технических разработок продавец (а это, как правило, владелец соответствующих объектов интеллектуальной собственности), преследует вполне определенную цель, которая во многом зависит от того, куда в последующем он намерен направить (использовать, вложить) полученный коммерческий эффект. Это может быть получение средств для продолжения своих научных исследований и разработок (получение финансирования, оборудования, уникальных материалов, других научно-технических разработок и т.д.), одноразовое получение финансовых ресурсов для каких-либо целей или для накопления, обеспечение постоянного притока финансовых средств, а также их различные сочетания.

В качестве метода коммерциализации научных разработок был выбран инжиниринг как самостоятельный вид коммерческих операций. Данный метод был выбран, потому что на многих НПЗ имеются проблемы, связанные с не учетом гидродинамических характеристик вовлекаемых потоков и используемого оборудования. Но ввиду того, что в процесс производства бензина вовлекаются нефти разного химического состава, невозможно определить точный углеводородный состав вовлекаемых потоков и применять те условия ведения процесса, которые были установлены до этого. Поэтому НПЗ выгодно заключать контракты, хоздоговора на выполнение различных исследований, направленных на уменьшение потерь и повышения ресурсоэффективности.

5.6 Инициация проекта

Группа процессов инициации состоит из процессов, которые выполняются для определения нового проекта или новой фазы существующего. В рамках процессов инициации определяются

изначальные цели и содержание и фиксируются изначальные финансовые ресурсы. Определяются внутренние и внешние заинтересованные стороны проекта, которые будут взаимодействовать и влиять на общий результат научного проекта. Данная информация закрепляется в Уставе проекта.

Устав проекта документирует бизнес-потребности, текущее понимание потребностей заказчика проекта, а также новый продукт, услугу или результат, который планируется создать.

Устав научного проекта имеет следующую структуру:

Цели и результат проекта. В данном разделе приводится информация 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. Это могут быть заказчики, спонсоры, общественность и т.п. Информация по заинтересованным сторонам проекта представлена в табл. 5.5.

Таблица 5.5 – Заинтересованные стороны проекта

Заинтересованные стороны проекта	Ожидания заинтересованных сторон
Магистрант	Защита диссертации
Научный руководитель	Публикации в российских и зарубежных журналах, получении грантов на дальнейшее исследование, заключение хоздоговоров с НПЗ
НПЗ	Получение объективного исследование, возможность применения данного исследование на производстве, затраты на реконструкцию

В табл. 5.6 представлена информация об иерархии целей проекта и критериях достижения целей. Цели проекта должны включать цели в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

Таблица 5.6 –Цели и результат проекта

Цели проекта:	Разработка методов увеличения интенсификации процесса перемешивания в смесительном трубопроводе, исключая дополнительные затраты на перемешивание в товарных резервуарах
Ожидаемые результаты проекта:	Нахождения путей оптимизации процесса смешения в финальном трубопроводе, возможность применения на производстве
Критерии приемки результата проекта:	Энергоэффективность проекта, возможность применения без дополнительных затрат на покупку нового оборудования
Требования к результату проекта:	Требование:
	Возможность технического использования на производстве
	Предоставление нескольких вариантов оптимизации финального трубопровода смешения
	Достаточно большой экономический эффект
	Применимость без изменения качества конечного продукта
	Применимость без увеличения времени производства

Организационная структура проекта. На данном этапе работы решаются следующие вопросы: кто будет входить в рабочую группу данного проекта, определяется роль каждого участника в данном проекте, а также прописываются функции, выполняемые каждым из участников и их трудозатраты в проекте. Данная информация представлена в табл. 5.7.

Таблица 5.7 – Рабочая группа проекта

№ п/п	ФИО, основное место работы, должность	Роль в проекте	Функции	Трудовые затраты, час.
1	Киргина Мария Владимировна, ТПУ ИПР, кафедра ХТТ, ассистент	Руководитель проекта	Отвечает за реализацию проекта в пределах заданных ограничений по ресурсам, координирует деятельность участников проекта.	2400
2	Криницына Зоя Васильевна, ТПУ ИСГТ, кафедра менеджмента, к.т.н., доцент	Эксперт проекта	Специалист, обладающий компетенциями (специальными знаниями и опытом), в области ресурсоэффективности и экономической составляющей проекта	100
3	Чулков Николай Александрович, ТПУ, ЭНИН, кафедра экологии и безопасности жизнедеятельности, к.т.н., доцент	Эксперт проекта	Специалист, обладающий компетенциями (специальными знаниями и опытом) в области раздела социальной ответственности	100
4	Майлин Максим, ТПУ, ИПР, кафедра ХТТ, магистрант	Исполнитель	Специалист, выполняющий отдельные работы по проекту	4320
ИТОГО:				6920

Ограничения проекта – это все факторы, которые могут послужить ограничением степени свободы участников команды проекта, а так же «границы проекта» - параметры проекта или его продукта, которые не будут реализованы в рамках данного проекта.

Таблица 5.8 –Ограничения проекта

Фактор	Ограничения/ допущения
Бюджет проекта	При выполнении исследования более двух месяцев требуется покупка лицензии либо продление еще на 2 месяца при условии раскрытия информации о проекте
Источник финансирования	Ограничен наличием личных средств и гранта руководителя проекта

Окончание табл. 5.8

Фактор	Ограничения/ допущения
Сроки проекта:	До 01.06.2016 г.
Дата утверждения плана управления проектом	01.05.2015 г.
Дата завершения проекта	01.03.2016
Прочие ограничения и допущения*	Не имеется

5.7 Планирование управления научно-техническим проектом

Группа процессов планирования состоит из процессов, осуществляемых для определения общего содержания работ, уточнения целей и разработки последовательности действий, требуемых для достижения данных целей.

План управления научным проектом должен включать в себя следующие элементы.

5.7.1 Иерархическая структура работ проекта

Иерархическая структура работ (ИСР) – детализация укрупненной структуры работ. В процессе создания ИСР структурируется и определяется содержание всего проекта. На рис. № и рис. № представлены шаблон иерархической структуры работ по проекту и пример ИСР по проекту разработки программного продукта.



Рисунок 5.1 – Иерархическая структура работ

5.7.2 Контрольные события проекта

В рамках данного раздела необходимо определить ключевые события проекта, определить их даты и результаты, которые должны быть получены по состоянию на эти даты.

Таблица 5.9 – Контрольные события проекта

№ п/п	Контрольное событие	Дата	Результат (подтверждающий документ)
1	Освоение работы с программным комплексом «FlowVision»	01.05.- 01.07.2015	Получение письма по электронной почте от разработчиков программы с одобрением дальнейших действий
2	Запрос данных у Омского НПЗ, начало формирования расчетных файлов	01.07- 31.08.2015	Получение данных по электронной почте

Окончание табл. 5.9

№ п/п	Контрольное событие	Дата	Результат (подтверждающий документ)
3	Исследование гидродинамики для 1 даты, подбор оптимальных режимов работы, отправка промежуточного отчета, запрос продления лицензии	01.09-01.12.2015	Получение продления лицензии от разработчиков программного комплекса
4	Исследование гидродинамики для 2 даты, разработка и создание насадок для увеличения интенсификации процесса перемешивания, отправка промежуточного отчета, запрос продления лицензии	01.12.2015-01.02.2016	Получение продления лицензии от разработчиков программного комплекса
5	Исследование гидродинамики для 1 и 2 дат с использованием разработанных насадок, создание U-образного трубопровода, исследование гидродинамики с применением U-образного трубопровода, отправка окончательного отчета, получение одобрения о правильно выполненной работе, публикация статьи, участие в конференциях	01.02-01.05.2016	Получение подтверждения от разработчиков программы о правильности исследования, участие во Всероссийской и международной конференциях, публикация статьи в журнале «Химическая промышленность»

5.8. План проекта

В рамках планирования научного проекта необходимо построить календарный график проекта.

Таблица 5.10 – Календарный план проекта

Код работы	Название	Длительность, дни	Дата начала работ	Дата окончания работ	Состав участников (ФИО ответственных исполнителей)
1	Запрос лицензии для программы	10	01.05.2015	11.05.2015	Майлин М.
2	Освоение работы с программой	49	12.05.2015	01.07.2015	Майлин М
3	Запрос экспериментальных данных с НПЗ, начало формирования расчетных файлов, обзор современных методов исследований по выбранному направлению	61	01.07.2015	31.08.2015	Майлин М
4	Составление и утверждение технического задания	5	07.09.2015	12.09.2015	Майлин М., Киргина М.В.
5	Исследование гидродинамики для даты №1, подбор оптимальных параметров	79	13.09.2015	01.12.2015	Майлин М.
6	Исследование гидродинамики для даты №2, разработка и создание насадок для увеличения интенсификации процесса перемешивания	61	01.12.2015	01.02.2016	Майлин М.

Окончание табл. 5.10

Код работы	Название	Длительность, дни	Дата начала работ	Дата окончания работ	Состав участников (ФИО ответственных исполнителей)
7	Исследование гидродинамики для 1 и 2 дат с использованием разработанных насадок, создание U-образного трубопровода, исследование гидродинамики с применением U-образного трубопровода	59	01.02.2016	01.05.2016	Майлин М.
8	Оценка эффективности производства и применения проектируемого изделия	30	01.04.2016	01.05.2016	Майлин М., Киргина М.В.
9	Оформление диссертации	31	01.05.2016	01.06.2016	Майлин М., Киргина М.В.
10	Сдача работы на рецензию	5	01.06.2016	06.06.2016	Майлин М., Киргина М.В.
11	Подготовка к защите дипломной работы	3	06.06.2016	09.06.2016	Майлин М., Киргина М.В.
12	Защита дипломной работы	1	09.06.2016	10.06.2016	Майлин М.
Итого:		394			

Таблица 5.11 – Календарный план-график проведения НИОКР по теме

Код работы	Вид работ	Исполнители	T_{ki} кал. дн.	Продолжительность выполнения работ																	
				май.			июнь			июль			август			сентябрь		октябрь			
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	1	2	3	
1	Запрос лицензии для программы	Магистрант	10	■																	
2	Освоение работы с программой	Магистрант	49		■	■	■	■	■	■											
3	Запрос экспериментальных данных с НПЗ, начало формирования расчетных файлов, обзор современных методов исследований по выбранному направлению	Магистрант	61							■	■	■	■	■	■						
4	Составление и утверждение технического задания	Магистрант Руководитель	5														■	■			
5	Исследование гидродинамики для дачи №1, подбор оптимальных параметров	Магистрант	79															■	■		

Продолжение табл. 5.11

Код работ	Вид работ	Исполнители	T_{ki} , кал. дн.	Продолжительность выполнения работ																	
				ноябрь			декабрь			январь			февраль			март		апрель			
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	1	2	3	
5	Исследование гидродинамики для даты №1, подбор оптимальных параметров	Магистрант	79																		
6	Исследование гидродинамики для даты №2, разработка и создание насадок для увеличения интенсификации процесса перемешивания	Магистрант	61																		
7	Исследование гидродинамики для 1 и 2 дат с использованием разработанных насадок, создание U-образного трубопровода, исследование гидродинамики с применением U-образного трубопровода	Магистрант	59																		
8	Оценка эффективности производства и применения проектируемого изделия	Магистрант Руководитель	30																		

Окончание табл. 5.11

Код работы	Вид работ	Исполнители	T_{ki} кал. дн.	Продолжительность выполнения работ					
				май			июнь		
				1	2	3	1	2	3
9	Оформление магистерской диссертации	Магистрант Руководитель	31						
10	Сдача работы на рецензию	Магистрант Руководитель	5						
11	Подготовка к защите дипломной работы	Магистрант Руководитель	3						
12	Защита дипломной работы	Магистрант	1						

5.9 Бюджет научного исследования

При планировании бюджета научного исследования должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов планируемых расходов, необходимых для его выполнения.

Расчет стоимости материальных затрат производится по действующим ценам. Результаты по данной статье заносятся в таблицы 5.12, 5.13.

Таблица 5.12 – Расчет затрат на сырье, материалы, комплектующие изделия и покупные полуфабрикаты

Наименование	Марка, размер	Кол-во	Цена за единицу, руб.	Сумма, руб.
Бумага для принтера	шт	2	400	800
Тетрадь для записей	шт	1	100	100
Ручка	шт.	2	50	100
Картридж для принтера	шт	2	500	1000
Всего за материалы				2000
Транспортно-заготовительные расходы (5%)				100
Итого по статье C_M				2100

Таблица 5.13 – Расчет затрат по статье
«Спецоборудование для научных работ»

№ п/п	Наименование оборудования	Кол-во единиц оборудования	Цена единицы оборудования, тыс.руб.	Мощность электроприбора, кВт	Общая стоимость оборудования, тыс.руб.
1.	Компьютер	1	20	0,75	20
2.	Лазерный принтер	1	10	0,05	10
Итого затраты на «Спецоборудование для научных работ»					30
Транспортные расходы (15 %)					4,5
Итого					34,5

Расчет затрат на электроэнергию определяется по формуле:

$$E_{\text{э}} = \sum N_i \cdot T_{\text{э}} \cdot C_{\text{э}} \quad (5.1)$$

где N_i – мощность электроприборов по паспорту, кВт;

$T_{\text{э}}$ – время использования электрооборудования, час;

$C_{\text{э}}$ – цена одного кВт*ч, руб (2,7 руб. в г.Томск).

$$E_{\text{э}} = 0,8 \cdot 200 \cdot 2,7 = 432 \text{ руб.}$$

Расчет основной заработной платы приведен в таблице 5.15

Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением проекта, (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату:

$$C_{\text{зп}} = Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}} \quad (5.2)$$

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

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

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_{\text{раб}} \quad (5.3)$$

где $Z_{\text{осн}}$ – основная заработная плата одного работника; $T_{\text{раб}}$ – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн.; $Z_{\text{дн}}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}} \quad (5.4)$$

где $Z_{\text{м}}$ – месячный должностной оклад работника, руб.; M – количество месяцев работы без отпуска в течение года: – при отпуске в 24 раб. дня $M = 11,2$ месяца, 5-дневная неделя; – при отпуске в 48 раб. дней $M = 10,4$ месяца, 6-дневная неделя; $F_{\text{д}}$ – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн.

Таблица 5.14 – Баланс рабочего времени одного исполнителя НИР за 2015-2016 учебный год

Показатели рабочего времени	Исполнитель
Календарное число дней	394
Количество нерабочих дней	
- выходные дни	106
- праздничные дни	31
Потери рабочего времени	
- отпуск	48
- невыходы по болезни	5
Действительный годовой фонд рабочего времени	204

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_{\text{м}} = Z_{\text{б}} \cdot (k_{\text{пр}} + k_{\text{д}}) \cdot k_{\text{р}} \quad (5.5)$$

где $Z_{\text{б}}$ – базовый оклад, руб.; $k_{\text{пр}}$ – премиальный коэффициент, (определяется Положением об оплате труда); $k_{\text{д}}$ – коэффициент доплат и надбавок (в НИИ и на промышленных предприятиях – за расширение сфер обслуживания, за профессиональное мастерство, за вредные условия: определяется Положением об оплате труда); $k_{\text{р}}$ – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

$$Z_{\text{м(науч.рук-ль)}} = 18222 \cdot 1,3 = 26532 \text{ руб.}$$

$$Z_{\text{м(магистрант)}} = 5000 \cdot 1,3 = 7280 \text{ руб.}$$

Среднедневная заработная плата:

$$Z_{\text{дн(науч.рук-ль)}} = \frac{26532 \cdot 10,4}{204} = 1352,6 \text{ руб.}$$

$$Z_{\text{дн(магистрант)}} = \frac{7280 \cdot 10,4}{204} = 371,1 \text{ руб.}$$

Основная заработная плата руководителя(от ТПУ) рассчитывается на основании отраслевой оплаты труда.

$$Z_{\text{осн(науч.рук-ль)}} = 1352,6 \cdot 74 = 100092 \text{ руб.}$$

$$Z_{\text{осн(магистрант)}} = 371,1 \cdot 394 = 146228 \text{ руб.}$$

Расчёт основной заработной платы приведён в таблице 5.15.

Таблица 5.15 – Расчёт основной заработной платы

Исполнители	З _б , руб.	k _{пр}	k _р	З _м , руб	З _{дн} , руб.	T _р , раб. дн.	З _{осн} , руб.
Руководитель	18222	1,12	1,3	26532	1352,6	74	100092
Магистрант	5000	1,12	1,3	7280	371,1	394	146228

Рассчитываем отчисления на социальные нужды (30,2 %). Статья включает в себя отчисления во внебюджетные фонды.

$$C_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) \quad (5.6)$$

где $k_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).

Таблица 5.16 – Заработанная плата исполнителей НИР

Исполнители	Заработная плата, руб	Социальные отчисления, руб
Руководитель	100092	30228
Магистрант	146228	44161
Итого	246320	74389

Рассчитаем все затраты на выполнение исследовательской работы (таблица 5.17).

Таблица 15 – Группировка затрат по статьям

Вид работ	Сырье, материалы (за вычетом возвратных отходов), покупные изделия и полуфабрикаты	Специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	Энергозатраты	Основная заработная плата	Отчисления на социальные нужды	Итого плановая себестоимость
	2100	34500	432	246320	74389	357741

5.10 Организационная структура проекта

В практике используется несколько базовых вариантов организационных структур: функциональная, проектная, матричная.

Наиболее подходящей организационной структурой данной работы является проектная, представленная на рисунке 2.

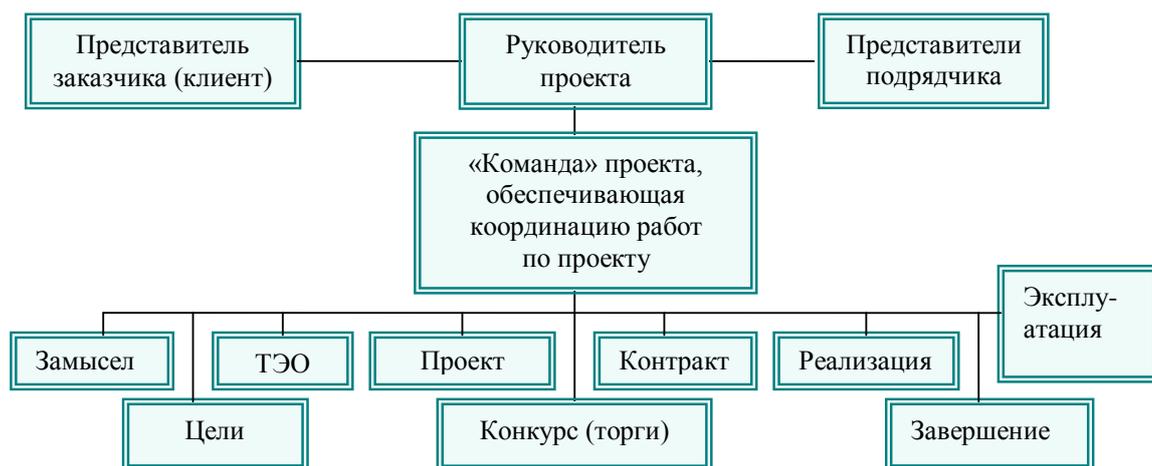


Рисунок 5.2 – Пример проектной структуры проекта

5.11 Матрица ответственности

Для распределения ответственности между участниками проекта формируется матрица ответственности (табл. 5.16).

Таблица 5.16 – Матрица ответственности

Этапы проекта	Руководитель	Магистрант
Проведение литературного и патентного обзора	О	И
Теоретический анализ	О	И
Постановка задачи исследования	О	И
Экспериментальная часть	О	И
Результаты и обсуждения	О	И
Оформление работы	О	И
Разработка презентации и раздаточного материала	О	И

Степень участия в проекте:

Ответственный (О)– лицо, отвечающее за реализацию этапа проекта и контролирующее его ход.

Исполнитель (И) – лицо (лица), выполняющие работы в рамках этапа проекта.

5.12 План управления коммуникациями проекта

План управления коммуникациями отражает требования к коммуникациям со стороны участников проекта (таблица 5.17).

Таблица 5.17 – Пример плана управления коммуникациями

№ п/п	Какая информация передается	Кто передает информацию	Кому передается информация	Когда передает информацию
1.	Статус проекта	Магистрант	Руководителю	Ежеквартально (первая декада квартала)
2.	Обмен информацией о текущем состоянии проекта	Магистрант	Руководителю	Еженедельно (пятница)
3.	Документы и информация по проекту	Магистрант	Руководителю	Не позже сроков графиков и к. точек
4.	О выполнении контрольной точки	Магистрант	Руководителю	Не позже дня контрольного события по плану управления

5.13 Реестр рисков проекта

Риски, которые могут возникнуть в проекте и вызвать последствия (нежелательные эффекты), проанализированы в таблице 5.18.

Таблица 5.18 – Реестр рисков

№	Риск	Потенциальное воздействие	Вероятность наступления (1-5)	Влияние риска (1-5)	Способы смягчения риска	Условия наступления
1	Невозможность изменения технологии	Отказ от использования	2	5	Проработка иных методов применения	Сложность технологии, устаревшая технология
2	Большое время расчета	Использование продуктов конкурента	1	4	Перепроверка расчета	Ошибка во входных данных

Окончание табл. 5.18

№	Риск	Потенциальное воздействие	Вероятность наступления (1-5)	Влияние риска (1-5)	Способы смягчения риска	Условия наступления
3	Выгодные предложения конкурентов	Использование продуктов конкурента	2	5	Продвижение разработки, актуализация	Активные действия конкурентов для выхода на новый рынок
4	Незаинтересованность	Отсутствие рынка сбыта	1	5	Поддержание актуальности разработки	Отсутствие новизны и востребованности исследования

5.14 Оценка сравнительной эффективности исследования

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

Свод затрат по статьям налогов представлен в таблице 5.19

Таблица 5.19 – Группировка затрат по статьям аналогов разработки

Наименование статьи	Сумма, руб.		
	Разработка	Аналог 1	Аналог 2
1. Материальные затраты НТИ	2100	2100	2100
2. Затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	34500	300000	250000
3. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	246320	246320	246320
4. Социальные отчисления	74389	74389	74389
5. Затраты на электроэнергию	432	965,86	1804,35
6. Бюджет затрат НТИ	357741	623241	573241

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\phi}^p = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\max}} \quad (5.7)$$

где I_{ϕ}^p - интегральный финансовый показатель разработки;

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

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

$$I_{\phi}^p = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\max}} = \frac{357741}{623241} = 0,574$$

$$I_{\phi}^{a1} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\max}} = \frac{623241}{623241} = 1$$

$$I_{\phi}^{a2} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\max}} = \frac{573241}{623241} = 0,920$$

Полученная величина интегрального финансового показателя разработки отражает соответствующее численное удешевление стоимости разработки.

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом:

$$I_m^a = \sum_{i=1}^n a_i b_i^a, \quad I_m^p = \sum_{i=1}^n a_i b_i^p \quad (5.8)$$

где I_m – интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов; a_i – весовой коэффициент i -го параметра;

b_i^a, b_i^p – бальная оценка i -го параметра для аналога и разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

n – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности рекомендуется проводить в форме таблицы, пример которой приведен ниже.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности рекомендуется проводить в форме таблицы (табл. 5.20).

Таблица 5.20 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии	Объект исследования	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект	Аналог 1	Аналог 2

1. Способствует росту производительности труда	0,2	5	3	4
2. Удобство в эксплуатации	0,2	5	4	4,5
3. Энергосбережение	0,1	5	4	4,5
4. Надежность	0,2	5	3	4
5. Воспроизводимость	0,2	4	4	5
6. Материалоемкость	0,1	4	5	4
ИТОГО	1	28	23	26

$$I_m^p = 5*0,2 + 5*0,2 + 5*0,1 + 5*0,2 + 4*0,2 + 4*0,1 = 4,7;$$

$$I_{A1}^p = 3*0,2 + 4*0,2 + 4*0,1 + 3*0,2 + 4*0,2 + 5*0,1 = 3,7;$$

$$I_{A2}^p = 4*0,2 + 4,5*0,2 + 4,5*0,1 + 4*0,2 + 5*0,2 + 4*0,1 = 4,35.$$

Интегральный показатель эффективности разработки ($I_{финр}^p$) и аналога ($I_{финр}^a$) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{финр}^p = \frac{I_m^p}{I_\phi^p}, \quad I_{финр}^a = \frac{I_m^a}{I_\phi^a} \quad (5.9)$$

$$I_{финр}^p = \frac{I_m^p}{I_\phi^p} = \frac{4,7}{0,574} = 8,19$$

$$I_{финр}^{a1} = \frac{I_m^{a1}}{I_\phi^{a1}} = \frac{3,7}{1} = 3,7$$

$$I_{финр}^{a2} = \frac{I_m^{a2}}{I_\phi^{a2}} = \frac{4,35}{0,92} = 4,73$$

Сравнение интегрального показателя эффективности текущего проекта и аналогов позволит определить сравнительную эффективность проекта. Сравнительная эффективность проекта:

$$\mathcal{E}_{ср} = \frac{I_{финр}^p}{I_{финр}^a} \quad (5.10)$$

$$\mathcal{E}_{cp1} = \frac{I_{финр}^p}{I_{финр}^{a1}} = \frac{8,19}{3,7} = 2,21$$

$$\mathcal{E}_{cp2} = \frac{I_{финр}^p}{I_{финр}^{a2}} = \frac{8,19}{4,73} = 1,73$$

где \mathcal{E}_{cp} – сравнительная эффективность проекта; I_{mz}^p – интегральный показатель разработки; I_{mz}^a – интегральный технико-экономический показатель аналога.

Таблица 5.21 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Разработка	Аналог 1	Аналог 2
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,574	1	0,920
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,7	3,7	4,35
3	Интегральный показатель эффективности	8,19	3,7	4,73
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	–	2,21	1,73

По полученным значениям интегральных показателей эффективности можно сделать вывод, что существующий вариант решения поставленной в магистерской диссертации технической задачи с позиции финансовой и ресурсной эффективности является наиболее приемлемым.

Список публикаций студента

№	Наименование работы, ее вид	Характер работы	Выходные данные	Объем, стр.	Соавторы
Доклады и тезисы докладов, опубликованные в материалах российской международной (всероссийской) конференции: 3					
1	Исследование гидродинамики смешения углеводородных потоков при производстве высокооктанового бензина	В печати	Тезисы докладов XIX Всероссийской конференции молодых учёных-химиков. Нижний Новгород, 2016 г., с. 324	1	–
2	Применение вычислительной гидродинамики для повышения энергоэффективности производства бензина	В печати	Материалы V Международной Конференции-школы по химической технологии ХТ'16. Волгоград, 2016 г.	2	Киргина М.В.
3	«Корректировка рецептур производства товарных бензинов для ОАО «АНПЗ ВНК» с учетом состава сырья», доклад	В печати	Тезисы докладов Всероссийской конференции-конкурса студентов выпускного курса, Санкт-Петербург, 2016 г.	1	–