

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

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Создание математической модели процесса сульфирования с учетом массопереноса
УДК 661.715.7.021.3.094.524.52

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2Д7В	Сладков Денис		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОХИ ИШПР	Долганов Игорь Михайлович	К.Т.Н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП ТПУ	Спицына Любовь Юрьевна	К.Э.Н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Гуляев Милий Всеволодович	-		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОХИ ИШПР	Юрьев Егор Михайлович	К.Т.Н.		

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

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

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП
 _____ Юрьев Е.М.
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы
<small>(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)</small>

Студенту:

Группа	ФИО
2Д7В	Сладков Денис

Тема работы:

Создание математической модели процесса сульфирования с учетом массопереноса	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	02.02.2021 / №33-23/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе <small>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</small></p>	<p>Объект исследования – процесс сульфирования линейных алкилбензолов. Сырьем для установки сульфирования являются линейные алкилбензолы и серный ангидрид. Режим работы – непрерывный. Установка предназначена для получения алкилбензолсульфокислоты.</p>
<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <small>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</small></p>	<p>1) Литературный обзор 2) Объект и методы исследования 3) Экспериментальная часть:</p> <ul style="list-style-type: none"> – 3.1 Разработка математической модели процесса – 3.2 Программная реализация математической модели – 3.3 Проверка модели на адекватность – 3.4 Оценка влияния изменения технологических параметров на состав и выход продукта

	<ul style="list-style-type: none"> – 3.4.1 Влияние концентрации серного ангидрида на состав и выход продукта 48 – 3.4.2 Влияние температуры на состав и выход продукт – 3.4.3 Влияние давления на состав и выход продукта – 3.4.4 Оптимальные условия процесса
Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	4) Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение 5) Социальная ответственность Результаты исследования (графики, таблицы)

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы
(с указанием разделов)

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Доцент ОСГН ШБИП ТПУ, к.э.н., Спицына Любовь Юрьевна
Социальная ответственность	Старший преподаватель Гуляев Милий Всеволодович

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

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

Задание выдал руководитель / консультант (при наличии):

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОХИ ИШПР	Долганов Игорь Михайлович	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2Д7В	Сладков Денис		

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

Студенту:

Группа	ФИО
2Д7В	Сладкову Денису

Школа	Инженерная школа природных ресурсов	Отделение школы (НОЦ)	Отделение химической инженерии
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	18.03.01 «Химическая технология»

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

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	<i>Бюджет проекта – не более 1 000 000 руб., в т.ч. затраты по оплате труда – не более 700 000 руб.</i>
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	<i>Значение показателя интегральной эффективности – не менее 4,5 из 5.</i>
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	<i>- Районный коэффициент- 1,3; - коэффициент доплат – 0,1; - накладные расходы – 16%; - отчисления во внебюджетные фонды – 30 %.</i>

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	<i>Проведение предпроектного анализа. Определение целевого рынка и проведение его сегментирования. Анализ причин и следствия проблем, оценка преспективности проекта.</i>
2. <i>Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	<i>Составление структуры работ и календарного плана проекта. Определение бюджета НИИ</i>
3. <i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	<i>Проведение сравнительной оценки экономической эффективности научного исследования.</i>

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Карта сегментирования рынка
2. QuaD анализ
3. Матрица SWOT
4. График проведения и бюджет НИ
5. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент ОСГН ШБИП ТПУ	Спицына Любовь Юрьевна	К.Э.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2Д7В	Сладков Денис		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

Группа	ФИО
2Д7В	Сладкову Денису

Школа	Инженерная школа природных ресурсов	Отделение школы (НОЦ)	Отделение химической инженерии
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	18.03.01 «Химическая технология»

Тема ВКР:

Создание математической модели процесса сульфирования с учетом массопереноса	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Объектом исследования является процесс сульфирования линейных алкилбензолов Методика исследования - математическое моделирование химико-технологического процесса. Рабочая зона - компьютерный класс (2 корпус, 133 аудитория НИ ТПУ). Область применения - промышленные предприятия нефтехимической отрасли.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:	Рассмотреть специальные правовые нормы трудового законодательства; Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. - Трудовой кодекс РФ от 30.12.2001 N 197-ФЗ - СП 2.2.3670-20 "Санитарно-эпидемиологические требования к условиям труда" - ГОСТ 12.1.004-91 «Пожарная безопасность. Общие требования»
2. Производственная безопасность:	Анализ потенциально возможных вредных и опасных факторов проектируемой производственной среды. Разработка мероприятий по снижению воздействия вредных и опасных факторов: — Повышенный уровень шума; — Недостаточная освещенность рабочей зоны; — Поражение электрическим током — Повышенный уровень напряжённости электростатического и электромагнитных полей
3. Экологическая безопасность:	— анализ воздействия объекта на атмосферу, гидросферу и литосферу. — решение по обеспечению экологической безопасности.

4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	<ul style="list-style-type: none"> – Анализ возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения; – Выбор наиболее типичной ЧС; – Разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; – Разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий. – Пожаровзрывоопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения)
--	---

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Гуляев Милий Всеволодович	-		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2Д7В	Сладков Денис		

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС ВПО, критериев и/или заинтересованных сторон
<i>Профессиональные компетенции</i>		
P1	Применять базовые и специальные, математические, естественнонаучные, социально-экономические и профессиональные знания в профессиональной деятельности	Требования ФГОС (ПК-1,2,3,19,20), Критерий 5 АИОР (п.1.1), СДИО(п. 1.1, 4.1, 4.3, 4.8)
P2	Применять знания в области современных химических технологий для решения производственных задач	Требования ФГОС (ПК-7,11,17,18, ОК-8), Критерий 5 АИОР (пп.1.1,1.2), СДИО (п. 1.1, 3.2, 4.2, 4.3, 4.5, 4.6)
P3	Ставить и решать задачи производственного анализа, связанные с созданием и переработкой материалов с использованием моделирования объектов и процессов химической технологии	Требования ФГОС (ПК-1,5,8,9, ОК-2,3), Критерий 5 АИОР (пп.1.2), СДИО (1.2, 2.1, 4.5)
P4	Разрабатывать <i>новые</i> технологические процессы, проектировать и использовать новое оборудование химической технологии, <i>проектировать объекты химической технологии в контексте предприятия, общества и окружающей среды</i>	Требования ФГОС (ПК-11,26,27,28), Критерий 5 АИОР (п.1.3) СДИО (п.1.3, 4.4, 4.7)
P5	Проводить теоретические и экспериментальные исследования в области современных химических технологий	Требования ФГОС (ПК-4,21,22,23,24,25, ОК-4,6), Критерий 5 АИОР (п.1.4), СДИО (п. 2.2)
P6	Внедрять, эксплуатировать и обслуживать современное высокотехнологичное оборудование, обеспечивать его высокую эффективность, <i>выводить на рынок новые материалы</i> , соблюдать правила охраны здоровья и безопасности труда на химико-технологическом производстве, выполнять требования по защите окружающей среды.	Требования ФГОС (ПК-6,10,12,13,14,15, 16; ОК-6,13,15), Критерий 5 АИОР (п.1.5) СДИО (п. 4.1, 4.7, 4.8, 3.1, 4.6)
<i>Общекультурные компетенции</i>		
P7	Демонстрировать знания социальных, этических и культурных аспектов профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (ОК-5,9,10,11), Критерий 5 АИОР (пп.2.4,2.5), СДИО (п. 2.5)
P8	Самостоятельно учиться и непрерывно повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (ОК-1,2,7,8,12), Критерий 5 АИОР (2.6), СДИО (п. 2.4)
P9	<i>Активно</i> владеть <i>иностраным языком</i> на уровне, позволяющем разрабатывать документацию, презентовать результаты профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (ОК-14), Критерий 5 АИОР (п.2.2), СДИО (п. 3.2, 3.3)
P10	Эффективно работать индивидуально и в коллективе, <i>демонстрировать лидерство в инженерной деятельности и инженерном предпринимательстве</i> , ответственность за результаты работы и готовность следовать корпоративной культуре организации.	Требования ФГОС (ОК-3,4), Критерий 5 АИОР (пп.1.6, 2.3) СДИО (п. 4.7, 4.8, 3.1)

Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит 98 страниц, 26 рисунков, 21 таблицу, 65 источников, 5 приложения.

Ключевые слова: сульфирование, алкилбензол, алкилбензолсульфокислота, серный ангидрид, математическая модель, массоперенос, моделирование, сульфонаты.

Объектом исследования является процесс сульфирования линейных алкилбензолов.

Цель работы – разработка математической модели процесса сульфирования линейных алкилбензолов с учетом массопереноса вещества из газовой фазы в жидкую, программная реализация разработанной модели.

В настоящей работе рассмотрены принципы построения математической модели сульфирования; разработана программа расчета на языке программирования Python; проведена оценка точности описания реального процесса и влияние технологических параметров системы на выход и качество продукта с учетом процесса межфазного переноса вещества.

Научно-исследовательская работа направлена на определение закономерностей хода процесса с целью его оптимизации корректировкой технологического режима.

Область применения – нефтехимия, бытовая химия, поверхностно-активные вещества.

Определения, обозначения, сокращения, нормативные ссылки

АБСК – алкилбензолсульфокислота;

АПАВ – анионные поверхностно-активные вещества;

ВСГ – водородсодержащий газ;

ЛАБ – линейный алкилбензол;

ПАВ – поверхностно-активные вещества;

ПЭВМ – персональная электронно-вычислительная машина;

СМС – синтетические моющие средства;

ЭМИ – электромагнитное излучение;

ЭМП – электромагнитное поле;

ЭСП – электростатическое поле.

Оглавление

Введение.....	13
1 Литературный обзор.....	15
1.1 Способы получения сульфонатных компонентов синтетических моющих средств	15
1.1.1 Производство алкилсульфатов	17
1.1.2 Получение алкилбензолсульфонатов	20
1.2 Массоперенос через границу раздела фаз	22
1.2.1 Модель диффузионного пограничного слоя.....	23
1.3 Математические модели процессов протекающих в тонкой пленке	25
1.4 Задачи гидродинамики пленочного течения, решаемые с применением программных комплексов	29
2 Объект и методы исследования	31
2.1 Технологическая схема процесса алкилирования	31
2.2 Технологическая схема процесса сульфирования.....	33
2.3 Химизм процесса сульфирования	36
2.3.1 Подготовка газовой смеси	37
2.3.2 Сульфирование.....	37
2.2.3 Механизм реакции сульфирования	38
3. Экспериментальная часть.....	41
3.1 Разработка математической модели процесса	41
3.2 Программная реализация математической модели	46
3.3 Проверка модели на адекватность	46
3.4 Оценка влияния изменения технологических параметров на состав и выход продукта.....	48

3.4.1 Влияние концентрации серного ангидрида на состав и выход продукта	48
3.4.2 Влияние температуры на состав и выход продукта	50
3.4.3 Влияние давления на состав и выход продукта.....	52
3.4.4 Оптимальные условия процесса.....	54
4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	56
4.1 Предпроектный анализ.....	56
4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования	56
4.1.2 Оценка качества и потенциала разработки	58
4.1.3 SWOT – анализ.....	60
4.2 Планирование исследовательских работ в рамках ВКР	61
4.2.1 Структура работ в рамках научного исследования	61
4.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ.....	64
4.2.3 Разработка графика проведения научного исследования.....	65
4.2.4 Бюджет проводимого исследования	66
4.3 Оценка эффективности исследования	69
5 Социальная ответственность	72
5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	72
5.2 Производственная безопасность	74
5.2.1 Повышенный уровень шума	75
5.2.2 Недостаточная освещенность рабочей зоны.....	76
5.2.3 Повышенный уровень напряжённости электростатического и электромагнитных полей.....	77
5.2.4 Поражение электрическим током	78

5.3 Экологическая безопасность	79
5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	81
Заключение	84
Список использованных источников и литературы.....	85
Приложение А	91
Приложение Б.....	92
Приложение В	95
Приложение Г	97
Приложение Д	98

Введение

В современном мире необходимость в том или ином продукте определяется спросом. Мировой рынок поверхностно-активных веществ и моющих средств характеризуется постоянным ростом спроса за последние 20 лет, но годы являются крайне показательными. Всему виной пандемия коронавирусной инфекции, вызванная коронавирусом SARS-CoV-2 [1]. Нельзя отрицать факт того, что жизнедеятельность среднестатистического человека претерпела ощутимые изменения. Это главным образом сказалось на потребительском рынке бытовой химии – люди стали тщательнее следить за гигиеной, а санитарной обработке помещений уделяется большее внимание. Так прогнозы 2016 года оценивали мировой рынок ПАВ и моющих средств в 2021 в 39,6 млрд. долларов США, но не текущий момент размер рынка составляет 42,1 млрд. долларов США [2]. При этом с учетом фактора влияния COVID-19 к 2025 году ожидается рост на 24,5 % [2]. Также стоит отдельно выделить ситуацию на Российском рынке, где до сих пор существует значительный потенциал. Средний расход моющих средств на душу населения в России составляет порядка 5 кг, что ниже санитарно-гигиенической нормы на 1-2 кг и вдвое меньше аналогичного показателя в Европе [3,4].

Анионные поверхностно активные вещества преобладают в составе большинства потребительских средств и продуктов для промышленности и составляют 60 % всех производимых ПАВ для СМС [5]. В первую очередь это обусловлено их ценой, на что влияет стоимость производства. К группе анионных ПАВ принадлежат алкансульфонат (SAS), алкилсульфат (FAS) и летучий алкилсульфат (FAES), которые получают сульфирование или сульфатированием соответствующего сырья. Продукт рассматриваемого в данной работе процесса не является исключением.

Алкилбензолсульфокислота получается в результате сульфирования углеводородного сырья, состоящего из гомологов линейных алкилбензолов, серным ангидридом. Данное вещество нашло свое применение в качестве основы

синтетических моющих средств и для флотации руд [6] еще во второй половине прошлого века. Данное вещество не утратило свою актуальность в настоящее время благодаря моющей способности, хорошей первичной биоразлагаемости, а также факту неспособности к накоплению в биосреде [6].

Эффективность любого химического процесса можно оценить благодаря критериям качества и количества продукта, экономическим показателям. При неудовлетворительных показателях оценки встает вопрос о возможности оптимизации процесса. Для этого необходимо установить взаимосвязь между критериями оценки, характеристиками конечного продукта, технологическими параметрами процесса, исходным сырьем. Математическая модель процесса является непосредственным описанием этих взаимосвязей. При разработке такой модели необходимо последовательно проработать отдельные ее части: термодинамику химических реакций; кинетику и гидродинамику процесса; явления диффузии, массообмена. При корректном математическом описании процесса становится возможным определение влияния тех или иных технологических и сырьевых параметров, на ход химического процесса и его результат.

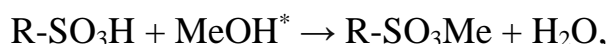
Целью выполнения данной квалификационной работы является разработка математической модели процесса сульфирования линейных алкилбензолов с учетом массопереноса вещества из газовой фазы в жидкую, а также программная реализация данной модели. Разработанная модель позволит провести качественный и количественный анализ закономерностей, основывая на чем, может быть разработан ряд рекомендаций с целью повышения эффективности рассматриваемого процесса.

1 Литературный обзор

1.1 Способы получения сульфонатных компонентов синтетических моющих средств

Анионные ПАВ – дифильные органические вещества, способные к диссоциации в водной среде, в ходе которой образуется анион с углеводородным радикалом (носитель поверхностной активности) и анион [7]. В промышленном производстве по сей день среди АПАВ доминируют различные сульфаты и фосфаты.

Самостоятельный процесс получения сульфонатов не является сложным ни с технологической, ни с химической точки зрения, т.к. представляет из себя ощелачивание сульфокислот. В общем виде химическую реакцию можно записать следующим образом:

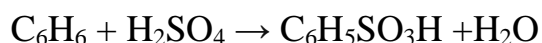


где R – углеводородный радикал;

Me – ион металла (преимущественно натрия, кальция, магния);

* - возможно применение аммиака или аминов вместо гидроксида металлов.

Более сложным является предшествующий ощелачиваю процесс – получение сульфокислот. Ароматические сульфокислоты получают сульфированием бензола и его производных:



В качестве сульфорирующего агента могут служить [7]:

- концентрированная серная кислота (80 – 100 %);
- серный ангидрид (SO₃);
- хлористый сульфурил (SO₂Cl₂);
- олеум;
- хлорсульфоновая кислота (HO-SO₂-Cl);

- сульфаминовая кислота ($\text{SO}_2(\text{NH}_2)_2$);
- некоторые комплексы триоксида серы.

Самое широкое распространение из этого списка в настоящее время получил серный ангидрид, что обусловлено двумя факторами – цветностью (особо важно для косметических препаратов) и содержанием примесей в конечном продукте. При этом сульфирование триоксидом серы обладает существенным недостатком – сильно экзотермичная реакция. При сульфировании олеумом тепловой эффект ниже по причине затрат энергии на разрыв связей избыточных молекул SO_3 с H_2SO_4 .

Алифатические сульфокислоты можно получить большим количеством путей:

- реакцией нуклеофильного обмена атома галогена галогеналканов на сульфогруппу;
- сульфохлорированием алканов по свободно-радикальному механизму;
- сульфоокислением алканов;
- окислением тиолов и органических дисульфидов сильными окислителями (например дихроматом калия).

Впервые синтетическое моющее вещество без применения жирового сырья было получено профессором Г.С. Петровым в 1912 г. В связи с этим оно и получило соответствующее название – контакт Петрова [7, 8]. Это вещество является смесью нефтяных сульфокислот получившее в свое время широкое распространение в различных отраслях промышленности от текстиля до смазочных масел. Для получения контакта Петрова необходима керосиногазойлевая фракция [8], доля ароматических соединений в которой достигает 20-40 %. Данное сырье подвергается сульфированию серной кислотой. Отличительной особенностью является разделение продукта на две фазы, называемые кислым маслом и кислым гудроном. Целевой продукт хорошо растворяется в более легкой фазе, которая механически отделяется от кислого

гудрона. Дальнейшее выделение сульфокислот происходит экстракцией пресной водой. Для нейтрализации применяется раствор едкого натра (30-40 %) с последующей обработкой полученных сульфонов силикагелем [9]. В настоящее время данный процесс утратил свою актуальность, т.к. получаемые таким образом нефтяные сульфонаты обладают сравнительно низкой поверхностной активностью и другими нежелательными свойствами.

1.1.1 Производство алкилсульфатов

Алкилсульфаты получают в результате сульфирования α -олефинов и спиртов. Спирты в этом случае являются продуктом окисления парафинов в присутствии H_3VO_3 . При этом применяют первичные высшие жирные спирты или их смесь со вторичными. На моющие свойства оказывает влияние длина углеводородной цепи, оптимальной считается C_{14} - C_{17} , также прослеживается закономерность – при смещении сульфатной группы к центру цепи радикала целевые свойства ухудшаются.

Сульфирование первичных жирных спиртов проводят серной кислотной с концентрацией 98 % в следующем соотношении: 70-75:100 масс. чистой кислоты к спирту [10]. Технологическая схема процесса представлена на рисунке 1.

В реакционную среду емкостного реактора с перемешивающим устройством и охлаждающим змеевиком 4 (температура от 30 до 50 °С) через мерник 3 загружается серная кислота из емкости 3. Спирт подается в реактор из емкости 8 через мерное устройство 1 тонкой струей, перемешивающее устройство при этом работает. Процесс является периодическим, время нахождения сырья в реакторе порядка нескольких часов. Продукт из реактора подается в нейтрализатор 7, где он взаимодействует с гидроксидом натрия при температуре от 50 до 60 °С. Газообразные продукты откачиваются через абсорбер. Получившаяся пастообразная смесь направляется на сушку или хранение.

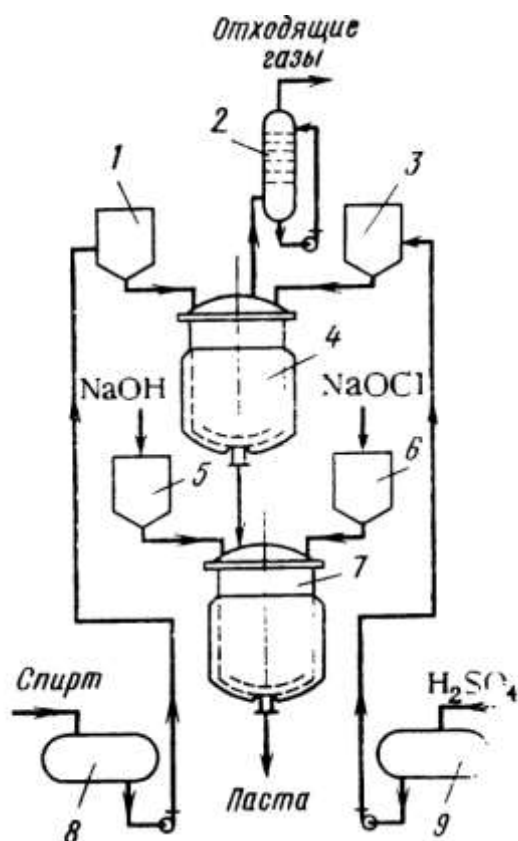


Рисунок 1 – Технологическая схема получения первичных алкилсульфатов [10]:
1, 3, 5, 6 – мерники; 2 – абсорбер; 4 – реактор; 7 – нейтрализатор; 8, 9 – емкости.

В случае сульфирования вторичных спиртов или α -олефинов возникает проблема образования побочных продуктов: ангидридов сульфатов и полимеров. В связи с этим снижается выход целевого продукта. Для снижения этого эффекта концентрация серной кислоты снижается вплоть до 90%, время контакта составляет примерно 1 минуту, а температура поддерживается в интервале 5-10 °С [11]. Технологическая схема при этом отличается от предыдущей (рисунок 2):

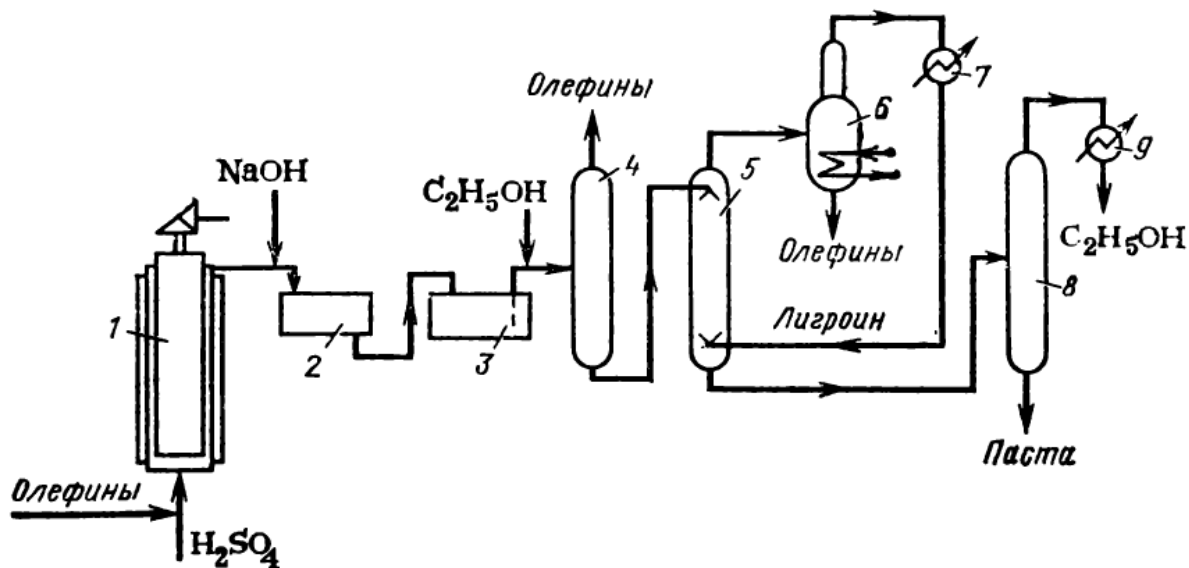


Рисунок 2 – Технологическая схема получения вторичных алкилсульфатов [10]:
 1 – реактор; 2 – нейтрализатор; 3 – гидролизер; 4 – сепаратор; 5 – экстрактор; 6 – разгонный куб; 7, 9 – конденсаторы; 8 – колонна для отгонки спирта.

Смесь олефинов и серной кислоты подается через нижнюю часть реактора 1, корпус которого охлаждается хладагентом. Продукт нейтрализуют 18 % раствором гидроксида натрия в аппарате 2. Диалкилсульфаты подвергаются гидролизу в аппарате 3 в течение 1 часа при повышенной температуре (70-80 °С). Для отделения из смеси непрореагировавших и образовавшихся в ходе гидролиза веществ производят обработку 20 %-ным этиловым спиртом. Не растворенные жирные спирты и олефины отделяются сверху сепаратора 4. Оставшийся раствор экстрагируется лигроином в экстракторе 5, его отгонка происходит в кубе 6. Окончательное отделение алкилсульфатов проводят в колонне 8, где отгоняется спирт.

1.1.2 Получение алкилбензолсульфонатов

Алкиларенсульфонаты – соли (преимущественно натрия и кальция) сульфокислот алкилароматических соединений. Линейные алкилбензолсульфонаты получают из алкенов фракции C₁₀-C₁₄ крекинга n-алканов или хлорирование n-алканов с последующим дехлорированием [12]. Их так же называют сульфонолом.

Рассмотрим полный цикл получения данного продукта на основе алкенов. Существует два пути получения алкенов требуемой фракции: термический крекинг и олигомеризация этилена на катализаторе Циглера [13, 14]. Во втором случае выход целевой фракции больше в 1,4 раза (35 против 50 % масс.) и не содержится алканов [12], что снижает долю несulfированных соединений в конечном продукте до очистки.

Следующей стадией является алкилирование бензола полученными алкенами. В качестве промотора могут выступать хлорид водорода, плавиковая и серная кислоты. При этом параллельно протекают нежелательные реакции изомеризации, полимеризации и полиалкилирования. Для снижения их скорости относительно основной реакции поддерживают низкие температуры в совокупности с избытком бензола. На выходе после отделения всех нежелательных веществ последовательной ректификацией алкилат представляет из себя смесь линейных алкилбензолов с различной длиной углеводородной цепи радикала соответствующей исходным алкенам.

Сульфирование с применением олеума или серной кислоты в качестве сульфорирующего агента являются морально и технологически устаревшими. Наиболее эффективным является применение триоксида серы, разработка данной технологии берет свое начало еще с 60-ых годов 20-го века [15]. Принципиальные основы данной технологии используются и по сей день. Сульфирование проходит смесью серного ангидрида с воздухом с концентрацией 3-8 % об. при температурах не более 45-50 °С. Соотношение исходных веществ близко к стехиометрическому. Реакция проводится в

барботажном или пленочном реакторе, последним в настоящее время отдано большее предпочтение. Технологическая схема одного из таких процессов представлена на рисунке 3:

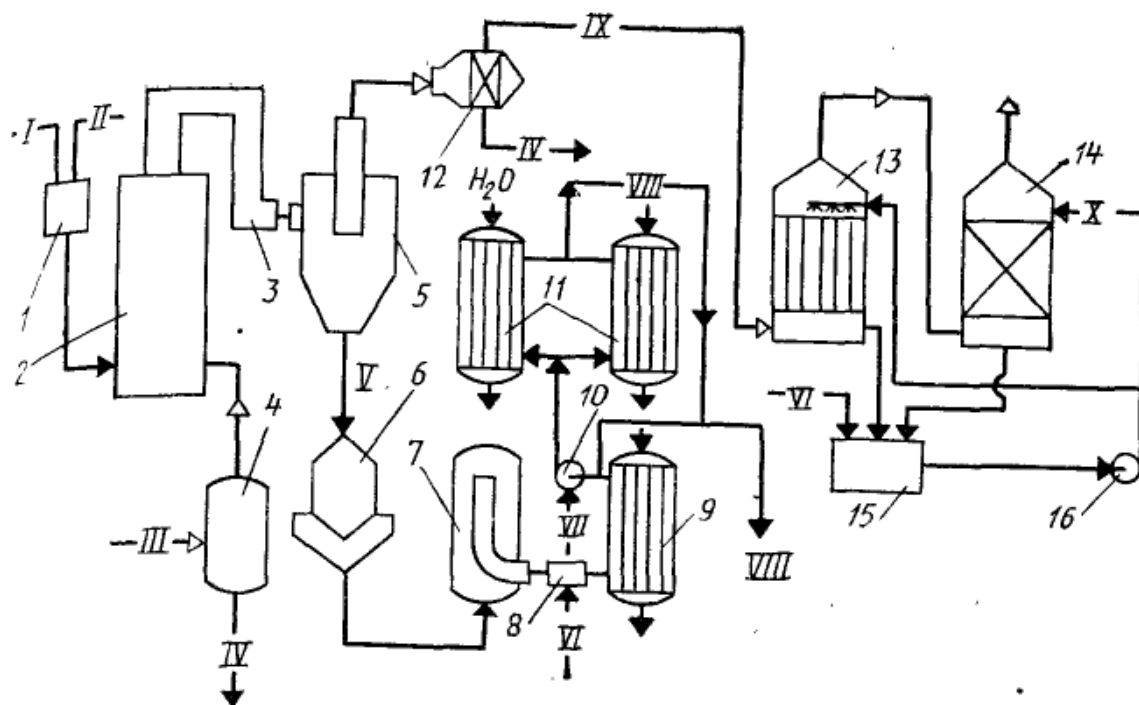


Рисунок 3 – Технологическая схема двухступенчатого сульфирования [12]:
 1 – смеситель; 2, 3 – сульфаторы; 4 – сепаратор сульфоагента; 5 – сепаратор 6 –
 буферная емкость; 7, 9 – автоклав; 8 – смеситель гидратации; 9 – холодильник;
 12 - циклон; 13 - электрофильтр; 14 - скруббер; 15 – емкость для раствора
 сульфит-сульфата; 16 – циркуляционные насосы; потоки: I - H_3PO_4 ; II -
 алкилбензол; III – сульфоагент; IV – H_2SO_4 ; V – сульфомасса; VI – H_2O ; VII -
 NaOH ; VIII – нейтрализованная смесь; IX – воздух на очистку; X – раствор
 сульфит-сульфата

Реакторы в данной технологической схеме - аппараты теплообменного типа с 23 внутренними трубками, в которые подается сульфлирующий агент в виде газа и алкилбензолы в виде стекающей жидкости, с охлаждающей рубашкой. Более современная технологическая схема будет рассмотрена подробнее в главе 2.2 данной работы.

1.2 Массоперенос через границу раздела фаз

Массообменные процессы – явления переноса веществ из одной фазы в другую. Они являются основой процессов удаления примесей, разделения, фракционирования, а также являются неотъемлемой частью любой гетерогенной химической реакции.

В общем случае любая гетерогенная химическая реакция состоит из следующих стадий, которые протекают непрерывно и одновременно относительно друг друга [16]:

- Диффузия реагентов к поверхности раздела фаз.
- Массоперенос реагентов через границу раздела фаз
- Диффузия реагентов в ядро реакционной среды.
- Химическое превращение на поверхности раздела фаз и в ядре реакционной среды.
- Диффузия образовавшихся продуктов реакции из ядра реакционной среды.
- Массоперенос продуктов через границу раздела фаз.
- Диффузия продуктов в ядро потока.

Стоит разделять между собой понятия массоотдачи и массопередачи. Массоотдача – перенос вещества из ядра потока одной фазы к границе ее раздела. Массопередача – перенос вещества из ядра потока, насыщенного веществом (с большей концентрацией), через границу раздела фаз в ядро ненасыщенной фазы (с меньшей концентрацией) [17]. Основное уравнение массопередачи можно записать следующим образом [18]:

$$m = \frac{dM}{dF * d\tau} = \frac{\Delta}{R}$$

где m – скорость массопереноса, кг/(м²*с), моль/(м²*с);

dM – количество вещества, пришедшего из одной фазы в другую, кг, моль;

dF – поверхность контакта фаз, м²;

$d\tau$ – время контакта, с;

Δ - движущая сила процесса, моль, кг;

R – сопротивление массопереносу, величина обратная коэффициенту массопередачи (β), ($m^2 \cdot c$).

1.2.1 Модель диффузионного пограничного слоя

Данная модель позволяет описать процессы, проходящие в системах из двух фаз газ-жидкость и жидкость-жидкость. В ее основе лежат два допущения: в пределах индивидуальной фазы массоперенос протекает независимо от другой; на границе раздела фазы находятся в равновесие, которое достигается много быстрее, чем изменяются концентрации в фазах.

Принимая, что потоки фаз турбулентны и распределяемое вещество переходит из газовой фазы y в жидкую x механизмы протекающих процессов описываются следующим образом, рисунок 4:



Рисунок 4 – Изменение профиля концентрации распределяемого вещества

Перенос внутри фазы:

- молекулярный (диффузионный), осуществляется перемещением молекул вещества (в неподвижных ламинарно движущихся средах).
- конвективный, осуществляется перемещением макрочастиц (перенос потоком).
- Конвективный перенос осуществляется значительно быстрее диффузионного

Ядро потока считается удаленным от границы раздела, а перенос осуществляется турбулентными (конвективными) явлениями. С приближением этот эффект ослабевает за счет сил трения и поверхностного натяжения.

Пограничный слой в свою очередь подразделяется на два подслоя: вязкий и диффузионный. В вязком подслое гидродинамический режим становится близок к ламинарному. Роль молекулярной диффузии в переносе вещества возрастает, концентрация изменяется сравнительно быстрее. Диффузионный подслой находится внутри вязкого. В нем турбулентные пульсации отсутствуют, перенос осуществляется исключительно молекулярной диффузией [19]. Здесь наблюдается наибольшее изменение концентрации, иными словами, данный слой является определяющим для движущей силы процесса.

Тогда первый закон Фика определяющий перенос вещества молекулярной диффузией за единицу времени через единицу поверхности при градиенте концентраций равном единице может быть записан следующим образом [17]:

$$N = -D * F * \frac{dC}{dn}$$

где N – количество вещества, передаваемого молекулярной диффузией за единицу времени, моль/с;

$\frac{dC}{dn}$ – градиент концентраций вещества, моль/(м³*м);

D – коэффициент молекулярной диффузии.

Коэффициент молекулярной диффузии отражает физические свойства вещества и среды, которые зависят от размеров молекул, молекулярной массы

вещества, давления и температуры [19]. С ростом температуры диффузионный процесс ускоряется, а с ростом давления замедляется. Данный коэффициент может быть рассчитан по приближенным формулам, рассчитан экспериментально или найден в справочной литературе.

1.3 Математические модели процессов протекающих в тонкой пленке

Непрерывное развитие научно-технического процесса заключается не только в новых открытиях, способных заменить существующие технологии или предложить что-то принципиально новое, но в совершенствовании существующих технологий. Такое направление развития позволяет снизить эффект негативных факторов различных технологических процессов и главным образом влияет на качество получаемой продукции и конечную прибыль производства.

Исследуемый в данной работе процесс сульфирования линейных алкилбензолов так же подвержен изменениям с целью улучшения технологии. В условиях постоянно развивающегося конкурентного рынка невозможно «оставаться на плаву» и тем более эффективно производить и извлекать из этого прибыль используя устаревшие технологии. С этой целью в последнее время промышленные предприятия, в том числе отечественные, все чаще обращают свое внимание на вопросы оптимизации процесса. И одним из методов решения данной проблемы является математическое моделирование. Такой подход зачастую является значительно менее затратным и более эффективным, нет необходимости в огромном количестве экспериментов, остановки отдельных аппаратов или всех технологической линии производства. Использование фактических данных о входных и выходных параметрах процессов позволяет установить взаимосвязи между ними, но в некоторых случаях все же требуется проведение дополнительных целенаправленных экспериментов для получения недостающих данных. Таким образом, реализуя установленные взаимосвязи в виде математической модели и проверке их на соответствие действительности

становится возможным проведение исследований в крайне широком интервале изменения технологических параметров процесса. В свою очередь, это позволяет выявить «узкие горлышки» реального процесса и предложить решения об их устранении, что и является оптимизацией.

При разработке таких моделей в первую очередь необходимо провести анализ ранее проведенных исследований и предложенных решений. Это позволит оценить необходимость в новой разработке с учетом требуемой специфики, а также почерпнуть основы, заложенные в данных решениях, и выявить их недостатки.

В рамках исследуемого процесса первые модели были предложены еще в прошлом веке. В них было сделано множество допущений, большая часть параметров была рассчитана или найдены эмпирически и приняты постоянными, а сам процесс представлялся гомогенным [20-22]. Современный разработки ушли далеко вперед.

Самая последняя разработка в моделировании пленочного реактора сульфирования выполнена научной группой в составе В. Руссо, А. Миличи, М. Серио, Р. Тессер. Разработанная ими модель может описывать процесс как в ламинарном, так и турбулентном режимах течения пленки, учитывает изменение толщины пленки по ходу реактора. Используемая система координат и изменение профилей концентрации вещества и температуры в данной модели приведены на рисунке 5. Основное предположение модели состоит в том, что жидкая фаза течет в переходном между ламинарным и турбулентным режиме, а газовая фаза является турбулентной. Уравнения материального и теплового баланса записаны в безразмерной форме, что позволяет учитывать подвижность границы между газовой и жидкой фазой, поскольку пленка жидкости может варьироваться по толщине вдоль оси реактора.

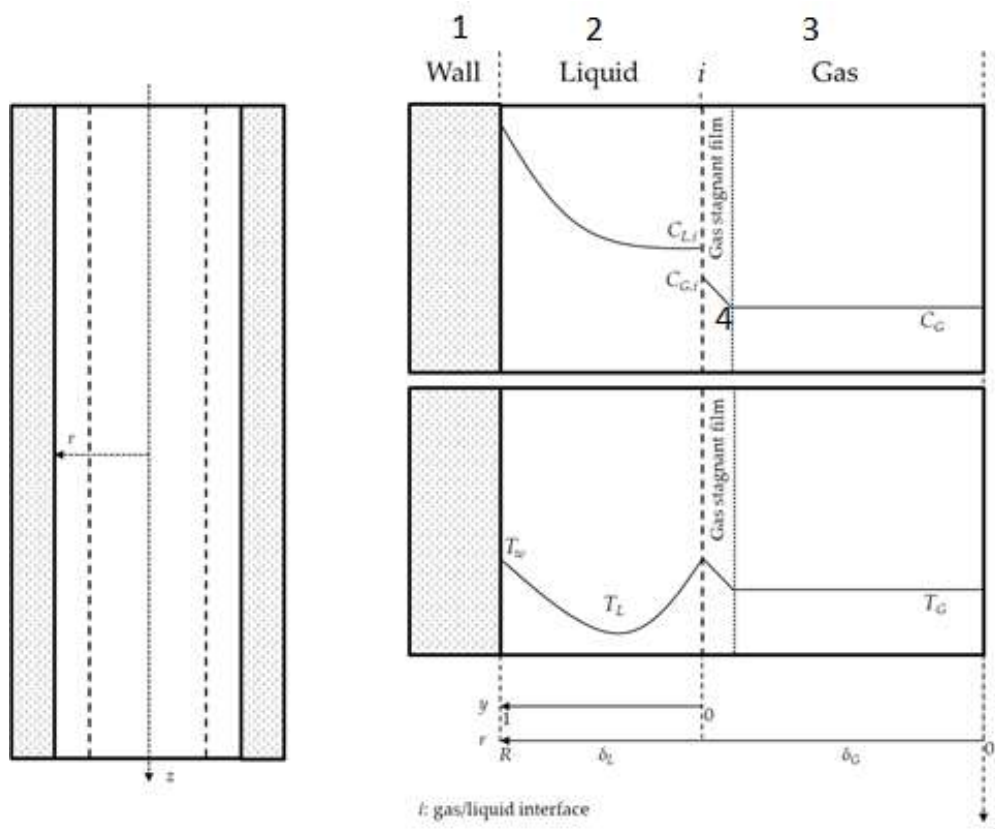


Рисунок 5 – Система координат модели и профили концентрации вещества и температуры [23]:

1 – стенка; 2 – жидкая фаза; 3 – газовая фаза

Массовый баланс в стационарном режиме работы, включающий кинетическую, гидродинамическую и диффузионную составляющую описывается уравнениями (1-3) [23].

$$C_{SO_3,G} = C_{SO_3,G,0} \left(1 - \frac{x_A}{R_{SO_3}} \right) \quad (1)$$

$$\frac{u_L}{L} \frac{\partial C_{SO_3,L}}{\partial \varepsilon} = +k_G a_G (C_{SO_3,G} - m C_{SO_3,L}|_{y=0}) + \frac{1}{\delta_L} \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{D_{SO_3} + D_T}{\delta_L} \frac{\partial C_{SO_3,L}}{\partial y} \right) - rxn(2)$$

$$\frac{u_L}{L} \frac{\partial C_{SO_3,L}}{\partial \varepsilon} = \frac{1}{\delta_L} \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{D_A + D_T}{\delta_L} \frac{\partial C_{A,L}}{\partial y} \right) - rxn \quad (3)$$

В свою очередь тепловой баланс в стационарном режиме работы для жидкой и газовой фазы описывается уравнения (4-5) [23].

$$\frac{u_L}{L} \frac{\partial \rho_G c_{p,G} T_G}{\partial \varepsilon} = \frac{h_G}{\delta_L} (T_L|_{y=1} - T_G) \quad (4)$$

$$\frac{u_L}{L} \frac{\partial \rho_L c_{p,L} T_L}{\partial \varepsilon} = - \frac{1}{\delta_L} \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{-k_L}{\delta_L} \frac{\partial T_L}{\partial y} \right) + \Delta H_{rxn} r_{xn} \quad (5)$$

Стоит отметить, что температура рубашки в данной модели является величиной постоянной. Это главным образом обусловлено сильной зависимостью конечного дифференциального уравнения изменения температуры от конструкции, объема, хладагента и материала аппарата. Получить данное уравнение, описывающее процесс с достаточной точностью, в общем виде является крайне затруднительной задачей.

Выражение r_{xn} в уравнениях (1-5) является ни чем иным, как кинетической составляющей, записанной согласно закону действующих масс – уравнение (6).

$$r_{xn} = k_0 \exp\left(-\frac{E_a}{T_L}\right) C_A C_{SO_2,L} \quad (6)$$

Проведя анализ вышеописанной модели, очевидным ее преимуществом является подробное описание гидродинамики процесса. Установление соотношения между критерием Рейнольдса движущихся жидкой и газовой фаз в каждой точке вдоль оси движения фаз в реакторе позволяет оценить изменение толщины пленки по длине трубки, пример такого изменения представлен на рисунке 6.

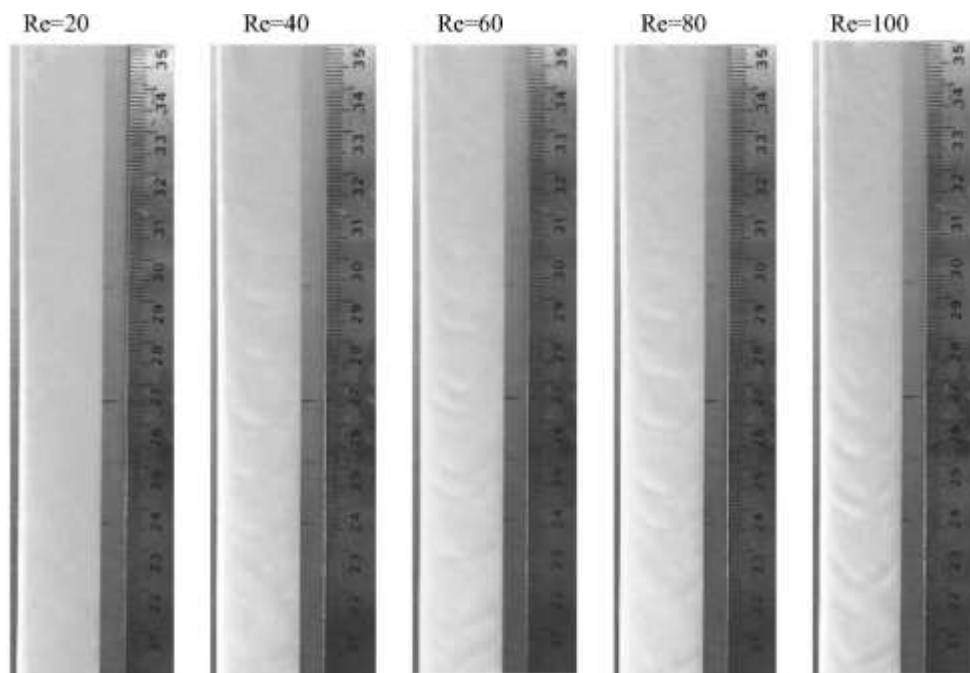


Рисунок 6 – Наглядный изменение режима течения пленки

Тем не менее все изученные модели при проведении данной работы, включая описанную выше, обладают общим недостатком. В них отсутствует какое-либо описание процессов образования побочных продуктов и их влияния на толщину, режим течения пленки. Следовательно влияние побочных продуктов на выход целевого продукта и качество не рассматривается. При этом сульфлируемое вещество представляется как индивидуальное, в действительности оно является смесью гомологов. Данные допущения позволяют сделать вывод о том, что специфика процесса позволяет вести дальнейшую разработку новых моделей и расширение ранее разработанных.

1.4 Задачи гидродинамики пленочного течения, решаемые с применением программных комплексов

На сегодняшний день существует множество программных решений вычислительной гидродинамики (CFD – computational fluid dynamics), например: SimFlow [24], SIMSCALE [25], FlowSquare [26], OpenFoam [27]. Применение таких продуктов в сфере химической технологии довольно узкое, т.к. некорректно рассматривать гидродинамические процессы в реакторах обособленно от химической реакции. Лидер в этой сфере является программные продукты компании ANSYS Inc. [28], а именно наиболее подходящий для решения задач пленочного течения в реакторе ANSYS Fluid. Данный программный модуль предоставляет комплексное решение для выполнения инженерного анализа в области моделирования течений жидкостей и газов, например сравнить производительности в различных расчетных точках или несколько альтернативных конструкций.

Главной же отличительной особенностью наравне с интеграцией с остальными программными продуктами, позволяющими в конечном итоге провести полный инженерный расчет процесса, возможность моделирования химических реакций, в т.ч. в условиях турбулентности и многофазных потоках [29].

Для симуляции поведения пленки в различных режимах в данном продукте используется модель на основе уравнения Лагранжа-Эйлера, с учетом изменения массы, энергии, сил в системе и отдельных ее частях. При этом возможно моделирование как статичной пленки – рисунок 7, так и движущейся – рисунок 8.

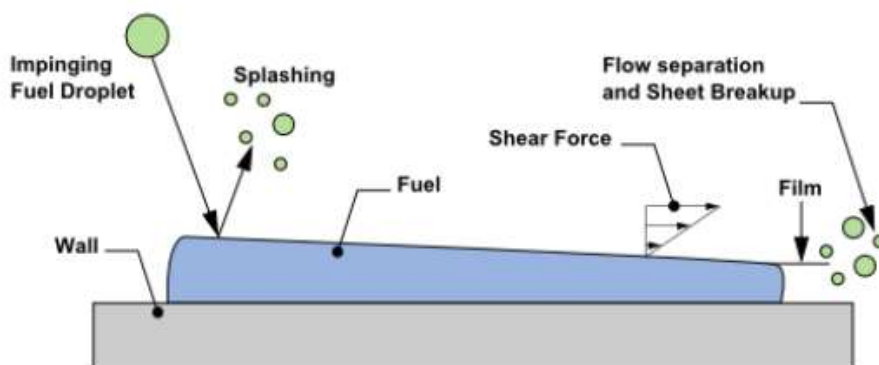


Рисунок 7 – Пример процесса с моделированием статичной пленки [28]

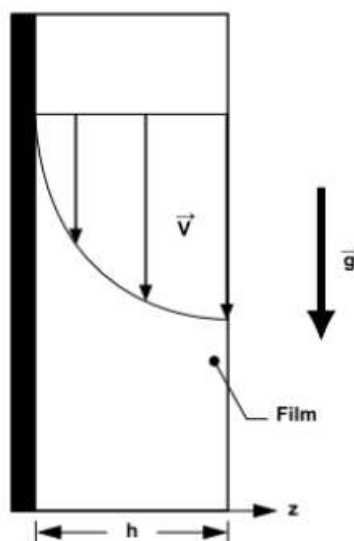


Рисунок 8 – Моделирование движения пленки движущейся под действием силы тяжести [28]

Таким образом, учитывая все возможности ANSYS Fluid становится возможным моделирование течения пленки с учетом химических реакций. Но для этого химические процессы и их кинетика должны быть известны.

4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Целью раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» является определение коммерческой привлекательности исследовательского проекта в рамках данной ВКР, оценка ресурсной, финансово-экономической, социальной базы, а также эффективности проекта.

Достижение цели обеспечивается решением задач:

- разработка общей экономической идеи проекта, формирование концепции проекта;
- организация работ по исследовательскому проекту;
- определение возможных альтернатив проведения исследований;
- планирование исследовательских работ;
- оценки коммерческого потенциала и перспективности проведения исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения;
- определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.

4.1 Предпроектный анализ

4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Нефтеперерабатывающая отрасль является частью нефтяной промышленности, которая составляет значительную долю экономики России. Так, согласно данным Министерства энергетики Российской Федерации за период март 2020 – март 2021 года на переработку было направлено немногим более 295 млн. тонн сырой нефти [44]. Что при цене нефти в 67 долларов США эквивалентно 144,9 млрд долларов США. Продуктом этой отрасли может быть не только топлива различных видов, но и нефтехимическое сырье.

Из углеводов получают широкий спектр продуктов – спирты, полимерные материалы и пластик, синтетический каучук и многие другие. Не исключением является алкилбензолсульфокислота – продукт сульфирования

линейных алкилбензолов. Преимущественно из нее получают сульфонаты натрия и кальция, которые являются основой для производства синтетических моющих средств. Крупнейшим производством АБСК в России является ООО «ПО Киришинефтеоргсинтез». Исходя из применения данного продукта, потребителями являются производители СМС.

Целью проводимого научного исследования является разработка модели процесса получения АБСК, а одним из результатов – программное обеспечение, которое позволит провести качественный и количественный анализ закономерностей процесса, основывая на чем, могут быть выявлены «узкие места» технологии и разработаны рекомендации с целью повышения эффективности рассматриваемого процесса.

Проведем сегментирование рынка по приведенным признакам и составим карту сегментирования:

Таблица 4 – Карта сегментирования рынка

Потребитель	Вид Услуги		
	Продажа программного продукта	Оказание услуг по исследованию и оптимизации	Продажа в качестве тренажера
Малое производство			
Среднее производство			
Крупное производство			
Образовательные организации			
Проектные организации			

 – фирма А;  – фирма Б;  – фирма В.

В соответствии с таблицей 4, на существующем рынке существуют ниши, в которых не используются услуги с применением методов и программного обеспечения математического моделирования.

4.1.2 Оценка качества и потенциала разработки

Для проведения оценки качества и потенциала разработки предлагается воспользоваться технологией QuaD (QUality ADvisor). Это гибкий инструмент измерения характеристик, позволяющий принимать решение о целесообразности вложения денежных средств в научно-исследовательский проект. Для этого проведем экспертную оценку показателей по столбальной шкале с учетом показателя веса для каждого критерия оценки (таблица 5).

Таблица 5 – Оценочная карта

Критерий оценки	Вес критерия	Баллы	Максимальный балл	Относительное значение	Средневзвешенное значение
Показатели оценки качества разработки					
Энергоэффективность	0,06	80	100	0,8	0,048
Помехоустойчивость	0,02	100	100	1	0,02
Надежность	0,05	90	100	0,9	0,045
Материалоемкость разработки	0,06	80	100	0,8	0,048
Унифицированность	0,08	40	100	0,4	0,032
Функциональная мощность	0,08	75	100	0,75	0,06
Простота эксплуатации	0,05	80	100	0,8	0,04
Вычислительная сложность	0,1	75	100	0,75	0,075
Показатели оценки коммерческого потенциала разработки					
Конкурентоспособность продукта	0,1	100	100	1	0,1

Продолжение таблицы 5

Уровень проникновения на рынок	0,02	60	100	0,6	0,012
Перспективность рынка	0,06	90	100	0,9	0,054
Цена	0,05	100	100	1	0,05
Послепродажное обслуживание	0,1	90	100	0,9	0,09
Финансовая эффективность научной разработки	0,11	100	100	1	0,11
Наличие сертификации разработки	0,03	0	100	0	0
Срок выхода на рынок	0,03	70	100	0,7	0,021
Итого	1				0,805

Оценка качества и перспективности по технологии QuaD определяется по формуле:

$$P_{cp} = \sum V_i B_i$$

где P_{cp} – средневзвешанное значение показателя качества и перспективности научной разработки;

V_i – вес показателя;

B_i – средневзвешенное значение i -го показателя.

Полученное значение P_{cp} находится в интервале от 1 до 0,8 и составило 0,805, что говорит о том, что данную разработку можно считать перспективной. Уже в текущем виде разработка способна представлять коммерческую ценность, что говорит о возможности ее практического применения.

4.1.3 SWOT – анализ

SWOT – анализ представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского анализа, в котором рассматриваются: S – Strengths, сильные стороны; W – Weaknesses, слабые стороны; O – Opportunities, возможности; T – Threats, угрозы. Итоговая матрица SWOT-анализа представлена в таблице 6.

Таблица 6 – Матрица SWOT-анализа

	<p>Сильные стороны: <i>С1.</i> Энергоэффективность и экономичность технологии. <i>С2.</i> Уменьшение времени «простоя» оборудования. <i>С3.</i> Значимость промышленной технологии. <i>С4.</i> Снижение затрат на производство продукта и повышение его качества. <i>С5.</i> Наличие бюджетного финансирования.</p>	<p>Слабые стороны: <i>Сл1.</i> Недостаточное количество необходимого оборудования для проведения исследования. <i>Сл2.</i> Погрешность расчетов и результатов. <i>Сл3.</i> Ограниченность экспериментальных данных с производства.</p>
<p>Возможности: <i>В1.</i> Использование инновационной структуры ТПУ. <i>В2.</i> Внедрение математической модели на производстве. <i>В3.</i> Оптимизация действующих процессов. <i>В4.</i> Повышение стоимости конкурентных разработок. <i>В5.</i> Возможность модернизации технологии.</p>	<p>1. Возможность применения наработанного подхода для создания других моделей. 2. Получение большей прибыли производством.</p>	<p>1. Совершенствование разработанной модели с целью получения более точных результатов. 2. Приобретение нового оборудования.</p>
<p>Угрозы: <i>У1.</i> Разработка аналогичных моделей на рынке. <i>У2.</i> Внедрение иных моделей на производстве. <i>У3.</i> Отсутствие интереса со стороны производителя. <i>У4.</i> Появление более эффективных заменителей продукта процесса.</p>	<p>1. Развитие конкуренции 2. Продвижение новой технологии оптимизации технологического процесса с применением математической модели.</p>	<p>1. Разработка научного исследования 2. Привлечение интеллектуальных ресурсов. 3. Получение необходимых экспериментальных данных для уточнения модели. 4. Возможность применения наработанного подхода для создания других моделей.</p>

Данная методика позволяет определить: какими преимуществами обладает проект, степень его готовности, возможности улучшения, слабые стороны, оценить благоприятность условий рынка для выпуска продукта, оценить риски.

В результате SWOT анализа текущей разработки были определены: вектор дальнейшей работы над проектом – увеличение привлекательности в глазах потребителя, посредством расширения функционала программного обеспечения с применением разработанной модели процесса, увеличение точности и сходимости расчетов; определена возможность применения методик, формул, подхода для разработки моделей схожих химических процессов.

4.2 Планирование исследовательских работ в рамках ВКР

4.2.1 Структура работ в рамках научного исследования

В Таблице 7 составлен перечень этапов и работ в рамках проведения научного исследования, проведено распределение исполнителей по видам работ.

Таблица 7 – Перечень этапов, работ и исполнителей

Основные этапы	№ раб.	Содержание работы	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель
Выбор направления исследования	2	Подбор и изучение материалов по теме исследования	Бакалавр
	3	Выбор направления исследования	Руководитель, Бакалавр
	4	Календарное планирование работ по теме	Руководитель, Бакалавр
Теоретические и экспериментальные исследования	5	Проведение теоретических исследований, изучение литературы	Бакалавр
	6	Построение и проведение экспериментов	Руководитель, Бакалавр

Продолжение таблицы 7

	7	Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими данными	Бакалавр
Обобщение и оценка результатов	8	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель
	9	Определение целесообразности проведения ОКР	Руководитель, Бакалавр
Проведение ОКР			
Разработка технической документации и проектирование	10	Сбор информации по охране труда и социальной ответственности	Бакалавр
	11	Оформление результатов по охране труда и социальной ответственности	Бакалавр
	12	Подбор данных для выполнения финансовой части работы	Бакалавр
	13	Оформление финансовой части работы	Бакалавр
Оформление отчета по НИР (комплекта документации по ОКР)	14	Составление пояснительной записки	Бакалавр
	15	Сдача работы на рецензию	Руководитель
	16	Подготовка к защите дипломной работы	Бакалавр
	17	Защита дипломной работы	Бакалавр

В соответствии с определенным перечнем работ строится календарный план работ (таблица 8).

Таблица 8 – Календарный план работ

№ п/п	Название	Длит., дни	Дата начала работ	Дата окончания работ	Состав участников
1	Составление и утверждение технического задания	2	08.02.2021	09.02.2021	Руководитель
2	Подбор и изучение материалов по теме исследования	10	10.02.2021	20.02.2021	Бакалавр

Продолжение таблицы 8

3	Выбор направления исследования	3	21.02.2021	23.02.2021	Руководитель, Бакалавр
4	Календарное планирование работ по теме	1	24.02.2021	24.02.2021	Руководитель, Бакалавр
5	Проведение теоретических исследований, изучение литературы	20	25.02.2021	14.03.2021	Бакалавр
6	Построение и проведение экспериментов	35	15.03.2021	19.04.2021	Руководитель, Бакалавр
7	Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими данными	3	20.04.2021	23.04.2021	Бакалавр
8	Оценка эффективности полученных результатов	3	24.04.2021	26.04.2021	Руководитель
9	Определение целесообразности проведения ОКР	3	27.04.2021	29.04.2021	Руководитель, Бакалавр
10	Сбор информации по охране труда и социальной ответственности	7	30.04.2021	07.05.2021	Бакалавр
11	Оформление результатов по охране труда и социальной ответственности	2	08.05.2021	09.05.2021	Бакалавр
12	Подбор данных для выполнения финансовой части работы	7	10.05.2021	17.05.2021	Бакалавр
13	Оформление финансовой части работы	2	18.05.2021	20.05.2021	Бакалавр

Продолжение таблицы 8

14	Составление пояснительной записки	14	21.05.2021	02.06.2021	Бакалавр
15	Сдача работы на рецензию	1	03.06.2021	03.06.2021	Руководитель
16	Подготовка к защите дипломной работы	12	04.06.2021	16.06.2021	Бакалавр
17	Защита дипломной работы	2	17.06.2021	18.06.2021	Бакалавр

4.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ

Рассчитаем ожидаемую трудоемкость выполнения работ по формуле:

$$t_{\text{ож}i} = \frac{3t_{\text{min}i} + 2t_{\text{max}i}}{5}$$

где $t_{\text{ож}i}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы чел.-дн.;

$t_{\text{min}i}$ – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.;

$t_{\text{max}i}$ – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн. i t_{max}

Для приведенных в таблице этапов работы рассчитаем значения трудоемкости:

$$t_{\text{ож}1} = \frac{3*1+2*2}{5} = 1,4 \text{ чел.-дн.}$$

Для оставшихся 16 этапов расчеты аналогичны. Результаты расчетов отражены в таблице 9.

Рассчитаем продолжительность каждого из этапов выполнения работ по формуле:

$$T_{p_i} = \frac{t_{ожi}}{Ч_i}$$

Где T_{p_i} - продолжительность одной работы, раб.дн.;

$Ч_i$ - численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

Для полученных значений трудоемкости рассчитает продолжительность работы:

$$T_{p_1} = \frac{1,4}{1} = 1,4 \text{ раб.дн.}$$

Для оставшихся 16 этапов расчеты аналогичны. Результаты расчетов отражены в таблице 9.

4.2.3 Разработка графика проведения научного исследования

Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой:

$$T_{кi} = T_{pi} * k_{кал}$$

где $T_{кi}$ – продолжительность выполнения i -й работы в календарных днях;

$k_{кал}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарной определяется по следующей формуле и равен:

$$k_{кал} = \frac{T_{кал}}{T_{раб}} = \frac{365}{299} = 1,22$$

где $T_{кал}$ – количество календарных дней в году;

$T_{раб}$ – количество рабочих дней в году;

Рассчитаем продолжительность каждого этапа работы

$$T_{к1} = 1,4 * 1,22 = 1,7 = 2$$

Для оставшихся 16 этапов расчет аналогичен. Результат расчетов представлен в таблице 9.

Таблица 9 - Временные показатели проведения научного исследования

№ п/п	t _{ожі} , чел.- дн.	T _{рi} , раб.дн	T _{кi} , дн.	№ п/п	t _{ожі} , чел.- дн.	T _{рi} , раб.дн	T _{кi} , дн.
1	1,4	1,4	2	10	5,8	5,8	8
2	8,2	8,2	10	11	1,4	1,4	2
3	1,8	0,9	1	12	5,8	5,8	8
4	1,4	0,7	1	13	1,4	1,4	2
5	16,4	16,4	20	14	9,2	9,2	12
6	29	14,5	18	15	1	1	1
7	1,8	1,8	2	16	8,4	10,4	13
8	1,8	1,8	2	17	1,4	1,4	2
9	1,8	0,9	1				

На основании полученных в ходе расчета данных строится календарный план-график проведения НИОКР. Данный план-график приведен в приложении Г к данной работе.

4.2.4 Бюджет проводимого исследования

В процессе формирования бюджета затраты группировались по статьям расходов: материальные, заработная плата и другие расходы. Данные отражены в приложении Е.

Исполнение 1, 2, 3 являются различными наборами требуемого оборудования, перечисленного в приложении Е. Так исполнение 2 отличается от исполнения 1 более производительным и дорогим персональным компьютером, более качественным принтером, упаковка бумаги большего объема, флеш накопителем большего объема. Отличие 3 исполнения заключается в минимально производительном компьютере, большим количеством бумаги и канцелярских принадлежностей в наборе, отсутствует лицензионное

программное обеспечение. В качестве альтернативы в таком случае используются бесплатное ПО, например: «Open Office» [45], операционная система «Linux», среда разработки «Pydev» [46].

Заработная плата работникам является такой же неотъемлемой частью затрат проекта, как и затраты на материально-ресурсную базу исследования. Она включает в себя основную заработную в т.ч. премии и доплаты, а также дополнительную:

$$Z_{\text{зп}} = Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}$$

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

Основная заработанная плата работника может быть найдена по следующей формуле:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} * T_p$$

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

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

Среднедневная заработная плата в свою очередь находится как:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_M * M}{F_d}$$

Z_M – месячный должностной оклад работника, руб.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение.

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

Для определения действительного годового фонда рабочего времени составим баланс рабочего времени, отраженный в таблице 10.

Таблица 10 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Бакалавр
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней (в т.ч. выходные и праздничные дни)	118	118
Потери рабочего времени, дней	92	81
Действительный фонд годового рабочего времени	155	166

Месячный оклад работника находится умножением заработной платы Z_6 , руб. по тарифной ставки на районный коэффициент $k_p = 1,3$. Расчет основной заработной платы приведен в таблице 11 [47, 48].

Таблица 11 – Расчет основной заработной платы

Исполнители	Z_6 , руб.	k_p	Z_m , руб.	$Z_{дн}$, руб./дн	T_p , раб.дн.	$Z_{осн}$, руб.
Руководитель	30710	1,3	39923	2678,7	155	415198,5
Бакалавр	12792	1,3	16629,6	1115,8	166	185221,6
Итого						600420,1

Дополнительная заработная плата рассчитывается исходя из 10 - 15% от основной заработной платы, работников. Примем этот показатель равным 10, тогда общие затраты на заработную плату составят (таблица 12):

Таблица 12 – Общие затраты на заработную плату

Заработная плата	Руководитель	Студент
Основная	415198,5	185221,6
Дополнительная	41519,85	18522,16
Итого для работника	456718,35	203743,76
Всего	660462,11	

Отчисления во внебюджетные фонды и накладные расходы составляют не малую часть расходов. Отчисления во внебюджетные фонды согласно 34 главе налогового кодекса Российской Федерации составляют 30 % [49], для накладных расходов этот показатель примем равным 16 %. Тогда общие затраты на проведение НТИ составят 922 715 руб., что отражено в таблице 13.

Таблица 13 – Бюджет НТИ

Статья расходов	Сумма, руб.		
	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3
Материально-ресурсная база	156447	173374	51180
Основная заработная плата	600420,1	600420,1	600420,1
Дополнительная заработная плата	60042,01	60042,01	60042,01
Отчисления во внебюджетные фонды	198138,633	198138,633	198138,633
Накладные расходы	105673,94	105673,94	105673,94
Итого	988761,21	1005688,21	883494,21

4.3 Оценка эффективности исследования

Определение эффективности исследования проводится расчетом интегрального показателя. Для этого необходимо вычислить средневзвешенные величины финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

$$I_{\Phi}^i = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{max}}$$

I_{Φ}^i – интегральный финансовый показатель разработки;

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

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

Расчеты интегрального финансового показателя для каждого исполнения приведены в таблице 14. Исполнения разработки соответствуют исполнениям материальной базы в главе 4.2.4 и приложении. При этом за счет более производительного оборудования в исполнении 2 по сравнению с исполнением 1 появляются дополнительные возможности для работы над качеством и скоростью разрабатываемого ПО. В случае исполнения 3 в процессе разработки появляется ряд неудобств и ограничений, сказывающихся на конечный продукт.

Таблица 14 – Расчет интегральных финансовых показателей

Исполнение	1	2	3
I_{ϕ}^i	0,98	1	0,87

$$I_{pi} = \sum a_i b_i$$

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

a_i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки;

b_i – бальная оценка i -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания, таблица 15.

Таблица 15 – Сравнительная оценка исполнений проекта

Объект исследования Критерии	Весовой коэффициент	Текущий проект	Исп. 2	Исп. 3
1. Адекватность разработки	0,2	5	5	3
2. Простота применения	0,2	5	5	3
3. Энергоэкономичность	0,1	4	5	2
4. Потенциал экономического эффекта	0,5	5	5	3
Итого	1	19	20	11

Расчеты интегрального показателя ресурсоэффективности для каждого исполнения приведены в таблице 16.

Таблица 16 – Расчет интегральных показателей ресурсоэффективности

Исполнение	1	2	3
I_{pi}	4,9	5	2,9

Для расчета сравнительной эффективности разработки необходимо воспользоваться следующими формулами:

$$I_3 = \frac{I_{pi}}{I_{\Phi}^i}$$

$$\mathcal{E} = \frac{I_3^i}{I_3^j}$$

где I_3 – интегральный показатель эффективности

\mathcal{E} – сравнительная эффективность проекта;

Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения разработки приведена в таблице 17.

Таблица 17 - Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения разработки

Исполнение	1	2	3
Интегральный показатель финансовой эффективности	0,98	1	0,87
Интегральный показатель ресурсоэффективности	4,9	5	2,9
Интегральный показатель эффективности	5	5	3,33
Сравнительная эффективность проекта	1	1	0,666

Вывод: Сравнение эффективности текущей разработки с альтернативными вариантами показало, что текущий вариант позволяет достичь того же результата при меньших финансовых затратах. Следовательно ее можно назвать финансово и ресурс эффективной.

5 Социальная ответственность

Объектом исследования данной работы является процесс сульфирования линейных алкилбензолов (ЛАБ). Продуктом процесса является алкилбензолсульфокислота (АБСК), которая в свою очередь служит сырьем для производства алкилбензолсульфонатов — компонентов значительной доли потребительских синтетических моющих средств, а также поверхностно-активных веществ, использующихся в промышленности.

Данная дипломная работа выполнялась в аудитории 133 2-го корпуса Томского политехнического университета, что обусловлено выбранным методом исследования — математического моделирования с применением ЭВМ. Аудитория рассчитана на 13 рабочих мест, каждое из которых оборудовано персональным компьютером (далее ПЭВМ). Рабочая зона — помещение аудитории, оборудованное системами кондиционирования воздуха и отопления. Освещение рабочего места представляет собой сочетание естественного света из окон и искусственного.

Область применения результатов работы — промышленные предприятия нефтехимической отрасли, осуществляющие процесс сульфирования ЛАБ серным ангидридом.

5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Рабочее место в аудитории 133, 2 корпуса Томского Политехнического Университета должно соответствовать ГОСТ 12.2.032-78 [50]. Основные положения и принципы правового регулирования трудовых отношений между сотрудником и работодателем отражены в "Трудовом кодексе Российской Федерации" от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 30.04.2021). В нем устанавливаются требования о режиме рабочего времени, отдыха, отпуска; к оплате и нормированию труда; гарантиях и компенсациях, связанных с трудовой

деятельностью; об охране труда; иных правах и обязанностях работника и организациях [51].

Рассматриваемый вид деятельности можно расценивать как работу в офисе. При соблюдении всех требований условий труда их можно классифицировать к 1 классу – оптимальному, при которых воздействие на работника вредных и (или) опасных производственных факторов отсутствует или уровни воздействия, которых не превышают уровни, установленные нормативами [52]. Продолжительность рабочего дня в таком случае не должна превышать 40 часов в неделю [51], за исключением лиц в возрасте до 16 лет, 16-18 лет, инвалидов I и II группы. Для них продолжительность рабочего дня не должна превышать 24, 35, 35 часов соответственно [51].

Ранее, требования в рабочем месте, оснащённому ПЭВМ, предъявляются СанПиНом 2.2.2/2.4.1340-03 «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы». В настоящее время действительным считаются требования изложенные в СП 2.2.3670-20 "Санитарно-эпидемиологические требования к условиям труда".

Площадь на одно постоянное рабочее место пользователей персональных компьютеров на базе электронно-лучевой трубки, должна составлять не менее 6 м, на базе плоских дискретных экранов (жидкокристаллические, плазменные) - не менее 4,5 м.

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

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

Клавиатура должна располагаться на поверхности стола на расстоянии 100-300 мм от края, со стороны работника. Также рекомендуется располагать

плоскость экрана монитора ниже уровня глаз пользователя под углом 15°. При этом расстояние от глаз до монитора должно составлять 600-700 мм.

Таблица 18– Требования к организации рабочего места при работе с ПЭВМ

Требование	Нормативное значение	Фактическое значение, соответствие
Высота рабочей поверхности	Регулируемая высота (680-800 мм) Нерегулируемая высота (725 мм)	Нерегулируемая высота, (725 мм), соответствует
Пространство для ног	600x500 мм	Соответствует
Расположение монитора	600-700 мм	650, положение и наклон регулируются, соответствует
Рабочий стул	Регулировка высоты, угла наклона спинки	Нерегулируемый стул, не соответствует

Из таблицы 18, видно, что для соблюдения норм требуется замена стульев на регулируемые. Рабочее место в аудитории 133, 2 корпуса Томского Политехнического Университета соответствует требованиям ГОСТ 12.2.032-78 [50].

5.2 Производственная безопасность

Специфика условий труда при разработке математической модели исследуемого процесса обусловлена работой с ПЭВМ и умственной деятельностью в помещении, что непосредственно отражается на опасных и вредных факторах, оказывающих влияние на работника.

В соответствии с «ГОСТ 12.0.003-2015 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Опасные и вредные производственные факторы. Классификация»

[54], учитывая особенности условий труда, были выделены следующие факторы (таблица 19).

Таблица 19 - Возможные опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этап работы		Нормативные документы
	Разработка	Эксплуатация	
1. Повышенный уровень шума	+	+	ГОСТ 12.1.003-2014 «Шум. Общие требования безопасности» [55]
2. Недостаточная освещенность рабочей зоны	+	+	ГОСТ Р 55710-2013. Освещение рабочих мест внутри зданий. Нормы и методы измерений [56].
3. Повышенный уровень напряжённости электростатического и электромагнитных полей	+	+	ГОСТ 12.1.002–84. Электрические поля промышленной частоты. Допустимые уровни и требования к проведению контроля на рабочем мест. [57]
4. Поражение электрическим током	+	+	ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. «Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов.» [58]

5.2.1 Повышенный уровень шума

При работе с ЭВМ в аудитории 133, 2 корпуса ТПУ характер шума – широкополосный с непрерывным спектром более 1 октавы. Шум в аудитории возникает при работе вентиляторов охлаждения ПЭВМ, кондиционера, а также источником служит шум с улицы.

Повышенный шум на рабочем месте оказывает вредное влияние на организм работника в целом, вызывая неблагоприятные изменения в его органах и системах. Длительное воздействие такого шума способно привести к развитию у работника потери слуха, увеличению риска артериальной гипертензии, болезней сердечно-сосудистой, нервной системы и др [58]. Нормируемый

показатель уровня шума на рассматриваемом рабочем месте не должен превышать 80 дБА. Фактические показатели шума варьируются в пределах 30-55 дБА в зависимости от количества работающих компьютеров, кондиционера, открытых окон.

Рекомендуемые мероприятия по снижению негативного воздействия - проведение периодического контроля шумовых характеристик ПЭВМ и в случае необходимости проведение профилактических, ремонтных работ, а именно очистка системных блоков от пыли, замена вентиляторов.

Таким образом, условия труда по шумовому фактору соответствуют допустимым [52, 55].

5.2.2 Недостаточная освещенность рабочей зоны

В аудитории 133, 2 корпуса ТПУ имеется совмещенное освещение, которое предполагает комбинацию естественного освещения от окна с искусственным от ламп накаливания.

Недостаточная освещенность рабочей зоны помещения, оборудованной ПЭВМ – немаловажная причина снижения эффективности труда в следствии нарушения работы зрительного анализатора, что в долгосрочном периоде негативно отражается на здоровье зрительной системы работника.

При работе с персональным компьютером освещение должно быть общим и равномерным, если трудовая деятельность подразумевает дополнительно работу с документацией, то к общему освещению должны быть установлены светильники или иные устройства местного освещения.

Согласно рекомендациям, окна в помещениях с ПЭВМ должны быть расположены таким образом, чтобы естественный свет падал сбоку, желательно с левой стороны от рабочего места.

В таблице 20 представлены нормы освещенности рабочих мест.

Таблица 20 – Нормы освещенности рабочих мест [54]

Наименование помещений/вида деятельности	$E_{экс}$, лк	U_0 , не менее	R , не более	R_a , не более	K_n , не более
Производственные процессы с дистанционным управлением	50	0,4	-	20	-
Процессы с частичным применением ручного труда	150		28	40	
Постоянная ручная работа	300	0,6	22	80	20
Лаборатория	500		16		10

При недостатке на рабочем месте естественного света можно выполнить следующие мероприятия [54]:

- уменьшение времени пребывания работника в данном помещении;
- улучшение условий, создаваемых искусственным освещением;
- анализ степени загрязнения стекол в светопроемах, их чистка и последующие контрольные измерения;
- косметический ремонт помещения с использованием светлых отделочных материалов.

Условия труда по освещённости рабочей зоны советуют допустимым [52].

5.2.3 Повышенный уровень напряжённости электростатического и электромагнитных полей

Допустимые уровни электромагнитных полей (ЭМП) и напряженность электростатических полей в аудитории 133, 2 корпуса ТПУ, создаваемых ПЭВМ и прочим электрооборудованием, не должны превышать допустимые значений, которые представлены в таблице 21.

Электромагнитное излучение оказывает влияние на иммунную, нервную, эндокринную системы работника.

Таблица 21 - Временные допустимые уровни ЭМП

Наименование параметров		ВДУ
Напряженность электрического поля	В диапазоне 5 Гц – 2 кГц	25 В/м
	В диапазоне 2 кГц – 400 кГц	2.5 В/м
Плотность магнитного потока	В диапазоне 5 Гц – 2 кГц	250 нТл
	В диапазоне 2 кГц – 400 кГц	25 нТл
Напряженность электростатического поля		15 кВ/м

Единственной практически возможной мерой реализации мер по снижению воздействия ЭМИ может быть правильно расположение рабочих мест и оборудования в помещении.

Условия труда по уровням ЭМП, ЭСП на рабочем месте соответствуют нормам [52].

5.2.4 Поражение электрическим током

Для предотвращения поражения электрическим током, где размещаются рабочее место с ЭВМ в аудитории 133, 2 корпуса ТПУ, оборудование оснащено защитным заземлением, зануление; предусмотрены предохранительные устройства; токопроводящие кабеля заизолированы. По опасности поражения электрическим током рабочая зона относится к первому классу – помещения без повышенной опасности (сухое, хорошо отапливаемое, помещение с токонепроводящими полами, с температурой 18-20°, с влажностью 40-50%) [59].

Основными непосредственными причинами электротравматизма, являются:

- непосредственное прикосновение к открытым токоведущим частям и проводам;
- прикосновения к токоведущим частям, изоляция которых повреждена; прикосновение к металлическим частям оборудования, случайно оказавшихся под напряжением;
- касания к токоведущим частям при помощи предметов с низким сопротивлением изоляции;
- отсутствие или нарушение защитного заземления; ошибочная подача напряжения;
- воздействия электрического тока через дугу.
- воздействие шарового напряжения.

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

Условия труда рабочей зоны соответствуют установленным правилам электробезопасности [59].

5.3 Экологическая безопасность

Разработка и программная реализация математической модели процесса сульфирования линейных алкилбензолов не позволяют учесть воздействие используемых и образующихся в процессе производства вредных веществ на

окружающую среду. Поэтому в данном разделе будет рассмотрено влияние потенциально возможных утечек на действующем производстве АБСК.

Атмосфера. В процесс сульфирования подразумевает под собой организованные и неорганизованные выбросы вредных веществ. К организованным выбросам стоит относить выходящий из реактора через трубу отработанный газ, включающий в себя атмосферный воздух и непрореагировавший серный ангидрид.

К неорганизованным выбросам относятся выбросы через неплотности аппаратов, запорной, регулирующей и предохранительной арматуры, фланцевых соединений, уплотнений и т.д. Вещества, участвующие в технологическом процессе и оказывающие влияние на атмосферу — серный и сернистый ангидриды, линейные алкилбензолы (летучее органическое вещество). Данные вещества можно отнести к 2 и классу опасности [60].

Через неорганизованные выбросы могут выходить наиболее опасные вещества 3 и 2 класса опасности – сернистый ангидрид, серный ангидрид, серная кислота, щелочь, линейный алкилбензол, сера [60].

Гидросфера. Сточные воды, сбрасываемые через заводскую канализационную сеть, не должны содержать вещества, вызывающие засорение и коррозию труб, а содержание вредных веществ и объем сброса определяется технологическим процессом и должно соответствовать установленным нормам. Также должны быть предусмотрены системы безопасности предотвращающие попадание нефтепродуктов в сточные воды в случае возникновения аварии или иной чрезвычайной ситуации.

Литосфера. Загрязнение почвы может происходить в случае аварии или посредством неорганизованным выбросам. Список опасных веществ в данном случае более широкий, по сравнению с атмосферными загрязнениями, а именно – алкилбензолсульфокислота, линейные алкилбензолы, сернистый ангидрид, серный ангидрид, серная кислота, сера, щелочь.

Так же загрязнителем в ходе непосредственной разработки математической модели может служить вышедшая из строя техника

(компьютеры, устройства ввода и вывода данных и др.), которая относится к IV классу опасности и подлежит специальной утилизации [61]. Так же любая деятельность человека создает тот или иной вид бытового мусора, который должен быть утилизирован в соответствии со своим классом опасности.

5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

К возможным чрезвычайным ситуациям на рассматриваемом рабочем месте можно отнести внезапное пожар, взрыв с частичным или полным обрушением здания, аварии систем электро- и водоснабжения.

Аудитория 133, 2 корпуса ТПУ оснащенная ПЭВМ относится к категории «В» по взрывопожарной и пожарной опасности, рабочая зона относится к категории П-Па [62, 63].

Основной причиной пожара на рабочем месте могут послужить: короткое замыкание в электросети или технике, неисправность устройства компьютера, повреждение изоляции электросети, попадание влаги на незаизолированные части оборудования, небрежная работа с ПЭВМ.

Согласно ГОСТ 12.1.004-91 «Пожарная безопасность. Общие требования», при работе с компьютером необходимо соблюдать следующие нормы пожарной безопасности [64]:

- запрещено превышать допустимое количество электропотребителей;
- не допускается работа с электротехникой при ее неисправности или неисправности электропроводки;
- помещение должно быть снабжено средствами пожаротушения;
- установить количество, размеры и соответствующее конструктивное исполнение эвакуационных путей и выходов, а также обеспечить беспрепятственный доступ к ним.

В случае возникновения пожара в здании автоматически срабатывают датчики пожаротушения, и звуковая система оповещает всех сотрудников о

немедленной эвакуации из здания и направляются на выход в соответствии с планом эвакуации при пожарах и других ЧС, размещенных на стенах в корпусе. Компьютерный класс оснащен огнетушителем ОУ-3, ближайшие дополнительные средства пожаротушения находятся в учебной лаборатории, размещенной в 129 аудитории. В случае возникновения незначительного возгорания необходимо обесточить электросеть помещения отключением питания в электрощите, расположенным справа у входа в аудиторию и воспользоваться средствами пожаротушения. При значительном возгорании необходимо так же обесточить электросеть, эвакуироваться из помещения, вызвать пожарную службу на место.

Мерами пожарной безопасности могут служить: проведения инструктажа о пожарной безопасности рабочего персонала, обеспечение свободного доступа к эвакуационным выходам, соблюдение правил при работе с ПЭВМ и иным электрооборудованием, а также соблюдение остальных правил пожарной безопасности.

Аудитория 133, 2 корпуса ТПУ соответствует нормам пожарной безопасности, отраженным в федеральном законе N 123-ФЗ [65].

Дополнительную опасность для помещений, оборудованных электротехникой, в том числе ПЭВМ, на территории города Томска могут также представлять штормы, грозы, сильные дожди. При прямом попадании молнии может возникнуть пожар, произойти разрушение оборудования, поражение и гибель людей. Поэтому в случае грозových явлений предусмотрена молниеотводы. Ветер со скоростью более 30 м/ч способен повредить стволы деревьев, которые в свою очередь могут повредить линии электропередачи, окна здания.

Обилие осадков способствует возможностям затопления подвальных помещений, образования оползня в весенний период из-за таяния снегов. Эти явления могут привести к частичному или полному разрушению здания. Для предотвращения возможной ситуации предусмотрены инженерно-технические

меры, включающие в себя: ливневые коммуникации, плановый вывоз снега, укрепления грунта насаждениями.

Вывод: в данном разделе ВКР проведен анализ проекта с точки зрения социальной ответственности, производственной и экологической безопасности. Работы выполнены в соответствии с нормативной документацией и предъявляемыми требованиями.

Приложение Г

(обязательное)

Календарный план-график проведения НИОКР по теме

№	Продолжительность выполнения работ													
	Февраль			Март			Апрель			Май			Июнь	
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2
1	■													
2		■												
3			■											
4			■											
5				■	■	■								
6						■	■	■	■					
7									■					
8										■				
9										■				
10											■			
11												■		
12													■	
13														■
14													■	
15														■
16													■	■
17														■

■ – бакалавр;

■ – руководитель.

Приложение Д

(обязательное)

Затраты на материальные ресурсы, оборудование и программное обеспечение

Наименование	Ед. измерения	Кол-во			Цена за ед. с НДС, руб.			Общие затраты, руб.		
		Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3
Бумага на печать	Упаковка	2	1	3	250	400	200	500	400	600
Персональный компьютер	Шт.	1	1	1	56999	86990	45690	56999	86990	45690
Принтер	Шт.	1	1	1	13980	15999	11500	13980	315	500
Набор канцелярских принадлежностей	Шт.	1	1	1	315	315	500	315	315	500
Флеш накопитель	Шт.	1	1	1	1299	1500	2390	1299	1500	2390
Лицензия Microsoft Office Standart 2019	Шт.	1	1	0	29616	29616	29161	29616	29616	0
Лицензия операционной системы	Шт.	1	1	0	14689	14689	14689	14689	14689	0
Лицензия Visual Studio	Шт.	1	1	0	34549	34549	34549	34549	34549	0
Затраты по статьям расходов								151947	168374	49680
Транспортные расходы								4500	5000	1500
Итого затрат								156447	173374	51180