

Школа Инженерная школа природных ресурсов
 Направление подготовки 18.03.01 Химическая технология
 Отделение школы (НОЦ) Отделение химической инженерии

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Моделирование работы промышленной установки серноокислотного алкилирования изобутана олефинами

УДК 661.716.1.4.095.253

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2Д8Б	Осоткина Екатерина Вячеславовна		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОХИ ИШПР	Ивашкина Е.Н.	Д.Т.Н., профессор		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Рыжакина Т.Г.	К.Э.Н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ООД ШБИП	Гуляев М.В.			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОХИ ИШПР	Мойзес О.Е.	К.Т.Н.		

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОСВОЕНИЯ
по образовательной программе «Химическая технология переработки нефти и газа»
(направление подготовки 18.03.01 «Химическая технология»)

Код компетенции	Наименование компетенции
Универсальные компетенции	
УК(У)-1	способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач
УК(У)-2	способен определять круг задач в рамках поставленной цели и выбирать оптимальные способы их решения, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений
УК(У)-3	способен осуществлять социальное взаимодействие и реализовывать свою роль в команде
УК(У)-4	способен осуществлять деловую коммуникацию в устной и письменной формах на государственном и иностранном(-ых) языке(-ах)
УК(У)-5	способен воспринимать межкультурное разнообразие общества в социально-историческом, этическом и философском контекстах
УК(У)-6	способен управлять своим временем, выстраивать и реализовывать траекторию саморазвития на основе принципов образования в течение всей жизни
УК(У)-7	способен поддерживать должный уровень физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности
УК(У)-8	способен создавать и поддерживать безопасные условия жизнедеятельности
УК(У)-9	способен проявлять предприимчивость в практической деятельности, в т.ч. в рамках разработки коммерчески перспективного продукта на основе научно-технической идеи
Общепрофессиональные компетенции	
ОПК(У)-1	способность и готовность использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности
ОПК(У)-2	готовностью использовать знания о современной физической картине мира, пространственно-временных закономерностях, строении вещества для понимания окружающего мира и явлений природы
ОПК(У)-3	готовность использовать знания о строении вещества, природе химической связи в различных классах химических соединений для понимания свойств материалов и механизма химических процессов, протекающих в окружающем мире
ОПК(У)-4	владение пониманием сущности и значения информации в развитии современного информационного общества, осознания опасности и угрозы, возникающих в этом процессе, способностью соблюдать основные требования информационной безопасности, в том числе защиты государственной тайны
ОПК(У)-5	владение основными методами, способами и средствами получения, хранения, переработки информации, навыками работы с компьютером как средством управления информацией
ОПК(У)-6	владение основными методами защиты производственного персонала и населения от возможных последствий аварий, катастроф, стихийных бедствий
Профессиональные компетенции	
ПК(У)-1	способность и готовностью осуществлять технологический процесс в соответствии с регламентом и использовать технические средства для измерения основных параметров технологического процесса, свойств сырья и продукции
ПК(У)-2	готовность применять аналитические и численные методы решения поставленных задач, использовать современные информационные технологии, проводить

	обработку информации с использованием прикладных программных средств сферы профессиональной деятельности, использовать сетевые компьютерные технологии и базы данных в своей профессиональной области, пакеты прикладных программ для расчета технологических параметров оборудования
ПК(У)-3	готовность использовать нормативные документы по качеству, стандартизации и сертификации продуктов и изделий, элементы экономического анализа в практической деятельности
ПК(У)-4	способность принимать конкретные технические решения при разработке технологических процессов, выбирать технические средства и технологии с учетом экологических последствий их применения
ПК(У)-5	способность использовать правила техники безопасности, производственной санитарии, пожарной безопасности и нормы охраны труда, измерять и оценивать параметры производственного микроклимата, уровня запыленности и загазованности, шума, и вибрации, освещенности рабочих мест
ПК(У)-6	способность настраивать, настраивать и осуществлять проверку оборудования и программных средств
ПК(У)-7	способность проверять техническое состояние, организовывать профилактические осмотры и текущий ремонт оборудования, готовить оборудование к ремонту и принимать оборудование из ремонта
ПК(У)-8	готовность к освоению и эксплуатации вновь вводимого оборудования
ПК(У)-9	способностью анализировать техническую документацию, подбирать оборудование, готовить заявки на приобретение и ремонт оборудования
ПК(У)-10	способность проводить анализ сырья, материалов и готовой продукции, осуществлять оценку результатов анализа
ПК(У)-11	способность выявлять и устранять отклонения от режимов работы технологического оборудования и параметров технологического процесса
Дополнительные профессиональные компетенции (профессиональные компетенции, установленные университетом)	
ДПК(У)-1	способность планировать и проводить химические эксперименты, проводить обработку результатов эксперимента, оценивать погрешности, применять методы математического моделирования и анализа при исследовании химико-технологических процессов
ДПК(У)-2	готовность изучать научно-техническую информацию, отечественный и зарубежный опыт по тематике исследования
ДПК(У)-3	готовность использовать знания фундаментальных физико-химических закономерностей для решения возникающих научно-исследовательских задач, самостоятельного приобретения физических знаний, для понимания принципов работы приборов и устройств, в том числе, химических реакторов
ДПК(У)-4	готовность использовать информационные технологии при разработке проектов
ДПК(У)-5	готовность изучать научно-техническую информацию отечественный и зарубежный опыт по тематике исследования на английском языке

Школа _____ Инженерная Школа Природных ресурсов _____
 Направление подготовки _____ Химическая технология _____
 Отделение школы (НОЦ) _____ Отделение химической инженерии _____

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП/ОПОП

 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ
 на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

ВКР бакалавра
(ВКР бакалавра/ ВКР специалиста/ ВКР магистра)

Студенту:

Группа	ФИО
2Д8Б	Осоткиной Екатерине Вячеславовне

Тема работы:

Моделирование работы промышленной установки серноокислотного алкилирования изобутана олефинами	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	28-92/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:

--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Данные с установки серноокислотного алкилирования ОАО «Газпромнефть-Омский НПЗ» за 2020-21 гг.
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	1) Провести аналитический обзор технологий получения алкилата, его использования и объемов потребления; 2) Исследовать физико-химические, термодинамические и кинетические особенности процесса серноокислотного алкилирования изобутана олефинами, рассмотреть химизм и механизм протекающих реакций; 3) Провести мониторинг сырьевого цикла за 2020-2021 гг.;

	4) Выявить закономерности влияния технологических параметров на качество получаемой продукции; 5) Оценить целесообразность использования пропан-пропиленой фракции в качестве сырья процесса сернокислотного алкилирования; 6) Выработать рекомендации по расширению сырьевой базы процесса сернокислотного алкилирования и увеличения выхода ценных топливных компонентов.
Перечень графического материала	
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Литературный обзор	Ивашкина Елена Николаевна
Объекты и методы исследования	Ивашкина Елена Николаевна
Теоретическая часть	Ивашкина Елена Николаевна
Практическая часть	Ивашкина Елена Николаевна
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Рыжакина Татьяна Гавриловна
Социальная ответственность,	Гуляев Милий Всеволодович
Названия разделов, которые должны быть написаны на иностранном языке:	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	28.01.2022
---	------------

Задание выдал руководитель / консультант (при наличии):

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Ивашкина Е.Н.	д.т.н., профессор		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2Д8Б	Осоткина Е.В.		

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

Студенту:

Группа	ФИО
2Д8Б	Осоткиной Екатерине Вячеславовне

Школа	Инженерная школа природных ресурсов	Отделение школы (НОЦ)	ОХИ
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>Работа с информацией, представленной в российских и иностранных научных публикациях, аналитических материалах, статических бюллетенях и изданиях, нормативно-правовых документах; анкетирование; опрос.</i>
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</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. Выполнение SWOT-анализа проекта</i>
2. <i>Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	<i>Определение структуры работы. Расчет трудоемкости выполнения работ. Подсчет бюджета исследования</i>
3. <i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	<i>Рассчитать показатели финансовой эффективности, ресурсоэффективности и эффективности исполнения</i>

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. *Оценка конкурентоспособности технических решений*
2. *Матрица SWOT*
3. *Альтернативы проведения НИ*
4. *График проведения и бюджет НИ*
5. *Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ*

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	03.02.2022
---	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН	Рыжакина Татьяна Гавриловна	к.э.н.		03.02.2022

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2Д8Б	Осоткина Екатерина Вячеславовна		03.02.2022

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа 2Д8Б		ФИО Осоткиной Екатерине Вячеславовне	
Школа	Инженерная школа природных ресурсов	Отделение (НОЦ)	ОХИ
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	18.03.01 Химическая технология

Тема ВКР:

Моделирование работы промышленной установки сернокислотного алкилирования изобутана олефинами	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
Введение <ul style="list-style-type: none"> – Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика) и области его применения. – Описание рабочей зоны (рабочего места) при разработке проектного решения/при эксплуатации 	<p>Объект исследования: процесс сернокислотного алкилирования изобутана олефинами</p> <p>Область применения: нефтеперерабатывающая промышленность для создания новых и интенсификации действующих нефтехимических процессов получения высокооктановых компонентов</p>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности при разработке проектного решения/при эксплуатации	Рассмотреть специальные правовые нормы трудового законодательства; организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны (научно-исследовательская лаборатория 2 корпуса НИ ТПУ).
2. Производственная безопасность при разработке проектного решения/при эксплуатации:	<p>Анализ потенциально вредных и опасных факторов проектируемой производственной среды.</p> <p>Разработка мероприятий по снижению воздействия вредных и опасных факторов.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Неудовлетворительный микроклимат; 2. Повышенный уровень шума; 3. Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека; 4. Нервно-психические перегрузки, монотонность трудового процесса; 5. Недостаточная освещенность рабочей зоны.
3. Экологическая безопасность при разработке проектного решения/при эксплуатации	<p>Анализ воздействия объекта на атмосферу, гидросферу и литосферу;</p> <p>Решение по обеспечению экологической безопасности.</p>
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях при разработке проектного решения/при эксплуатации	<p>Анализ возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения;</p> <p>Выбор наиболее типичной ЧС;</p> <p>Разработка превентивных норм по предупреждению ЧС;</p> <p>Разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации ее последствий.</p> <p>Пожаровзрывоопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения)</p>
Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
20.02.2022	

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2Д8Б	Осоткина Екатерина Вячеславовна		

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 _____ Химическая технология
 Уровень образования _____ Бакалавриат
 Отделение школы (НОЦ) _____ Отделение химической инженерии
 Период выполнения _____ весенний семестр 2021/2022 учебного года

Форма представления работы:

ВКР бакалавра
(ВКР бакалавра/ ВКР специалиста/ ВКР магистра)

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

Обучающегося:

Группа	ФИО
2Д8Б	Осоткиной Екатерины Вячеславовны

Тема работы:

Моделирование работы промышленной установки сернокислотного алкилирования изобутана олефинами
--

Срок сдачи студентом выполненной работы:

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
15.02.2022	Литературный обзор	20
01.03.2022	Объекты и методы исследования	10
15.04.2022	Теоретическая часть	15
01.05.2022	Практическая часть	15
23.05.2022	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	20
20.05.2022	Социальная ответственность,	20

СОСТАВИЛ:

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Ивашкина Е.Н.	д.т.н., профессор		

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП/ОПОП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Мойзес О.Е.	к.т.н., доцент		

Обучающийся

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2Д8Б	Осоткина Екатерина Вячеславовна		

Реферат

Выпускная квалификационная работа состоит из 103 страницы, включает в себя 12 рисунков, 27 таблиц, 54 источника.

Ключевые слова: математическое моделирование, сернокислотное алкилирование, катализатор, изобутан, олефины.

Объектом исследования является процесс сернокислотного С-алкилирования изобутана олефинами.

Цель работы – прогнозирование показателей процесса алкилирования изобутана олефинами и оценка целесообразности перехода на другой тип сырья с использованием математической модели.

Практическая ценность работы заключается в расширении сырьевой базы процесса сернокислотного алкилирования и увеличении выхода ценных топливных компонентов.

Оглавление

Введение.....	14
ГЛАВА 1 Литературный обзор.....	16
1.1 Технологии процесса алкилирования	16
1.1.1 Серноокислотное алкилирование.....	16
1.1.2 Фтороводородное алкилирование	18
1.1.3 Недостатки жидко-кислотных катализаторов.....	21
1.1.4 Востребованность твердых катализаторов.....	23
1.1.5 Сравнение технологий алкилирования.....	25
1.2 Возможности расширения сырьевой базы процесса серноокислотного алкилирования.....	27
1.3 Эксплуатация установок серноокислотного алкилирования	29
ГЛАВА 2 Характеристика объекта исследования.....	32
2.1 Химизм процесса алкилирования.....	32
2.2 Сырье процесса алкилирования	35
2.3 Технические условия процесса серноокислотного алкилирования изобутана олефинам.....	36
2.3.1 Кратность олефинового сырья и изобутановой фракции.....	37
2.3.2 Объемная скорость реакции.....	37
2.3.3 Температура в зоне реакции	37
2.3.4 Давление в реакционном контуре	38
2.3.5 Концентрация серной кислоты.....	38
2.3.6 Насыщенность смеси в реакторе	39
2.3.7 Примеси в сырье	39
2.4 Принципиальная схема процесса	40
2.5 Описание работы реакторного блока.....	41
ГЛАВА 3 Экспериментальная часть.....	43
3.1 Теоретические предпосылки исследований.....	43
3.1.1 Термодинамические параметры реакций алкилирования	43

3.1.2 Кинетическая модель процесса	44
3.2.3 Математическая модель процесса сернокислотного алкилирования изобутана олефинами как инструмент исследования	46
3.2 Моделирование работы промышленной установки сернокислотного алкилирования изобутана бутиленом с использованием математической модели.....	47
3.3 Влияние различных параметров на октановое число, состав и выход алкилата	48
3.3.1 Влияние состава ББФ	48
3.3.2 Влияние мольного соотношения изобутан:олефины	52
3.4 Выбор оптимальных параметров процесса сернокислотного алкилирования изобутана пропан-пропиленовой фракцией	53
ГЛАВА 4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	56
4.1 Потенциальные потребители результатов исследования	56
4.2 Анализ конкурентных технических решений.....	57
4.3 SWOT-анализ.....	58
4.4 Планирование работ по научно-техническому исследованию	61
4.4.1 Структура работ в рамках научного исследования.....	61
4.4.2 Определение трудоемкости выполнения работ	62
4.4.3 Разработка графика проведения научного исследования.....	63
4.5 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)	66
4.5.1 Расчет материальных затрат НТИ	66
4.5.2 Расчет затрат на специальное оборудование для научных работ.....	67
4.5.3 Основная заработная плата исполнителя темы	67
4.5.4 Расчет дополнительной заработной платы	70
4.5.5 Отчисления во внебюджетные фонды	71
4.5.6 Накладные расходы	71

4.5.7 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта.....	72
4.6 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования .	73
ГЛАВА 5 Социальная ответственность.....	76
5.1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	76
5.1.1. Специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства	77
5.1.2. Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны	77
5.2. Производственная безопасность	78
5.2.1. Анализ потенциально возможных и опасных факторов, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследований	79
5.2.2. Разработка мероприятий по снижению воздействия вредных и опасных факторов	80
5.3. Экологическая безопасность.....	84
5.3.1. Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду	85
5.3.2. Анализ влияния процесса исследования на окружающую среду	85
5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	87
5.4.1. Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований и обоснование мероприятий по предотвращению ЧС.....	88
5.4.2. Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть при проведении исследований и обоснование мероприятий по предотвращению ЧС.....	90
Заключение	92
Приложения	94
Список использованных источников	100

Введение

В современном мире существует потребность в качественном бензине с высоким октановым числом, низким содержанием ароматических и сернистых соединений, а также тяжелых металлов, а значит, существует и спрос на поиск и совершенствование технологий производства экологически безопасных компонентов моторных топлив.

Одним из первых процессов, внедренных в промышленность для получения высокооктановых авиационных бензинов, а также для повышения качества моторных топлив, является алкилирование изобутана олефинами на различных катализаторах. В связи с увеличением количества автотранспортных средств качество автомобильного бензина имеет большое значение для окружающей среды.

Алкилбензин является высоковостребованным продуктом, поскольку способен обеспечить высокое октановое число (до 97 пунктов), низкое ДНП, низкую концентрацию серы, азота, олефинов, ароматических соединений и компонентов чистого горения. Основным компонентом алкилата является высокоразветвлённый изомер C_8 – 2,2,4-триметилпентан.

В настоящее время в промышленности в качестве жидкофазных катализаторов процесса алкилирования используется серная и фтороводородная кислота, а также твердокислотные катализаторы.

В связи с задачей увеличения производства моторных топлив, очевидна актуальность повышения эффективности эксплуатации действующих установок алкилирования, а также в связи ужесточением требований к бензиновым топливам, особенно в отношении содержания ароматических углеводородов, возрастает потребность в продукте процесса алкилирования изобутана олефинами. Одним из способов улучшить и предсказать процессы алкилирования является использование прогностической математической модели.

Объектом исследования является процесс сернокислотного С-алкилирования изобутана олефинами.

Для исследования закономерностей влияния различных параметров на процесс алкилирования выбран метод математического моделирования, позволяющий экономично проектировать схожие с реальными установки, а также прогнозировать работу аппаратов и подбирать оптимальные режимы их функционирования

Цель работы – прогнозирование показателей процесса алкилирования изобутана олефинами и оценка целесообразности перехода на другой тип сырья с использованием математической модели.

Для достижения цели были поставлены основные задачи исследования:

- изучить влияние технологических параметров процесса на глубину превращения олефинов и выявить закономерности влияния технологических параметров на качество получаемой продукции;
- выполнить прогнозные расчеты с использованием математической модели и оценить целесообразность использования пропан-пропиленовой фракции в качестве сырья процесса сернокислотного алкилирования.

Новизна работы заключается в использовании метода математического моделирования для оценки целесообразности вовлечения пропан-пропиленовой фракции в качестве сырья процесса сернокислотного алкилирования.

Практическая ценность работы заключается в расширении сырьевой базы процесса сернокислотного алкилирования и увеличении выхода ценных топливных компонентов.

ГЛАВА 1 Литературный обзор

1.1 Технологии процесса алкилирования

Алкилбензины получают в присутствии сильных кислот, таких как сильноокислотные ионные жидкости, плавиковая кислота (HF) и серная кислота (H_2SO_4). Реакция изобутана с олефинами при использовании жидкофазных катализаторов является распространенной технологией получения алкилата по сей день. Ранее упомянутые кислоты имеют свои преимущества и недостатки, которые будут рассмотрены в данной работе далее.

Помимо жидкофазных катализаторов существуют твердые катализаторы гетерогенного алкилирования, основанные на использовании цеолитов или анион-модифицированных оксидов металлов.

1.1.1 Серноокислотное алкилирование

В настоящее время крупные промышленные предприятия используют концентрированную серную кислоту в качестве основного катализатора процесса, в России же абсолютно все установки алкилирования изобутана олефинами используют H_2SO_4 [1,2].

Серную кислоту широко применяют в качестве предпочтительного и коммерческого катализатора алкилирования благодаря ее высокой стабильности и отличным каталитическим характеристикам [3-5].

В качестве продуктов получают авиационный и автомобильный алкилаты (соотношением между авиа- и авто-алкилатами колеблется от $0,95 \div 0,05$ до $0,90 \div 0,10$) и отработанную фракцию, представляющую собой в основном смесь н-бутана и пропана, которые можно использовать в виде сжиженных газов или в качестве сырья для пиролиза с целью получения богатого непредельными углеводородами газа, либо как сырье для нефтехимического синтеза [6].

Основные недостатки H_2SO_4 связаны с ее высоким расходом (70–100 кг H_2SO_4 на метрическую тонну получаемого алкилата), что требует размещения регенерационного блока рядом с установкой алкилирования и увеличивает эксплуатационные расходы, так как регенерируемая H_2SO_4 составляет 2–3 раза дороже свежей кислоты [7].

На рисунке 1.1 представлена блок-схема установки сернокислотного алкилирования, реализованная в промышленности.

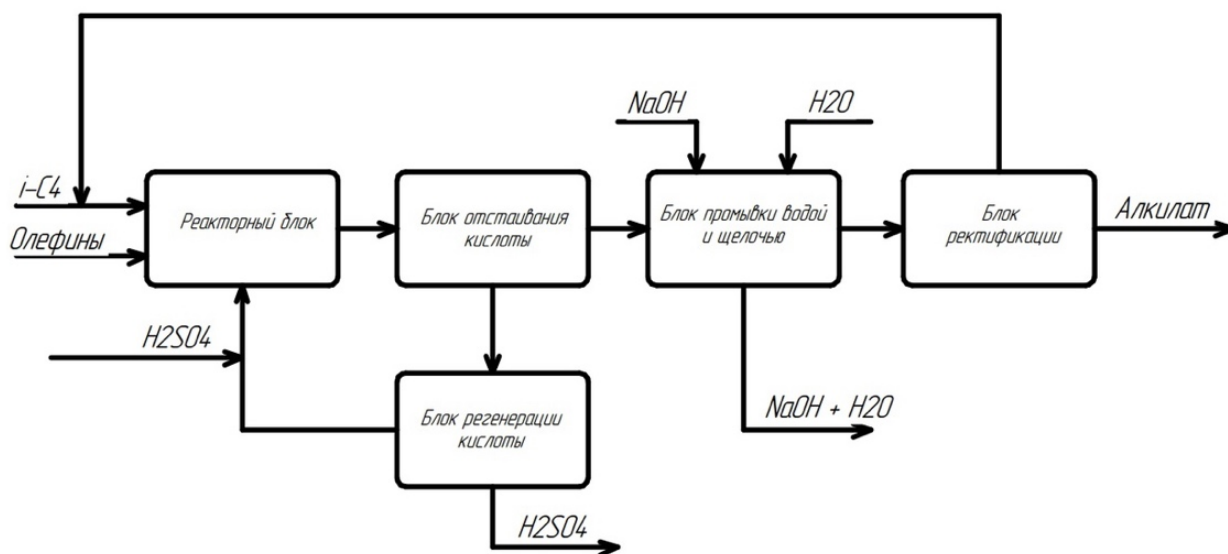


Рисунок 1.1 - Принципиальная блок-схема сернокислотного алкилирования

Патентами на процесс сернокислотного алкилирования обладают две крупные американские химические компании ExxonMobil и DuPont.

В технологии сернокислотного алкилирования в качестве сырья применяют смесь олефинов (предпочтительно C_4) и изобутана. Принципиальная схема установки алкилирования по технологии STRATCO® компании DuPont изображена на рисунке 1.2.

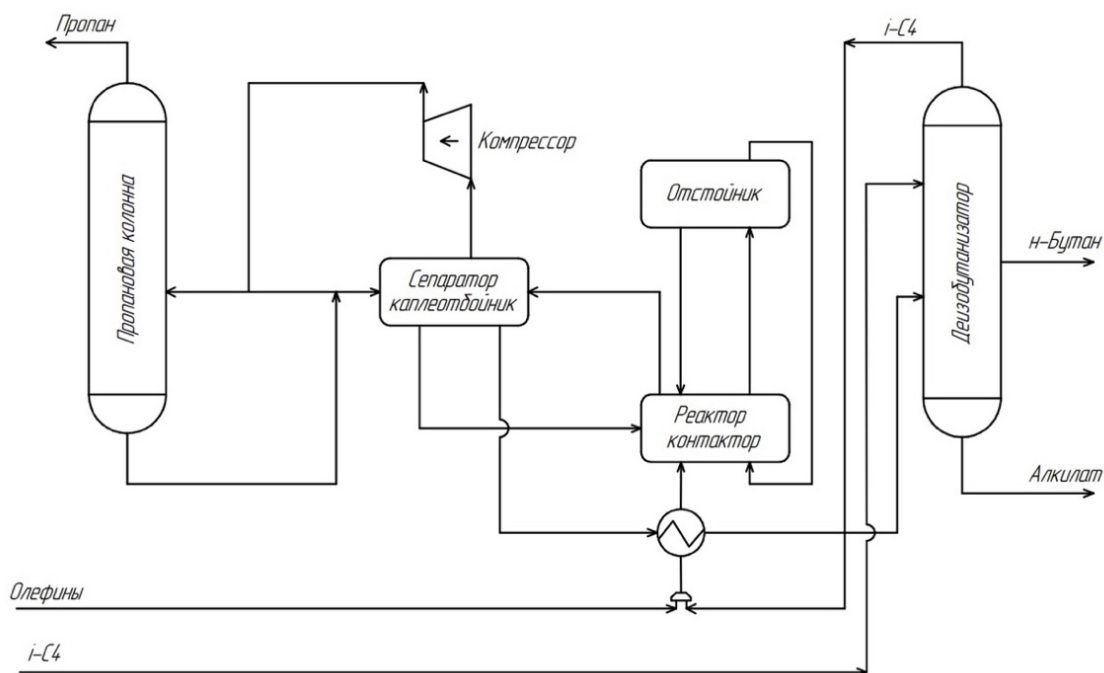


Рисунок 1.2 – Схема установки сернокислотного алкилирования по технологии STRATCO® [8]

Смешение олефинов и изобутана с серной кислотой, происходит в реакторе-контакторе, полученные в ходе реакции продукты отстаиваются и с высокой скоростью отправляются в каплеотбойник. После каплеотбойника продукты реакции поступают в деизобутианизатор, где с низа колонны получают целевой продукт в виде алкилата, боковым погоном получают н-бутан, а с верха колонны отводится изобутан, который, рециркулируя, подается в реактор для поддержания массо- и теплообмена.

Также по технологической схеме предусмотрена секция охлаждения продуктов реакции, циркулирующих в системе, которая представлена депропанизатором. Головным погоном пропановой колонны является пропан, а из куба отводят циркулирующие в системе продукты.

1.1.2 Фтороводородное алкилирование

В наши дни за рубежом распространен процесс фтористоводородного алкилирования [6] с реакцией взаимодействия пропиленов, бутиленов и

амиленов с изобутаном в присутствии катализатора. В процессе фтористоводородного алкилирования в реакцию вступают лишь парафины изостроения (на практике обычно используется изо-С₄, так как изо-С₅ обладает высоким давлением насыщенных паров) [9]. Существует около 85 установок, которые действуют на сегодняшний день, строятся и проектируются. Их мощность по продукту составляет от 95 до 3400 м³/сут.

В процессе алкилирования HF оптимальное сочетание экономичности процесса, выхода и качества продукта достигается путем предварительного очищения сырья от примесей, то есть сырье должно быть осушено и иметь низкое содержание серы, содержать избыточное количество изопарафина, также рекомендовано увеличение времени контакта катализатора с реагентами.

Алкилирование серной и плавиковой кислотами имеют схожее аппаратное оформление, но есть небольшие отличия. Так, например, реакторный блок алкилирования фтороводородом в качестве катализатора имеет более высокую температуру, что дает возможность использовать воду для снятия тепла, а также все оборудование произведено из углеродистой стали, эта мера принята в связи с тем, что алкилат содержит большое количество самой кислоты из-за ее высокой летучести.

Одной из самых распространенных технологий фтороводородного алкилирования является технология компании Philips Petroleum (ConocoPhillips), типовая схема которой изображена на рисунке 1.3.

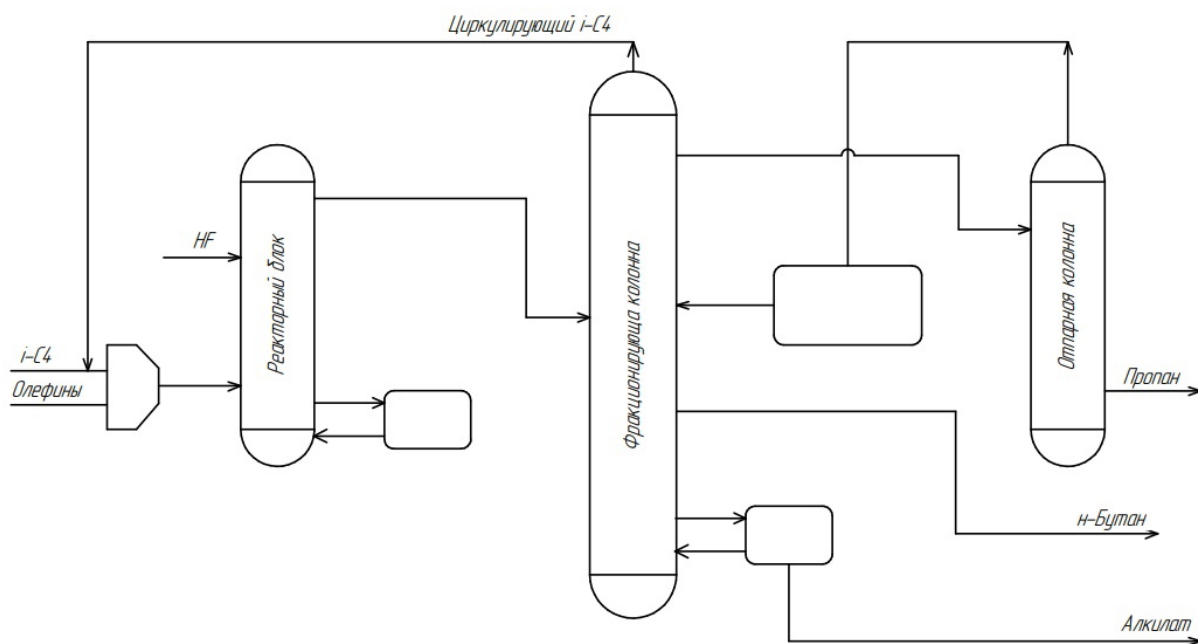


Рисунок 1.3 – Принципиальная схема установки фтористоводородного алкилирования по технологии фирмы «Philips Petroleum» [10]

Изобутан и олефины перед подачей в реактор 1 подвергаются предварительной осушке, после чего производится подача смеси в реакторный блок, где происходит химическая реакция исходных веществ с плавиковой кислотой. Верхний погон реакторного блока подается на фракционирующую колонну, где происходит разделение на более узкие фракции: пропан, циркулирующий изобутан, н-бутан, а также алкилат. Параллельно в реакторе происходит накопление более тяжелой части – гидрофторида, который рециклом подается обратно в колонну.

Для предотвращения загрязнения товарного пропана при незначительном уносе фтористого водорода из реактора в технологической схеме предусмотрена отпарная колонна. Также обязательным этапом перед отправкой товарных продуктов в парк является процедура щелочной очистки [11].

1.1.3 Недостатки жидко-кислотных катализаторов

Основной недостаток современных способов получения связан с условиями промышленного обращения с этими кислотами и зарегистрированными авариями из-за утечек HF и их способности образовывать аэрозоли со смертельными концентрациями HF [12]. Фтороводород является высоко токсичным и летучим веществом, а при попадании в атмосферу образует стабильные аэрозоли, что повышает класс опасности установки с использованием HF и стоимость строительства и эксплуатации [13]. Нефтеперерабатывающие заводы с установками алкилирования с HF в виде катализатора вынуждены устанавливать дорогостоящие системы смягчения последствий, сводящие к минимуму опасность утечек HF. Более того, власти многих промышленно развитых стран прекратили выдачу лицензий новым установкам HF-алкилирования. Серная кислота менее токсичная и менее летучая, но она обладает большей коррозионной активностью.

Основные физико-химические свойства серной и фтороводородной кислот представлены в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Основные физико-химические свойства кислот

Свойство	H ₂ SO ₄ (98 %)	HF (50 %)
Плотность при 20 С, кг/м ³	1836,5	1155
Температура плавления, С	0,1	-83,4
Температура кипения, С	332,4	19,4
Поверхностное натяжение, Н/м	55·10 ⁻³	10·10 ⁻³
Вязкость, мПа·с	24,5	0,53
Диэлектрическая постоянная	114	60
Массовая растворимость изобутана при 26,6 С, %	0,07	2,7 (100 %)

Скорость растворения изобутана и алкенов в катализаторе является одним из наиболее важных показателей жидкофазного алкилирования. Важным достоинством HF, относительно H₂SO₄, является способность растворять больше изобутана, в связи с чем скорость реакции при данном

катализаторе выше, отношение изобутан:олефины больше, а, значит, доля побочных реакций значительно уменьшается.

В связи с хорошей и быстрой растворимостью алкенов и с низкой растворимостью изобутана в H_2SO_4 , протекание реакции полимеризации олефинов происходит с большей вероятностью, так как концентрация изобутана на поверхности эмульсии типа углеводород в кислоте намного меньше концентрации алкенов [14]. В связи с чем возникает потребность в интенсификации процесса перемешивания и диспергирования реакционной массы для ускорения реакции алкилирования.

В результате большой степени растворимости изобутана в HF соотношение изобутана и олефинов выше, чем при использовании в качестве катализатора H_2SO_4 , следовательно и выход целевых продуктов при использовании фтористого водорода значительно выше, чем при использовании серной кислоты.

По статистике, мировые расходы на приобретение катализаторов для каталитического риформинга и гидроочистки вместе взятые ниже, чем затраты на катализаторы алкилирования [15].

С экономической точки зрения использование жидкокислотных катализаторов, таких как серная и плавиковая кислоты, является достаточно затратным способом получения высокооктановых алкилатов [16].

Высокая стоимость производства обусловлена большим удельным расходом катализатора, а также тем, что на привлечение жидко-кислотного катализатора в зону реакции расходуется большой объем ресурсов, что в свою очередь влечет за собой [1]:

- потребность в большом количестве емкостей из коррозионно-стойких материалов;
- сокращение срока службы реакционных сосудов;
- увеличение стоимости капитального ремонта установки;
- необходимость большого количества энергии для перекачки кислоты из одного сосуда в другой;

- затраты на регенерацию катализатора;
- затраты на перемешивание смеси с катализатором и бутан-бутиленовой фракцией;
- увеличение расхода материала;
- необходимость утилизации отработанных кислот;
- необходимость выделения и последующей нейтрализации алкилата из реакционной смеси.

Несмотря на ряд преимуществ фтористого водорода над серной кислотой, высокая токсичность, связанная с содержащимся в составе фтором, ограничивает применения HF.

Причиной использования серной кислоты является то, что бензин фтористоводородного алкилирования может быть загрязнен HF и фторированными органическими соединениями, которые также являются высокотоксичными.

1.1.4 Востребованность твердых катализаторов

Происходит постепенный отказ от жидких кислотных систем в пользу твердых кислотных катализаторов в связи с экологическими и технологическими недостатками первых. Прогресс в технологии алкилирования может быть обеспечен только при переходе на твердые катализаторы (твердые кислоты) взамен жидких [9].

Твердо-кислотные катализаторы, особенно цеолиты, изначально проявляют высокую каталитическую активность и селективность, и была надежда на то, что они смогут заменить традиционные жидкие кислоты, но, к сожалению, они быстро дезактивируются из-за закрытия кислотных центров и отложения углерода [7, 17-19]. Эти диффузионные ограничения транспорта молекул к центрам катализатора можно уменьшить за счет образования транспортных пор в цеолитном кристалле. Быстрая дезактивация катализатора и его короткий межрегенерационный период, обусловленный

реакциями олигомеризации низших олефинов с образованием высокомолекулярных соединений (ASO), являются основными недостатками алкилирования на твердых катализаторах.

Алкилирование с использованием твердого катализатора имеет низкие затраты на строительство установки и является высокоэкологичным, при этом затраты на стоимость энергоносителей выше в сотни раз в сравнении с другими технологиями получения алкилата, что связано с высокими операционными затратами на регенерацию твердого катализатора.

Лицензиары, занимающиеся разработками твердокислотного алкилирования, приведены в таблице 1.2.

Таблица 1.2 – Лицензиары твердокислотного алкилирования

Цеолиты	Сульфатированные оксиды	Другие
Lurgi (Eurofuel)	Haldor Topsoe (FBA)	UOP
INEEL	Chemical Research & Licensing Company	SINOPEC
Цеолиты	Сульфатированные оксиды	Другие
Mobil	Институт проблем переработки углеводородов СО РАН	Texas A&M University
Shell		
Institute of Chemical Technology		
Институт органической химии РАН		

Главными достоинствами твердокислотного алкилирования, относительно жидкофазного является [20]: отсутствие необходимости в разделении катализатора и продуктов реакции; отсутствие необходимости поддержания высокой активности и селективности при низких температурах; а также возможность полной регенерации катализатора.

Одним из возможных путей решения проблемы дезактивации катализатора является применение добавок. Так, например, в источнике 21

рассматривается вариант решения проблемы дезактивации при помощи использования катализатора с добавкой SF5.

Также компания UOP разработала процесс, катализатором которого HAL-100, состоящий из системы $AlCl_3/Al_2O_3$, которая модифицирована катионами K^+ и нанесенными металлами, такими как Pt, Pd или Ni [22].

Достоинством данной разработки является регенерация дезактивированного катализатора в отсутствие отжига кокса, а также высокий выход продукта процесса, высокая селективность и стабильность.

На рисунке 1.4 представлена блок-схема процесса алкилирования Alkylene компании UOP.

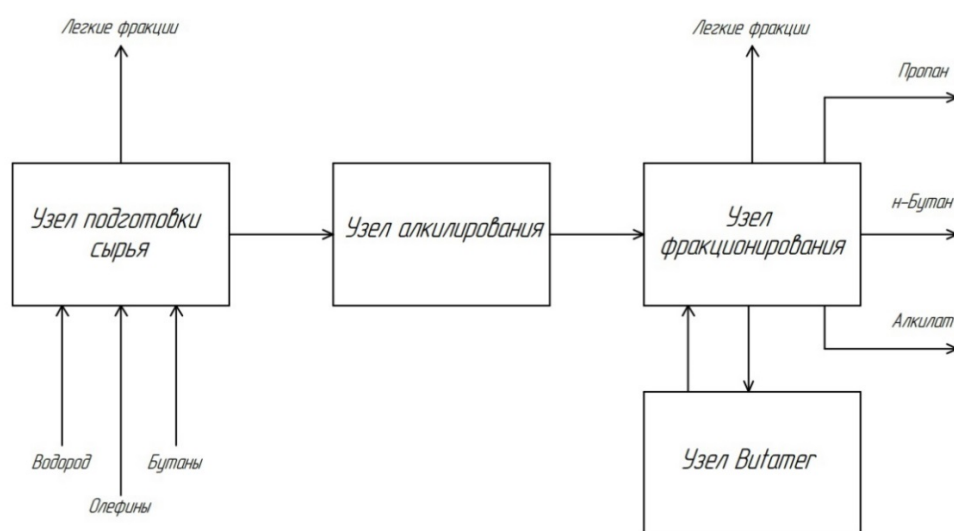


Рисунок 1.4 – Блок-схема процесса алкилирования Alkylene компании UOP

1.1.5 Сравнение технологий алкилирования

Основным показателем качества производимого алкилата является октановое число. В таблице 1.3 приведена сравнительная характеристика октановых чисел.

Таблица 1.3 – Сравнение технологий алкилирования

Октановые числа	HF	H ₂ SO ₄	Твердые катализаторы
Исследовательский метод	95,7	96,6	97,0
Моторный метод	94,2	93,6	94,2

Наибольшая доля C_8 парафинов изостроения образуется в ходе алкилирования с использованием HF. При использовании серной кислоты в качестве катализатора в процессе образуется наибольшая доля тяжелых высокомолекулярных компонентов, таких как C_{10+} . Гетерогенное алкилирование с использованием твердого катализатора позволяет производить алкилат с наибольшим октановым числом, при этом следует отметить, что согласно исследованиям в данном процессе образуется наибольшая доля линейных и разветвленных алканов C_5-C_7 [23, 24].

Почему в промышленности используется преимущественно серная кислота? Технологию сернокислотного алкилирования можно считать более безопасной по сравнению с фтороводородным алкилированием и более экономичной по сравнению с твердофазным.

Несмотря на другие проблемы, такие как высокие эксплуатационные расходы, катализируемые серной кислотой процессы менее опасны. Серная кислота хоть и является агрессивной жидкостью, но не такой летучей, как фтороводород, что облегчает работу с ней.

Существует ряд способов увеличения эффективности сернокислотного алкилирования. Так, например, при добавлении небольших количеств анионных, катионных или амфолитных поверхностно-активных веществ значение растворимости изобутана:олефинов изменяется, что влияет на характер выхода реакции алкилирования, катализируемой серной кислотой.

В источнике 25 улучшение качества алкилата достигается за счет увеличения растворимости изопентана, вызванного поверхностно-активными веществами, также отмечается, что селективность по тяжелым фракциям (C_{10+}) резко падает до 12,9 % из-за присутствия поверхностно-активных веществ, то есть селективность по тяжелым фракциям интенсивно снижается, а селективность по триметилпентану явно возрастает.

Также, результаты статьи 26, в которой представлены технология интенсификации сернокислотного алкилирования с добавлением трифторуксусной кислоты (ТФК), показали, что добавление ТФК в серную

кислоту может эффективно улучшить растворимость изобутана, снизить вязкость и отрегулировать кислотность каталитической системы. По сравнению с алкилированием, катализируемым только H_2SO_4 , в присутствии ТФК можно использовать более высокую температуру реакции, что снизит потребление энергии.

1.2 Возможности расширения сырьевой базы процесса сернокислотного алкилирования

Исследования процесса производства высокооктанового алкилата показывают, что октановое число и компоненты продукта алкилирования сильно зависят от состава сырья, конструкции реактора и условий эксплуатации [2].

Источником сырья сернокислотного алкилирования в основном служит изобутановая фракция и бутан-бутиленовая фракция (далее ББФ), содержащая около 50 % олефинов. Сырье процесса алкилирования, как и любое другое сырье, содержит примеси, которые являются инертными разбавителями реакции или загрязнителями катализатора, что ухудшает каталитические свойства кислоты.

Отличительной особенностью реакции алкилирования является то, что парафины $n-C_4$ и C_5 не реагируют с олефинами, в отличие от бутан-изостроения. Именно поэтому в ходе реакции получается изооктан, имеющий высокое октановое число, а не нормальный октан, октановое число которого очень низкое. В результате исследований, приведенных в статье 27, нормальный бутан, пропан снижает выход алкилата.

Главными примесями в сырье, а именно в бутан-бутиленовой фракции, для установок алкилирования являются диены, органические соединения серы и влага.

В источнике 28 говорится о примесях диенов и их влиянии на концентрацию кислоты. Диены не проявляют склонности к реакции с

изобутаном в присутствии H_2SO_4 , но реагируют с ней с получением продуктов, большинство из которых, хоть и растворимы в ней, но тем не менее уменьшают концентрацию кислоты, что приводит к экономическим убыткам в связи с увеличением расхода.

Также к сырью процесса сернокислотного алкилирования предоставляются повышенные требования по содержанию влаги и сернистых соединений. Перед поступлением на установку алкилирования сырье обычно очищают от органических сернистых соединений и осушивают, так как разбавление H_2SO_4 водой интенсивнее снижает активность катализатора, чем разбавление высокомолекулярными соединениями [14].

Существенное влияние на показатели процесса оказывает состав олефинов. Этилен, подобно диенам, реагирует с концентрированной серной кислотой, образуя этилсульфат, и не дает алкилата при реакции с изобутаном. Этилсульфат, будучи разбавителем, снижает кислотность откачиваемой кислоты, чем вызывает потребность в дополнительной подкачке свежей H_2SO_4 [28].

Пропилен хорошо взаимодействует с разветвленным бутаном, но октановое число при реакции с ним меньше, чем при алкилировании бутиленами. Из полученных данных об изменении октанового числа в источнике 29 видно, что с увеличением содержания пропилена в сырье октановое число снижается на несколько пунктов. В результате исследований, приведенных в статье 27, установлено, что увеличение концентрации пропилена в сырье до 2% приводит к снижению октанового числа фракции.

Тяжелые олефины (C_{5+}) легче вступают в реакцию деструктивного алкилирования с образованием низкомолекулярных и низкооктановых продуктов.

Для увеличения эффективности производительности установок алкилирования целесообразно использовать пропан-пропиленовую фракцию (ППФ) и пропан-амиленовую фракцию (ПАФ) как дополнительные

источники олефинов [30]. Стоит отметить, что сырье, состоящее из ПАФ и ББФ более чувствительно к соотношению изобутан:олефины, чем ППФ-сырье.

При переходе с ББФ на пропан-пропиленовую фракцию существенно увеличивается расход серной кислоты (в 4 раза), в связи с чем растут затраты на ее регенерацию и поставку новой свежей H_2SO_4 , а также наблюдается повышение объемного расхода изобутана на олефин (может достигать 135 % на олефин). Что касается выхода целевого продукта, алкилата, он тоже увеличивается, но незначительно, а вот его качество, оцениваемое октановым числом, падает. Октановое число алкилата, получаемого при использовании в качестве сырья процесса алкилирования ППФ, достигает 90 пунктов по моторному методу и 91 по исследовательскому.

Таблица 1.4 – Сравнительная характеристика октановых чисел при использовании различных олефинов [31, 32]

Олефин	ОЧ ИМ
Пропилен	91,5
Бутилен-1	97,5
Бутилен-2	97,5
Изо-бутилен	94,5
Пентен	91,0

1.3 Эксплуатация установок сернокислотного алкилирования

Первые установки сернокислотного алкилирования были введены в эксплуатацию в конце 30-х годов, а с применением фтористого водорода — в начале 40-х. Изначально сернокислотное алкилирование было направлено на получение авиационного высокооктанового бензина, а для улучшения моторных качеств автомобильных топлив алкилирование стали использовать лишь после 1945 года [33].

При анализе состава бензина было выявлено, что доля алкилата на российском рынке составляет около 5 %, в то время как в странах Евросоюза – до 16 % [34].

На рисунке 1.5 приведены соотношения долей алкилата в общем бензиновом фонде в России, Европе и США.



Рисунок 1.5 – Доля алкилата в общем бензиновом фонде в России, Европе и США, % масс

Для увеличения выхода и качества экологически безопасных бензинов необходимо разработать и внедрить в промышленность новые технологии, катализаторы, реакторные устройства, обеспечивающие увеличение производства высокооктанового алкилата.

Решением проблемы увеличения эффективности работы действующих установок сернокислотного алкилирования изобутана олефинами является повышение энерго- и ресурсоэффективности их работы при помощи использования математических моделей, которые позволяют внедрить в промышленность новые технологии, используя большой массив данных в широком диапазоне параметров, приемлемом для технологического режима.

Математические модели ХТП являются эффективным в современном мире инструментом для мониторинга, прогнозирования и оптимизации производств.

Для нахождения оптимальных значений основных управляющих параметров процесса алкилирования создаются различные математические модели, позволяющие просчитать состав, выход, а также октановое число алкилбензина.

Исследования в этой области проводятся научными коллективами Национального исследовательского Томского политехнического университета; Уфимского государственного нефтяного технического университета [35]; Института нефтехимического синтеза, Москва; Техасского университета A&M, США; Восточно-китайского университета науки и технологий, Китай; Политехнического университета Бухареста, Румыния.

В основном существующие математические модели алкилирования, катализируемого серной кислотой, описывают только кинетику превращений углеводородов в основных реакциях без учета побочных реакций, которые снижают эффективность процесса в целом. В большинстве моделей также не учитывается нестабильность катализатора, вызванная изменением концентрации серной кислоты.

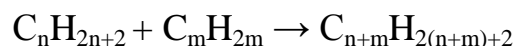
С помощью разработанной нестационарной математической модели, описанной в статье 36, которая учитывает образование высокомолекулярных соединений и нестационарность процесса, были рассчитаны оптимальные расходы свежего катализатора. Оптимальные значения составили 2,8 и 2,4 м³/час вместо реальных 2,33 и 1,74 м³/час. Поддержание оптимального расхода свежего катализатора позволило бы снизить концентрацию высокомолекулярных углеводородов до 4 мас. %, что повысит концентрацию H₂SO₄ в реакторе на 1 мас. % и октановое число алкилата на 0,5 пунктов.

В результате исследований математической модели алкилирования изобутана олефинами, описанной в статье 1, была изучена зависимость антидетонационных свойств алкилата от состава и условий процесса. Было установлено, что антидетонационные свойства алкилата находятся в прямой зависимости от состава сырья, в частности от содержания изобутана. Алкилаты, полученные из сырья с меньшей массовой долей изобутана, имеют меньшее значение октанового числа.

ГЛАВА 2 Характеристика объекта исследования

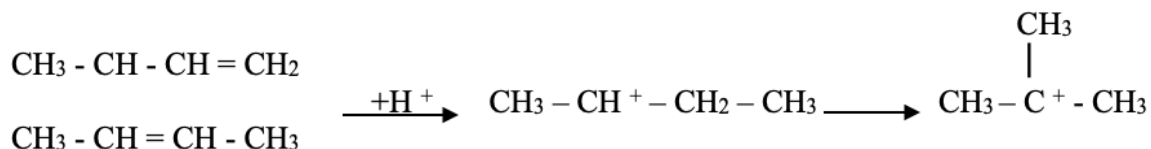
2.1 Химизм процесса алкилирования

Серноокислотное алкилирование изобутана олефинами протекает через ряд последовательных и параллельных стадий. Общий вид реакции алкилирования:

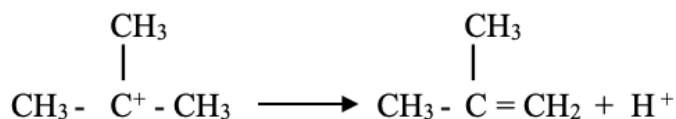


Механизм реакции серноокислотного алкилирования представлен далее.

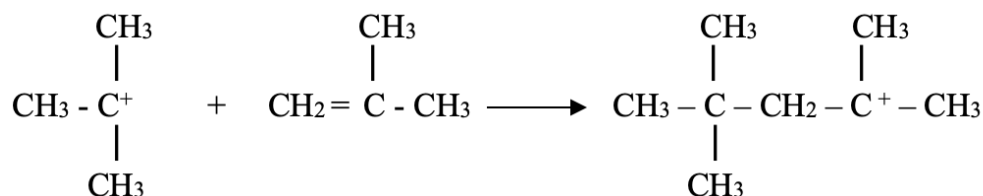
Первая стадия – протонирование олефина. Реакция алкилирования изобутана олефинами, а если точнее то бутиленом-1 и бутиленом-2, протекает по карбений ионному цепному механизму и заключается в том, что в присутствии серной кислоты бутилены протонируются, проходя стадию инициации с образованием промежуточного вторичного бутилкарбкатиона, и изомеризируются в трет-бутилкарбкатион:



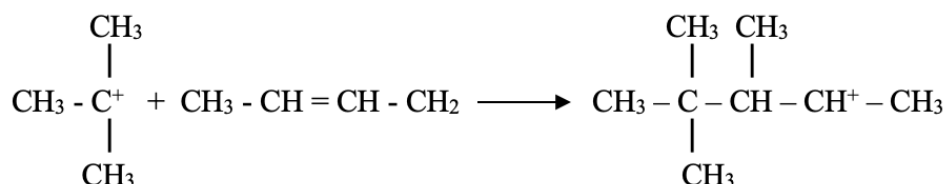
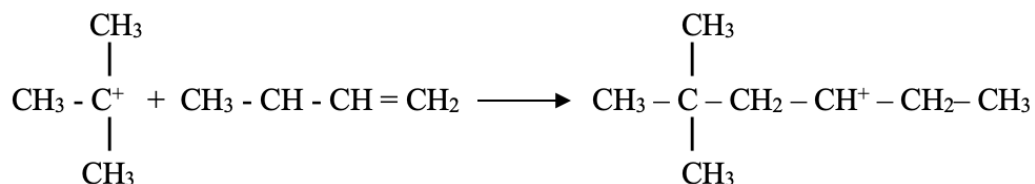
Вторая стадия - образовавшийся трет-бутилкарбкатион в присутствии катализатора теряет протон и образует в ходе электрофильного замещения соответствующий катион C_{8+} :



За счет переноса протона к изоалкану образуются триметилпентаны и трет-бутилкатион, который продолжает химическое взаимодействие с изобутеном. Изобутен взаимодействует с новым трет-бутилкарбкатионом с образованием изооктил-иона (2,2,4 – ТМП⁺):

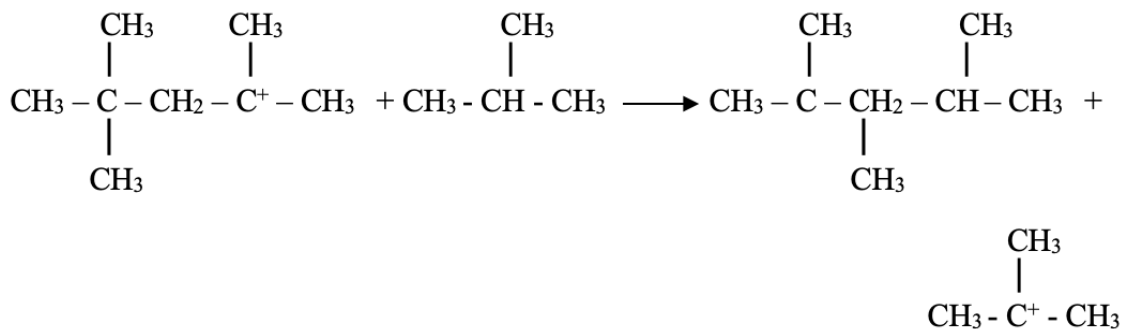


Реакция присоединения трет-бутильного карбокатиона к линейному олефину с образованием соответствующего изооктила (2,2 – ДМГ⁺ и 2,2,3 – ТМП⁺):



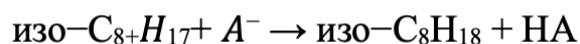
Третья стадия – передача иона от изобутана к изооктилу.

Изооктил-ион вступает в реакцию с молекулой изобутана с образованием 2,2,4-триметилпентана (изооктана) и трет-бутилкарбокатиона, который продолжает химическую реакцию взаимодействуя с изобутиеном:



Также возможны реакции образования 2,3,3-, 2,3,4-триметилпентанов.

Представленные выше реакции представляют собой звено цепи, повторение которого приводит к цепному процессу. Обрыв цепи (4 стадия процесса) происходит при передаче протона от карбокатиона к аниону кислоты:



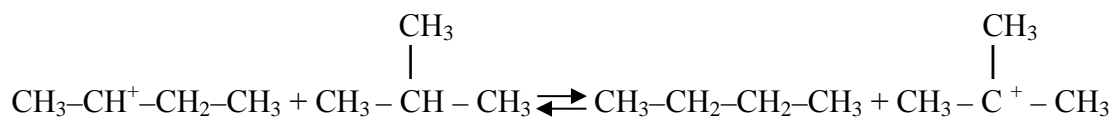
Стоит отметить, что при использовании различных катализаторов процесса алкилирования, образуются разные продукты, так как катализаторы имеют различную способность к изомеризации. Так, H_2SO_4 и цеолиты образуют схожие продукты, в то время как HF и AlCl_3 образуют продукты с меньшим содержанием ТМП [37, 38].

Помимо основных реакций, протекают и побочные реакции, продукты которых, отличаясь от алкилбензина, снижают качество получаемого целевого продукта и/или приводят к потере активности и увеличению расхода катализатора.

Побочная реакция процесса алкилирования в виде алкилирования пропиленов и кетонов является нежелательной, так как пропилены и кетоны, вступая в реакцию с изобутаном, образуют продукты с низким октановым числом, тем самым увеличивая расход изобутановой фракции.

Реакции автоалкилирования, осуществляемые с н-переносом от изобутана ко вторичному бутилу, образованному на первой стадии, протекают при большом избытке изобутана и малой концентрации бутиленов и являются нежелательными, поскольку вызывают повышенный расход изопарафина и образование малоценного н-бутана.

При избытке парафина изо-строения трет-бутилкарбокатион образуется при реакции взаимодействия карбений-иона с изобутаном, также продуктом реакции является стабильный линейный парафин:



Автоалилирование чаще всего наблюдается в отдельных участках реакторного пространства при резком недостатке олефинов.

Также нежелательной реакцией является полимеризация олефинов, происходящая при недостаточном количестве циркулирующего изобутана в

реакционной зоне и приводящая к образованию тяжелых углеводородов, которые снижают качество алкилата. Реакция представляет собой результат присоединения олефина к изооктил-иону, образованному на второй стадии. Ион C_{12}^+ может продолжить присоединять молекулы олефина, формируя катионы C_{12}^+ , C_{16}^+ , C_{20}^+ и т.д. Данные катионы могут вступать в реакцию с изобутаном с образованием алкилсульфатов большой молекулярной массы, увеличивая расход серной кислоты.

Для подавления реакции полимеризации олефиновое сырье разбавляют потоком циркулирующего изобутана, избыток которого к тому же предотвращает побочную реакцию dealкилирования.

Реакция примесей, находящиеся в сырье, приводят к образованию растворимых в кислоте масел, приводящих к загрязнению и увеличению расхода H_2SO_4 . Вредными примесями для реакции алкилирования являются бутадиены, кислородные соединения (метанол, спирты, эфиры, МТБЭ), меркаптаны (серные соединения), вода.

2.2 Сырье процесса алкилирования

Сырье процесса представлено тремя фракциями: ППФ, ББФ и ПАФ с установки каталитического крекинга, а также изобутан с установки газофракционирования. Наибольшее распространение получило использование изобутана с ББФ, которая содержит порядка 50 % олефинов, а именно самих бутиленов.

Бутан-бутиленовая фракция с установки каталитического крекинга представляет собой смесь углеводородов C_3 , бутиленов, углеводородов C_5 , а также дивинила и примесей. Фракция изобутановая с установки ГФУ состоит из суммы углеводородов фракции C_3 , изобутана и примесей.

Характеристика бутан-бутиленовой и изобутановой фракции представлена в таблице 2.1.

Более точный покомпонентный состав приведен в приложения А.

Таблица 2.1 – Характеристика бутан-бутиленовой и изобутановой фракции

Наименование сырья	Показатели качества, подлежащие проверке	Норма по нормативному документу СТО 7.401226 99 с изм. 1, 2, 3, 4		Область применения
		ББФ С-300	ББФ С-100	
Фракции бутан-бутиленовые с установки КТ-1/1	1. Массовая доля компонентов, %:	ББФ С-300	ББФ С-100	Используется в качестве сырья установки сернокислотного алкилирования 25/12, компонента товарных бензинов в составе потока каталитического крекинга, а также компонента газов углеводородных сжиженных для коммунально-бытового потребления
	а) сумма углеводородов C ₃ , не более	3,0		
	б) сумма бутиленов, не менее	35,0	30,0	
	в) сумма углеводородов C ₅ , не более	1,8		
	г) дивинила, не более	0,5	-	
	2. Массовая доля сероводорода и меркаптановой серы, %, не более	0,015	0,02	
Фракция изобутановая установки ГФУ 2	1. Массовая доля компонентов, %:	2,5		Используется в качестве компонента сырья установки сернокислотного алкилирования 25/12 и при приготовлении газа углеводородного сжиженного бытового
	а) сумма углеводородов фракции C ₃ , не более			
	б) изобутан, не менее	93,0		
	2. Массовая доля сероводорода и меркаптановой серы, %, не более	0,003		

2.3 Технические условия процесса сернокислотного алкилирования изобутана олефинам

Существует несколько важных параметров реакции, которые могут повлиять на качество продукта. Далее будут рассмотрены основные параметры, оказывающие влияние на процесс сернокислотного алкилирования.

2.3.1 Кратность олефинового сырья и изобутановой фракции

Для протекания основных реакции, которые способствуют получению целевого продукта, существует необходимость поддержания высокой концентрации изобутана в зоне реакции, чтобы стимулировать желаемые реакции алкилирования и ингибировать нежелательные реакции, такие как полимеризация и самоалкилирование.

Кратность изобутана - олефины обычно составляет от 7:1 до 12:1. Однако при высоких соотношениях изобутан:олефин необходимо отделять и возвращать в реакционную секцию больше изобутана, что приводит к увеличению затрат на разделение. Низкое отношение ведет к увеличению вероятности реакций полимеризации, а также к низкому октановому числу и образованию большего количества высокомолекулярных веществ.

2.2.2 Объемная скорость реакции

Объемная скорость олефинов представляет собой объем олефинов, загружаемых в час, деленный на средний объем серной кислоты в реакторе. При оптимальных значениях других параметров значения объемной скорости олефинов чаще всего находятся в пределах от $0,25 \div 0,50 \text{ ч}^{-1}$.

2.3.3 Температура в зоне реакции

Термодинамически предпочтительны низкие температуры: $4 \div 13 \text{ }^\circ\text{C}$. При более высоких температурах полимеризация скорости реакций становятся значительными, а расход кислоты увеличивается. При более низких температурах вязкость серной кислоты увеличивается, что существенно влияет на затраты на охлаждение и препятствует образованию эмульсии необходимого качества с высокой поверхностью раздела фаз.

2.3.4 Давление в реакционном контуре

Давление поддерживается на уровне, способном обеспечить поддержание компонентов реакции в жидкой фазе. Так в реакторах с внутренней системой охлаждения поддерживают давление $0,35 \div 0,42$ МПа.

2.3.5 Концентрация серной кислоты

В установках алкилирования H_2SO_4 концентрацию кислоты следует поддерживать на уровне 90-98 % путем добавления свежей кислоты концентрацией 98-100 %. Для поддержания необходимой концентрации кислоты в первый контактор непрерывно подается небольшое количество свежей кислоты, а из последнего сепаратора отводится соответствующее количество отработанной кислоты. При увеличении или снижении концентрации интенсифицируются реакции сульфирования и полимеризации олефинов соответственно.

Существует необходимость поддержания концентрации серной кислоты на постоянном уровне, так как изменение активности катализатора при алкилировании является основной причиной нестабильности процесса. Образующиеся в процессе высокомолекулярные соединения связывают молекулы катализатора в каталитический неактивный комплекс (один моль высокомолекулярных соединений дезактивирует два моля катализатора).

Дезактивация серной кислоты за счет ее разбавления высокомолекулярными соединениями и водой приводит к снижению концентрации протонов в системе, что, в свою очередь, приводит к уменьшению концентрации карбокатионов, являющихся промежуточными соединениями в образовании целевых изооктанов.

2.3.6 Насыщенность смеси в реакторе

Существует необходимость образования однородной эмульсии серной кислоты и углеводородов для нормального протекания реакции сернокислотного алкилирования, что достигается при помощи перемешивающих устройств.

Серная кислота является дисперсной средой, изобутан – дисперсной фазой, которая слабо растворима в кислоте и представлена в виде очень маленьких распыленных капелек. Объемное соотношение серная кислота: углеводороды принимается равным (1,0-1,5):1.

Сводим основные параметры, оказывающие влияние на процесс сернокислотного алкилирования, в таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Технологические параметры сернокислотного алкилирования изобутана олефинами

Температура, °С	4 ÷ 13
Давление, Мпа	0,6 ÷ 1,0
Объемная скорость подачи олефинов, ч ⁻¹	0,3 ÷ 0,5
Концентрация серной кислоты, %	90 ÷ 98
Кратность изобутан:олефины	(7 ÷ 12):1
Объемное соотношение серная кислота: углеводороды	(1 ÷ 1,5):1

2.3.7 Примеси в сырье

Обычно ББФ, используемая в качестве сырья алкилирования, содержит несколько примесей, таких как парафиновые углеводороды (пропан, н-бутан, н-пентан), диены, меркаптаны и т. д., которые ухудшают каталитические свойства кислоты и отрицательно влияют на ее расход, а также действуют как разбавитель, снижая эффективную концентрацию изобутена.

Известно, что при наличии в сырье меркаптанов и сероводорода увеличивается расход серной кислоты. Чем выше концентрация воды и органических веществ в свежей кислоте, тем ниже концентрация отработанной кислоты на выходе из реактора.

2.4 Принципиальная схема процесса

На рисунке 2.1 показана принципиальная схема установки сернокислотного алкилирования.

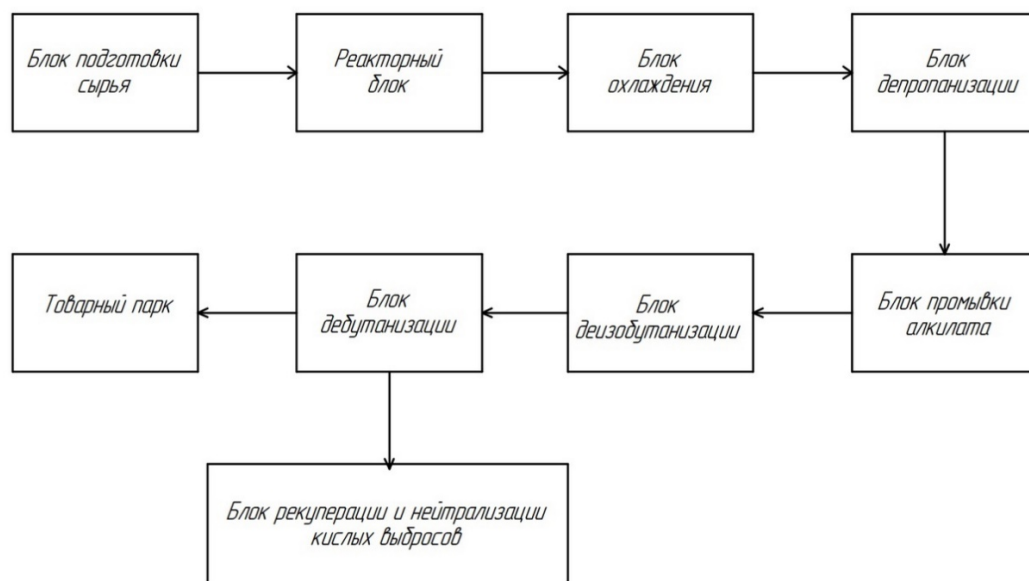


Рисунок 2.1 - Принципиальная схема установки сернокислотного алкилирования

В первом блоке принципиальной схемы установки сернокислотного алкилирования происходит тщательная очистка от сернистых соединений и обезвоживание.

В реакторном блоке проводятся основные реакции с получением продукта.

Блок охлаждения используется для получения циркулирующего хладагента (смесь пропана и изобутана).

В колонне-депропанизаторе происходит разделение испарившихся в реакторе пропана и циркулирующего хладагента.

Блок промывки необходим для удаления из целевого продукта кислых и нейтральных сложных эфиров.

Продукты реакции алкилирования после щелочной промывки и промывки водой, а также нижний продукт с колонны-депропанизатора (изобутан) попадают в колонну-деизобутанизатор. Блок деизобутанизации

используется для извлечения избытка циркулирующего изобутана из сырого алкилата.

В блоке дебутанизации идет получение индивидуальных фракций бутана и целевого продукта, основанное на различии тепло-физических свойств углеводородов.

2.5 Описание работы реакторного блока

При нормальной работе установке углеводородное сырье распределяется параллельно между двумя реакционными контурами. Перед входом в контакторы сырье смешивается с хладагентом. Температура смешанного сырья с хладагентом перед входом в каждый контактор составляет в интервале $-6 \div 15$ °С

Основная реакция сернокислотного алкилирования протекает в контакторах, где создается эмульсия серной кислоты и углеводородов при помощи перемешивающих устройств.

В процессе алкилирования уменьшается концентрации серной кислоты, в связи с чем производится постоянная подпитка системы свежей серной кислотой. Серная кислота циркулирует последовательно из одного контура в другой. Контроль потребления свежей кислоты ведется с целью обеспечения оптимального ведения технологического процесса. Вывод из процесса кислоты с концентрацией 90 % является наиболее рациональным.

В сепараторах, куда эмульсия углеводородов и кислоты направляются после реакции, имеется вертикальная перегородка, которая создает зону гашения напора реакционной смеси, благоприятную для отстаивания кислоты, направляемую далее из сепаратора в реакционный контур № 2 и в кислотный отстойник блока рекуперации постоянного дренажа отработанной кислоты. С верха отстойника отстоявшаяся углеводородная фаза возвращается в сепараторы.

Углеводородная фаза, состоящая из образованного в процессе алкилата и непрореагировавшего изобутана направляется из верхней части сепаратора в трубные пучки контакторов для снятия тепла, выделившегося в процессе реакции.

Сырой алкилат проходя через регулирующие клапаны дросселируется и за счет этого, происходит испарение изобутана, что вызывает понижение температуры сырого алкилата.

Давление продукта в реакционном контуре составляет примерно $3,5 \div 4,7$ кгс/см² ($0,34 \div 0,46$ МПа). Поддержание повышенного давления продукта в сепараторе обеспечивает движение кислоты из одного реакционного контура в другой реакционный контур.

Оптимальная температура реакции алкилирования составляет $6 \div 7$ °С и не должна быть ниже 4 °С и выше 13 °С, чтобы не допустить преобладание протекания побочных реакций.

ГЛАВА 4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Разработка НИ производится группой работников, состоящей из двух человек – руководителя и студента.

Данная выпускная квалификационная работа заключается в исследовании методов повышения эффективности промышленного процесса серноокислотного алкилирования изобутана олефинами с применением математической модели и исследование с помощью нее процесса дезактивации катализатора.

Целью раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» является определение перспективности и успешности НИ, оценка его эффективности, уровня возможных рисков, разработка механизма управления и сопровождения конкретных проектных решений на этапе реализации.

Для достижения обозначенной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Оценить коммерческий потенциал и перспективность разработки НИ;
2. Осуществить планирование этапов выполнения исследования;
3. Рассчитать бюджет затрат на исследования;
4. Произвести оценку научно-технического уровня исследования и оценку рисков.

4.1 Потенциальные потребители результатов исследования

В качестве потенциальных потребителей математической модели процесса серноокислотного алкилирования выступают промышленные предприятия нефтеперерабатывающей отрасли, а также компании, занимающиеся продажей программного продукта.

4.2 Анализ конкурентных технических решений

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку сравнительной эффективности научной разработки и определить направления для ее будущего повышения.

Целесообразно проводить данный анализ с помощью оценочной карты. Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений представлена в таблице 4.1. Критерии оценки подбираются, исходя из выбранных объектов сравнения с учетом их технических и экономических особенностей разработки, создания и эксплуатации.

Таблица 4.1 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

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 эффективности производства	0,20	5	5	5	1	1	1
2. Подбор оптимального режима процесса	0,20	4	4	5	0,8	0,8	1
3. Удобный интерфейс	0,05	5	4	4	0,25	0,2	0,2
4. Простота использования	0,05	5	4	3	0,25	0,2	0,15
5. Адекватность результатов	0,15	3	3	3	0,45	0,45	0,45
Экономические критерии оценки эффективности							
6. Цена	0,20	5	3	3	1	0,6	0,6
7. Конкурентоспособность	0,15	3	5	4	0,45	0,75	0,45
Итого	1	30	29	27	4,2	4,0	3,85

где Б_Ф–фактическая модель; Б_{К1}– программное обеспечение конкурента 1; Б_{К2}– программное обеспечение конкурента 2.

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum B_i \times B_i \quad (4.1)$$

где K – конкурентоспособность вида; B_i – вес критерия (в долях единицы); B_i – балл i -го показателя.

По данным оценочной карты можно сделать вывод о достаточной конкурентоспособности на российском рынке разрабатываемого компьютерного модуля. Положительной стороной продукта является чувствительность модели к составу перерабатываемого сырья, что позволяет ей адаптироваться к изменению условий процесса, а также цена на программный продукт ниже, чем на продукты конкурентов. Недостаток разработанной модели – ограниченная функциональность.

4.3 SWOT-анализ

Произведем также в данном разделе SWOT – анализ НИ, позволяющий оценить факторы и явления, способствующие или препятствующие продвижению проекта на рынок.

Сильные стороны — это факторы, которые положительно сказываются на развитии проекта. Сюда обычно включают все, что превращает функционирование в успешную и конкурентную работу.

Слабые стороны– это недостаток, упущение или ограниченность научно-исследовательского проекта, которые препятствуют достижению его целей. Это то, что плохо получается в рамках проекта или где он располагает недостаточными возможностями или ресурсами по сравнению с конкурентами.

Возможности включают в себя любую предпочтительную ситуацию в настоящем или будущем, возникающую в условиях окружающей среды проекта: тенденцию, изменение или предполагаемую потребность, которая поддерживает спрос на результаты проекта и позволяет руководству проекта улучшить свою конкурентную позицию.

Угроза представляет собой любую нежелательную ситуацию, тенденцию или изменение в условиях окружающей среды проекта, которые имеют разрушительный или угрожающий характер для его конкурентоспособности в настоящем или будущем. В качестве угрозы может выступать барьер, ограничение или что-либо еще, что может повлечь за собой проблемы, разрушения, вред или ущерб, наносимый проекту.

На первом этапе SWOT анализа в таблице 4.2 были описаны сильные и слабые стороны проекта, выявлены возможности и угрозы реализации НИ.

Таблица 4.2 – Матрица SWOT анализа

Сильные стороны	Возможности во внешней среде
<p>С1. Чувствительность к изменению состава сырья.</p> <p>С2. Наличие бюджетного финансирования.</p> <p>С3. Возможность проведения необходимых исследований без участия промышленной установки.</p> <p>С4. Достаточно высокая точность модели.</p>	<p>В1. Появление дополнительного спроса на новый продукт.</p> <p>В2. Внедрение данной разработки на предприятии для оптимизации уже существующих процессов.</p> <p>В3. Тенденция к цифровизации производства.</p>
Слабые стороны	Угрозы внешней среды
<p>Сл1. Ограниченность экспериментальных данных с промышленной установки.</p> <p>Сл2. Плохо изучена кинетика процесса.</p> <p>Сл3. Отсутствие исчерпывающих данных для проверки адекватности модели.</p> <p>Сл4. Риски повышения износа оборудования.</p>	<p>У1. Отсутствие спроса на новые технологии производства.</p> <p>У2. Внедрение других моделей на предприятия отечественных НПЗ.</p> <p>У3. Создание более дешевой модели.</p> <p>У4. Снижение спроса на продукцию установки алкилирования.</p>

После того как сформулированы четыре области SWOT, переходят к реализации второго этапа, который состоит в выявлении соответствия сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды. Это соответствие или несоответствие должны

помочь выявить степень необходимости проведения стратегических изменений, интерактивная матрица проекта представлена в Таблице 4.3.

Таблица 4.3 - Интерактивная матрица проекта

	Сильные стороны				Слабые стороны				
		C1	C2	C3	C4	Сл1	Сл2	Сл3	Сл4
Возможности проекта	B1	+	0	+	+	+	+	+	+
	B2	+	-	+	+	+	0	+	+
	B3	0	+	+	0	0	-	0	0

	Сильные стороны				Слабые стороны				
		C1	C2	C3	C4	Сл1	Сл2	Сл3	Сл4
Угрозы проекта	У1	-	0	+	0	+	0	+	+
	У2	+	0	+	+	+	+	+	-
	У3	-	+	0	0	0	-	0	-
	У4	0	0	-	0	0	+	0	0

Анализ интерактивных таблиц представляется в форме записи сильно коррелирующих сильных сторон и возможностей или слабых сторон и возможностей:

- B1B2C1C4; B1B2B3C3; B3C2;
- B1B2Сл1Сл3Сл4; B1Сл2;
- У1У2С3; У2С1С4; У3С2;
- У1У2Сл1Сл3; У1Сл4; У2У4Сл2.

Самой большой угрозой для проекта является отсутствие спроса на новые технологии производства, а также внедрение других моделей на предприятия отечественных.

Что касается слабых сторон, то для данных работы с программой, необходимо заключение договоренностей с предприятиями о поставке данных для проверки модели.

В рамках третьего этапа составляется итоговая матрица SWOT-анализа, представленная в приложении В.

4.4 Планирование работ по научно-техническому исследованию

4.4.1 Структура работ в рамках научного исследования

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

- определение структуры работ в рамках научного исследования;
- определение участников каждой работы;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения научных исследований.

Для выполнения научных исследований формируется рабочая группа, в состав которой могут входить научные сотрудники и преподаватели, инженеры, техники и лаборанты, численность групп может варьироваться. По каждому виду запланированных работ устанавливается соответствующая должность исполнителей.

Перечень этапов и работ, распределение исполнителей по данным видам работ приведен в таблице 4.4.

Таблица 4.4 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель
Выбор направления исследований	2	Выбор направления исследований	Бакалавр
	3	Подбор и изучение материалов по теме	Бакалавр
	4	Календарное планирование работ	Руководитель Бакалавр
Теоретические и экспериментальные исследования	5	Проведение теоретических расчетов и обоснований	Руководитель Бакалавр
	6	Обработка экспериментальных данных	Бакалавр

Продолжение таблицы 4.4

Обобщение и оценка результатов	7	Оценка эффективности полученных результатов (оценка адекватности модели)	Бакалавр
Оформление отчета по НИР	8	Составление пояснительной записки	Бакалавр

4.4.2 Определение трудоемкости выполнения работ

Трудовые затраты в большинстве случаев образуют основную часть стоимости разработки, поэтому важным моментом является определение трудоемкости работ каждого из участников научного исследования.

Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, который зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости $t_{ожі}$ используется следующая формула:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5}, \quad (4.2)$$

где $t_{ожі}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы чел.-дн.; $t_{\min i}$ – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы, чел.-дн.; $t_{\max i}$ – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы, чел.-дн.;

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях T_p , учитывающая параллельность выполнения работ по нескольким исполнителями.

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i}, \quad (4.3)$$

где T_{pi} – продолжительность одной работы, раб.дн.; $t_{ожі}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.; $Ч_i$ – численность

исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

4.4.3 Разработка графика проведения научного исследования

Наиболее удобным и наглядным представлением проведения научных работ является построение ленточного графика в форме диаграммы Ганта.

Диаграмма Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

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

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}}, \quad (4.4)$$

где T_{ki} – продолжительность выполнения i -й работы в календарных днях; T_{pi} – продолжительность выполнения i -й работы в рабочих днях; $k_{\text{кал}}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - (T_{\text{вых}} + T_{\text{пр}})}, \quad (4.5)$$

где $T_{\text{кал}}$ – количество календарных дней в году; $T_{\text{вых}}$ – количество выходных дней в году; $T_{\text{пр}}$ – количество праздничных дней в году.

Расчет коэффициента календарности:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - (T_{\text{вых}} + T_{\text{пр}})} = \frac{365}{365 - 118} = 1,48$$

Таблица с временными показателями проведения научного исследования представлена в приложении Г.

Составлен план научного исследования, в котором разработан календарный план выполнения работ. Для построения таблицы временных показателей проведения НИ был рассчитан коэффициент календарности. С помощью показателей в таблице 4.6 был разработан календарный план-график проведения НИ по теме. Для иллюстрации календарного плана была использована диаграмма Ганта, указывающая на целесообразность проведения данного исследования.

 – научный руководитель


 – студент

Таблица 4.6 Календарный план-график проведения научного исследования

№ ра бот	Вид работ	Исполни тели	Т _{кп} , кал. дн.	Продолжительность выполнения работ													
				январь			февраль			март			апрель			май	
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2
1	Выбор темы ВКР	Ст, НР	1	■													
2	Составление и утверждение плана работ	НР	2		■												
3	Подбор и изучение материалов по теме	Ст	3			■	■										
4	Выбор направления исследования	Ст, НР	1				■										
5	Календарное планирование работ	Ст, НР	1				■										
6	Литературный обзор	Ст	33				■	■	■								
7	Работа с моделью технологического процесса	Ст	38							■	■	■	■				
8	Анализ экспериментальных данных	Ст	16											■	■	■	
9	Обсуждение результатов и оценка эффективности проведенных исследований	Ст, НР	6													■	■
10	Написание раздела «Финансовый менеджмент»	Ст	7													■	■
11	Написание раздела «Социальная ответственность»	Ст	3													■	■
12	Оформление ВКР	Ст	17														

4.5 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

1. Материальные затраты.
2. Затраты на специальное оборудование.
3. Основная и дополнительная ЗП.
4. Социальные отчисления.
5. Прямые затраты.
6. Накладные расходы.

4.5.1 Расчет материальных затрат НТИ

При планировании бюджета научно-техническое исследование должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением.

Расчет материальных затрат осуществляется по формуле:

$$Z_M = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{\text{расх}i}, \quad (4.6)$$

где m – количество видов материальных ресурсов, потребляемых при выполнении научного исследования; $N_{\text{расх}i}$ – количество материальных ресурсов i -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования (шт., кг, м, м² и т.д.); C_i – цена приобретения единицы i -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./м, руб./м² и т.д.); k_T – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

Таблица 4.7 – Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество			Цена за ед., руб.	Затраты на материалы, (Z _M), руб.		
		Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3		Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3
Электрoэнергия	кВт*ч	400	420	418	4,3	1 720	1 806	1 797
Итого, руб.						1 720	1 806	1 797

4.5.2 Расчет затрат на специальное оборудование для научных работ

В данную статью включают все затраты, связанные с приобретением специального оборудования (приборов, контрольно-измерительной аппаратуры, стенов, устройств и механизмов), необходимого для проведения работ по конкретной теме. Определение стоимости спецоборудования производится по действующим прейскурантам, а в ряде случаев по договорной цене. При приобретении спецоборудования необходимо учесть затраты по его доставке и монтажу в размере 15% от его цены. Расчет затрат по данной статье представлен в таблице 4.8.

Таблица 4.8 – Расчет бюджета затрат на приобретение спецоборудования для научных работ

Наименование	Единица измерения	Количество			Цена за ед., тыс. руб.	Затраты на материалы, (З _м), тыс. руб.		
		Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3		Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3
Программное обеспечение MicrosoftOffice	шт.	1	1	1	6	6	6	6
Borland Delphi 10	шт.	1	1	1	15	15	15	15
Персональный компьютер для работ в моделирующей программе	шт.	1	1	1	60	60	60	60
Итого:						81	81	81

4.5.3 Основная заработная плата исполнителя темы

В настоящую статью включается основная заработная плата научных и инженерно-технических работников, рабочих макетных мастерских и опытных производств, непосредственно участвующих в выполнении работ по данной теме. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и

тарифных ставок. В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы в размере 20-30 % от тарифа или оклада. Расчет основной заработной платы приводится в таблице 4.9.

Таблица 4.9 – Расчет основной заработной платы

№ п/п	Наименование этапов	Исполнители по категориям	Трудоемкость, чел.-дн.			Заработная плата, приходящаяся на один чел.-дн.			Всего заработная плата по тарифу (окладам), тыс. руб.		
			Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1.	Выбор темы ВКР	Ст, НР	1	1	1	5,1			5,1	5,1	5,1
2.	Составление и утверждение плана работ	НР	1	1	1	3,1			3,1	3,1	3,1
3.	Подбор и изучение материалов по теме	Ст	2	2	4	2			4	4	8
4.	Выбор направления исследования	Ст, НР	1	1	1	5,1			5,1	5,1	5,1
5.	Календарное планирование работ	Ст, НР	2	2	2	5,1			5,1	5,1	5,1
6.	Литературный обзор	Ст	22	23	24	2			44	46	48
7.	Работа с моделью технологического процесса	Ст	26	28	30	2			51,2	55,2	59,2
8.	Анализ экспериментальных данных	Ст	11	12	13	2			22	24	26
9.	Обсуждение результатов и оценка эффективности проведенных исследований	Ст, НР	4	4	5	5,1			20,4	20,4	25,5
10.	Написание раздела «Финансовый менеджмент»	Ст	5	5	5	2			10	10	10
11	Написание раздела «Социальная ответственность»	Ст	2	2	2	2			4	4	4
12	Оформление ВКР	Ст	12	13	13	2			24	26	26
Итого									198	208	225,1

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

$$Z_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп} \quad (4.7)$$

где $Z_{осн}$ – основная заработная плата; $Z_{доп}$ – дополнительная заработная плата (12–20 % от $Z_{осн}$).

Основная заработная плата руководителя рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p \quad (4.8)$$

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d} \quad (4.9)$$

где Z_m – 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_d – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн.

Таблица 4.10 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Студент
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней - выходные дни - праздничные дни	118	118
Потери рабочего времени - отпуск - невыходы по болезни	48 0	72 0
Действительный годовой фонд рабочего времени	199	175

Месячный должностной оклад работника (руководителя):

$$Z_m = Z_{тс} \cdot (1 + k_{пр} + k_d) \cdot k_p \quad (4.10)$$

где $Z_{тс}$ – заработная плата по тарифной ставке, руб.; $k_{пр}$ – премиальный коэффициент, равный 0,3 (т.е. 30 процентов от $Z_{тс}$); k_d – коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,2 – 0,5; k_p – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Тарифная заработная плата $Z_{тс}$ находится из произведения тарифной ставки работника 1-го разряда $T_{с1} = 600$ руб. на тарифный коэффициент k_T и учитывается по единой для бюджетной организации тарифной сетке.

Тарифный коэффициент для НР = 1,866; для С = 1,407.

Расчет основной заработной платы представлен в таблице 4.11.

Таблица 4.11 – Расчет основной заработной платы

Исполнители	Разряд	k_T	$Z_{тс}$, руб.	$k_{пр}$	k_d	k_p	Z_m , руб.	$Z_{дн}$, руб.	T_p , раб. дн.	$Z_{осн}$, руб.
Научный руководитель	Профессор	1,866	34000	0,3	0,4	1,3	75140	3927	15	58905
Студент	Инженер	1,407	2000	0,3	0,2	1,3	4420	230	128	29440
Итого										88345

4.5.4 Расчет дополнительной заработной платы

Дополнительная заработная плата учитывает величину предусмотренных Трудовым кодексом РФ доплат за отклонение от нормальных условий труда, а также выплат, связанных с обеспечением гарантий и компенсаций (при исполнении государственных и общественных обязанностей, при совмещении работы с обучением, при предоставлении ежегодного оплачиваемого отпуска и т.д.).

Расчет дополнительной заработной платы рассчитывается по формуле:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн}, \quad (4.11)$$

где $k_{доп}$ – коэффициент дополнительной заработной платы, принятый на стадии проектирования за 0,15.

4.5.5 Отчисления во внебюджетные фонды

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

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из формулы:

$$З_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}) \quad (4.12)$$

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

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

Отчисления во внебюджетные фонды представлены в таблице 4.12.

Таблица 4.12 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.			Дополнительная заработная плата, руб.		
	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
Руководитель проекта	58 905	60 000	63 750	8835,75	9000	9562,5
Студент	29 440	30 720	32 256	4416	4608	4838,4
$k_{\text{внеб}}$	0,30					
Итого						
Исполнение 1	30682,2					
Исполнение 2	31507,1					
Исполнение 3	33342,9					

4.5.6 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов. Их величина определяется по формуле:

$$З_{\text{накл}} = (\sum \text{статей}) \cdot k_{\text{нр}} \quad (4.13)$$

где $k_{\text{нр}}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы.

Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 16%.

Накладные расходы для исполнения 1 составили:

$$Z_{\text{накл}} = (1720 + 81000 + 88345 + 13251,75 + 30682,2) \cdot 0,16 \\ = 34399,8 \text{ руб.}$$

Накладные расходы для исполнения 2 составили:

$$Z_{\text{накл}} = (1806 + 81000 + 90720 + 13608 + 31507,1) \cdot 0,16 = 34982,6 \text{ руб.}$$

Накладные расходы для исполнения 3 составили:

$$Z_{\text{накл}} = (1797 + 81000 + 96006 + 14400,9 + 33342,9) \cdot 0,16 = 36247,4 \text{ руб.}$$

4.5.7 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы является основой для формирования бюджета затрат проекта. Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект приведено в таблице 4.13.

Таблица 4.13 – Расчет бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб.			Примечание
	Исп.1	Исп.2	Исп.3	
1. Материальные затраты НТИ	1 720	1 806	1 797	Пункт 4.5.1
2. Затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	81000	81000	81000	Пункт 4.5.2
3. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	88345	90720	96006	Пункт 4.5.3
4. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	13251,75	13608	14400,9	Пункт 4.5.4
5. Отчисления во внебюджетные фонды	30682,2	31507,1	33342,9	Пункт 4.5.5
6. Затраты на научные и производственные командировки	-	-	-	Отсутствуют

7. Контрагентские расходы	-	-	-	Отсутствуют
---------------------------	---	---	---	-------------

Продолжение таблицы 4.13

Наименование статьи	Сумма, руб.			Примечание
	Исп.1	Исп.2	Исп.3	
8. Накладные расходы	34399,8	34982,6	36247,4	Пункт 4.5.6
9. Бюджет затрат НИИ	249398,75	253623,7	262794,2	

4.6 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

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

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования определяется как:

$$I_{\text{фин.р}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}} \quad (4.14)$$

где $I_{\text{фин.р}}^{\text{исп.}i}$ – интегральный финансовый показатель разработки; Φ_{pi} – стоимость i -го варианта исполнения;

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

$$I_{\text{фин.р}}^{\text{исп1}} = \frac{249398,75}{262794,2} = 0,93;$$

$$I_{\text{фин.р}}^{\text{исп2}} = \frac{253623,7}{262794,2} = 0,95;$$

$$I_{\text{фин.р}}^{\text{исп3}} = \frac{262794,2}{262794,2} = 1$$

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

$$I_{pi} = \sum_{i=1}^n a_i \times b_i \quad (4.15)$$

где I_{ri} – интегральный показатель ресурсоэффективности для i -го варианта исполнения разработки; a_i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки; b_i^a, b_i^p – бальная оценка i -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания; n – число параметров сравнения.

Таблица 4.14 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Объект исследования / Критерии	Весовой коэффициент параметра	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1. Способствует росту производительности труда пользователя	0,1	5	3	4
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,2	5	4	3
3. Помехоустойчивость	0,15	3	4	3
4. Энергосбережение	0,15	5	3	4
5. Надежность	0,2	5	4	4
6. Материалоемкость	0,2	5	3	3
Итого	1	4,7	3,55	3,45

$$I_{p-исп1} = 0,1 \cdot 5 + 0,2 \cdot 5 + 0,15 \cdot 3 + 0,15 \cdot 5 + 0,2 \cdot 5 + 0,2 \cdot 5 = 4,7;$$

$$I_{p-исп2} = 0,1 \cdot 3 + 0,2 \cdot 4 + 0,15 \cdot 4 + 0,15 \cdot 3 + 0,2 \cdot 4 + 0,2 \cdot 3 = 3,55;$$

$$I_{p-исп3} = 0,1 \cdot 4 + 0,2 \cdot 3 + 0,15 \cdot 3 + 0,15 \cdot 4 + 0,2 \cdot 4 + 0,2 \cdot 3 = 3,45.$$

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки ($I_{испi}$) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{исп1} = \frac{I_{p-исп1}}{I_{фин.р}} = \frac{4,7}{0,93} = 5,05$$

$$I_{исп2} = \frac{I_{p-исп2}}{I_{фин.р}} = \frac{3,55}{0,95} = 3,73;$$

$$I_{\text{исп3}} = \frac{I_{\text{р-исп3}}}{I_{\text{фин.р}}^{\text{исп3}}} = \frac{3,45}{1} = 3,45.$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных.

Сравнительная эффективность проекта ($\mathcal{E}_{\text{ср}}$):

$$\mathcal{E}_{\text{ср}} = \frac{I_{\text{исп2}}}{I_{\text{исп1}}} \quad (4.16)$$

Таблица 4.15 – Сравнительная эффективность разработки

№	Показатели	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,93	0,95	1
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,7	3,55	3,45
3	Интегральный показатель эффективности	5,05	3,73	3,45
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1	0,73	0,68

Сравнив значения интегральных показателей эффективности можно сделать вывод, что реализация технологии в первом исполнении является более эффективным вариантом решения задачи, поставленной в данной работе с позиции финансовой и ресурсной эффективности.

ГЛАВА 5 Социальная ответственность

Работа направлена на повышение эффективности промышленного процесса сернокислотного алкилирования изобутана олефинами с применением математической модели и исследование с помощью нее процесса дезактивации катализатора. Данная разработка может найти применение в нефтеперерабатывающей промышленности для создания новых и интенсификации действующих нефтехимических процессов получения высокооктановых компонентов.

Объектом исследования данной работы стал процесс сернокислотного алкилирования. Сырьем для установки служит бутан-бутиленовая фракция установок предприятия, содержащая около 50 % олефинов и изобутановая фракция установки газофракционирования.

Исследование проводилось на математической модели процесса сернокислотного алкилирования. Работа выполнялась в аудитории 133, аудитория расположена на первом этаже учебного корпуса 2 Томского политехнического университета. Экспериментальная часть работы осуществлялась на персональном компьютере при работе с различными программными обеспечениями. Рабочая зона представляет собой аудиторию, оборудованную системами отопления, кондиционирования воздуха. Освещение рабочего места комбинированное – сочетание естественного света из окон и искусственного.

5.1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

В данном разделе рассмотрены специальные правовые нормы трудового законодательства и их особенности, применимые к условиям математического моделирования процесса алкилирования.

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

По трудовому кодексу Российской Федерации (ТК РФ) сотрудник аудитории 133, 2 корпуса ТПУ имеет право на [42]:

- предоставление работы, согласно трудовому договору;
- рабочее место, соответствующее существующим нормам, установленных ТК РФ и коллективным договором;
- своевременную заработную плату, размер которой соответствует указанному размеру в трудовом договоре;
- возмещение вреда, нанесенного ему в ходе выполнения трудовых обязанностей;
- обеспечение всех необходимых средств и материалов для исполнения трудовых обязанностей;
- социальное страхование.

5.1.2. Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны

Рабочее место в аудитории 133, 2 корпуса ТПУ должно соответствовать требованиям нормативной документации, а именно ГОСТ 12.2.032-78 [43]. В соответствии с ГОСТ 12.2.032-78 «Система стандартов безопасности труда. Рабочее место при выполнении работ сидя» рабочий стол может быть любой конструкции, отвечающей современным требованиям эргономики и позволяющей удобно разместить на рабочей поверхности оборудование с учетом его количества, размеров и характера выполняемой работы.

В соответствии с СанПиНом 2.2.2/2.4.1340-03 «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы» [44] рабочие места с ПК по отношению к световым проемам должны располагаться так, чтобы естественный свет падал сбоку,

желательно слева. Схемы размещения рабочих мест с ПК должны учитывать расстояние между рабочими столами с мониторами: расстояние между боковыми поверхностями мониторов не менее 1,2 м, а расстояние между экраном монитора и тыльной частью другого монитора не менее 2 м.

Быстрое и точное считывание информации обеспечивается при расположении плоскости экрана ниже уровня глаз пользователя, предпочтительно перпендикулярно к нормальной линии взгляда в 15 градусов вниз от горизонтали. Клавиатура должна располагаться на поверхности стола на расстоянии 100-300 мм от края, обращенного к пользователю.

При выполнении математической модели процесса сернокислотного алкилирования было предоставлено рабочее пространство, соответствующее трудовому кодексу, СанПиНу 2.2.2/2.4.1340-03 и ГОСТу 12.2.032-78.

Стол инженера был размещен справа от прохода на расстоянии 300 мм. Высота рабочей поверхности стола соответствовала норме и приравнивалась к 700 мм. Конструкция рабочего стола обеспечивала оптимальное размещение оборудования. Экран компьютера находился на расстоянии 600 мм от глаз пользователя. Клавиатура располагалась на поверхности стола в 200 мм от края, обращенного к пользователю.

Рабочий стул обеспечивал поддержание рациональной рабочей позы при аналитической работе за компьютером. Стул располагался на расстоянии 400 мм от границы рабочего пространства.

5.2. Производственная безопасность

Производственная безопасность представляет собой систему организационных мероприятий и технических средств, уменьшающих вероятность воздействия на персонал опасных производственных факторов, вредных воздействий технологических процессов, энергии, средств, предметов, условий и режимов труда до приемлемого уровня. Необходимо

выявить вредные и опасные производственные факторы, которые могут возникать при разработке и эксплуатации данного прибора.

5.2.1. Анализ потенциально возможных и опасных факторов, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследований

Разрабатываемая математическая модель процесса сернокислотного алкилирования изобутана бутиленами подразумевает использование электронной вычислительной машины, а именно программных пакетов. С точки зрения социальной ответственности целесообразно рассмотреть вредные и опасные факторы, которые могут возникнуть при разработке математической модели процесса сернокислотного алкилирования изобутана бутиленами, а также требования по организации рабочего места.

Для выбора факторов использовался ГОСТ 12.0.003-2015 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация» [45]. Перечень опасных и вредных факторов, характерных для проектируемой производственной среды представлен в виде таблицы 5.1, приведенной ниже.

Используя данные таблицы, можно учесть опасные и вредные факторы теоретически могут возникнуть при работе с объектом исследования.

Таблица 5.1 – Опасные и вредные факторы при выполнении работ по разработке

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разра- ботка	Изготов- ление	Эксплуа- тация	
1. Отклонение показателей микроклимата	+	+	+	СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений [46]

Продолжение таблицы 5.1

2. Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека	+	+	+	ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов [47]
3. Нервно-психические перегрузки, монотонность трудового процесса		+	+	Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 №197-ФЗ (ред. от 27.12.2018) [42]
4. Недостаточная освещенность рабочей зоны	+	+	+	СНиП 23-05-95 Естественное и искусственное освещение [48]

5.2.2. Разработка мероприятий по снижению воздействия вредных и опасных факторов

При работе с математической моделью процесса сернокислотного алкилирования изобутана олефинами в аудитории 133, 2 корпуса ТПУ, основным источником потенциально вредных и опасных производственных факторов (ОВПФ) является персональный компьютер и сама аудитория.

1 Неудовлетворительный микроклимат

Для создания и автоматического поддержания в аудитории 133, 2 корпуса ТПУ независимо от наружных условий оптимальных значений температуры, влажности, чистоты и скорости движения воздуха, в холодное время года используется отопление жилых помещений, в теплое время года применяется проветривание воздуха.

Аудитория 133, 2 корпуса ТПУ является помещением I б категории. В таблице 5.2 представлены оптимальные величины показателей микроклимата для данной аудитории согласно СанПиН 2.2.4.548-96 [46].

Таблица 5.2 – Оптимальные величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений

Период года	Категория работ по уровню энергозатрат	Температура воздуха, °С	Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	Iб	21-23	20-24	40-60	0,1
Теплый	Iб	22-24	21-25	40-60	0,1

В аудитории проводится ежедневная влажная уборка и систематическое проветривание после каждого часа работы на ЭВМ.

Согласно СанПиН микроклимат аудитории 133, 2 корпуса ТПУ соответствует допустимым нормам.

2 Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека

В деятельности организации широко используется электричество для питания компьютерной техники, которая может являться источником опасности. Несоблюдение правил ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. «Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов» может привести к опасным последствиям [47]. Поражение электрическим током может произойти при прикосновении к токоведущим частям, находящимся под напряжением, на которых остался заряд или появилось напряжение.

Электрический ток оказывает на человека термическое, электролитическое, биологическое и механическое воздействие. Действие электрического тока на человека приводит к травмам или гибели людей. Для переменного тока частотой 50 Гц допустимое значение напряжения

прикосновения составляет 2 В, а силы тока – 0,3 мА, для тока частотой 400 Гц, соответственно – 2 В и 0,4 мА, для постоянного тока – 8 В и 1 мА.

Для предотвращения поражения электрическим током, где размещаются рабочее место с ЭВМ в аудитории 133, 2 корпуса ТПУ, оборудование оснащено защитным заземлением, занулением. По опасности поражения электрическим током помещение 133, 2 корпуса ТПУ относится к первому классу – помещения без повышенной опасности (сухое, хорошо отапливаемое, помещение с токонепроводящими полами, с температурой 18-20°, с влажностью 40-50%).

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 и воздействие шарового напряжения.

Основные способы и средства электрозащиты [47]: изоляция токопроводящих частей и ее непрерывный контроль; установка оградительных устройств; предупредительная сигнализация и блокировки; использование знаков безопасности и предупреждающих плакатов; использование малых напряжений; электрическое разделение сетей; защитное заземление; выравнивание потенциалов; зануление; защитное отключение; средства индивидуальной электрозащиты.

3 Нервно-психические перегрузки

Нервно-психические перегрузки – совокупность таких сдвигов в психофизиологическом состоянии организма человека, которые развиваются после совершения работы и приводят к временному снижению

эффективности труда. Состояние утомления (усталость) характеризуется определенными объективными показателями и субъективными ощущениями.

Нервно-психические перегрузки подразделяются на следующие: умственное перенапряжение; перенапряжение анализаторов; монотонность труда; эмоциональные перегрузки.

При первых симптомах психического перенапряжения необходимо: дать нервной системе расслабиться; рационально чередовать периоды отдыха и работы; начать заниматься спортом; ложиться спать в одно и то же время; в тяжелых случаях обратиться к врачу.

4 Недостаточная освещенность

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

Недостаточная освещенность рабочей зоны на рабочем месте работника развивает утомляемость, что увеличивает вероятность ошибочных действий. Искусственное освещение в помещениях для эксплуатации ПК должно осуществляться системой общего равномерного освещения. В случаях преимущественной работы с документами, следует применять системы комбинированного освещения (к общему освещению дополнительно устанавливаются светильники местного освещения, предназначенные для освещения зоны расположения документов). Окна в помещениях, где эксплуатируется вычислительная техника, преимущественно должны быть ориентированы на север и северо-восток. Нормируемые показатели естественного, искусственного и совмещенного освещения в соответствии с СанПиНом 2.2.1/2.1.1.1278-03 указаны в приложении Д.

При недостатке на рабочем месте естественного света можно выполнить следующие мероприятия [48]:

- 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.

5.3. Экологическая безопасность

В данном подразделе рассматривается характер воздействия проектируемого решения на окружающую среду. Выявляются предполагаемые источники загрязнения окружающей среды, возникающие в результате реализации предлагаемых в ВКР решений.

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

Вышедшее из строя ПЭВМ и сопутствующая оргтехника относится к IV классу опасности и подлежит специальной утилизации. Для оказания наименьшего влияния на окружающую среду, необходимо проводить специальную процедуру утилизации ПЭВМ и оргтехники, при которой более 90% отправится на вторичную переработку и менее 10% будут отправлены на свалки. При этом она должна соответствовать процедуре утилизации ГОСТ Р 53692-2009 «Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Этапы технологического цикла отходов» [49].

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

5.3.1. Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду

Воздействие установки сернокислотного алкилирования на окружающую среду начинается с момента возведения, продолжается при и после вывода из эксплуатации. На территории расположения установки и за её пределами следует предусматривать возникновение таких негативных влияний, как:

- изъятие земельного участка под строительство и обустройство санитарных зон;
- изменение рельефа местности;
- уничтожение растительности из-за строительства;
- загрязнение атмосферы при необходимости взрывных работ;
- вред популяциям местных животных;
- тепловое загрязнение, влияющее на микроклимат территории;
- изменение условий пользования землей и природными ресурсами на определенной территории;
- химическое воздействие установки – выбросы в водные бассейны, атмосферу и на поверхности почв.

5.3.2. Анализ влияния процесса исследования на окружающую среду

Основными загрязнителями атмосферы на производстве разрабатываемой модели алкилирования изобутана олефинами являются пары серной кислоты и щелочи.

Повышения экологической безопасности можно достигнуть путем снижения выбросов во время эксплуатации за счет использования улучшенных фильтрационных и очистительных сооружений.

Общие профилактические мероприятия, направленные на сокращение и уменьшение воздействия на окружающую среду: устройство и озеленение площадки; поддержание в полной технической исправности и герметичности

резервуаров и емкостей, технологического оборудования и трубопроводов; контроль сварных стыков физическими методами; гидравлическое испытание трубопроводов, резервуаров и оборудования на прочность и герметичность; контролируемый и планируемый слив воды после гидроиспытаний; высокие требования к качеству металла труб; необходимый запас надежности по толщине стенки труб.

Общие технологические мероприятия, направленные на сокращение и уменьшение воздействия на окружающую среду: покрытие оборудования и трубопроводов антикоррозионной изоляцией; защита оборудования от атмосферной коррозии; система постоянного контроля регламентированных значений технологических параметров, автоматическое регулирование и система ПАЗ при отклонении от заданных параметров для предупреждения аварийных ситуаций.

1. Основные мероприятия по охране атмосферного воздуха. С целью снижения неорганизованных выбросов вредных веществ в атмосферу через неплотности аппаратов, арматуры, фланцевых соединений, уплотнений предусмотрены следующие мероприятия:

- применение герметичных аппаратов и трубопроводов под давлением;
- применение технологического оборудования и запорно-регулирующей арматуры в соответствии с рабочими параметрами процесса и коррозионной активностью среды;
- предусмотрена система предохранительных клапанов для защиты аппаратов и трубопроводов от превышения давления;
- сбор утечек от насосов технологического оборудования предусмотрен в емкости закрытой дренажной системы опасных стоков;
- непрерывный контроль загазованности в местах максимально возможных выделений углеводородов;

- периодический контроль максимально разовой ПДК не реже 1 раза в квартал (для веществ III, IV классов опасности), не реже 1 раза в месяц (для веществ II класса опасности).

2. Основные мероприятия по защите поверхностных вод. Для защиты поверхностных вод предусмотрены следующие мероприятия:

- открытая дренажная система поверхностных стоков;
- открытая дренажная система опасных стоков;
- закрытая дренажная система;
- установка запорной секционирующей арматуры для локализации аварийных разливов нефтепродуктов в случае разгерметизации оборудования и трубопроводов.

3. Основные мероприятия по охране почв. Для защиты почв при эксплуатации месторождения предусмотрены следующие мероприятия:

- выполнение строительных работ исключительно в пределах монтажной площадки;
- организация площадок для сбора и хранения отходов производства и потребления;
- сдача отходов производства и потребления осуществляется в специализированную организацию;
- устройство ограждений вокруг технологических резервуаров.

5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Согласно ГОСТ Р 22.0.02-94 [50] чрезвычайная ситуация (ЧС) – это обстановка на определенной территории или акватории, сложившаяся в результате аварии, опасного природного явления, катастрофы, стихийного или иного бедствия, которые могут повлечь или повлекли за собой человеческие жертвы, ущерб здоровью людей или окружающей природной среде, значительные материальные потери и нарушение условий жизнедеятельности людей.

5.4.1. Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований и обоснование мероприятий по предотвращению ЧС

Технологические процессы на установке алкилирования относятся к взрывопожароопасному производству, вследствие ведения технологического процесса при наличии взрывоопасных или горючих веществ (ППФ, ББФ, изобутановая фракция, алкилбензин).

Причины возникновения пожара на установке:

1. Несоблюдение правил техники безопасности и эксплуатации при работе на сложном оборудовании (для исключения возникновения пожара по этим причинам необходимо вовремя выявлять и устранять неполадки, а также проводить плановый осмотр электрооборудования).
2. Самовозгорание горючих веществ и материалов.
3. Неисправность электрической проводки, оборудования работающего от сети.

Класс пожароопасной зоны: П-Па - зоны, расположенные в помещениях, в которых обращаются твердые горючие вещества в количестве, при котором удельная пожарная нагрузка составляет не менее 1 мегаджоуля на квадратный метр. Помимо этого, производство считается опасным в связи с:

- применением в производстве раствора щелочи 10 ÷ 15 %;
- применением электроэнергии высокого напряжения для эксплуатации насосного оборудования;
- возможностью нарушения герметичности аппаратов и трубопроводов из-за коррозии;
- возможностью продуктов аккумулировать заряды статического электричества при транспортировании.

В аварийных ситуациях технологический персонал установки алкилирования должен соблюдать план о локализации и ликвидации аварийных ситуаций (ПЛАС). При возникновении ЧС, мероприятия

представляют собой проведение спасательных работ и неотложных аварийно-восстановительных работ в очаге поражения. Действия персонала определяются в соответствии с СНиП 21-01-97 [51].

Для обеспечения безаварийной работы установки и достижения минимального уровня взрывопожароопасности процесса предусмотрены следующие мероприятия:

- все стадии технологического процесса непрерывны и склонны к устойчивому протеканию;
- наличие необходимых блокировок и сигнализаций;
- при соблюдении правил эксплуатации процесс не обладает возможностью взрыва внутри технологической аппаратуры;
- контроль и управление процессом осуществляется автоматически и дистанционно из операторной с использованием электронной системы приборов.

В соответствии с требованием норм по пожаротушению на установке должны быть предусмотрены первичные и стационарные средства пожаротушения, а также пожарная сигнализация. На установке предусмотрены следующие средства пожаротушения:

- первичные средства пожаротушения (огнетушители–пенные ОПС-10г, ОП-8, углекислотные ОУ-5, ОУ-8; кошмы, ящики с песком, лопаты и т.д.);
- стационарная система пенотушения открытой насосной;
- водяная оросительная система колонных аппаратов;
- пожарные краны в помещении компрессорной.

Меры пожарной безопасности на установке сернокислотного алкилирования изобутана олефинами соответствуют требованиям ФЗ-123, так как в полном объеме выполнены требования пожарной безопасности, установленные техническими регламентами, принятыми в соответствии с ФЗ

"О техническом регулировании" [52], и пожарный риск не превышает допустимых значений, установленных настоящим Федеральным законом.

5.4.2. Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть при проведении исследований и обоснование мероприятий по предотвращению ЧС

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

С учетом специфики работы и наличием вычислительной техники в помещении наиболее вероятно возникновение пожара, под которым понимается вышедший из-под контроля процесс горения, обусловленный возгоранием вычислительной техники и угрожающий жизни и здоровью работников. Пожарная безопасность должна обеспечиваться системами предотвращения пожара и противопожарной защиты, в том числе организационно-техническими мероприятиями.

Основные причины возникновения пожара:

1. Неисправное электрооборудование, неисправности в проводке, розетках и выключателях. Для исключения возникновения пожара по этим причинам необходимо вовремя выявлять и устранять неполадки, а также проводить плановый осмотр электрооборудования.
2. Электрические приборы с дефектами. Профилактика пожара включает в себя своевременный и качественный ремонт электроприборов.
3. Обогрев помещения с помощью оборудования с открытыми нагревательными элементами.
4. Короткое замыкание. Необходимо скрыть электропроводку для уменьшения вероятности короткого замыкания.

Под пожарной профилактикой понимается обучение пожарной технике безопасности и комплекс мероприятий, направленных на предупреждение пожаров.

Согласно ФЗ-123, НПБ 104-03 «Проектирование систем оповещения людей о пожаре в зданиях и сооружениях» [53] для оповещения о возникновении пожара в каждом помещении должны быть установлены световые указатели вместе с громкоговорителями, которые предупреждают о возможном пожаре или задымлении в здании.

Аудитория 133, 2 корпуса ТПУ оснащена первичными средствами пожаротушения: огнетушителями ОУ-3 1шт., ОП-3, 1шт. (предназначены для тушения любых материалов, предметов и веществ, применяется для тушения ПК и оргтехники, класс пожаров А, Е).

Согласно НПБ 105-03 [54] помещение, предназначенное для проектирования и использования результатов проекта, относится к типу П-Па (зона, расположенная в помещениях, в которых обращаются твердые горючие вещества в количестве, при котором удельная пожарная нагрузка составляет не менее 1 МДж на 1 метр квадратный).

В 2 корпусе ТПУ имеется пожарная автоматика, сигнализация. В случае возникновения загорания пожарная сигнализация предупреждает об этом сотрудников.

Вывод по разделу социальная ответственность

В данном разделе ВКР рассмотрели опасные и вредные производственные факторы на рабочем месте. В разделе проработана нормативная база основанная, на материалах по охране труда и окружающей среды, а также безопасности в чрезвычайных ситуациях. Проанализировав данные, можно сделать вывод, что рабочее место соответствует всем требованиям, представленным в нормативных документах.

Заключение

В ходе выполнения выпускной квалификационной работы было выполнено исследование процесса сернокислотного алкилирования изобутана олефинами, включающее мониторинг, обработку и анализ данных с промышленной установки сернокислотного алкилирования изобутана олефинами.

С помощью математической модели процесса сернокислотного алкилирования были исследованы и выявлены закономерности влияния состава сырья бутан-бутиленовой фракции и мольного соотношения изобутан:олефины на глубину превращения олефинов, октановое число и выход целевых продуктов- алкилатов.

При алкилировании с использованием в качестве сырья бутан-бутиленовой фракции с высоким содержанием низших олефинов (C_2 и C_3) наблюдается повышение расхода катализатора и снижение детонационной стойкости целевого продукта, а в присутствии олефинов C_{5+} интенсифицируются реакции полимеризации, что также отрицательно сказывается на качестве алкилата.

С помощью метода математического моделирования была произведена оценка целесообразности перехода на другой тип сырья, которое включало в себя пропан-пропиленовую фракцию.

Для получения удовлетворительных результатов необходимы следующие условия при алкилировании изобутана смесью пропилена и бутены: содержание пропилена в смеси не более 55 %; высокая дисперсность кислотно-углеводородной эмульсии; повышенное содержание кислоты в эмульсии (до 60–65 % об.). Остальные условия процесса алкилирования смесью пропилена и бутилена близки к условиям алкилирования бутиленами.

Установлено, что увеличение производительности установки за счет увеличения концентрации пропилена влечет за собой повышение выхода

алкилата до 6000 кг/ч и уменьшение октанового числа продукта на несколько пунктов. Проблема низкого значения октанового числа решается увеличением мольного соотношения изобутана и олефинов в зоне реакции за счет увеличения расхода изобутановой фракции.

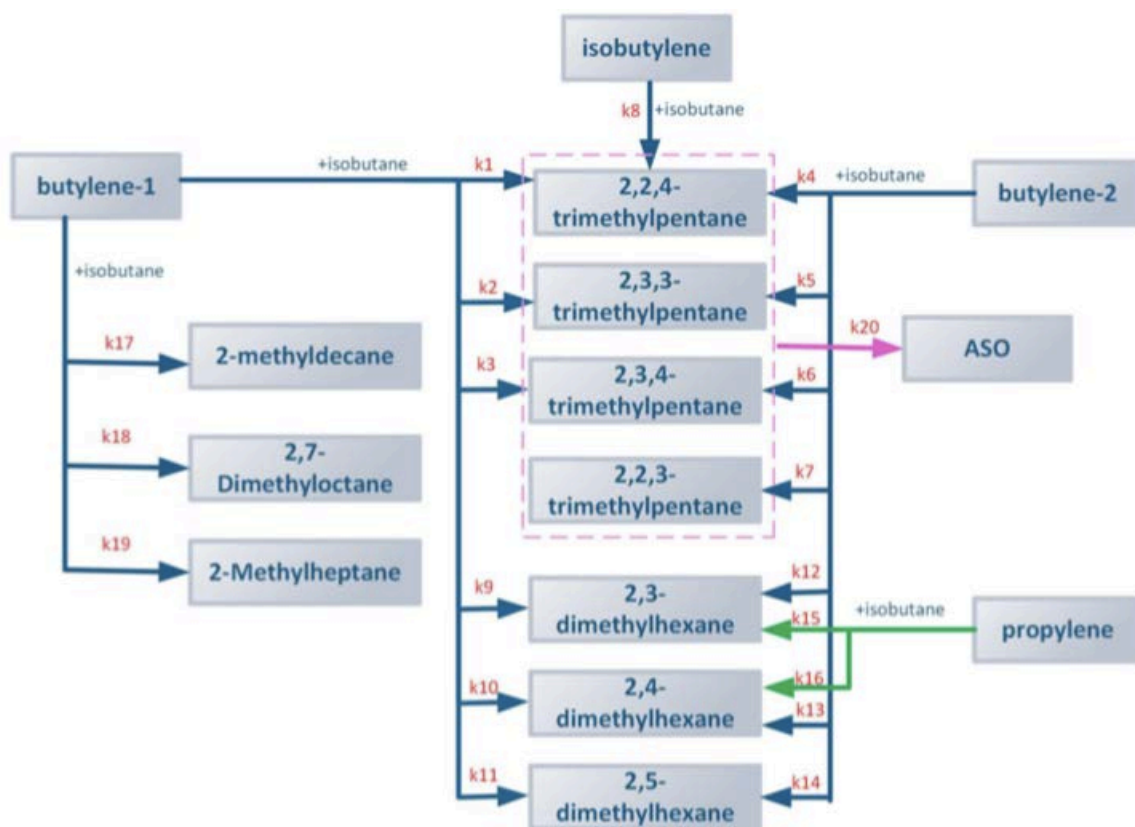
В то же время при использовании в качестве сырья газов с повышенным содержанием пропилена процесс алкилирования может быть переориентирован на производство компонентов авиационных топлив с повышением выхода алкилата.

Приложения

Приложение А – Покомпонентный состав потоков на установку сернокислотного алкилирования

Поток на установку	Компонент	Содержание
ББФ	C ₂	0,0-1,5
	Пропан	0,0-1,3
	Пропилен	0,0-0,70
	C ₃	0,2-3,0
	Изобутан	38,0-45,0
	Н-бутан	6,8-7,5
	Бутилен	15,5-16,5
	Изобутилен	5,5-9,8
	Транс-бутилен	15,4-18,5
	Цис-бутилен	9,0-12,6
	Бутадиен	0,0-0,5
	C ₄	30,0-51,0
	C ₅₊	0,0-1,8
	Циркулирующий изобутан	C ₃
Изобутан		85,0-96,4
Н-бутан		10,2-13,6
C ₅		0,3-0,5

Приложение Б – Формализованная реакционная сеть катализируемого H_2SO_4 алкилирования изобутана олефинами



Приложение В – Итоговая матрица SWOT-анализа

	<p>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>С1. Чувствительность к изменению состава сырья.</p> <p>С2. Наличие бюджетного финансирования.</p> <p>С3. Возможность проведения необходимых исследований без участия промышленной установки.</p> <p>С4. Достаточно высокая точность модели.</p>	<p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>Сл1. Ограниченность экспериментальных данных с промышленной установки.</p> <p>Сл2. Плохо изучена кинетика процесса.</p> <p>Сл3. Отсутствие исчерпывающих данных для проверки адекватности модели.</p> <p>Сл4. Риски повышения износа оборудования.</p>
<p>Возможности:</p> <p>В1. Появление дополнительного спроса на новый продукт.</p> <p>В2. Внедрение данной разработки на предприятии для оптимизации уже существующих процессов.</p> <p>В3. Тенденция к цифровизации производства.</p>	<p>Ускорение в сфере научно-технических инноваций, способствующих улучшению.</p>	<p>Помощь специалистов ТПУ в совершенствовании продукта</p> <p>Ограниченность экспериментальных данных с промышленной установки</p> <p>Разработка научного исследования</p>
<p>Угрозы:</p> <p>У1. Отсутствие спроса на новые технологии производства.</p> <p>У2. Внедрение других моделей на предприятия отечественных НПЗ.</p> <p>У3. Создание более дешевой модели.</p> <p>У4. Снижение спроса на продукцию установки алкилирования.</p>	<p>Продвижение программы с целью создания спроса</p> <p>Создание конкурентных преимуществ готового продукта</p> <p>Поиск запасных источников финансирования, спонсоров в лице нефтеперерабатывающих предприятий, для которых может оказаться полезной данная разработка</p>	<p>Необходима дальнейшая разработка модели и её уточнение</p> <p>Дальнейший поиск теоретических законов и зависимостей, позволяющих повысить обоснованность модели</p> <p>Заключение договорённостей с предприятиями о поставке данных для проверки модели</p>

Приложение Г – Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоёмкость работ									Исполнители	Длительность работ в рабочих днях T_{pi}			Длительность работ в календарных днях T_{ki}		
	T_{min} , чел–дни			T_{max} , чел–дни			$T_{ож}$, чел– дни				Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3							
Выбор темы ВКР	1	1	1	2	2	2	1,4	1,4	1,4	Студент, научный руководитель	0,7	0,7	0,7	1,04	1,04	1,04
Составление и утверждение плана работ	1	1	1	2	2	2	1,4	1,4	1,4	Научный руководитель	1,4	1,4	1,4	2,07	2,07	2,07
Подбор и изучение материалов по теме	2	2	3	3	3	5	2,4	2,4	3,8	Студент	2,4	2,4	3,8	3,55	3,55	5,62
Выбор направления исследования	1	1	1	2	1	2	1,4	1	1,4	Студент, научный руководитель	0,7	0,5	0,7	1,04	0,74	1,04
Календарное планирование работ	1	1	1	3	4	4	1,8	2,2	2,2	Студент, научный руководитель	0,9	1,1	1,1	1,33	1,63	1,63
Литературный обзор	20	21	22	25	25	27	22	22,6	24	Студент	22	22,6	24	32,56	33,45	35,52
Работа с моделью технологического процесса	24	26	28	28	30	32	25,6	27,6	29,6	Студент	25,6	27,6	29,6	37,89	40,85	43,81
Анализ экспериментальных данных	10	11	12	12	13	14	10,8	11,8	12,8	Студент	10,8	11,8	12,8	15,98	17,46	18,94
Обсуждение результатов и оценка эффективности проведенных	8	8	9	10	10	12	8,8	8,8	10,2	Студент, научный руководитель	4,4	4,4	5,1	6,51	6,51	7,55

исследований																
Написание раздела «Финансовый менеджмент»	4	4	4	6	6	6	4,8	4,8	4,8	Студент	4,8	4,8	4,8	7,10	7,10	7,10
Написание раздела «Социальная ответственность»	2	2	2	3	3	3	2,4	2,4	2,4	Студент	2,4	2,4	2,4	3,55	3,55	3,55
Оформление ВКР	10	9	8	14	13	16	11,6	10,6	11,2	Студент	11,6	10,6	11,2	17,17	15,69	16,58

Приложение Д – Нормируемые показатели естественного, искусственного и совмещенного освещения

Помещения	Рабочая поверхность и плоскость нормирования КЕО и освещенности (Г-горизонтальная, В-вертикальная) и высота плоскости над полом, м	Естественное освещение		Совмещенное освещение	
		КЕО e_n , %		КЕО e_n , %	
		При верхнем или комбинированном освещении	При боковом освещении	При верхнем или комбинированном освещении	При боковом освещении
Кабинеты, рабочие комнаты, офисы, представительства	Г – 0,8	3,0	1,0	1,8	0,6
	Искусственное освещение				
	Освещенность			Показатель дискомфорта, М, не более	Коэффициент пульсации освещенности, Кп, %, не более
	При комбинированном освещении		При общем освещении		
	Всего	От общего			
400	200	300	40	15	

Список использованных источников

1. Nurmakanova A. E. et al. Predicting alkylate yield and its hydrocarbon composition for sulfuric acid catalyzed isobutane alkylation with olefins using the method of mathematical modeling //Procedia Chemistry. – 2015. – Т. 15. – С. 54-64.
2. Tian Y. et al. Optimized Artificial Neural Network for Evaluation: C4 Alkylation Process Catalyzed by Concentrated Sulfuric Acid //ACS omega. – 2021.
3. Mosby J. F., Albright L. F. Alkylation of isobutane with 1-butene using sulfuric acid as catalyst at high rates of agitation //Industrial & Engineering Chemistry Product Research and Development. – 1966. – Т. 5. – №. 2. – С. 183-190.
4. Sun W. et al. Alkylation kinetics of isobutane by C4 olefins using sulfuric acid as catalyst //Industrial & Engineering Chemistry Research. – 2013. – Т. 52. – №. 44. – С. 15262-15269.
5. Tsadkin M. A., Badikova A. D., Mortikov E. S. The formation of emulsions during the jet mixing of reagent flows as applied to the sulfuric acid alkylation of iso-butane with olefins //Theoretical Foundations of Chemical Engineering. – 2016. – Т. 50. – №. 2. – С. 165-170.
6. Установка серноокислотного алкилирования изобутана бутиленами URL: <https://e-him.ru/?page=static§ion=17> (Дата обращения: 02.05.2022).
7. Zhang H. et al. Enhancement of isobutane/butene alkylation by aromatic-compound additives in strong Brønsted acid //Fuel. – 2018. – Т. 231. – С. 224-233.
8. Stratco URL: <https://www.stratco.com.au/> (Дата обращения: 13.04.2022).
9. Солодова Н. Л., Абдуллин А. И., Емельянычева Е. А. Алкилирование изопарафинов олефинами //Вестник Казанского технологического университета. – 2013. – Т. 16. – №. 18. – С. 253-258.
10. ConocoPhillips URL: <https://www.conocophillips.com/> (Дата обращения: 13.04.2022).
11. Дышкант М. С., Ткачев С. М. Изучение влияния основных технологических факторов процесса фтористоводородного алкилирования на выход и качество целевого продукта. – 2011.
12. Guzmán-Lucero D. et al. Isobutane/butene alkylation reaction using ionic liquids as catalysts. Toward a sustainable industry //Molecular Catalysis. – 2021. – Т. 515. – С. 111892.
13. Feller A. et al. Common mechanistic aspects of liquid and solid acid catalyzed alkylation of isobutane with n-butene //Journal of Catalysis. – 2003. – Т. 216. – №. 1-2. – С. 313-323.
14. Ахметов С. А. и др. Технология и оборудование процессов переработки нефти и газа. – 2006.

15. Solodova N. L., Khasanov I. R. Promising processes for the alkylation of isoparaffins with olefins, *Vestn //Tekhnol. Univ.* – 2015. – Т. 18. – №. 9. – С. 117-121.
16. Козин В. Г. Современные технологии производства компонентов моторных топлив. – 2009.
17. Feller A. et al. Deactivation pathways in zeolite-catalyzed isobutane/butene alkylation // *Journal of catalysis.* – 2003. – Т. 220. – №. 1. – С. 192-206.
18. Weitkamp J., Traa Y. Isobutane/butene alkylation on solid catalysts. Where do we stand? // *Catalysis Today.* – 1999. – Т. 49. – №. 1-3. – С. 193-199.
19. Patrilyak L. K., Bartosh P. I. Mechanism of the alkylation of isobutane by butenes on zeolite catalysts // *Theoretical and Experimental Chemistry.* – 2003. – Т. 39. – №. 3. – С. 177-183.
20. Дорошенко А. А., Утемов А. В., Семикин К. В. Цеолитсодержащие катализаторы, модифицированные Ni, для алкилирования изобутана олефинами // *Известия Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета).* – 2018. – №. 46 (72). – С. 28-33.
21. Zhang J. et al. Characterization and kinetic investigation of tungstophosphoric supported on SiO₂ for alkylation of benzene with 1-dodecene to synthesize linear alkylbenzene // *Journal of Molecular Catalysis A: Chemical.* – 2003. – Т. 198. – №. 1-2. – С. 359-367.
22. Albright L. F. Present and future alkylation processes in refineries // *Industrial & Engineering Chemistry Research.* – 2009. – Т. 48. – №. 3. – С. 1409-1413.
23. Corma A., Martínez A. Chemistry, catalysts, and processes for isoparaffin-olefin alkylation: actual situation and future trends // *Catalysis Reviews— Science and Engineering.* – 1993. – Т. 35. – №. 4. – С. 483-570.
24. Simpson M., Wei J., Sundaresan S. Kinetics of zeolitic solid acid-catalyzed alkylation of isobutane with 2-butene. – 1996.
25. Chen W. S. Solubility measurements of isobutane/alkenes in sulfuric acid: applications to alkylation // *Applied Catalysis A: General.* – 2003. – Т. 255. – №. 2. – С. 231-237.
26. Li L. et al. Intensification of the sulfuric acid alkylation process with trifluoroacetic acid // *AIChE Journal.* – 2019. – Т. 65. – №. 1. – С. 113-119.
27. Ivashkina E. N. et al. Mathematical modeling sulfuric acid catalyzed alkylation of isobutane with olefins // *Procedia Engineering.* – 2016. – Т. 152. – С. 81-86.
28. Олбрайт Л. Ф., Голдсби А. Р. Алкилирование. Исследования и промышленное оформление процесса. М // *Химия.* – 1982. – Т. 336.
29. Прочухан К. Ю. Влияние пропилена на процесс сернокислотного алкилирования изопарафинов. – 2000.
30. Подвинцев И. Б. Нефтепереработка. Практический вводный курс: учеб. пособие // *Долгопрудный: Изд. Дом «Интеллект.* – 2011. – Т. 120.

31. Stell J. Worldwide refining survey // *Oil and Gas Journal*. – 2002. – Т. 100. – №. 52. – С. 68-112.
32. Meyers R. A. Handbook of petroleum refining processes. – 2004.
33. Гуреев А. А. Применение автомобильных бензинов. – Рипол Классик, 1972.
34. Nurmakanova A. E. et al. Predicting alkylate yield and its hydrocarbon composition for sulfuric acid catalyzed isobutane alkylation with olefins using the method of mathematical modeling // *Procedia Chemistry*. – 2015. – Т. 15. – С. 54-64.
35. Shiriyazdanov R. R. Regeneration of zeolite-containing catalysts of alkylation of isobutane with the butane-butene fraction in supercritical carbon dioxide // *Russian Journal of Physical Chemistry B*. – 2011. – Т. 5. – №. 7. – С. 1080-1083.
36. Ivashkina E. et al. Modeling the H₂SO₄-catalyzed isobutane alkylation with alkenes considering the process unsteadiness // *Catalysis Today*. – 2019. – Т. 329. – С. 206-213.
37. Corma A., Martinez A., Martinez C. Isobutane/2-butene alkylation on ultrastable Y zeolites: Influence of zeolite unit cell size // *Journal of Catalysis*. – 1994. – Т. 146. – №. 1. – С. 185-192.
38. Querini C. A., Roa E. Deactivation of solid acid catalysts during isobutane alkylation with C₄ olefins // *Applied Catalysis A: General*. – 1997. – Т. 163. – №. 1-2. – С. 199-215.
39. ГОСТ 1012-72 Бензины авиационные. Технические условия.
40. Ivashkina E. et al. Nonsteady-state mathematical modelling of H₂SO₄-catalysed alkylation of isobutane with alkenes // *Oil & Gas Science and Technology–Revue d'IFP Energies nouvelles*. – 2021. – Т. 76. – С. 36.
41. Ivanchina E. D. et al. Predictive Modeling of the Kinetics of Deactivation of Liquid-Phase Alkylation of Hydrocarbons Processes // *Petroleum and Coal*. – 2021. – Т. 63. – №. 2. – С. 447-454.
42. Трудовой кодекс Российской Федерации" от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 28.12.2018).
43. ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования.
44. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы.
45. ГОСТ 12.0.003-2015 Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.
46. СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.-М.: Информационно-издательский центр Минздрава России, 1997.–20с
47. ГОСТ 12.1.030-82 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Защитное заземление. Зануление.
48. СНиП 23-05-95 Естественное и искусственное освещение.

- 49.ГОСТ Р 53692-2009 Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Этапы технологического цикла отходов.
- 50.ГОСТ Р 22.0.02-94 Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Термины и определения основных понятий.
- 51.СНиП 21-01-97 Пожарная безопасность зданий и сооружений.
- 52.ФЗ-123 Технический регламент о требованиях пожарной безопасности.
- 53.НПБ 104-03 Проектирование систем оповещения людей о пожаре в зданиях и сооружениях.
- 54.НПБ 105-03 Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности.