

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

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

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Моделирование жидкофазного процесса алкилирования изобутана олефинами

УДК 665.652.4-095.253:665.725.2

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2Д7В	Жигало Ирина Владимировна		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОХИ ИШПР	Чузлов В.А.	к.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Спицына Л.Ю.	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

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

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОХИ ИШПР	Юрьев Е.М.	к.т.н.		

Планируемые результаты обучения по ООП

18.03.01 Химическая технология

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС ВПО, критериев и/или заинтересованных сторон
<i>Профессиональные компетенции</i>		
Р1	Применять базовые и специальные, математические, естественнонаучные, социально-экономические и профессиональные знания в профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (ПК-1, 2, 3, 19, 20), Критерий 5 АИОР (п. 1.1), CDIO (пп. 1.1, 4.1, 4.3, 4.8)
Р2	Применять знания в области современных химических технологий для решения производственных задач.	Требования ФГОС (ПК-7, 11, 17, 18, ОК-8), Критерий 5 АИОР (пп. 1.1, 1.2), CDIO (пп. 1.1, 3.2, 4.2, 4.3, 4.5, 4.6)
Р3	Ставить и решать задачи производственного анализа, связанные с созданием и переработкой материалов с использованием моделирования объектов и процессов химической технологии.	Требования ФГОС (ПК-1, 5, 8, 9, ОК-2,3), Критерий 5 АИОР (п. 1.2), CDIO (пп. 1.2, 2.1, 4.5)
Р4	Разрабатывать новые технологические процессы, проектировать и использовать новое оборудование химической технологии, проектировать объекты химической технологии в контексте предприятия, общества и окружающей среды.	Требования ФГОС (ПК-11, 26, 27, 28), Критерий 5 АИОР (п. 1.3), CDIO (пп. 1.3, 4.4, 4.7)
Р5	Проводить теоретические и экспериментальные исследования в области современных химических технологий.	Требования ФГОС (ПК-4, 21, 22, 23, 24, 25, ОК-4,6), Критерий 5 АИОР (п. 1.4), CDIO (п. 2.2)
Р6	Внедрять, эксплуатировать и обслуживать современное высокотехнологичное оборудование, обеспечивать его высокую эффективность, выводить на рынок новые материалы , соблюдать правила охраны здоровья и безопасности труда на химико-технологическом производстве, выполнять требования по защите окружающей среды.	Требования ФГОС (ПК-6, 10, 12, 13, 14, 15, ОК-6, 13, 15), Критерий 5 АИОР (п. 1.5), CDIO (пп. 4.1, 4.7, 4.8, 3.1, 4.6)
<i>Общекультурные компетенции</i>		
Р7	Демонстрировать знания социальных, этических и культурных аспектов профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (ОК-5, 9, 10, 11), Критерий 5 АИОР (пп. 2.4, 2.5), CDIO (п. 2.5)

P8	Самостоятельно учиться и непрерывно повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (ОК-1, 2, 7, 8, 12), Критерий 5 АИОР (п. 2.6), CDIO (п. 2.4)
P9	<i>Активно</i> владеть <i>иностранным языком</i> на уровне, позволяющем разрабатывать документацию, презентовать результаты профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (ОК-14), Критерий 5 АИОР (п. 2.2), CDIO (пп. 3.2, 3.3)
P10	Эффективно работать индивидуально и в коллективе, <i>демонстрировать лидерство в инженерной деятельности и инженерном предпринимательстве</i> , ответственность за результаты работы и готовность следовать корпоративной культуре организации.	Требования ФГОС (ОК-3, 4), Критерий 5 АИОР (пп. 1.6, 2.3), CDIO (пп. 4.7, 4.8, 3.1)

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

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

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

**ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

Бакалаврской работы

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
2Д7В	Жигало Ирине Владимировне

Тема работы:

Моделирование жидкофазного процесса алкилирования изобутана олефинами	
Утверждена приказом директора ИШПР (дата, номер)	от 02.02.2021 г. №33-23/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	04.06.2021
------------------------------------------	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Объект исследования – процесс сернокислотного алкилирования изобутана олефинами. Технология предназначена для получения высокооктанового компонента автомобильных бензинов – алкилата.
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	1 ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР 1.1 Теоретические основы процесса алкилирования изобутана олефинами 1.1.1 Назначение процесса 1.1.2 Сырье и продукты 1.1.3 Технологическое оформление 1.1.4 Основные управляющие параметры 1.1.4.1 Температура 1.1.4.2 Концентрация кислоты 1.1.4.3 Соотношение между изобутаном и олефином 1.1.4.4 Соотношение между катализатором и сырьем 1.1.4.5 Продолжительность реакции 1.2 Катализаторы процесса алкилирования

	<p>1.2.1 Жидкофазные катализаторы 1.2.2 Твердофазные катализаторы 1.3 Современные технологии алкилирования изобутана олефинами 1.3.1 Технология алкилирования Alky-Clean компаний CLG и Akzo Nobel 1.3.2 Технология алкилирования компании HaldorTopsøe A/S 1.3.3 Технология алкилирования ExSact компании Exelus 1.3.4 Технология алкилирования Alkylene компании UOP 1.3.5 Технология фтороводородного алкилирования компании «Philips Petroleum» 1.3.6 Технология сернокислотного алкилирования ГК РАН 1.3.7 Технология сернокислотного алкилирования компании STRATCO 1.4 Существующие подходы к математическому моделированию процесса алкилирования изобутана олефинами 2 ОБЪЕКТ И МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ 2.1 Описание объекта исследования 2.2 Математическая модель процесса сернокислотного алкилирования 3 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ 3.1 Анализ работы установки процесса сернокислотного алкилирования 3.2 Исследование влияния основных управляющих параметров процесса на состав и свойства производимого алкилата 3.2.1 Влияние температуры 3.2.2 Влияние расхода бутан-бутиленовой фракции 3.2.3 Влияние подачи свежей кислоты 3.2.4 Рекомендации по ведению технологического процесса</p>
Перечень графического материала	
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
«Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	доцент ОСГН ШБИП, к.э.н., Спицына Л.Ю.
«Социальная ответственность»	старший преподаватель ООД ШБИП, Гуляев М.В.
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
Нет	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	01.02.2021 г.
-------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОХИ	Чузлов В.А.	К.Т.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2Д7В	Жигало Ирина Владимировна		

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

Студенту:

Группа	ФИО
2Д7В	Жигало Ирине Владимировне

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

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

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	<i>Бюджет проекта – не более 571399,32 руб., в т.ч. затраты по оплате труда – не более 350449,47 руб.</i>
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	<i>Значение показателя интегральной ресурсоэффективности – не менее 3,3 баллов из 4,2.</i>
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	<i>Районный коэффициент- 1,3; Коэффициент дополнительной заработной платы – 0,12; Норма амортизации 25%; Отчисления во внебюджетные фонды – 30 %.</i>

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	<i>Анализ потенциальных потребителей, анализ конкурентных технических решений, оценка готовности проекта к коммерциализации.</i>
2. <i>Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	<i>Определение затрат на проектирование (смета затрат).</i>
3. <i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	<i>Определение эффективности проекта.</i>

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

<ol style="list-style-type: none"> 1. Карта сегментирования рынка 2. Оценка конкурентоспособности технических решений 3. Матрица SWOT 4. Календарный план график проведения работ

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2Д7В	Жигало Ирина Владимировна		

«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа 2Д7В	ФИО Жигало Ирине Владимировне
----------------	----------------------------------

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

Тема ВКР:

Моделирование жидкофазного процесса алкилирования изобутана олефинами	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Объектом исследования является процесс жидкофазного процесса алкилирования изобутана олефинами Область применения: повышение эффективности процесса серноокислотного алкилирования изобутана олефинами Рабочая зона: технологический отдел НПЗ
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:	Рассмотреть специальные правовые нормы трудового законодательства; Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.
2. Производственная безопасность:	Анализ потенциально возможных вредных и опасных факторов проектируемой производственной среды. Разработка мероприятий по снижению воздействия вредных и опасных факторов: – Неудовлетворительный микроклимат; – Недостаточная освещенность рабочей зоны; – Утечка токсичных и вредных веществ; – Поражение электрическим током; – Движущиеся машины и механизмы производственного оборудования; – Аппараты, работающие под давлением; – Повышенный уровень шума и вибрации на рабочем месте; – Пожаровзрывоопасность на объектах; – выводы на соответствие допустимым условиям труда согласно специальной оценке условий труда
3. Экологическая безопасность:	– анализ воздействия объекта на атмосферу, гидросферу и литосферу. – решение по обеспечению экологической безопасности.

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

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

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2Д7В	Жигало Ирина Владимировна		

Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит 108 страниц, 38 рисунков, 28 таблиц, 62 источника, 1 приложение.

Ключевые слова: алкилирование, изобутан, олефины, моделирование, серная кислота.

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

Объектом исследования является процесс алкилирования изобутана олефинами в присутствии серной кислоты.

Цель работы – повышение эффективности процесса сернокислотного алкилирования изобутана олефинами.

В ходе работы были проанализированы данные с промышленной установки алкилирования, а также данные лабораторных анализов алкилата; проведен анализ работы промышленной установки; исследовано влияние основных технологических параметров на выход и качество продукции установки; рассчитана экономическая эффективность.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	14
1 ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР	15
1.1 Теоретические основы процесса алкилирования изобутана олефинами ..	15
1.1.1 Назначение процесса	15
1.1.2 Сырье и продукты	16
1.1.3 Технологическое оформление	17
1.1.4 Основные управляющие параметры	20
1.1.4.1 Температура.....	20
1.1.4.2 Концентрация кислоты.....	21
1.1.4.3 Соотношение между изобутаном и олефином.....	22
1.1.4.4 Соотношение между катализатором и сырьем	22
1.1.4.5 Продолжительность реакции	23
1.2 Катализаторы процесса алкилирования.....	23
1.2.1 Жидкофазные катализаторы	23
1.2.2 Твердофазные катализаторы.....	24
1.3 Современные технологии алкилирования изобутана олефинами	25
1.3.1 Технология алкилирования Alky-Clean компаний CLG и Akzo Nobel... 26	
1.3.2 Технология алкилирования компании HaldorTopsøe A/S.....	27
1.3.3 Технология алкилирования ExSact компании Exelus.....	28
1.3.4 Технология алкилирования Alkylene компании UOP	29
1.3.5 Технология фтороводородного алкилирования компании «Philips Petroleum».....	30
1.3.6 Технология сернокислотного алкилирования ГК РАН.....	32
1.3.7 Технология сернокислотного алкилирования компании STRATCO	33
1.4 Существующие подходы к математическому моделированию процесса алкилирования изобутана олефинами.....	34
2 ОБЪЕКТ И МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ	39
2.1 Описание объекта исследования	39
2.2 Математическая модель процесса сернокислотного алкилирования.....	40

3 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ.....	45
3.1 Анализ работы установки процесса сернокислотного алкилирования.....	45
3.2 Исследование влияния основных управляющих параметров процесса на состав и свойства производимого алкилата	54
3.2.1 Влияние температуры.....	54
3.2.2 Влияние расхода бутан-бутиленовой фракции.....	57
3.2.3 Влияние подачи свежей кислоты	61
3.2.4 Рекомендации по ведению технологического процесса	63
4 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ.....	64
4.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....	64
4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования	64
4.1.2 Анализ конкурентных технических решений	66
4.1.3 SWOT-анализ.....	67
4.1.4 Определение возможных альтернатив проведения научных исследований	71
4.2 Планирование научно-исследовательских работ.....	72
4.2.1 Структура работ в рамках научного исследования	72
4.3 Бюджет исследования.....	76
4.3.1 Расчет материальных затрат	76
4.3.2 Расчет затрат на специальное оборудование	77
4.3.3 Основная заработная плата исполнителей темы.....	78
4.3.4 Дополнительная заработная плата исполнителей темы.....	79
4.3.5 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)	800
4.3.6 Формирование бюджета исследовательского проекта.....	800
4.4 Определение эффективности исследования.....	811
5 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ.....	833
5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	83

5.1.1 Правовые нормы трудового законодательства	83
5.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны	85
5.2 Производственная безопасность.....	86
5.2.1 Анализ потенциально возможных вредных и опасных факторов проектируемой производственной среды.....	87
5.3 Экологическая безопасность.....	955
5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	97
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	1000
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	1011
Приложение А	1077

ВВЕДЕНИЕ

Нефтеперерабатывающая промышленность является важнейшей частью топливно-энергетического комплекса России и занимает самую большую долю в экономике страны. Наибольшую часть данного сектора занимает производство топлив, а именно – автомобильных бензинов, которые должны соответствовать требуемым значениям детонационной стойкости. В связи с этим производство алкилата, отличающегося высоким значением октанового числа и низким содержанием вредных для экологии примесей, является актуальной задачей, стоящей перед нефтеперерабатывающей промышленностью.

Таким образом, **целью работы** является повышение эффективности процесса сернокислотного алкилирования изобутана олефинами.

Для достижения цели были поставлены следующие **задачи**:

1. Изучение и анализ данных с промышленной установки сернокислотного алкилирования;
2. Составление списка всех теоретически возможных химических реакций, протекающих в процессе алкилирования изобутана бутиленом;
3. Расчет термодинамических и кинетических параметров данных реакций;
4. Составление формализованной схемы превращений на основании термодинамических расчетов.
5. Исследование влияния различных технологических параметров на протекание процесса путем варьирования их значения в определенном интервале.

Объектом исследования в данной работе является процесс сернокислотного алкилирования изобутана олефинами.

Практическая значимость работы заключается в выдаче рекомендаций по эффективному ведению процесса.

1 ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

1.1 Теоретические основы процесса алкилирования изобутана олефинами

Алкилирование изобутана было открыто в 1932 году, когда В. Ипатьев и Г. Пайнс обнаружили, что при низких температурах олефины реагируют с изоалканами в растворах сильных кислот, таких как $AlCl_3/HCl$ или BF_3/HF , с образованием более тяжелых алканов [1]. Уже к 1940-м годам алкилат находился в промышленном производстве с использованием серной кислоты или безводного фтористого водорода в качестве катализаторов.

Алкилат пользуется большим спросом в странах с жесткими законодательными требованиями в области экологии, ограничивающими использование бензинов, содержащих олефины, ароматические соединения и таких примесей, как соединения серы и азота. Во многих штатах Америки запрещено использовать метил-трет-бутиловый эфир по причине его неэкологичности [2]. В России действует технический регламент Таможенного союза «О требованиях к автомобильному и авиационному бензину, дизельному и судовому топливу, топливу для реактивных двигателей и мазуту» (ТР ТС 013/2011) [3], в котором жестко регламентированы требования к содержанию серы, олефинов, бензола, ароматических и кислородсодержащих веществ. Все это привело к постепенному отказу от использования монометиланилина, соединений марганца и железа.

1.1.1 Назначение процесса

Основное назначение алкилирования, как процесса облагораживания нефтяных дистиллятов, как правило, состоит в получении высокооктанового компонента бензина – алкилата. Основа алкилата – изооктаны, обеспечивающие топливу соответствие высоким стандартам при низком уровне вредности окружающей среде.

Также стоит отметить, что алкилат характеризуется достаточно высокой детонационной стойкостью, выраженной октановым числом, которое может

достигать до 96 по исследовательскому методу, а также тем, что в его составе отсутствуют таких вредных и токсичных вещества, как сера, бензол и их производные [4-6]. Низкие показатели давления насыщенных паров обуславливают малую испаряемость в условиях хранения и транспортировки данного продукта.

По данным источника [7] на весь объем производимого в мире товарного бензина приходится лишь малая часть алкилата – примерно 8 %, причем в США данное значение достигает 13 %, и в перспективе наблюдается значительный рост до 20-25 %. В России данные показатели составляют чуть менее 1 %.

1.1.2 Сырье и продукты

Основным сырьем сернокислотного алкилирования преимущественно является бутан-бутиленовая фракция. Основную долю данной фракции составляют углеводороды C_4 – 80-85 %, остальная часть данной приходится на примеси углеводородов – C_3 и C_5 . Как правило, бутан-бутиленовую фракцию получают на установках АГФУ, установленных непосредственно на НПЗ [8].

Входящие в состав сырьевой фракции бутан и пропан не участвуют в химических превращениях, однако наличие данных компонентов крайне нежелательно. Это обусловлено тем, что данные компоненты занимают определенный объем реакционного пространства, что в последствии приводит к снижению содержания такого целевого компонента, как изобутан.

Также в рамках предварительной подготовки данной фракции к дальнейшему синтезу необходимо удалять из ее состава нормальные парафины, которые ведут к ухудшению условий процесса алкилирования [9]. Для проведения данной процедуры на установках алкилирования предусмотрены такие ректификационные колонны, как бутановая и пропановая.

Присутствие в сырье таких веществ, как этилен и бутадиен также неприемлемо. Это связано с образованием побочных компонентов, вследствие

протекающих побочных реакций с серной кислотой. Продукты взаимодействия, в дальнейшем растворяясь в серной кислоте, снижают концентрацию серной кислоты, что влечет к дополнительным технологическим затратам. Если сырье содержит определенное количество воды, то до контакта непосредственно с серной кислотой сырье подвергают защелачиванию с последующим удалением влаги.

Огромную важность имеет содержание и компонентный состав олефинов в исходной фракции. При алкилировании изобутана бутиленами при низших олефинах наблюдается повышение расхода серной кислоты и, как следствие, снижение детонационной стойкости продукта [10]. Стоит отметить, что в присутствии высших олефинов протекают реакции с образованием полимерных структур, что также негативно сказывается на октановом числе алкилата.

Как уже было сказано ранее, основным продуктом синтеза алкилирования является алкилат – ценный компонент высококачественных бензинов, поскольку в его состав преимущественно входят парафиновые углеводороды изостроения. Благодаря этому процесс алкилирования по праву считается одним из ведущих процессов облагораживания нефтяных дистиллятов.

По данным исследований [11, 12] было выяснено, что наиболее приемлемые показатели алкилата достигаются при алкилировании непосредственно изобутана бутенами. Но, в связи с недостаточностью сырья для данного процесса, необходимо использовать такие вещества, как пропилен и некоторое количество амиленов.

1.1.3 Технологическое оформление

Главная часть установки сернокислотного алкилирования – реактор алкилирования. В России преимущественно используются следующие типы реакторов [13]:

1) Реакторы с охлаждением через теплообменную поверхность. В качестве хладагентов используют аммиак или пропан. Конструктивно данный реактор состоит из мешалки, а также набора труб, с помощью которых происходит теплосъем;

2) Реакторы с охлаждением, реализованного за счет испарения избытка газообразного изобутана. Данный реактор имеет наибольшее распространение.

На рисунке 1 представлена схема горизонтального каскадного реактора.

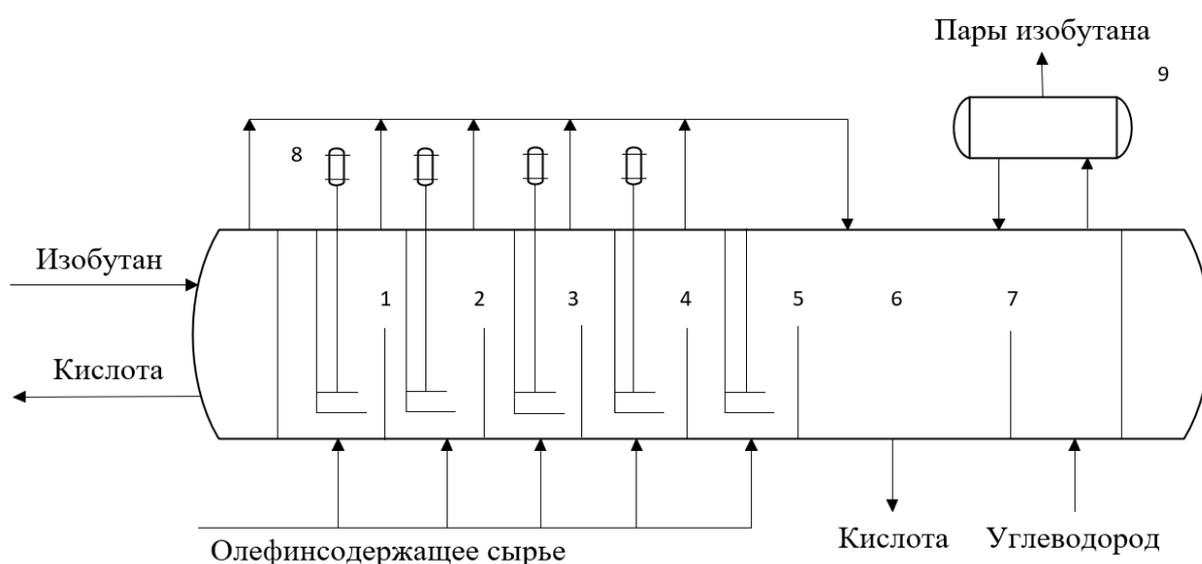


Рисунок 1 – Схема горизонтального каскадного реактора: 1-5 – секции реактора; 6,7 – отстойные зоны; 8 – мешалки; 9 – сепаратор

Реактор представляет собой полый горизонтальный цилиндр с разделяющими перегородками, за счет которых реактор разделяется на секции – каскады. Внутри каждой отдельной секции реактора установлена мешалка, которая обеспечивает интенсивное перемешивание контактирующей кислоты и сырья.

Внутри реактора поддерживается сравнительно небольшая температура, лежащая в пределах от 5 до 15 °С, и невысокое давление – 0,6 ÷ 1,0 МПа. Изобутан, как правило, подается в избытке относительно бутиленов, образуя мольное соотношение (6 ÷ 12): 1. Кислота также поступает в избытке

относительно исходного сырья, превышая его по объему в $1,1 \div 1,5$ раза. Концентрация кислоты должна быть очень высокой – от 88 до 99 % масс.

Принципиальная технологическая схема установки сернокислотного алкилирования представлена на рисунке 2 [14].

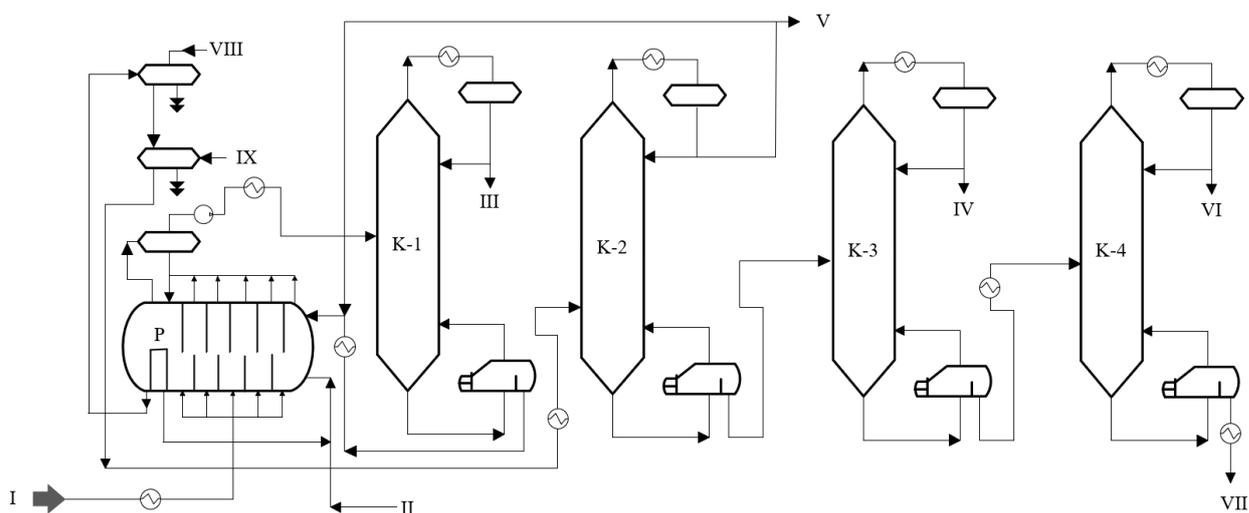


Рисунок 2 – Принципиальная технологическая схема установки сернокислотного алкилирования: I – сырье; II — свежая кислота; III – пропан; IV – бутан; V – изобутан; VI – легкий алкилат; VII – тяжелый алкилат; VIII – раствор щелочи; IX – вода

Исходная углеводородная смесь подвергается предварительной очистке от серосодержащих соединений, а также обезвоживанию. Затем охлаждаясь в теплообменнике испаряющимся изобутаном подается пятью параллельными потоками в отдельные секции реактора-алкилятора P. В первую секцию подают свежую и циркулирующую серную кислоту, а также жидкий изобутан. Из отстойной секции реактора выводят продукты алкилирования, которые в дальнейшем проходят этапы нейтрализации щелочью и промывки водой. После очистки продукты направляются в колонну K-2 для отделения циркулирующего изобутана. В случае избытка в сырье изобутана на установке необходимо обеспечить его вывод.

Испарившиеся в реакторе изобутан и пропан через сепаратор-рессивер компрессором через холодильник подают в колонну-депропанизатор K-1.

Нижний продукт этой колонны – изобутан – через кипятильник и теплообменник присоединяют к циркулирующему потоку изобутана из К-2. Нижний продукт колонны К-2 поступает в колонну дебутанизатор К-3, а остаток К-3 – в колонну К-4 для перегонки суммарного алкилата. С верха этой колонны отбирают целевой продукт — легкий алкилат, а с низа — тяжелый алкилат, используемый обычно как компонент дизельного топлива. Технологический режим ректификационных колонн представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Технологический режим ректификационных колонн установки серноокислотного алкилирования

	К-1	К-2	К-3	К-4
Давление в колоннах, МПа	1,60 ÷ 1,70	0,70	0,40	0,12 ÷ 0,13
Температурный режим колонн, °С:				
верха	40 ÷ 45	45 ÷ 50	45 ÷ 50	100 ÷ 110
низа	85 ÷ 100	95 ÷ 100	130 ÷ 140	200 ÷ 220
Количество контактных устройств (тарелок)	40	80	40	20

1.1.4 Основные управляющие параметры

Опытным путем было установлено, что важнейшими параметрами процесса алкилирования, влияющими на суммарный выход и качество получаемого алкилата, являются температура, концентрация кислоты, интенсивность перемешивания сырья с катализатором, а также соотношения между изобутаном и олефином и катализатором с сырьем.

1.1.4.1 Температура

Повышение температуры в реакционной среде приводит к появлению таких побочных реакций, как полимеризация. Поэтому важно организовать своевременный отвод тепла. Низкие температуры процесса способствуют

повышению избирательности процесса, в результате чего повышается качество получаемого алкилата [15]. Однако основным ограничивающий фактором является температура застывания кислоты, поэтому оптимальной температурой алкилирования считается $7 \div 10$ °С.

1.1.4.2 Концентрация кислоты

В качестве катализатора процесса алкилирования бутан-бутиленовой фракции применяют серную кислоту с концентрацией $88 \div 98$ % масс. В течение процесса наблюдается снижение концентрации катализатор, что связано со скоплением образующихся полимеров и воды, которая поступает вместе с сырьем.

На рисунке 3 представлена нелинейная зависимость такого параметра, как октановое число алкилата (по исследовательскому методу) от концентрации серной кислоты.

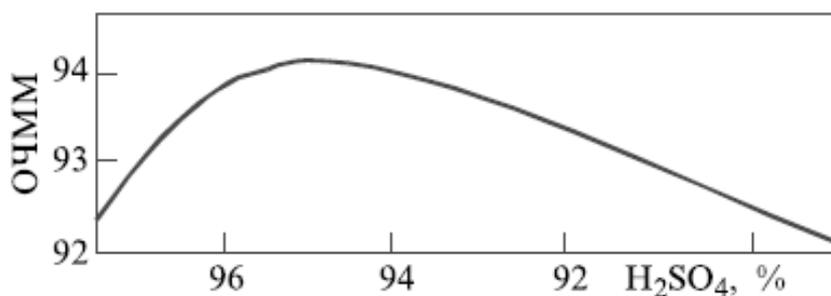


Рисунок 3 – Влияние концентрации серной кислоты на октановое число алкилбензина [13]

Данная зависимость имеет четко выраженный экстремум при концентрации серной кислоты около 95 %. При алкилировании пропиленом рекомендуется использовать кислоту с большей концентрацией – до 101 %.

Немаловажным фактором является то, что наибольшее снижение активности катализатора наблюдается при разбавлении кислоты водой, а не высокомолекулярными соединениями [16]. Поэтому особую роль в сохранении активности катализатора играет предварительная осушка сырья и циркулирующих в процессе углеводородов.

1.1.4.3 Соотношение между изобутаном и олефином

Избыточное содержание изобутана в реакционной массе интенсифицирует протекание целевых реакций с участием изобутана и подавляет побочные реакции, вызывающие снижение качества алкилата.

Для получения авиационного или автомобильного алкилата изменяют не технологические параметры, а именно мольное соотношение изобутана к олефину. Высокому выходу авиационного алкилата соответствует соотношение $6 \div 10 : 1$, а автомобильному – $4 : 1$.

Стоит отметить, что повышение соотношения изобутана к олефинам свыше $10 : 1$ не является эффективным, поскольку при таком соотношении необходимо увеличивать основные конструктивные размеры аппаратов, что приведет к повышению эксплуатационных затрат [17]. Более того, наличие избыточного содержания изобутана в реакционной среде приводит к увеличению содержания важнейших углеводородов, таких как изопарафины. Таким образом, содержание изобутана, выходящего из реактора-алкилятора, не должна быть меньше, чем 60 % масс.

1.1.4.4 Соотношение между катализатором и сырьем

Данный технологический параметр характеризует концентрации сырья и катализатора в реакционной среде.

Поскольку серная кислота отличается высокой плотностью, вязкостью, поверхностным натяжением, а также плохой растворимостью в ней изобутана, то для удовлетворительного протекания процесса необходимо сильное перемешивание. Оптимальным считается соотношение – от $1 : 1$ до $1,6 : 1$.

Именно такое соотношение обеспечивает образование однородной системы, состоящей из смеси углеводородов в кислоте [8]. Увеличение массового расхода катализатора положительно сказывается на процессе алкилирования в целом, однако при достаточно большом значении происходит повышение вязкости получаемой эмульсии, что в последующем влечет повышенный расход затрат энергии на перемешивание.

Повышение расхода углеводородов считается максимально нежелательным из-за возможности образования обратной эмульсии – кислоты в углеводородах, вследствие чего получаемый алкилат будет обладать низким качеством.

1.1.4.5 Продолжительность реакции

Данный управляющий параметр формируется из большого количества других технологических параметров. Сюда включают интенсивность фазового смешения, температуру процесса и давление. Однако на практике было установлено, что при оптимальных параметрах процесса, продолжительность реакции в среднем составляет от 20 минут до получаса [18].

1.2 Катализаторы процесса алкилирования

В общем случае, катализаторы процесса алкилирования можно разделить на следующие группы: на основе хлористого алюминия; с серной, фтороводородной и фосфорной кислотами и некоторыми солями этих кислот – каталитические комплексы; ионообменные смолы и цеолитсодержащие. В данной работе рассмотрим две основные группы:

- Жидкофазные катализаторы;
- Твердофазные катализаторы;

1.2.1 Жидкофазные катализаторы

Наибольшее распространение среди кислотных катализаторов получили серная и фтороводородная кислоты высоких концентраций. Прежде всего, это связано с хорошей растворимостью в них изобутана и олефинов, равной, соответственно, 0,1 и 3,1 % масс [13].

Стоит отметить, что растворимость изобутана в серной кислоте в несколько раз меньше, чем в фтороводородной. Это подтверждается справочными данными: около 0,01 % масс. соответствует серной кислоте и 3,1 % масс – фтороводородной. Также фтороводородная кислота отличается

высокой избирательностью, меньшим расходом и простотой регенерации. Однако ограничивающими факторами ее применения являются [19]:

- Низкая температура кипения относительно серной кислоты (19,4 °С – HF, 296,2 °С – H₂SO₄). Данный параметр затрудняет транспортировку и эксплуатацию данного катализатора;
- Высокая летучесть;
- Токсичность, связанная с содержащимся в составе фтором;

Именно поэтому на отечественных нефтеперерабатывающих заводах наибольшее распространение имеет серная кислота, как катализатор для данного процесса. По данным источника [20], на территории нашего государства успешно эксплуатируются установки сернокислотного алкилирования в количестве 10 штук, причем совокупная мощность данных объектов составляет 400 000 тонн в год, в то время как установка фтороводородного алкилирования – всего одна.

1.2.2 Твердофазные катализаторы

Суммарные расходы на закупку катализаторов алкилирования превышают те же значения для других крупнотоннажных производств (риформинг, гидроочистка), в то время как сама мощность процесса алкилирования уступает данным процессам [21]. Прежде всего, это связано с высоким удельным расходом катализатора для данного процесса.

Также для эксплуатации жидких кислот необходимы емкости для хранения как свежей, так и уже отработанной кислоты, оборудование для блока нейтрализации и промывки продукта [22]. По итогу данных операций образуются различные отходы нефтехимии и промстоки.

Все это приводит к необходимости замены в промышленном процессе традиционных катализаторов алкилирования на твердофазные – цеолитсодержащие.

Цеолитсодержащие катализаторы, прежде всего, характеризуются высокой активностью кислотных центров, избирательностью и способностью

к регенерации. Однако основным недостатком данных катализаторов можно считать возможную блокировку внутренней пористой структуры высокомолекулярными веществами [23-25], что делает невозможным дальнейшее проведение процесса.

Стоит отметить, что цеолитсодержащие катализаторы пока не имеют большого распространения в промышленности. Это объясняется их небольшим сроком службы. Прежде всего это обусловлено использованием устаревших методов регенерации, которые влияют на изменение внутренней поверхности и, как следствие, ее пористости.

В качестве цеолитсодержащих катализаторов процесса алкилирования наибольшее распространение нашли такие типы, как CaNiY (с добавками Al_2O_3 в качестве связующего компонента), LaHY, а также с содержанием различных редкоземельных элементов в аммонийной форме цеолитов типа X или Y [26].

Данные с пилотных установок показывают как высокий выход алкилата – свыше 200 % масс., так и высокое октановое число – около 93 (по ММ) [27]. Поэтому введение цеолитсодержащих катализаторов на смену традиционным кислотам является одной из ведущих задач по усовершенствованию данного процесса.

1.3 Современные технологии алкилирования изобутана олефинами

В настоящее время существует большое разнообразие технологий алкилирования изобутана олефинами, которые отличаются как используемыми в рамках данной технологии катализаторами, так и применяемыми конструктивно-технологическими решениями, которые воплощаются в различии аппаратного оформления. Рассмотрим наиболее известные.

1.3.1 Технология алкилирования Alky-Clean компаний CLG и Akzo

Nobel

Одна из удачных технологий алкилирования, основанная на процессе Alky-Clean, была разработана путем совместной работы двух компаний – CLG (США) и Akzo Nobel (Голландия) [6]. Технологическая схема установки представлена на рисунке 4.

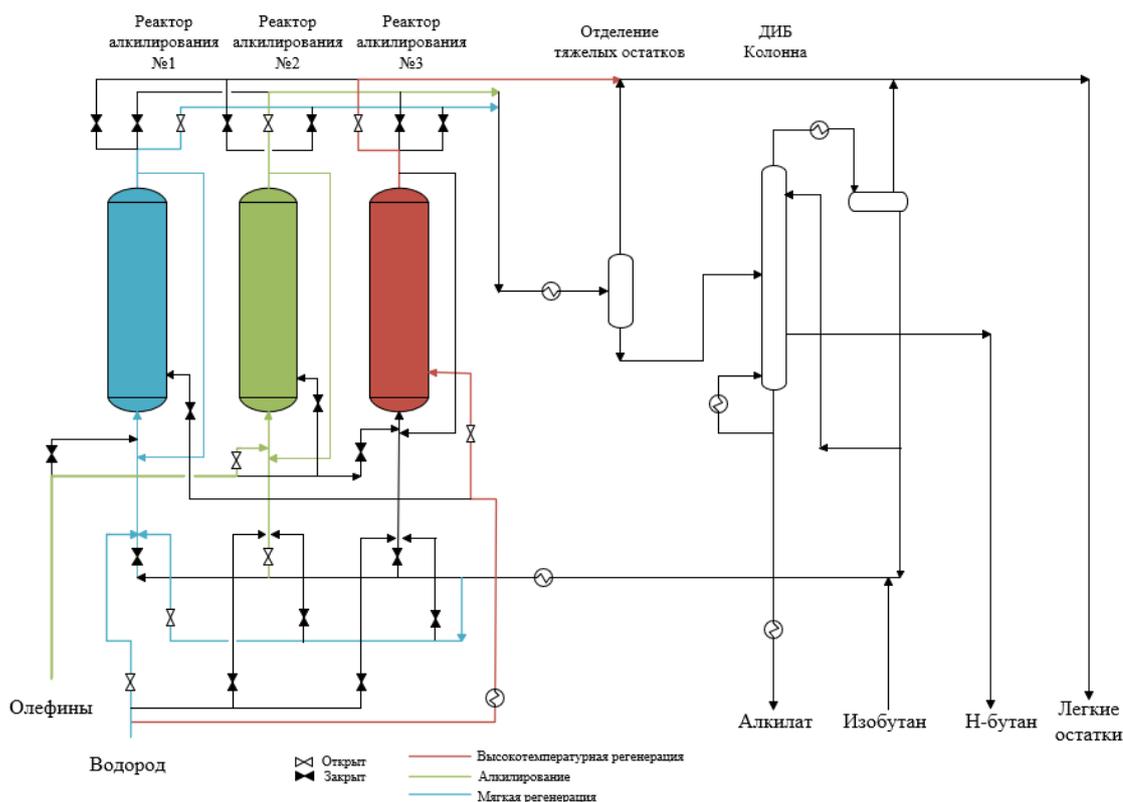


Рисунок 4 – Схема установки процесса Alky-Clean

Преимущество данной разработки в том, что получаемый на выходе бензин-алкилат имеет более 96 ОЧ ИМ, а также не содержит ароматических и сернистых соединений. Сама технология исключает применение едких и агрессивных кислот, тем самым безопасна для здоровья человека и состояния окружающей среды.

Данная технология также отличается тем, что используется твердокислотный цеолитный катализатор с добавлением платины и окиси алюминия, что исключает присутствие галогенид-ионов.

Сырье в реактор подается в соотношение изобутан: олефины от 8:1 до 10:1, температурный интервал поддерживается в районе $50 \div 90$ °С. Наличие трех реакторов способствует непрерывности всего процесса, а мультизонный ввод потоков олефина позволяет сохранять высокую активность катализатора на всей высоте реактора.

1.3.2 Технология алкилирования компании HaldorTopsøe A/S

Отличительной особенностью данной технологии является как катализатор, состоящий из сверхкислоты, которая адсорбирована непосредственно на твердом пористом носителе [28], так и совокупность реакторов с неподвижным слоем этого катализатора. За счет комбинации этих двух технологических решений достигаются высокие показатели готовой продукции. На рисунке 5 представлена блок-схема данной технологии.

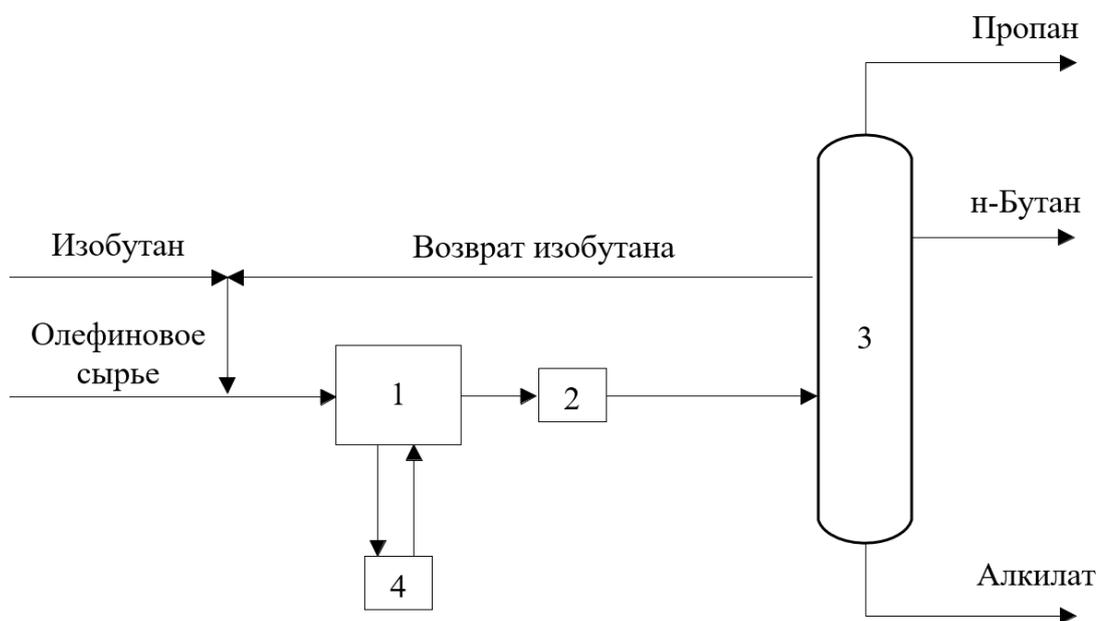


Рисунок 5 – Упрощенная блок-схема процесса алкилирования компании HaldorTopsøe A/S

За счет того, что в основе данного каталитического процесса лежит достаточно простая конструкция реактора, становится возможным мониторинг за состоянием катализатора с последующей его регенерацией.

Основные преимущества данной технологии:

- Невысокие затраты на реализацию данной технологии;
- Возможность своевременной регенерации катализатора за счет отвода дезактивированного катализатора из реакционной зоны;
- Высокие значения детонационной стойкости получаемого алкилата;
- Малый расход катализатора;

1.3.3 Технология алкилирования ExSact компании Exelus

Конструктивно технология компании ExSact схожа с ранее рассмотренной – HaldorTopsøe A/S. Обе технологии реализуются в реакторах с неподвижным слоем катализатора. Однако, в отличие от HaldorTopsøe A/S, технология алкилирования ExSact компании Exelus имеет второй реактор, в котором происходит регенерация катализатора. Технологическая схема установки алкилирования ExSact представлена на рисунке 6.

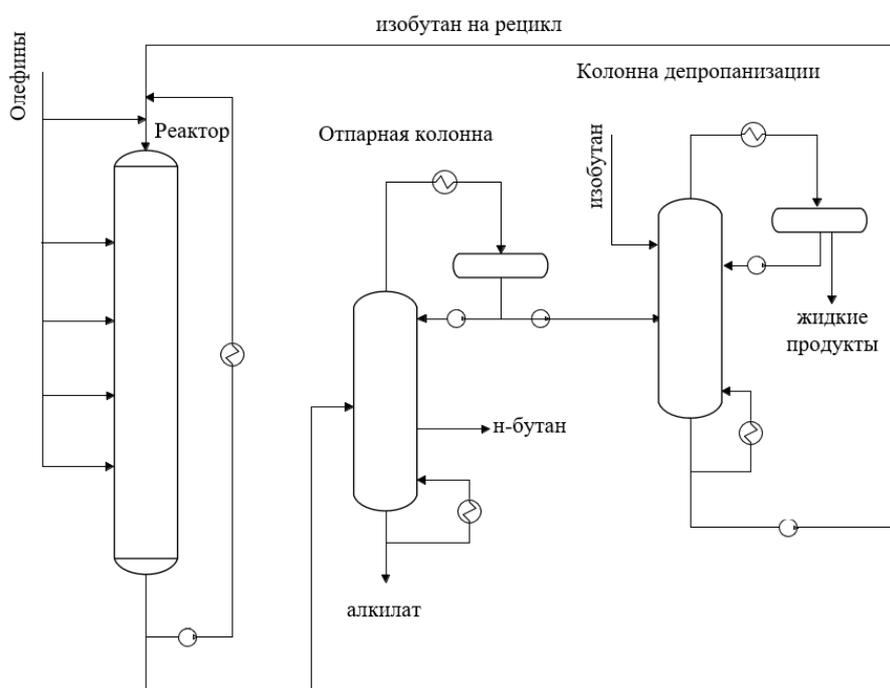


Рисунок 6 – Технологическая схема процесса ExSact компании Exelus [29]

Как уже было сказано, данная технология реализуется в двух реакторах. Первый реактор предназначен для проведения целевого процесса – алкилирования, второй – для проведения процесса регенерации

дезактивированного катализатора. Причем немаловажно, что оба реактора работают в последовательности, друг за другом.

Основные преимущества данной технологии:

- Отсутствие дополнительного оборудования для промывки получаемого алкилата от катализатора;
- Низкие капитальные затраты;
- Отсутствие необходимости в использовании материалов, устойчивых к коррозии;
- Высокая активность катализатора и, как следствие, высокая селективность проводимого процесса.

1.3.4 Технология алкилирования Alkylene компании UOP

Поскольку недостатком всех твердокислотных катализаторов является их невысокая стабильность, требующая последующей их регенерации, основной задачей, стоящей перед разработчиками процесса гетерогенного алкилирования изобутанов олефинами, является усовершенствование технологии регенерации катализаторов.

Компания UOP нашла решение данной задачи, однако используя другой путь. В основе технологии Alkylene лежит разработанный ими катализатор – HAL-100, состоящий из системы $AlCl_3/Al_2O_3$, которая в свою очередь модифицирована катионами K^+ и нанесенными металлами, такими как Pt, Pd или Ni [30].

Катализатор HAL-100, помимо высокой стабильности и селективности, обладает одним очень важным свойством – регенерация дезактивированного катализатора происходит в отсутствие отжига кокса. В сравнении с традиционным процессом алкилирования, протекающим в присутствии серной или фтороводородной кислот, свойства получаемого алкилата по технологии Alkylene ничуть не уступают традиционным технологиям.

На рисунке 7 представлена блок-схема процесса алкилирования Alkylene компании UOP.

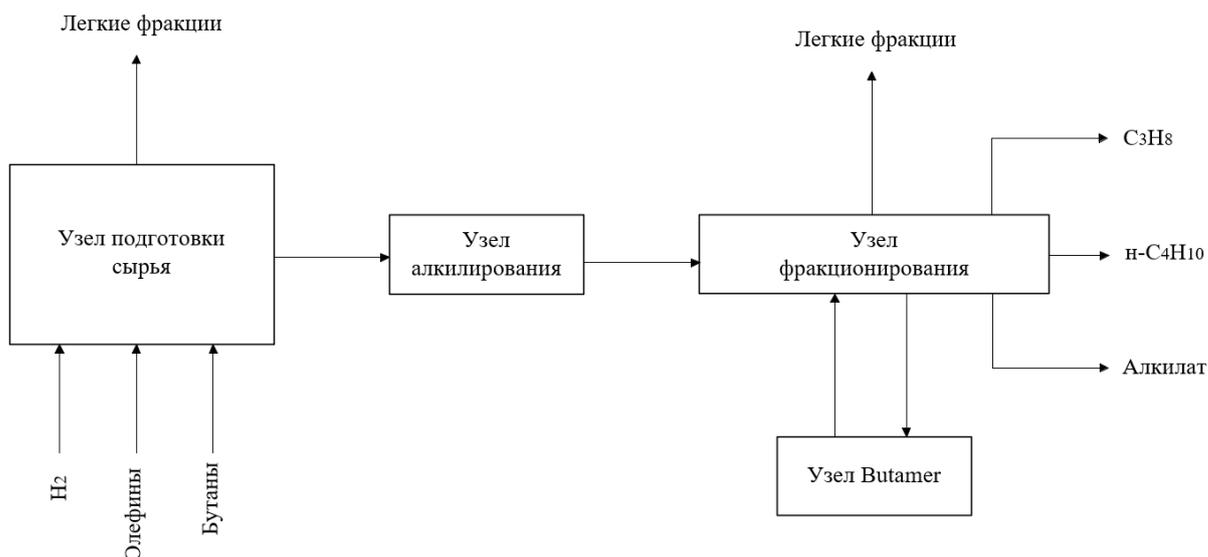


Рисунок 7 – Блок-схема процесса алкилирования Alkylene компании UOP

За счет проведения процесса при низких температурах и обеспечения быстрого контакта исходных веществ с катализатором достигается высокий выход целевых компонентов – триметилпентанов.

Основные преимущества данной технологии:

- Высокий выход продукта процесса – алкилата;
- Низкие эксплуатационные затраты за счет проведения процесса в не жестких условиях;
- Малый износ технологического оборудования, используемого в данном процесс за счет проведения данного процесса с частичным содержанием жидкой фазы.
- Невысокий расход катализатора, вследствие малой скорости циркулирующей суспензии;

1.3.5 Технология фтороводородного алкилирования компании «Philips Petroleum»

В мировой практике, а именно в США, распространена технология фтороводородного алкилирования [31], принадлежащая компании «Philips Petroleum». Технологическая схема установки по данной технологии представлена на рисунке 9.

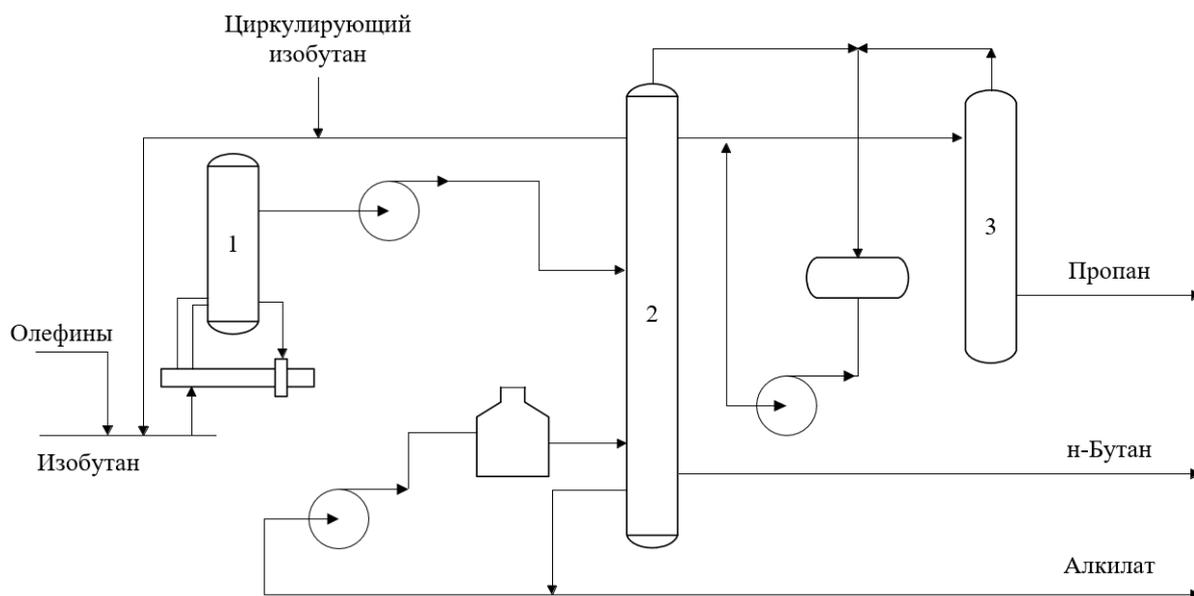


Рисунок 9 – Принципиальная схема установки фтористоводородного алкилирования по технологии фирмы «Phillips Petroleum»: 1 - реактор; 2 - фракционирующая колонная; 3 - отпарная колонна.

Исходные вещества, а именно сжиженный изобутан и некоторое эквивалентное количество олефинов, подвергаются предварительной осушке в соответствующем блоке (на схеме не указано). Затем производится подача смеси в реакторный блок 1, где происходит ее активное смешение вместе с плавиковой кислотой. В верхней части реактора скапливается так называемая углеводородная часть. Именно она в дальнейшем подается на фракционирующую колонну 2, в которой происходит разделение углеводородной части на более узкие фракции: пропан, изо- и н-бутан, а также алкилат. Снизу реактора 1 происходит накопление более тяжелой части – гидрофторида, который рециклом подается обратно в колонну. В ходе протекающего процесса возможен незначительный унос гидрофторида парами пропана. Для предотвращения загрязнения товарного пропана в технологической схеме предусмотрена отпарная колонна, позволяющая выделять из пропана фтористый водород. Также обязательным этапом перед отправкой получаемых продуктов в парк является процедура защелачивания.

В настоящее время процесс фтористоводородного алкилирования фирмы «Phillips Petroleum» используется на Мозырском

нефтеперерабатывающем заводе, расположенном в городе Мозырь (Республика Беларусь).

1.3.6 Технология сернокислотного алкилирования ГК РАН

Большинство мировых компаний в качестве катализатора в жидкофазном алкилировании используют как серную, так и фтороводородную кислоту. Однако фтороводородное алкилирование в России не имеет большой популярности, поскольку опасность его при эксплуатации превышает эффективность самого процесса. Поэтому большинство отечественных технологий алкилирования изобутана олефинами основаны на использовании серной кислоты.

Одной из самой распространенной технологией [32] сернокислотного алкилирования, которая применяется в России уже в течение более 20 лет на установке 25/7 НПЗ ОАО «Славнефть-ЯНОС», является разработкой ГК РАН. Технологическая схема данной установки представлена на рисунке 8.

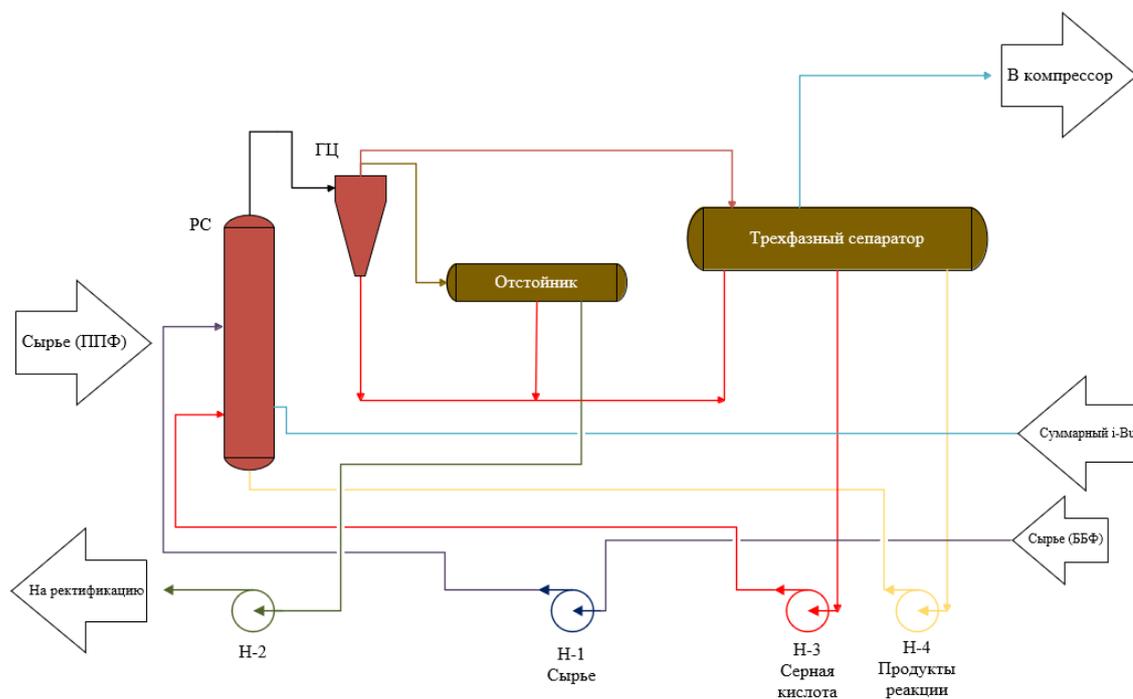


Рисунок 8 –Технология сернокислотного алкилирования ГК РАН

Основной частью данной установки является небольшой струйный реактор, который обеспечивает равномерное перемешивание получаемой эмульсии, при этом не занимая много места на НПЗ.

1.3.7 Технология сернокислотного алкилирования компании STRATCO

В технологии сернокислотного алкилирования, разработанной компанией STRATCO, используется сочетание такие исходных веществ, как бутилены, пропилены, амилены и изобутан. В качестве катализатора применяют высококонцентрированную серную кислоту.

На рисунке 9 представлена принципиальная схема установки сернокислотного алкилирования компании STRATCO [33].

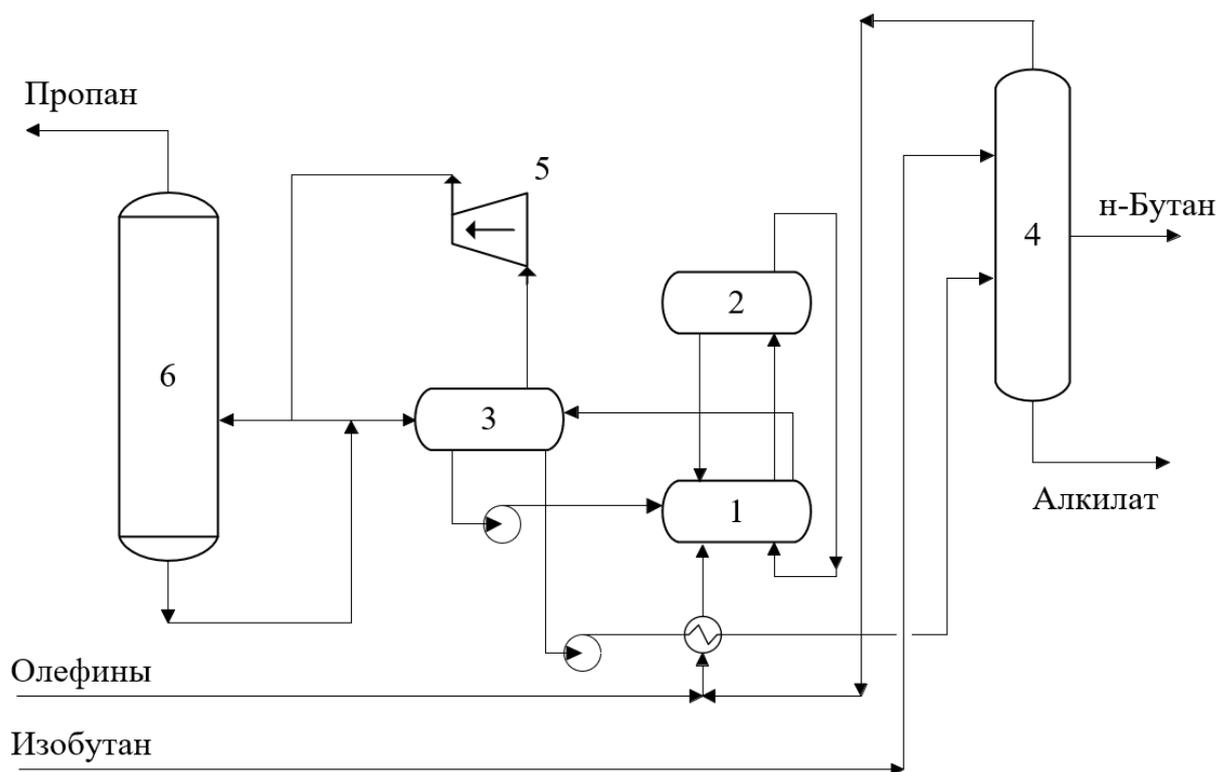


Рисунок 9 – Принципиальная схема установки сернокислотного алкилирования компании STRATCO: 1 – реактор-контактор; 2 – отстойник; 3 – сепаратор; 4 – деизобутанизатор; 5 – компрессор; 6 – пропановая колонна

Смешение исходных веществ с катализатором, а именно олефинов и газообразного изобутана с серной кислотой, происходит в контакторе 1. Затем

производят подачу полученных продуктов с высокой скоростью из емкости отстойника 2 в каплеотбойник 3. Далее продукты реакции поступают в изобутановую колонну 4, где с низа этой колонны выходит целевой продукт – алкилат, а сбоку – н-бутан. С верха колонны выводят изобутан, который затем рециклом подается в реактор для поддержания массо- и теплообмена.

Секция охлаждения продуктов реакции, циркулирующих в системе, в основном представлена колонной-депропанизатором. Головной погон данной колонны – пропан, а из куба отводят циркулирующие в системе продукты.

1.4 Существующие подходы к математическому моделированию процесса алкилирования изобутана олефинами

Для оптимизации процесса алкилирования (а именно нахождения оптимальных значений основных управляющих параметров) создаются различные математические модели, позволяющие просчитать состав, выход, а также октановое число получаемого алкилата.

Авторы статьи [34] при помощи составленной ими математической модели процесса сернокислотного алкилирования изобутана бутеном смогли исследовать изменение концентраций трех ключевых компонентов, входящих в состав алкилата. Это триметилпентаны, нежелательные диметилгексаны, а также тяжелые остатки.

Данная модель была составлена на основе классического карбений-ионного цепного механизма реакции, лежащей в основе процесса алкилирования изобутана бутеном [35]. Схема превращений представлена на рисунке 10.

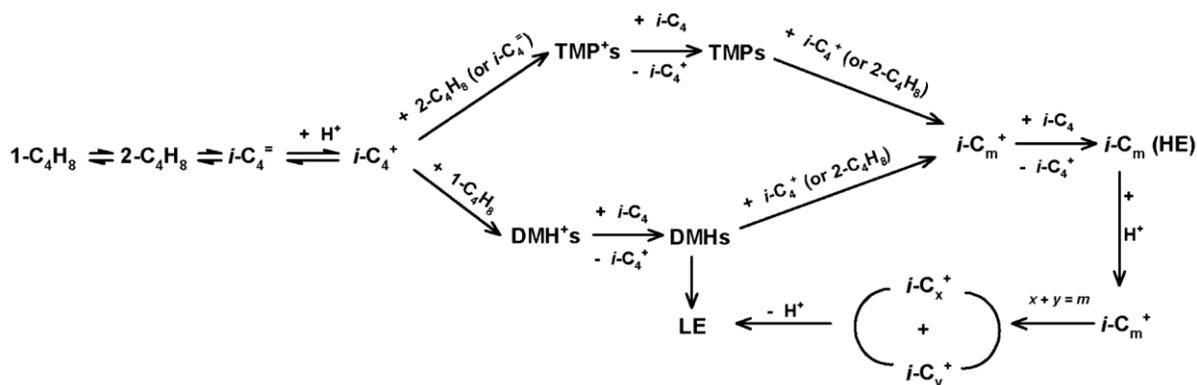


Рисунок 10 – Схема превращений процесса алкилирования, катализируемого серной кислотой

Для упрощения данной модели все катионы C_8 объединили в один псевдокомпонент – TMP^+ (ТМП⁺). Также объединили iC_{12}^+ и iC_{16}^+ в один псевдокомпонент iC_m^+ . Все триметилпентаны, диметилгексаны, тяжелые и легкие остатки, а также их изомеры рассматриваются как отдельные самостоятельные компоненты, ввиду их близкого молекулярного веса.

С учетом всех упрощений, кинетическая модель имеет следующий вид:

$$\begin{aligned} \frac{dc_1}{dt} &= -(1 - \alpha - \beta)k_1c_1 - (1 - \alpha)k_3c_1c_3 - \alpha k_5c_1c_3 - \\ &\quad -(1 - \alpha)k_7c_1c_2k_4 + k_2c_3; \\ \frac{dc_2}{dt} &= -k_4c_2c_4 - k_6c_2c_5 - (1 - \alpha)k_7c_1c_2c_4; \\ \frac{dc_3}{dt} &= (1 - \alpha - \beta)k_1c_1 + k_4c_2c_4 + k_6c_2c_5 - k_4c_1c_3 - \alpha k_5c_1c_3 - \\ &\quad - k_2c_3 + (1 - \alpha)k_7c_1c_2c_4; \\ \frac{dc_4}{dt} &= (1 - \alpha)k_3c_1c_3 - k_4c_2c_4 - (1 - \alpha)k_7c_1c_2c_4; \\ \frac{dc_5}{dt} &= \alpha k_5c_1c_3 - k_6c_2c_5; \\ \frac{dc_6}{dt} &= k_4c_2c_4; \\ \frac{dc_7}{dt} &= k_6c_2c_5 - k_{10}c_7; \\ \frac{dc_8}{dt} &= (1 - \alpha)k_7c_1c_2c_4 + k_9c_9c_{10} - k_8c_8; \\ \frac{dc_9}{dt} &= k_8c_8 - k_9c_9c_{10}; \\ \frac{dc_{10}}{dt} &= k_8c_8 - k_9c_9c_{10}; \end{aligned}$$

Граничные условия: при $t = 0$

$$c_1 = c_1^0; c_2 = c_2^0; c_3 = 0; c_4 = 0; c_5 = 0; c_6 = 0; c_7 = 0; c_8 = 0; \\ c_9 = 0; c_{10} = 0;$$

Уравнения кинетической модели были рассчитаны методом Рунге-Кутте на каждой итерации.

Оценку адекватности модели авторы произвели путем расчета объектной функции, сравнивая расчетные и экспериментальные значения концентрации компонентов по методу наименьших квадратов. Сопоставление расчетных и экспериментальных данных показало их удовлетворительное соответствие, что доказывает пригодность данной модели для исследования процесса.

Благодаря составленной модели было показано, что концентрации триметилпентанов, нежелательных диметилгексанов, а также тяжелых остатков претерпевают резкие изменения в течение 2 минут. Также было выявлено, что вначале концентрация тяжелых остатков резко повышается, а затем постепенно снижается. Это доказывает, что алкилирование изобутана олефинами протекает с достаточно большой скоростью [36, 37]. На протяжении следующего времени исследования концентрации компонентов не менялись, но наблюдалось небольшое снижение у диметилгексанов.

В другой статье [38] авторы произвели исследование процесса алкилирования изобутана бутеном-2, катализируемого композитной ионной жидкостью. Композитная ионная жидкость представляет собой продукт синтеза, полученный путем смешивания гидрохлорид триэтиламина, безводной двуокиси хлорида алюминия (III), а также хлорида меди (I) [39].

В основе данной модели лежит схожий карбений-ионный цепной механизм, поскольку механизм протекания реакции не зависит от выбора катализатора. Однако некоторые стадии данной модели значительно отличаются от рассмотренной ранее. Схема превращений представлена на рисунке 11.

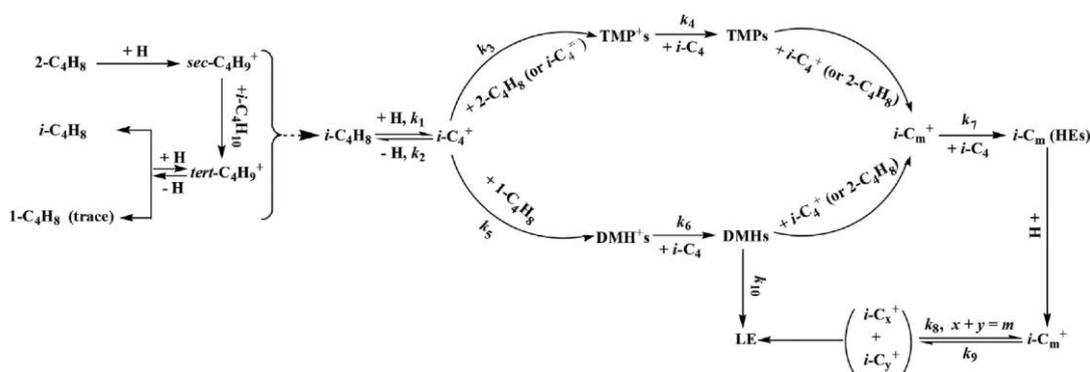


Рисунок 11 – Схема превращений процесса алкилирования, катализируемого композитной ионной жидкостью

Во избежание чрезмерной перегрузки модели, были сделаны упрощения. Например, как и в предыдущей рассматриваемой модели, объединили все ключевые компоненты из-за их схожей молекулярной массы. Ионы карбония C_8 рассматриваются как один псевдокомпонент, такой как TMP^+ ($TMPI^+$) и DMH^+ ($DMGI^+$). Также ионы карбония тяжелых остатков объединены в псевдокомпонент $i-C_m^+$.

Таким образом, кинетическая модель имеет следующий вид:

$$\begin{aligned} \frac{dc_1}{dt} &= -(1 - \alpha - \beta)k_1c_1 - (1 - \alpha)k_3c_1c_3 - \alpha k_5c_1c_3 - \\ &\quad -(1 - \alpha)k_7c_1c_2c_4 + k_2c_3; \\ \frac{dc_2}{dt} &= -k_4c_2c_4 - k_6c_2c_5 - (1 - \alpha)k_7c_1c_2c_4; \\ \frac{dc_3}{dt} &= (1 - \alpha - \beta)k_1c_1 + k_4c_2c_4 + k_6c_2c_5 - (1 - \alpha)k_3c_1c_3 - \alpha k_5c_1c_3 - \\ &\quad -k_2c_3; + (1 - \alpha)k_7c_1c_2c_4; \\ \frac{dc_4}{dt} &= (1 - \alpha)k_3c_1c_3 - k_4c_2c_4 - (1 - \alpha)k_7c_1c_2c_4; \\ \frac{dc_5}{dt} &= \alpha k_5c_1c_3 - k_6c_2c_5; \\ \frac{dc_6}{dt} &= k_4c_2c_4; \\ \frac{dc_7}{dt} &= k_6c_2c_5 - k_{10}c_7; \\ \frac{dc_8}{dt} &= (1 - \alpha)k_7c_1c_2c_4 + k_9c_9c_{10} - k_8c_8; \\ \frac{dc_9}{dt} &= k_8c_8 - k_9c_9c_{10}; \\ \frac{dc_{10}}{dt} &= k_8c_8 - k_9c_9c_{10}; \end{aligned}$$

Граничные условия: при $t = 0$

$$c_1 = c_1^0; c_2 = c_2^0; c_3 = 0; c_4 = 0; c_5 = 0; c_6 = 0; c_7 = 0; c_8 = 0; \\ c_9 = 0; c_{10} = 0;$$

Сравнение расчетных и экспериментальных данных по методу наименьших квадратов показало адекватность применения данной модели.

Благодаря расчету на модели было показано, что данный процесс характеризуется малым временем контакта, равным $0,5 \div 1$ мин [40]. Данное значение намного меньше времени контакта, когда в качестве катализатора выступает серная кислота (более 5 минут). Это говорит о более высокой растворимости изобутана в композитной ионной жидкости, поскольку высокая растворимость изобутана может ускорить перенос гидрида от изобутана к ТМП⁺.

Выход компонентов C₅-C₇ и тяжелых остатков резко снижается до 0,5 мин, после чего несколько возрастает. Обратная тенденция наблюдается по выходу компонентов C₈. Более того, значение октанового числа достигает максимального значения до 0,5 мин, а затем это значение немного уменьшается с увеличением времени контакта реакции, указывая на оптимальное время реакции алкилирования, равное 30 с.

Таким образом, можно заключить, что рассмотренные модели процесса алкилирования изобутана олефинами отличаются от модели, на основе которой производилось исследование в данной работе, прежде всего количеством компонентов. В рассмотренных моделях производилось объединение компонентов по схожести их молекулярной массы с целью снижения потребления вычислительных ресурсов, в то время как в используемой модели – по подобию физико-химических свойств. Также в основе моделей лежит лабораторный эксперимент, в то время как модель, на которой производились расчеты, основана на реальном промышленном процессе.

переработки нефти и газа» (Томский политехнический университет, Сибирский федеральный университет, Санкт-Петербургский горный университет).

В настоящий момент можно выделить основные компании-конкуренты, которые занимают лидирующие позиции на рынке моделирования нефтехимических процессов. Это SimulationSciences (SimSci), AspenTechnologies и Huprotech. Основным недостатком продуктов данных компаний является отсутствие возможности расчета различных параметров с целью их оптимизации в реальном процессе.

В таблице 6 представлена карта сегментирования рынка услуг.

Таблица 6 – Карта сегментирования рынка услуг

		Вид услуги		
		Внедрение ПО	Услуги по мониторингу и оптимизации процесса	Внедрение обучающих тренажеров
Категория потребителей	Крупные НПЗ			
	Средние НПЗ			
	Мелкие НПЗ			
	Проектно-исследовательские организации			
	Учебные центры			

SimSci
 AspenTechnologies
 Huprotech

Анализируя данные таблицы 1, можно утверждать, что основным сегментом и направлением для исследований являются услуги по мониторингу и оптимизации процесса.

Основным ограничивающим фактором внедрения ПО является количество действующих предприятий, в состав которых входит блок алкилирования изобутана олефинами.

Благодаря введению обучающих тренажеров в комплекс подготовки будущих операторов повысится как квалификация будущих специалистов, так и количество предприятий, занимающихся данным процессом.

4.1.2 Анализ конкурентных технических решений

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

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

Для проведения сравнительного анализа существующих программ необходимо проанализировать их возможности. Рассмотрим такие программы, как Hysys и HysimPro И Pro Vision, AspenPlus и SpeedUP, которые позволяют смоделировать процесс нефтепереработки, однако, как было сказано ранее, не способны находить оптимальные значения основных управляющих параметров процесса.

В таблице 7 представлена оценочная карта для сравнения конкурентных технических разработок.

Таким образом, анализируя оценочную карту, можно судить о конкурентоспособности разрабатываемой модели среди уже существующих программ. Однако, стоит отметить, что настоящая модель предназначена для расчета только процесса алкилирования, в то время как другие программы обладают более широким спектром реализуемых процессов.

Таблица 7 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических разработок

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б _ф	Б _{к1}	Б _{к2}	К _ф	К _{к1}	К _{к2}
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
Повышение производительности	0,16	3	3	3	0,48	0,48	0,48
Удобство в эксплуатации	0,08	4	4	3	0,32	0,32	0,24
Энергоэкономичность	0,07	4	3	3	0,28	0,21	0,21
Надежность	0,10	3	5	4	0,30	0,50	0,40
Безопасность	0,08	5	5	5	0,40	0,40	0,40
Потребность в ресурсах памяти	0,04	5	3	3	0,20	0,12	0,12
Функциональная мощность	0,09	3	4	4	0,27	0,36	0,36
Простота эксплуатации	0,06	5	4	3	0,30	0,24	0,18
Экономические критерии оценки эффективности							
Конкурентоспособность продукта	0,11	3	4	4	0,33	0,44	0,44
Уровень проникновения на рынок	0,04	4	4	4	0,16	0,16	0,16
Цена	0,07	3	2	2	0,21	0,14	0,14
Предполагаемый срок эксплуатации	0,03	5	4	4	0,15	0,12	0,12
Срок выхода на рынок	0,05	3	4	4	0,15	0,20	0,20
Наличие сертификации разработки	0,02	3	4	4	0,06	0,08	0,08
Итого	1	53	52	50	3,61	3,60	3,52

Б_ф и К_ф – баллы и конкурентоспособность научной разработки; Б_{к1} и К_{к1} – баллы и конкурентоспособность SimSci; Б_{к2} и К_{к2} – баллы и конкурентоспособность AspenTechnologies;

Таким образом, научная разработка имеет достаточное конкурентное преимущество на рынке существующих разработок. Основная уязвимость уже существующих продуктов заключается в их энергоэкономичности, потребности ресурсах памяти, простоте эксплуатации, а также в цене. Именно это дает возможность занять данную нишу.

4.1.3 SWOT-анализ

В таблице 8 представлена матрица SWOT – анализа.

Таблица 8 – Матрица SWOT

	<p>Сильные стороны научно – исследовательского проекта (С):</p> <p>С1. Заявленная экономичность и энергоэффективность технологи.</p> <p>С2. Проведение исследований по оптимизации процесса не требует наличия промышленной установки.</p> <p>С3. Наличие бюджетного финансирования.</p> <p>С4. Чувствительность модели к изменению ее параметров и состава сырья.</p> <p>С5. Высокая точность математической модели.</p>	<p>Слабые стороны научно – исследовательского проекта (Сл):</p> <p>Сл1. Пренебрежение действиями диффузии в модели.</p> <p>Сл2. Отсутствие возможности расчета процесса с участием других катализаторов.</p> <p>Сл3. Отсутствие у потенциальных потребителей квалифицированных кадров для работы с моделью процесса.</p> <p>Сл4. Для реализации модели использованы данные только с одной промышленной установки.</p> <p>Сл5. Не разработан бизнес-план коммерциализации разработки.</p>
<p>Возможности (В):</p> <p>В1. Внедрение разработанной модели на действующие нефтеперерабатывающие предприятия с целью оптимизации процесса алкилирования.</p> <p>В2. Внедрение разработанной модели в образовательные системы в учебных центрах при предприятиях.</p> <p>В3. Внедрение разработанной модели в учебные программы в специальных образовательных учреждениях.</p>		

<p>Угрозы (У): У1. Низкая востребованность со стороны предприятий, связанное с малой распространенностью процесса алкилирования. У2. Высокая конкуренция со стороны других моделирующей систем, которые уже имеются на рынке.</p>	<p>1. Активное продвижение технологии алкилирования, как наиболее высокоэффективного процесса, с целью повышения спроса на разработанную модель. 2. Уменьшение временных затрат на создание модели для ее скорейшего вывода на рынок.</p>	<p>1. Разработка научного исследования процесса с участием других катализаторов. 2. Поиск и приобретение необходимых исходных данных с промышленной установки по составу сырья и получаемых продуктов.</p>
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

На основании данных, представленных в таблице 8, была составлена интерактивная матрица проекта (Таблица 9).

Таблица 9 – Интерактивная матрица проекта

Сильные стороны проекта						
		C1	C2	C3	C4	C5
Возможности проекта	B1	+	+	0	+	+
	B2	+	+	+	+	+
	B3	+	+	+	+	+
Сильные стороны проекта						
		C1	C2	C3	C4	C5
Угрозы проекта	У1	+	+	0	+	+
	У2	+	-	+	+	+
Слабые стороны проекта						
		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	Сл5
Возможности проекта	B1	+	+	-	+	-
	B2	+	+	-	+	0
	B3	+	+	-	+	0

Слабые стороны проекта						
Угрозы проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	Сл5
	У1	+	+	-	-	+
	У2	+	+	-	+	+

Затем составили итоговую матрицу SWOT, которая представлена в таблице 10.

Таблица 10 – итоговая матрица SWOT

	<p>Сильные стороны научно – исследовательского проекта (С):</p> <p>С1. Заявленная экономичность и энергоэффективность технологии.</p> <p>С2. Проведение исследований по оптимизации процесса не требует наличия промышленной установки.</p> <p>С3. Наличие бюджетного финансирования.</p> <p>С4. Чувствительность модели к изменению ее параметров и состава сырья.</p> <p>С5. Высокая точность математической модели.</p>	<p>Слабые стороны научно – исследовательского проекта (Сл):</p> <p>Сл1. Пренебрежение действиями диффузии в модели.</p> <p>Сл2. Отсутствие возможности расчета процесса с участием других катализаторов.</p> <p>Сл3. Отсутствие у потенциальных потребителей квалифицированных кадров для работы с моделью процесса.</p> <p>Сл4. Для реализации модели использованы данные только с одной промышленной установки.</p> <p>Сл5. Не разработан бизнес-план коммерциализации разработки.</p>
--	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

<p>Возможности (В):</p> <p>В1. Внедрение разработанной модели на действующие нефтеперерабатывающие предприятия с целью оптимизации процесса алкилирования.</p> <p>В2. Внедрение разработанной модели в образовательные системы в учебных центрах при предприятиях.</p> <p>В3. Внедрение разработанной модели в учебные программы в специальных образовательных учреждениях.</p>	<p>1. Увеличение эффективности проведения процесса на нефтеперерабатывающих предприятиях (В1С1С2С4С5).</p> <p>2. Проведение экспериментов в лабораториях ТПУ (В2С1С2С3С4С5).</p> <p>3. Улучшение программной составляющей разработанной модели (В3С1С2С3С4С5).</p>	<p>1. Использование модели для исследования процесса алкилирования с применением других катализаторов (В1Сл1Сл2Сл4).</p> <p>2. Закупка оборудования для реализации процесса в лабораторных условиях (В2Сл1Сл2Сл4).</p> <p>3. Создание моделирующей системы, способной рассчитать всю технологическую схему процесса (В3Сл1Сл2Сл4).</p>
<p>Угрозы (У):</p> <p>У1. Низкая востребованность со стороны предприятий, связанное с малой распространенностью процесса алкилирования.</p> <p>У2. Высокая конкуренция со стороны других моделирующей систем, которые уже имеются на рынке.</p>	<p>1. Активное продвижение технологии алкилирования, как наиболее высокоэффективного процесса, с целью повышения спроса на разработанную модель (У1С1С2С4С5).</p> <p>2. Уменьшение временных затрат на создание модели для ее скорейшего вывода на рынок (У1С1С3С4С5).</p>	<p>1. Разработка научного исследования процесса с участием других катализаторов (У1Сл1Сл2Сл5).</p> <p>2. Поиск и приобретение необходимых исходных данных с промышленной установки по составу сырья и получаемых продуктов (У1Сл1Сл2Сл4Сл5).</p>

Благодаря составленной матрице можно наглядно посмотреть на сильные и слабые стороны данного проекта. Как можно видеть, оба этих параметра достаточно сбалансированы, что доказывает стабильность разработанной модели.

4.1.4 Определение возможных альтернатив проведения научных исследований

В таблице 11 представлена морфологическая матрица моделирования процесса алкилирования изобутана олефинами.

Таблица 11 – Морфологическая матрица моделирования процесса серноокислотного алкилирования изобутана бутиленом

	1	2	3
А. Среда, в которой написан программный продукт	Delphi 7	C++	Anjuta
Б. Метод определения термодинамических параметров	В программе Gaussian	В программе «ПРИРОДА»	Экспериментально
В. Учёт нестационарности модели	С использованием статической модели	Динамическая модель	Детерминированная

Согласно данной таблице, можно выделить несколько альтернатив проведения научного исследования, в основе которых лежит использование различных языков программирования.

4.2 Планирование научно-исследовательских работ

4.2.1 Структура работ в рамках научного исследования

В таблице 12 представлен перечень работ и распределение их исполнителей.

Таблица 12 – 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	Инженер
	3	Обзор современных методов исследований по выбранному направлению	Инженер
	4	Календарное планирование работ по теме	Руководитель, Инженер

Теоретическое обоснование и проведение экспериментальных исследований	5	Теоретическое обоснование и выбор экспериментальных методов исследований	Руководитель, Инженер
	6	Построение моделей и проведение экспериментов	Инженер
	7	Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими исследованиями	Инженер
Обобщение полученных результатов, выводы по проделанной работе	8	Оценка эффективности проведенных исследований	Руководитель
	9	Определение целесообразности проведения ВКР	Инженер
Разработка технической документации и проектирование	10	Разработка модели и ее компьютерная реализация	Инженер
	11	Оценка эффективности	Инженер
	12	Сбор информации по охране труда	Инженер
	13	Подбор данных для выполнения экономической части работы	Инженер
Оформление отчета по ВКР	14	Составление пояснительной записки	Руководитель, Инженер
	15	Сдача работы на рецензию	Инженер
	16	Предзащита	Руководитель, Инженер
	17	Подготовка к защите дипломной работы	Инженер
	18	Защита дипломной работы	Руководитель, Инженер

$$\text{Коэффициент календарности равен: } K_{\text{кал}} = \frac{303}{303-62} = 1,26$$

Результаты расчета временных показателей проведения научного исследования представлены в таблице 13. Календарный график проведения работ представлен в таблице 14.

Таблица 13 – Временные показатели проведения научного исследования

№ работы	Трудоемкость работы			Исполнители	Длительность работ в рабочих днях Т _р	Длительность в календарных днях Т _к
	t _{min} , чел-дни	t _{max} , чел-дни	t _{ож} , чел-дни			
1	2	4	3	Руковод.	3	4
2	1	3	2	Инженер	2	2
3	2	3	2	Инженер	2	3
4	2	5	3	Руковод. Инженер	2	2
5	5	10	7	Руковод. Инженер	4	4
6	15	20	17	Инженер	17	21
7	7	12	9	Инженер	9	11
8	5	10	7	Руковод.	7	9
9	4	6	5	Инженер	5	6
10	20	24	22	Инженер	22	27
11	35	40	37	Инженер	37	47
12	5	10	7	Инженер	7	9
13	7	10	8	Инженер	8	10
14	20	25	22	Руковод. Инженер	11	14
15	15	25	19	Инженер	19	24
16	7	10	8	Руковод. Инженер	4	5
17	10	12	11	Инженер	11	14
18	5	7	6	Руковод. Инженер	3	4
Итого	167	236	195		172	216

Таблица 14 – Календарный график проведения работ на 2020 – 2021 г.

Содержание работ	Должность исполнителя	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь
Составление и утверждение технического задания	Руководитель										
Выбор направления исследований	Инженер										
Обзор современных методов исследований по выбранному направлению	Инженер										
Календарное планирование работ по теме	Руководитель, Инженер										
Теоретическое обоснование и выбор экспериментальных методов исследований	Руководитель, Инженер										
Построение моделей и проведение экспериментов	Инженер										
Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими исследованиями	Инженер										
Оценка эффективности проведенных исследований	Руководитель										
Определение целесообразности проведения ВКР	Инженер										
Разработка модели и ее компьютерная реализация	Инженер										
Оценка эффективности	Инженер										
Сбор информации по охране труда	Инженер										

$$Z_M = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{расхi}$$

Принимаем $k_T = 20\%$ от стоимости материалов.

Материальные затраты, необходимые для разработки модели серноокислотного алкилирования, отражены в таблице 16.

Таблица 16 – Материальный затраты

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы (Z_M), руб
Бумага А4	листов	100	1,5	180
Чернила для лазерного принтера	мл	100	1,1	110
Блокнот	шт.	3	75	225
Шариковая ручка	шт.	2	35	70
Карандаш простой	шт.	2	10	20
Итого:				605

Суммарные материальные затраты составляют 605 рублей.

4.3.2 Расчет затрат на специальное оборудование

Для выполнения исследовательского проекта требуется приобрести персональный компьютер, ПО MicrosoftOffice 365 для работы с документами, лицензионное программное обеспечение Gaussian и лицензионного программного пакета Delphi 7 для компьютерной реализации модели. Также требуется получить экспериментальные данные с действующей установки алкилирования, запросив их на нефтеперерабатывающем заводе или проведя испытания самостоятельно на кафедре.

Все расчеты по приобретению спецоборудования, включая 15% на затраты по доставке и монтажу, отображены в таблице 17.

Таблица 17 – Расчет бюджета затрат на приобретение спецоборудования

№ п/п	Наименование оборудования	Количество единиц оборудования	Цена единицы оборудования, тыс. руб.	Общая стоимость оборудования, тыс. руб.
1	ПО MicrosoftOffice	1	5	5
2	Borland Delphi 7	1	15	15
3	Gaussian DM Calculator v1.0	1	30	30
4	Персональный компьютер	1	50	50
5	Лазерный принтер	1	4	4
Итого:				104

В таблице 18 приведен расчет амортизационных отчислений.

При расчете амортизации принимаем средневзвешенную норму амортизации равной 25%.

Таблица 18 – Расчет амортизационных отчислений

№ п/п	Наименование оборудования	Кол-во	Цена единицы оборудования, тыс. руб	Срок службы*, дней	Амортизация оборудования, тыс.руб
1	Компьютер	1	50	303	10,38
2	Принтер	1	4	303	0,83
Итого:					11,21

Срок службы принимаем равным учебному периоду, выделенному на выполнение работы - 10 месяцев (303 дня).

4.3.3 Основная заработная плата исполнителей темы

Баланс рабочего времени приведен в таблице 19.

Таблица 19 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Научный руководитель проекта	Инженер
Календарное число дней	303	303
Количество нерабочих дней		
- выходные	48	48
- праздничные	14	14

Потери рабочего времени		
- отпуск	0	14
- больничный	4	7
Действительный годовой фонд рабочего времени	237	220

Расчет основной заработной платы приведен в таблице 20.

Таблица 20 – Основная заработная плата

	Базовый оклад, руб.	Районный коэффициент	Месячный должностной оклад, руб.	Среднедневная заработная плата, руб	Количество рабочих дней, шт	Общая заработная плата, руб.
Руководитель	27770	1,3	54151,5	2734,92	34	92987,28
Студент	12130	1,3	23653,5	1278,57	172	219914,04
Итого:						312901,32

Расчеты показали, что суммарная общая заработная плата составляет 312901,32 рублей.

4.3.4 Дополнительная заработная плата исполнителей темы

В таблице 21 приведена форма расчёта основной и дополнительной заработной платы.

Таблица 21 – Итоговая заработная плата

Исполнители	Основная заработная плата, руб.	Коэффициент дополнительной заработной платы	Дополнительная заработная плата, руб.	Итоговая зарплата, руб.
Руководитель	92987,28	0,12	11158,47	104145,75

Студент	219914,04	0,12	26389,68	246303,72
Итого:				350449,47

Расчеты показали, что итоговая заработная плата составляет 350449,47 рублей.

4.3.5 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Расчет отчислений во внебюджетные фонды осуществляется на основании Налогового кодекса Российской Федерации, согласно которому размер отчислений во внебюджетные фонды составляет 30% плюс страхование от несчастных случаев и травматизма. Примем размер отчислений во внебюджетные фонды в размере – 30 %. Результаты представлены в таблице 22.

Таблица 22 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнители	Зарботная плата, руб	Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	Размер отчислений, руб.
Научный руководитель	104145,75	0,30	31243,73
Инженер	246303,72		73891,12
Итого:			105134,85

Согласно расчетам, размер отчислений составляет 105134,85 рублей.

4.3.6 Формирование бюджета исследовательского проекта

Итоговая таблица формирования бюджета исследовательского проекта приведена ниже.

Таблица 23 – Расчет бюджета затрат исследовательской работы

Наименование	Сумма, руб.
Материальные затраты	605
Приобретение спецоборудования	104000
Амортизационные отчисления	11210
Зарботная плата руководителя ВКР	104145,75
Зарботная плата исполнителя проекта	246303,72
Отчисления во внебюджетные фонды	105134,85
Бюджет затрат	571399,32

Согласно расчетам, бюджет затрат работы составляет 571399,32 рублей.

4.4 Определение 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.

В таблице 24 представлена сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Вариант исполнения 1 соответствует разработке модели в программной среде Delphi, а вариант исполнения 2 – разработка модели в программной среде Pascal ABC.

Таблица 24 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерий	Весовой коэффициент параметра	Исп. 1	Исп. 2
1. Способствует росту производительности труда	0,25	5	4
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителя)	0,15	4	3
3. Пригодность к исправлению ошибок	0,25	4	3
4. Стоимость разработки	0,15	5	2
5. Специфичность для конкретного производства	0,20	3	4
ИТОГО	1		

Тогда интегральный показатель ресурсоэффективности для двух исполнений будет равен:

$$I_{p-1} = 0,25 \cdot 5 + 0,15 \cdot 4 + 0,25 \cdot 4 + 0,15 \cdot 5 + 0,20 \cdot 3 = 4,2;$$

$$I_{p-2} = 0,25 \cdot 4 + 0,15 \cdot 3 + 0,25 \cdot 3 + 0,15 \cdot 2 + 0,20 \cdot 4 = 3,3;$$

В таблице 20 представлена сравнительная эффективность разработки

Таблица 25 – Сравнительная эффективность разработки

№	Показатели	Исп. 1	Исп. 2
1	Интегральный финансовый показатель разработки	1	0,98
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,2	3,3
3	Интегральный показатель эффективности	4,2	3,37
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1,25	0,8

В ходе выполнения данного раздела были определены финансовый показатель разработки, показатель ресурсоэффективности, интегральный показатель эффективности и, на основании сравнительной эффективности вариантов исполнения, оптимальным был выбран вариант исполнения 1.

5 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

Нефтеперерабатывающие заводы отличаются высоким уровнем опасности и возможностью возникновения экстремальных ситуаций, угрожающих здоровью рабочего персонала. Социальная ответственность – ответственность организации за воздействие её решений и деятельности на общество и окружающую среду через прозрачное и этическое поведение.

В связи с этим на данных производствах необходима разработка мероприятий по оздоровлению и улучшению условий труда, главной целью которых должно быть создание благоприятных условий, необходимых для высокопроизводительного труда и устранения профессиональных заболеваний, производственного травматизма и причин им способствующих, а также предотвращения возможного возникновения чрезвычайных ситуаций. Это возможно только лишь при соблюдении строгой дисциплины всем персоналом при выполнении работ и следовании инструкциям по охране труда.

Объектом исследования данной работы стал процесс жидкофазного алкилирования изобутана олефинами. Сырьем для установки процесса служит бутан-бутиленовая фракция установок предприятия, которая содержит около 50% олефинов и изобутановая фракция установки газофракционирования.

Целью данной работы стало исследование процесса, а также влияния на него различных технологических параметров при помощи математической модели.

5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

5.1.1 Правовые нормы трудового законодательства

Поскольку проведение мероприятий по регулированию технологических параметров установки алкилирования и последующий их контроль невозможен без присутствия работника непосредственно на НПЗ, а,

в свою очередь, НПЗ находятся в отдалении от населенных пунктов и мест постоянного проживания работника, в основном преобладает вахтовый метод работы. Особенности регулирования труда лиц, работающих вахтовым методом прописаны в Главе 47 ТК РФ [41]. Помимо этого, работы на нефтеперерабатывающих заводах относятся к числу вредных и опасных для здоровья трудящихся.

К работам вахтовым методом и работам на вредных и опасных производственных объектах не допускаются лица, не достигшие совершеннолетия (18 лет), беременные женщины и женщины, имеющие детей в возрасте до трех лет, а также лица, имеющие противопоказания по медицинским заключениям.

Продолжительность вахты не должна превышать одного месяца, в исключительных случаях допускается увеличение до трех месяцев. Период вахты включает в себя время выполнения работ и время междусменного отдыха.

Для технолога нефтехимического производства рабочая смена не должна превышать 12 часов. Поскольку необходимо обеспечивать непрерывный контроль за работой оборудования, работа на заводе организуется в две смены.

Работникам в связи с характером работы и вахтовым методом работы предусматриваются выплаты надбавок за вахтовый метод работы взамен суточных за каждый календарный день пребывания в местах производства работ в период вахты, а также за фактические дни нахождения в пути от пункта сбора до места выполнения работ, льготы и компенсации за причиненный здоровью ущерб: увеличение оплаты труда, льготные пенсионные отчисления, а также дополнительный оплачиваемый отпуск, предоставляемый каждый год.

Лицам, работающим в районах Крайнего Севера и приравненных к ним местностям, устанавливается районный коэффициент и выплачиваются процентные надбавки, также предусмотрен ежегодный дополнительный оплачиваемый отпуск.

5.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны

Рабочее пространство и рабочее место должны проектироваться в соответствии с ГОСТ Р ИСО 6385-2016 [42]. Проектирование должно учитывать стабильность рабочих поз трудящихся и их мобильность. Для эффективного выполнения рабочих обязанностей необходимо иметь достаточное пространство, обеспечивающее удобные рабочие позы, возможность их вариаций и передвижений. Оборудование должно быть легкодоступным и безопасным, должны соблюдаться эргономические требования к оборудованию и отсчетным устройствам индикаторов, прописанные в ГОСТ 12.2.049-80 ССБТ и ГОСТ 22902-78 [43,44].

Согласно гигиеническим нормам, СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 [45] помещение в целом и рабочее место должны быть освещены достаточно и равномерно. При оборудовании рабочей зоны необходимо также учесть, что яркий солнечный свет порождает блики на мониторе, следовательно, существует потребность в установке жалюзи.

Поскольку трудовая деятельность в рассматриваемом случае связана с работой на ЭВМ, необходимо соблюдать меры безопасности, направленные на сохранение полноценного зрения сотрудника:

- экран видеомонитора должен находиться от глаз пользователя на оптимальном расстоянии от 600 до 700 мм, но не ближе 500 мм с учетом размеров алфавитно-цифровых знаков и символов;

- уровень глаз при вертикально расположенном экране должен приходиться на центр или $2/3$ высоты экрана. Линия взора должна быть перпендикулярна центру экрана и оптимальное её отклонение от перпендикуляра, проходящего через центр экрана в вертикальной плоскости, не должно превышать 5 градусов, допустимое 10 градусов.

Для того, чтобы минимизировать последствия «сидячей» работы, необходимо оборудовать рабочее место подставкой для ног, имеющей ширину не менее 300 мм, глубину не менее 400 мм, регулировку по высоте в пределах до 150 мм и по углу наклона опорной поверхности подставки до 20 градусов.

5.2 Производственная безопасность

Производственная безопасность – это система 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. Очень важно определить вредные и опасные производственные факторы, которые могут возникать при разработке и эксплуатации установки сернокислотного алкилирования изобутана олефинами. Выбор факторов производится с использованием ГОСТ 12.0.003-2015 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация» [46]. Выявленные факторы представлены в таблице 26.

Таблица 26 – Возможные опасные и вредные факторы при эксплуатации установки сернокислотного алкилирования

Факторы	Этапы работ			Нормативные документы
	Разработка	Изготовление	Эксплуатация	
1. Неудовлетворительный микроклимат	+	+	+	СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений [47]

2. Недостаточная освещенность рабочей зоны	+	+	+	СНиП 23-05-95 Естественное и искусственное освещение [58]
3. Утечка вредных и токсичных веществ	-	+	+	ГОСТ 12.1.007-76 ССБТ. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности [59]
4. Поражение электрическим током	+	+	+	ГОСТ 12.1.038-82 Электрическая безопасность. Защитное заземление, зануление [60]
5. Движущиеся машины и механизмы производственного оборудования	-	+	+	ГОСТ 12.2.003-91 ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования безопасности [61]
6. Аппараты, работающие под давлением	-	+	+	ГОСТ 34347-2017 Сосуды и аппараты стальные сварные. Общие технические условия [62]
7. Повышенный уровень шума и вибрации на рабочем месте	-	+	+	ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности [53] ГОСТ 12.1.012-2004 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Вибрационная безопасность. Общие требования [54]
8. Пожаровзрывобезопасность на объектах	+	+	+	ГОСТ 12.1.004-91 Система стандартов безопасности труда. Пожарная безопасность. Общие требования [55]

5.2.1 Анализ потенциально возможных вредных и опасных факторов проектируемой производственной среды

Неудовлетворительный микроклимат

Характерной особенностью процесса является размещение оборудования на открытых площадках. В тёплый период года температура

воздуха должна быть $20 \div 22$ °С, а в холодный период $22 \div 24$ °С, относительная влажность воздуха $30 \div 60$ %, скорость воздуха $0,2 \div 0,7$ м/с. С целью защиты персонала от неблагоприятных метеорологических факторов контрольно-измерительные приборы располагают не на оборудовании, а тоже делают выносными и располагают в одном месте, которое снабжено навесом, либо крышей, чтобы человек имел возможность работать вне помещения при плохой погоде время пребывания на рабочих местах (непрерывно или суммарно за рабочую смену), должно быть ограничено в соответствии с СанПиНом 2.2.4.548-96 [47]. Условия труда по метеоусловиям соответствуют допустимым [48].

Недостаточная освещенность рабочей зоны

Недостаточная освещенность рабочей зоны на рабочем месте оператора развивает утомляемость, что увеличивает вероятность ошибочных действий (Таблица 27).

Таблица 27 – Нормы освещенности рабочих мест [49]

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

Работы проводились в аудитории 133 – 2 учебного корпуса Томского политехнического университета. Система освещения – совмещенная: естественное – одностороннее боковое; искусственное – общее равномерное, источник света – люминесцентные лампы.

При недостатке на рабочем месте естественного можно выполнить следующие мероприятия [49]:

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

Условия труда по световому фактору соответствуют допустимым [48].

Утечка токсичных и вредных веществ

Сырье процесса сернокислотного алкилирования изобутана бутиленом, получаемые полупродукты, а также готовая продукция являются вредными, взрывопожароопасными веществами, способными образовать в смеси с воздухом взрывопожароопасные и опасные для здоровья концентрации.

Процесс на каталитической установке протекает при невысоких температурах (до 13 °С). Ядовитые вещества проникают в организм человека через органы дыхания. Это представляет значительную опасность, поскольку слизистая оболочка носа и дыхательной поверхности легких обладает высокой всасывающей способностью. Продуктом данного процесса является алкилат, он относится к ядовитым (токсичным) веществам.

В состав выделяющихся на производстве газов, кроме паров ББФ и изобутановой фракции входят газы серной кислоты:

- серная кислота и олеум – очень едкие вещества. Они поражают кожу, слизистые оболочки, дыхательные пути (вызывают химические ожоги)
- При вдыхании паров этих веществ они вызывают затруднение дыхания, кашель, нередко – ларингит, трахеит, бронхит и т. д;

– бутан-бутиленовая и изобутановая фракции – нервный яд действует на центральную нервную систему. При остром отравлении повышается возбужденность, появляется тошнота, головокружение, при попадании на кожу вызывает обморожение.

Таблица 28 – Предельно-допустимые концентрации токсичных веществ в воздухе рабочей зоны [50]

Наименование	ПДК рабочей зоны, мг/м ³	Класс опасности
Серная кислота	1	2
ББФ	100	4
Изобутановая фракция	300	4
Алкилат	300	4

Для предотвращения попадания на кожу вредных химических веществ используют резиновые перчатки, лабораторные халаты, шапочки, обувь. Для защиты дыхательных путей от действия вредных химических веществ служат специальные ватно-марлевые повязки, респираторы, противогазы. Для защиты слизистой оболочки глаз можно использовать специальные очки.

Условия труда соответствуют допустимым [48].

Поражение электрическим током

При сборке, настройке, подключении и эксплуатации реактора серноокислотного алкилирования возможно поражение электрическим током, что является опасным фактором. Поэтому конструкция производственного оборудования, приводимого в действие электрической энергией, должна включать устройства (средства) для обеспечения электробезопасности.

Производственное оборудование должно быть выполнено так, чтобы исключить накопление зарядов статического электричества в количестве, представляющем опасность для работающего, и исключить возможность пожара и взрыва.

Основные способы и средства электрозащиты [51]:

– 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 электробезопасности.

Категория помещения 133 – 2 корпуса Томского политехнического университета по опасности поражения электрическим током относится к классу «без повышенной опасности» [52].

Движущиеся машины и механизмы производственного оборудования

Движущиеся механизмы и их части, относятся к числу опасных производственных факторов, поскольку существует возможность получения механической травмы в результате контакта движущейся части механизма с телом человека.

Условия существования потенциальной опасности воздействия объекта (движущегося механизма) на человека можно рассматривать как:

1) Предусмотренные самим технологическим процессом в зависимости от его назначения (например, работа с подъемно-транспортным оборудованием, станками, прессами и т.д.);

2) Приводящие к опасности из-за недостатков в монтаже и конструкции объекта (например, обрывы конструктивных элементов и их падение, разрушение от коррозии и т.п.);

3) Возникающие вновь при изменении технологического процесса и применении другого типа оборудования (по сравнению с ранее принятым в проекте);

4) Зависящие от человека (психофизиологические особенности, целевое устремление, отношение к необходимости поддерживать культуру производства на достаточно высоком уровне и т.п.).

Проявление данного фактора в большинстве случаев обуславливается результатом конструктивных недостатков оборудования, недостаточности освещения, неисправности защитных средств, оградительных устройств, а также несоблюдение правил безопасности из-за неподготовленности работников, низкая трудовая и производственная дисциплина, неправильная организация работы, отсутствие надлежащего контроля за производственным процессом и др.

В качестве профилактических мер следует систематически производить проверку наличия защитных ограждений на движущихся и вращающихся частях машин и механизмов; плановую и внеплановую проверку пусковых и тормозных устройств; проверку состояния оборудования и своевременное устранение дефектов.

Основными мерами предосторожности являются: соблюдение всех требований правил техники безопасности при работе с инструментами; соблюдение формы одежды (все пуговицы на одежде должны быть застегнуты, полы одежды не должны болтаться); периодическая проверка технического состояния используемых при отборе проб инструментов, повышенное внимание на рабочем месте.

Аппараты, работающие под давлением

В соответствии с ГОСТ 34347-2017 к сосудам, работающим под давлением, относят герметически закрытые емкости для ведения технологических процессов, а также для хранения и перевозки сжатых, сжиженных и растворенных газов и жидкостей под давлением.

Правила устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением, распространяются на сосуды, работающие под давлением более 0,07 МПа.

Сосуды, работающие под избыточным давлением, подлежат техническому освидетельствованию (наружному внутреннему осмотру каждые 2 года и гидравлическому испытанию раз в 8 лет).

На каждый сосуд, работающий под давлением, на видном месте должна быть прикреплена металлическая пластина с нанесёнными клеймами следующих паспортных данных:

- наименование или обозначение сосуда;
- рабочее давление, МПа;
- расчётное давление, МПа;
- давление при гидроиспытании, МПа;
- допустимая максимальная и (или) минимальная рабочая температура стенки, °С.

Для управления работой и обеспечения безопасных условий эксплуатации сосуда должны быть оборудованы приборами контроля давления и температуры среды, предохранительными клапанами, запорной арматурой.

Повышенный уровень шума и вибрации на рабочем месте

Другим вредным фактором на производстве является уровень на установке сернокислотного алкилирования (УСА), что является следствием работы компрессоров и насосов больших мощностей.

Требования по допустимому уровню звукового давления, звука и эквивалентных уровней звука выполняются в соответствии с [53], согласно которому уровень звука на установке сернокислотного алкилирования не превышает 80 дБА. Продолжительный повышенный уровень шума является причиной возникновения глухоты, а также головных болей, гормонального расстройства и психических заболеваний. В случае повышенного шумового фона (более 80 дБА) в помещениях насосных и на узле смешения УСА рабочие, осуществляющие ремонт и обслуживание оборудования, должны работать в наушниках.

Технологическая норма уровня вибрации составляет 92 дБА согласно ГОСТ 12.1.012-2004 [54]. При значении уровня вибрации 92 дБА частота составляет 63 Гц. Уровень вибрации на рабочем месте технолога объясняется работой насосного оборудования по закачке реагента в установку. При работе с оборудованием при вибрации производительность работника снижается, а также растет число травм. Для защиты от вибрации рекомендуется применять резиновые перчатки.

Условия труда по шумовому фактору и вибрации соответствуют допустимым [48].

Пожаровзрывобезопасность на объектах

Компрессорный блок, насосная подачи сырья и т.п. относится к взрывопожароопасным объектам. Это связано с тем, что в качестве топлива для печей используется сухой углеводородный газ. Насосы перекачивают ЛВЖ под большим избыточным давлением.

Причины возникновения пожаровзрывоопасной ситуации:

- Разгерметизация трубопроводов в местах соединения;
- Проведение огневых работ без первичных средств пожаротушения;
- Разгерметизация оборудования с возгоранием;
- Большое количество резервуаров, емкостей и аппаратов, в которых имеются пожароопасные продукты под высоким давлением и высокой температуре;
- Высокая теплота сгорания веществ и материалов;
- Использование неисправного оборудования;
- Нарушение технологического режима;
- Пуск неисправной технологической линии (аппарата) установки;
- Нарушение правил ремонтных работ;
- Несоблюдение правил остановки технологической установки.

Пожарно-профилактические мероприятия

На основании анализа пожарной опасности технологического процесса, с учетом режимов работы технологического оборудования на каждом

предприятия, где повышенный риск взрывопожарной опасности, проводятся пожарно-профилактические мероприятия [55].

Здания, сооружения, помещения, технологические установки должны быть обеспечены первичными средствами пожаротушения: огнетушителями, ящиками с песком, асбестовое полотно, грубошерстная ткань, войлок (кошма), пожарными ведрами, совковыми лопатами, штыковыми лопатами, пожарным инструментом (крюками, ломami, топорами и т.п.), которые используются для локализации и ликвидации пожаров в начальной стадии их развития.

Категория помещения по пожаровзрывоопасности соответствует классу А. Средства пожаротушения: ОП-3 – 2 шт.; ОУ-3 – 1 шт.

5.3 Экологическая безопасность

Основными загрязнителями атмосферы на производстве разрабатываемой модели алкилирования изобутана бутиленами 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.

Атмосфера

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 запорнорегулирующей 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).

Гидросфера

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.

Литосфера

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

Технологические процессы на установке алкилирования относятся к взрывопожароопасному производству, вследствие ведения технологического процесса при наличии взрывоопасных или горючих веществ. 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. 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 [56].

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

- все стадии технологического процесса непрерывны и склонны к устойчивому протеканию;
- 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 [57]:

- первичные средства пожаротушения (огнетушители – пенные ОПС-10г, 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.

Выводы по разделу «Социальная ответственность»

В данном разделе были рассмотрены опасные и вредные факторы, влияющие на здоровье и состояние работников, связанные с процессом сернокислотного алкилирования изобутана олефинами, приведены меры и мероприятия по устранению или снижению их негативного влияния.

Выполнение всех требований по охране труда и соблюдения правил безопасности позволяет предотвратить возникновение чрезвычайных ситуаций.

Также при проведении работ необходимо уделять должное внимание экологической безопасности, чтобы не допустить загрязнения окружающей среды.

В случае возникновения чрезвычайной ситуации необходимо в соответствии со всеми должностными инструкциями и руководящими документами предпринять меры по ликвидации ЧС и ее последствий.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе были проведены расчеты кинетических и термодинамических параметров реакций, протекающих в процессе сернокислотного алкилирования изобутана олефинами. На основании полученных расчетов была составлена модель, благодаря которой возможно прогнозирование работы установки при изменении основных технологических параметров. Данная модель пригодна для исследования данного процесса, поскольку различие между расчетными и действительными значениями октанового числа достаточно мало.

Благодаря расчетам, проведенным на модели, было показано, что с ростом температуры в контакторах (от -2.7 до 2.8 °С) и расхода бутан-бутиленовой фракции (от 30 до 80 м³/ч) происходит увеличение выхода алкилата и снижение его октанового числа. Увеличение расхода свежей серной кислоты приводит как к увеличению выхода, так и к повышению его октанового числа.

По итогу проведенных расчетов были выданы рекомендации по эффективному проведению процесса в зависимости от состава бутан-бутиленовой фракции, поступающей в реакторы.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Справочник: пер. с англ. 3-го изд./ [Р. А. Мейерс и др.]; под ред. О.Ф. Глаголевой, О.П. Лыкова. — СПб.: ЦОП «Профессия», 2011. — 944 с.: ил.
- 2 Sven Ivar Hommeltoft. Isobutane alkylation Recent developments and future perspectives //Applied Catalysis A: General. – 2001. – P. 421 – 428.
- 3 Технический регламент Таможенного союза ТР ТС 013/2011 «О требованиях к автомобильному и авиационному бензину, дизельному и судовому топливу, топливу для реактивных двигателей и мазуту» (утверждён решением комиссии Таможенного союза от 18 октября 2011 года N 826). Москва, - 2011.
- 4 Солодова, Н.Л. Перспективные процессы алкилирования изопарафинов олефинами / Н.Л. Солодова, И.Р. Хасанов. – Казань: Вестник Казанского технологического университета, 2015. –Т.18, №9. – С. 117-121.
- 5 Дж. Х. Гэри. Технологии и экономика нефтепереработки / Гэри Дж. Х., Хэндверк Г.Е., Кайзер Дж. / Пер. с англ. 5-го изд. Под ред. О. Ф. Глаголевой. – СПб.: ЦОП «Профессия», 2013. – 440 с.
- 6 Колесников С.И. Научные основы производства высокооктановых бензинов с присадками и каталитическими процессами / С.И. Колесников. – М.: Нефть и газ, 2007. – 540 с.
- 7 Солодова Н.Л. Алкилирование изопарафинов олефинами / Н.Л. Солодова, А.И. Абдуллин, Е.А. Емельянычева // Вестник Казанского технологического университета. 2013. – №18. – С. 253-258.
- 8 Суханов, В.П. Каталитические процессы в нефтепереработке / В.П. Суханов. – М.: Химия, 1979. – 344 с.
- 9 Hobson G.D. Modern Petroleum Technology. – V.4. – Great Britain: John Wiley & Sons, 1984. – P. 466.
- 10 Боруцкий П.Н. Алкилирование. Изомеризация. Олигомеризация. В кн. Новый справочник химика и технолога. Сырье и продукты промышленности органических и неорганических веществ. // Под ред. Ю.В.

Поконовой и В.И.Страхова. – СПб: НПО «Профессионал», «Мир и семья», 2002. – Ч. 1. – 873 с.

11 Петров А.Д. Химия моторных топлив / А.Д. Петров. – М.: АН СССР, 1953. – 513 с.

12 Дорогочинский А.З. Серноокислотное алкилирование изопарафинов олефинами / А.З. Дорогочинский, А.В. Лютер, Е.Г. Вольнова. – М.: Химия, 1970.

13 Технология и оборудование процессов переработки нефти и газа: Учебное пособие / С. А. Ахметов, Т. П. Сериков, И. Р. Кузеев, М. И. Баязитов; Под ред. С. А. Ахметова. – СПб.: Недра, 2006. – 868 с.

14 Алкилирование: Исслед. и пром. оформление процесса. [докл. конференций Америк. хим. о-ва] / Под ред. Л. Ф. Олбрайта, А. Р. Голдсби; Пер. с англ. С. М. Зеньковского, Н. В. Мостового. - М.: Химия, 1982. - 336 с. ил.

15 Технология переработки нефти и газа: Учебное пособие / Е.Н. Ивашкина, Е.М. Юрьев, Н.И. Кривцова, Н.С. Белинская; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2021. – 172 с.

16 Магарил Р.З. Теоретические основы химических процессов переработки нефти: Учебное пособие для вузов. – Л.: Химия, 1985, 280 с.

17 Справочник нефтепереработчика / Под ред. Г. А. Ластовкина, Б. Д., Радченко, М. Г. Рудина. — М.: Химия, 1986.— 648 с.

18 Эрих В.Н. Химия и технология нефти и газа / В.Н. Эрих, М.Г. Расина, М.Г. Рудин. – Л.:Химия, 1977. – 424 с.

19 Дышкант М.С. Изучение влияния основных технологических факторов процесса фтористоводородного алкилирования на выход и качество целевого продукта// Вестник Полоцкого государственного университета. – 2011. – с.123-129.

20 Козин В.Г. Современные технологии производства компонентов моторных топлив / В.Г. Козин, Н.Л. Солодова, Н.Ю. Башкирцева, А.И. Абдуллин. – Казань, 2008. – 328 с.,

- 21 Дроздов Г.В. Получение моторных алкилатов на основе парафинов и ациклических олефиновых углеводородов / Г.В. Дроздов. – М.: ЦНИИТЭнефтехим. 1979. – с.84.
- 22 Шириязданов Р.Р. Алкилирование изобутана промышленной бутан-бутиленовой фракцией на твердокислотном катализаторе / Р.Р. Шириязданов // Нефтепереработка и нефтехимия. 2009. – №5. – С. 14-16.
- 23 Лавренов А.В. Катализ в промышленности / А.В. Лавренов, Е.Н. Богданец, В.К. Дуплякин. 2009. – № 1. – С. 28.
- 24 Querini C.A. Deactivation of Solid Acid Catalysts During Isobutane Alkylation with C4 Olefins / Querini C.A., Roa E. Appl. Catal. – A: Gen.– 1997. – V. 163. – P. 199.
- 25 Мукерджи М. Снижение стоимости алкилатов благодаря твердокислотным катализаторам / Мукерджи М., Дж. Нельсон // Нефтегазовые технологии. 2008. – №2. – С. 14-16.
- 26 Kirsch F.W. Isoparaffin-olefin alkylation with crystalline aluminosilicates / Kirsch F.W., Potts J.D., Barmby D.C. // Journal of Catalysis. – 1972. – v. 27. – №1. – pp.142-150.
- 27 Превращения углеводородов на кислотно-основных гетерогенных катализаторах: тезисы докл. Всесоюз. конф. – Грозный, 1977.
- 28 Raseev S. Thermal and Catalytic Processes in Petroleum Refining / Marcel Dekker. – 2003. – p. 920
- 29 Mukherjee M., Nehlsen J. Reduce Alkylate Costs with Solid-Acid Catalysts // Hydrocarbon Processing. – 2007.
- 30 Roeseler C.M., Black S.M., Shields D.J., Gosling C.D. Improved Solid Catalyst Alkylation Technology for Clean Fuels // The Alkylene Process. NPRA Annual Meeting. San Antonio, USA. – 2002.
- 31 Гречишкина, М. И. Опыт проектирования установок серноокислотного алкилирования // Химия и технология топлив и масел. — 2004.

32 Внедрение новых разработок – технология СКА [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://rangroup.ru/areas/newdevelopment/ska/> – Заглавие с экрана.

33 Капустин, В. М. Нефтеперерабатывающая промышленность США и бывшего СССР / В. М. Капустин, С. Г. Кукес, Р. Г. Бертолусини. – М.: Химия, 1995. – 304 с.

34 W. Sun, Y. Shi, J. Chen, Z. Xi, L. Zhao Alkylation Kinetics of Isobutane by C4 Olefins Using Sulfuric Acid as Catalyst // Industrial & Engineering Chemistry Research. – 2013. - №52. – p. 15262–15269.

35 Schmerling, L. The mechanism of the alkylation of paraffins. II. Alkylation of isobutane with propene, 1-butene and 2-butene. J. Am. Chem. Soc. 1946, 68 (2), 275–280.

36 Albright, L. F.; Li, K. W. Alkylation of isobutane with light olefins using sulfuric acid. Reaction mechanism and comparison with HF alkylation. Ind. Eng. Chem. Process Des. Dev. 1970, 9 (3), 447–454.

37 Lee, L.-m.; Harriott, P. The kinetics of isobutane alkylation in sulfuric acid. Ind. Eng. Chem. Process Des. Dev. 1977, 16 (3), 282–285.

38 W. Zheng, D. Li, W. Sun, L. Zhao Multi-scale modeling of isobutane alkylation with 2-butene using composite ionic liquids as catalyst // Chemical Engineering Science. - 2018. - №186. - p. 209-218.

39 Huang, C.-P., Liu, Z.-C., Xu, C.-M., Chen, B.-H., Liu, Y.-F., 2004. Effects of additives on the properties of chloroaluminate ionic liquids catalyst for alkylation of isobutane and butene. Appl. Catalys. A: General 277, 41–43.

40 Liu, Z., Xu, C., Huang, C., 2007. Method for Manufacturing Alkylate Oil with Composite Ionic Liquid used as Catalyst. U.S. Patent and Trademark Office, Washington, DC. U.S. Patent No. 7,285,698.

41 Трудовой Кодекс – ТК РФ – Глава 47. Особенности регулирования труда лиц, работающих вахтовым методом.

42 ГОСТ Р ИСО 6385-2016. Эргономика. Применение эргономических принципов при проектировании производственных систем.

- 43 ГОСТ 12.2.049-80 ССБТ. Оборудование производственное. Общие эргономические требования.
- 44 ГОСТ 22902-78. Система «человек-машина». Отсчетные устройства индикаторов визуальных. Общие эргономические требования.
- 45 СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы (с изменениями на 21 июня 2016 года). - М.: Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2003. – 56 с.
- 46 ГОСТ 12.0.003-2015 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация».
- 47 СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. - М.: Информационно-издательский центр Минздрава России, 1997. – 20с.
- 48 Положение о системе управления охраной труда в Томском политехническом университете. – Томск: 2019. – 88 с.
- 49 ГОСТ Р 55710 - 2013. Освещение рабочих мест внутри зданий. Нормы и методы измерений. - М.: Стандартиформ, 2016. – 20с.
- 50 ГН 2.2.5.3532-18. Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны. 2018. – 170с.
- 51 ГОСТ 12.4.011-89. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Средства защиты работающих. Общие требования и классификация. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2001. – 8с.
- 52 Правила устройства электроустановок: 7-е издание (ПУЭ)/ Главгосэнергонадзор России. М.: Изд-во ЗАО «Энергосервис», 2007.–610 с.
- 53 ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности.
- 54 ГОСТ 12.1.012-2004 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Вибрационная безопасность. Общие требования.
- 55 ГОСТ 12.1.004-91 Система стандартов безопасности труда. Пожарная безопасность. Общие требования.

56 СНиП 21-01-97*. Пожарная безопасность зданий и сооружений (с Изменениями N 1, 2). - М.: ГУП ЦПП, 2002. – 38с.

57 Приказ Ростехнадзора от 25.03.2014 N 116 [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/542627299> (дата обращения 19.05.2021).

58 СНиП 23-05-95 «Естественное и искусственное освещение».

59 ГОСТ 12.1.007-76 ССБТ. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности.

60 ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Защитное заземление, зануление.

61 ГОСТ 12.2.003-91 ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования безопасности.

62 ГОСТ 34347-2017 Сосуды и аппараты стальные сварные. Общие технические условия.

Приложение А

Таблица А1 – Состав бутан-бутиленовой фракции

Содержание компонентов, % масс.	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь
Метан	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Этан	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Этилен	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
∑ С ₂	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Пропан	0.4	0.97	0.72	0.69	0.16	0.59	0.33	0.33	0.47	0.46	0.26
Пропилен	0.03	0.07	0.07	0.07	0.01	0.07	0.03	0.03	0.04	0.03	0.02
∑ Пропан + пропилен	0.43	1.04	0.79	0.76	0.17	0.66	0.36	0.36	0.51	0.49	0.28
Изобутан	44.31	44.79	41.55	40.27	38.44	44.8	42.66	42.66	41.23	44.04	41.63
Н-бутан	8.94	9.8	8.86	9.57	9.56	6.77	8.48	8.48	8.59	9.52	9.28
Бутилен	15.9	15.63	14.68	15.74	15.53	15.87	16.04	16.04	15.8	15.77	16.22
Изобутилен	3.89	3.52	7.68	4.77	5.26	4.73	5.61	5.61	6.19	3.17	5.03
Транс-бутилен	16.19	15.45	15.66	17.02	18.13	16.12	16.02	16.02	16.28	16.02	16.18
Цис-бутилен	10.01	9.44	10.49	11.5	12.6	10.76	10.5	10.5	10.97	10.66	11
Бутадиен	0.25	0.25	0.22	0.32	0.3	0.27	0.32	0.32	0.35	0.26	0.37
∑ Бутилен	45.99	44.04	48.51	49.03	51.52	47.48	48.17	48.17	49.24	45.62	48.43
Изопентан	0	0	0	0	0.01	0	0	0	0	0	0
Н-пентан	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
∑ С ₆	0.08	0.08	0.07	0.05	0	0.02	0.01	0.01	0.08	0.07	0.01
∑ С ₅	0.08	0.08	0.07	0.05	0.01	0.01	0.01	0.01	0.08	0.07	0.01
Н ₂ S+RSH	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0004	0.0004	0.0004	0.0004	0.0004

Таблица А2 – Состав циркулирующего изобутана

Содержание компонентов, % масс.	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь
Метан	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Этан	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Этилен	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ΣC_2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Пропан	2.33	1.81	1.89	1.55	1.55	1.97	1.97	1.48	0.62	1.86	1.82
Пропилен	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Σ Пропан+пропилен	2.33	1.81	1.89	1.55	1.55	1.97	1.97	1.48	0.62	1.86	1.82
Изобутан	85.74	88.15	88.29	87.29	87.29	85.59	85.59	88.04	96.37	87.2	87.77
Н-бутан	11.68	9.85	9.52	10.92	10.92	12.1	12.1	10.25	2.76	10.8	10.29
Изобутилен	0	0	0.06	0	0	0	0	0	0.2	0.01	0
Бутилен	0	0	0	0	0	0	0	0	0.05	0	0
Транс-бутилен	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Цис-бутилен	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Σ Бутилен	0	0	0.06	0	0	0	0	0	0.25	0.01	0
Изопентан	0.25	0.19	0.24	0.24	0.24	0.34	0.34	0.23	0	0.13	0.12
Н-пентан	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ΣC_5	0.25	0.19	0.24	0.24	0.24	0.34	0.34	0.23	0	0.13	0.12