

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

---

Инженерная школа природных ресурсов

Направление подготовки Химическая технология

Отделение школы (НОЦ) Отделение химической инженерии

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

Тема работы
<b>Проект узла синтеза изопропилбензола</b>

УДК 661.715.7:547.535.1.07-047.74

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2Д4А	Сбитнев Илья Николаевич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ротарь Ольга Васильевна	к.х.н., старший научный сотрудник		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Рыжакина Т.Г.	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Король И.С.	к.х.н.		

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Волгина Т.Н.	к.х.н.		

Томск – 2018 г.

## Запланированные результаты обучения по программе

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
<i><b>Профессиональные компетенции</b></i>	
P1	Применять глубокие естественнонаучные, математические и инженерные знания для создания и обработки новых материалов
P2	Применять глубокие знания в области современных технологий машиностроительного производства для решений междисциплинарных инженерных задач
P3	Ставить и решать инновационные задачи инженерного анализа, связанные с созданием и обработкой материалов и изделий, с использованием системного анализа и моделирования объектов и процессов машиностроения
P4	Разрабатывать технологические процессы, проектировать и использовать новое оборудование и инструменты для обработки материалов и изделий, конкурентоспособных на мировом рынке машиностроительного производства
P5	Проводить теоретические и экспериментальные исследования в область современных технологий обработки материалов, нанотехнологий, создания новых материалов в сложных и неопределенных условиях
P6	Внедрять, эксплуатировать и обслуживать современные высокотехнологичные линии автоматизированного производства, обеспечивать их высокую эффективность, соблюдать правила охраны здоровья и безопасности труда на машиностроительном производстве, выполнять требования по защите окружающей среды
<i><b>Универсальные компетенции</b></i>	
P7	Использовать глубокие знания по проектному менеджменту для введения инновационной инженерной деятельности с учетом юридических аспектов защиты интеллектуально собственности
P8	Активно владеть иностранным языком на уровне, позволяющем работать в иноязычной среде, разрабатывать документацию, презентовать и защищать результаты инновационной инженерной деятельности
P9	Эффективно работать индивидуально, в качестве члена и руководителя группы, состоящей из специалистов различных направлений и квалификаций, демонстрировать ответственность за результаты работы и готовность следовать корпоративной культуре организации
P10	Самостоятельно учиться и непрерывно повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности

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

Инженерная школа природных ресурсов

Направление подготовки (специальность) Химическая технология

Уровень образования бакалавр

Отделение школы (НОЦ) Отделение химической инженерии

Период выполнения \_\_\_\_\_ (осенний / весенний семестр 2017/2018 учебного года)

Форма представления работы:

Бакалаврская работа
---------------------

(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

**КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН  
 выполнения выпускной квалификационной работы**

Срок сдачи студентом выполненной работы:	30.05.18
--	----------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
25.12.17	Работа с литературой: теоретическая часть, выбор метода производства, описание технологической схемы (с учетом вопросов охраны ОС)	25
12.02.18	Расчет материального баланса	10
04.03.18	Расчет теплового баланса, аппаратурные расчеты. Контроль производства (КИП реактора)	15
19.03.18	Выполнение чертежа общего вида реактора	10
08.04.18	Оформление пояснительной записки КП и защита проекта	10
13.05.18	Выполнение чертежа технологической схемы, чертежа сборочных единиц реактора	10
27.05.18	Завершение разделов «Социальная ответственность» и «Финансовый менеджмент». Контроль производства (аналитич. контроль). Подбор вспомогательного оборудования	10 10
30.05.18	Сдача готовой работы	
04.06.18	Размещение в ЭБС	

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Бондалетова Л.И.	к.х.н., доцент		

**СОГЛАСОВАНО:**

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Волгина Т.Н.	к.х.н.		

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

Инженерная школа природных ресурсов

Направление подготовки (специальность) Химическая технология

Отделение школы (НОЦ) Отделение химической инженерии

УТВЕРЖДАЮ:

Руководитель ООП

\_\_\_\_\_ Волгина Т.Н.  
(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
2Д4А	Сбитневу Илье Николаевичу

Тема работы:

Проект узла синтеза изопропилбензола	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	от 25.12.17, № 10042

Срок сдачи студентом выполненной работы:	30.05.18
--	----------

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<p><b>Исходные данные к работе</b></p> <p><i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Проект узла синтеза изопропилбензола;</li><li>2. Производительность 84000 тонн в год;</li><li>3. Режим работы производства непрерывный;</li><li>4. Состав сырья — осушенная бензольная шихта, пропилен;</li><li>5. Продукт — изопропилбензол;</li><li>6. Требования к процессу — процесс протекает при 0,4 МПа и 100 °С.</li></ol>
<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b></p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования,</i></p>	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Обзор литературы;</li><li>2. Расчеты и аналитика;</li><li>3. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение;</li><li>4. Социальная ответственность;</li><li>5. Заключение по работе.</li></ol>

<i>конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i>	
<b>Перечень графического материала</b> <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	1. Технологическая схема; 2. Реактор. Вид общий; 3. Реактор. Сборочные единицы.
<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b> <i>(с указанием разделов)</i>	
<b>Раздел</b>	<b>Консультант</b>
Обзор литературы, Расчеты и аналитика,	к.х.н., доцент, старший научный сотрудник. Ротарь О.В.
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	к.э.н., доцент Рыжакина Т.Г.
Социальная ответственность	к.х.н., доцент Король И.С.
<b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b>	

<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	18.09.17
---	----------

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ротарь О.В.	к.х.н., старший научный сотрудник.		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2Д4А	Сбитнев Илья Николаевич		

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

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
2Д4А	Сбитневу Илье Николаевичу

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

<b>Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:</b>	
1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	<i>Работа с информацией, представленной в российских и иностранных научных публикациях, аналитических материалах, статических бюллетенях и изданиях, нормативно-правовых документах; анкетирование; опрос</i>
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	
<b>Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:</b>	
1. <i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	<i>Проведение предпроектного анализа. Определение целевого рынка и проведение его сегментирования. Выполнение SWOT-анализа проекта</i>
2. <i>Определение возможных альтернатив проведения научных исследований</i>	<i>Определение целей и ожиданий, требований проекта. Определение заинтересованных сторон и их ожиданий</i>
3. <i>Планирование процесса управления НИТ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок</i>	<i>Составление календарного плана проекта. Определение бюджета НИТ</i>
4. <i>Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности</i>	<i>Проведение оценки экономической эффективности узла производства изопропилбензола</i>
<b>Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):</b>	
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Оценка конкурентоспособности технических решений</li> <li>2. Матрица SWOT</li> <li>3. График проведения НИТ</li> <li>4. Определение бюджета НИТ</li> <li>5. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИТ</li> </ol>	

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	16.04.18
---	----------

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Доцент	Рыжакина Татьяна Гавриловна	к.э.н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
2Д4А	Сбитнев Илья Николаевич		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
2Д4А	Сбитневу Илье Николаевичу

<b>Школа</b>	<b>Инженерная школа природных ресурсов</b>	<b>Отделение школы (НОЦ)</b>	<b>Отделение химической инженерии</b>
<b>Уровень образования</b>	Бакалавр	<b>Направление/специальность</b>	Химическая технология

**Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:**

<p>1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения</p>	<p>Объект исследования – изопропилбензол, ароматический углеводород; данное соединение получают в результате алкилирования бензола пропиленом. Приборы – персональный компьютер, материальное обеспечение лаборатории ОХИ ТПУ. Методика – проектирование узла синтеза изопропилбензола. Рабочая зона – лабораторное помещение ОХИ ТПУ. Область применения – химическая промышленность.</p>
---	--

**Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:**

<p><b>1. Производственная безопасность</b> 1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности: 1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p>	<p><b>1.1 Вредные и опасные факторы, которые может создать объект исследования:</b> В результате проведения синтеза образуется смесь веществ (алкилат), которая состоит на 90% масс. из ароматических соединений, которые оказывают отравляющее воздействие на организм человека, поражают ЦНС. Средства защиты: ограничение контакта с вредными веществами, соблюдение инструкций при выполнении эксперимента, применение марлевых повязок, халатов, перчаток. ГОСТ 12.1.007–76 ССБТ. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности. <b>1.2 Вредные и опасные факторы, которые могут возникнуть в лаборатории:</b> шум лабораторной установки и ПК, микроклимат, электромагнитное излучение (источником является компьютер), опасность возникновения взрыва или пожара в процессе синтеза, поражение электрическим током. СГОСТ 12.1.003–83 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности. СанПиН 2.2.4.548–96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. ГОСТ Р 12.1.019-2009 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты. 22.07.2013 г. №123 – ФЗ. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности.</p>
<p><b>2. Экологическая безопасность:</b></p>	<p>При синтезе изопропилбензола возможны вредные воздействия на воздушную среду (выброс газов – HCl, C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>, углеводородных газов), а так же возможен разлив сырья, продуктов, полупродуктов и отходов синтеза. Во избежание чрезмерного загрязнения воздуха полученную смесь промывают и нейтрализуют. Имеются сбросы жидких и твердых отходов.</p>

<b>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b>	Вероятные чрезвычайные ситуации: вспышки, взрывы при проведении синтеза, возгорание продуктов синтеза, возникновение пожара на рабочем месте, а так же переутомление, отравление вредными веществами. Противопожарная защита: в случае возникновения ЧС предусмотрены первичные средства пожаротушения: огнетушители ОХП-10 и ОУ-5 для тушения электрооборудования.
<b>4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b>	Правовые нормы трудового законодательства, регулирующие соблюдение безопасности при работе в производственных помещениях. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 31.12.2014)

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	10.04.18
---	----------

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Король Ирина Степановна	к.х.н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2Д4А	Сбитнев Илья Николаевич		

## Реферат

Пояснительная записка к ВКР содержит 88 страниц, 39 таблиц, 37 использованных источника, 8 иллюстраций, 3 листа графического материала.

Ключевые слова: изопропилбензол, осушенная бензольная шихта, пропилен, бензол, каталитический комплекс, хлорид алюминия, хлорпроизводные, алкилирование, производство, синтез.

Цель работы — спроектировать узел синтеза изопропилбензола.

Проектная мощность производства изопропилбензола составляет — 84000 т/год.

Для проектирования узла синтеза изопропилбензола были проведены следующие расчеты: материальный баланс стадий производства, тепловой баланс, технологический расчет основного аппарата, механический расчет. Основываясь на результатах проведенных расчетов, созданы чертежи общего вида реактора, сборочных единиц реактора, а так же технологическая схема узла синтеза изопропилбензола.

В разделе «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» был рассчитан бюджет научно-технического исследования.

В разделе «Социальная ответственность» были рассмотрены вредные и опасные факторы, которые могут возникнуть во время проектирования и на производстве, а так же влияние производства на окружающую среду.

## Содержание

Введение	13
1 Обзор литературы	14
1.1 Алкилирование по атому углерода	14
1.2 Алкилирующие агенты и катализаторы	14
1.3 Хлорпроизводные	14
1.4 Энергетическая характеристика основных реакций алкилирования	15
1.5 Катализаторы	16
2 Объект и методы исследования	18
2.1 Характеристика сырья и продукции	18
2.2 Физико-химические основы производства	19
2.3 Кинетика процесса	21
2.4 Выбор и обоснование конструкции основного аппарата	23
2.5 Описание технологической схемы узла синтеза изопропилбензола	24
2.6 Аналитический контроль	26
2.7 Автоматический контроль и управление процессом	29
3 Расчеты и аналитика	31
3.1 Материальный баланс	31
3.1.1 Приготовление каталитического комплекса	32
3.1.2 Алкилирование	33
3.1.3 Охлаждение	35
3.1.4 Сепарация	36
3.1.5 Осаждение	37
3.1.6 Нейтрализация	38
3.1.7 Промывка	42
3.2 Технологический расчет основного аппарата	42
3.2.1 Технические характеристики алкилятора	43
3.3 Тепловой баланс	43
3.4 Механический расчет	47
3.4.1 Расчет толщины стенок обечайки и днищ	47

3.4.2 Расчет штуцеров	48
3.4.3 Расчет газораспределителя	50
3.4.4 Расчет опорной конструкции	52
3.4.5 Расчет сетки брызгоуловителя	53
4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	55
4.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	55
4.2 Анализ конкурентных технических решений	55
4.3 SWOT-анализ	56
4.3 Определение возможных альтернатив проведения научных исследований	59
4.4 Планирование научно-исследовательских работ	59
4.4.1 Структура работ в рамках научного исследования	59
4.4.2 Определение трудоемкости выполнения работ	60
4.4.3 Разработка графика проведения научного исследования	63
4.4.4 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)	66
4.4.5 Расчет материальных затрат НТИ	66
4.4.6 Расчет затрат на оборудование для научно-экспериментальных работ	67
4.4.7 Основная заработная плата исполнителей темы	68
4.4.8 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)	70
4.4.9 Накладные расходы	71
4.4.10 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта	72
4.5 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	73
5 Социальная ответственность	75
5.1 Производственная безопасность	75

5.1.1 Вредные и опасные факторы, которые может создать объект проектирования	75
5.1.2 Вредные и опасные факторы, которые могут возникнуть в лаборатории	76
5.1.3 Требования и мероприятия по защите исследователя от действия опасных и вредных факторов	76
5.2 Экологическая безопасность	80
5.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	82
5.3.1 Вероятные ЧС, которые могут произойти при проектировании в лаборатории	82
5.3.2 Действия в случае возникновения ЧС и мероприятия по их предотвращению	82
5.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	83
Заключение	84
Список использованной литературы	85

## Введение

Изопропилбензол (ИПБ) является одним из основных источников сырья для получения ацетона и фенола. Ацетон и фенол, в свою очередь, необходимы для получения большого ассортимента нефтехимической продукции: фенолформальдегидных смол, поликарбоната, бисфенола А и многих других. Актуальность данной работы обусловлена ростом потребления нефтехимической продукции, получаемой из изопропилбензола. В 2011 году спрос на изопропилбензол составил 12 млн.т.; в 2014 году спрос увеличился до 13,5 млн.т. и продолжает расти.

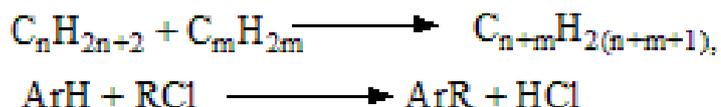
В мировой химической промышленности существуют различные методы алкилирования бензола пропиленом, которые отличаются друг от друга аппаратным оформлением, фазой реакционной среды, типом катализатора, технологическим режимом. В данном процессе в качестве катализатора используются льюисовские и брэнстедовские кислоты. Процесс может протекать в гетерогенной и гомогенной фазах, от чего и зависит выбор катализатора: для гетерогенно процесса в качестве катализатора используют трифторид бора и фосфорную кислоту на носителях; гомогенный процесс — хлорид алюминия.

В основе данного проекта лежит технология получения ИПБ с применением комплексного соединения хлорида алюминия. Данная технология обладает достаточной эффективностью, имеет непрерывный и одностадийный характер, дифференциальная селективность ИПБ достигает в среднем 91% при конверсии пропилена до 99%. Конверсия бензола за один проход около 30-40%. Технология жидкофазного алкилирования используется долгие годы и подвергалась различным модификациям, но не смотря на это, эффективность превращения бензола в изопропилбензол не велика (в среднем, выход изопропилбензола составляет  $35 \pm 1\%$  от всего образующегося алкилата) [2,9].

## 1 Обзор литературы

### 1.1 Алкилирование по атому углерода

Данный процесс наиболее характерен для ароматических соединений и заключается в замещении алкильной группой атома водорода. Процесс описывается реакцией Фриделя—Крафтса[2]:



### 1.2 Алкилирующие агенты и катализаторы

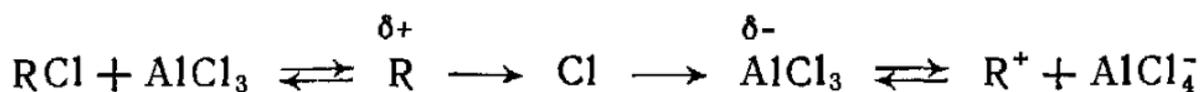
Алкилирующие агенты, в зависимости от разрывающейся в них связи в процессе алкилирования, разделяют на следующие группы[2]:

- 1) спирты, простые и сложные эфиры, при алкилировании которых разрывается С—О-связь;
- 2) олефины, в молекулах которых происходит разрыв  $\pi$ -электронной связи между атомами углеродов;
- 3) хлорпроизводные, в молекулах которых происходит замещение подвижного атома хлора под действием различных агентов.

### 1.3 Хлорпроизводные

Хлорпроизводные применяют для N-, S-, O-, C-алкилирования и для получения большинства металлоорганических соединений. Применение хлорпроизводных осуществимо в процессах, которых их замена на олефины невозможна или, если они доступнее и дешевле олефинов.

Существует три типа взаимодействия хлорпроизводных, в которых проявляется их алкилирующее действие: электрофильные реакции, при нуклеофильном замещении и в свободно-радикальных процессах. Для алкилирования по атому углерода свойственен механизм электрофильного замещения. Данная реакция катализируется только апротонными кислотами Льюиса (хлорид алюминия, хлорид железа (III)). Процесс протекает с промежуточным образованием карбокатиона[2]:



Основываясь на выше представленном, можно сделать вывод, что реакционная способность алкилхлоридов зависит от стабилизации карбокатионов или поляризации связи C–Cl, и возрастает при удлинении и разветвлении алкильной группы: CH<sub>3</sub>–CH<sub>2</sub>Cl < (CH<sub>3</sub>)<sub>2</sub>CHCl < (CH<sub>3</sub>)<sub>3</sub>CCl [2].

#### 1.4 Энергетическая характеристика основных реакций алкилирования

Тепловые эффекты важнейших реакций алкилирования приведены в таблице 1 [2].

Таблица 1– тепловой эффект важнейших реакций алкилирования

Алкилирующие агенты	Разрываемая связь	—ΔH <sub>298</sub> <sup>0</sup> , кДж/моль	Алкилирующий агент	Разрываемая связь	—ΔH <sub>298</sub> <sup>0</sup> , кДж/моль	
RCH=CH <sub>2</sub>	C <sub>алиф</sub> —H	84—100	ROH	O—H	0—21	
	C <sub>ар</sub> —H	96—104		N—H	21—42	
	O—H	50—63				
RCl	C <sub>ар</sub> —H	34—42	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> O	O—H	88—104	
	O—H	≈ 0		CH≡CH	O—H	100—117
	N—H	0—25				

Из выше приведенных данных следует, что теплота реакции алкилирования по разным атомам уменьшается, не смотря на использование

одного и того же алкилирующего агента:  $C_{ар} > C_{алиф} > N > O$ . Для разных алкилирующих агентов теплота реакции изменяется следующим образом [2]:

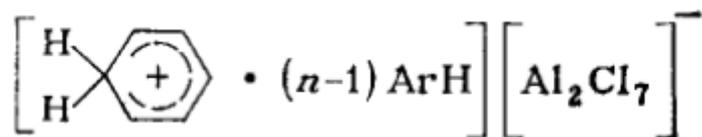


Алкилирование с участием ацетилен и этиленоксида сопровождается большим тепловым эффектом, что обуславливается высокой эндотермичностью соединений с тройной связью и значительной напряженностью оксидного цикла [2].

### 1.5 Катализаторы

При алкилировании аренов хлорпроизводными в качестве катализатора в промышленности используют хлорид алюминия. Так же, данный катализатор используют при алкилировании углеводородов олефинами, но при этом, возможно использование и других катализаторов кислотного типа: фосфорная кислота на носителях, цеолиты,  $BF_3$ ,  $H_2SO_4$ , безводный  $HF$ , алюмокислоты [2,15].

Твердый хлорид алюминия слабо растворим и оказывает незначительное каталитическое воздействие на процесс. Поэтому, для улучшения каталитических свойств через суспензию, состоящую из ароматических углеводородов и хлорида алюминия, под нагревом пропускают хлороводород. При этом образуется нерастворимая в углеводородах темная жидкость — комплекс Густавсона, который обладает высокой каталитической активностью. Комплекс Густавсона состоит из хлороводорода и хлорида алюминия, соединёнными с 1 до 6 молекул ароматических углеводородов. Одна из молекул ароматических углеводородов находится в состоянии иона с положительным зарядом, в свою очередь остальные молекулы образуют сольватную оболочку [2]:



Каталитический комплекс приготавливают перед началом проведения синтеза, с целью предотвращения медленного катализа. Образованию комплекса так же способствует добавление соответствующего хлорпроизводного или небольшое количество воды. В обоих случаях возникает генерация хлороводорода. Так как хлорид алюминия гидролизуется в воде, а соответственно происходит разрушение комплекса и его дезактивация, рекомендуется использовать RCl или HCl. Следовательно, одним из важнейших условий проведения процесса является не попадание воды в смесь и осушка реагентов, перед проведением синтеза. Помимо воды, катализаторными ядами являются соединения аммиака и серы, в меньшей степени — диены и ацетилен [2,13-15].

## 2 Объект и методы исследования

### 2.1 Характеристика сырья и продукции

Изопропилбензол (ИПБ) — бесцветная горючая жидкость, практически нерастворимая в воде (менее 0,01 %), смешивается с эфиром, бензолом, спиртом [1,2,9].

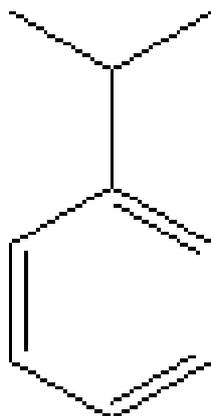


Рисунок 1 — структурная формула ИПБ [9]

Температура кипения — 152,4 °С;

Температура плавления — -96,028 °С.

Плотность изопропилбензола составляет 0,8618 г/см<sup>3</sup>.

Бензол — простейший ароматический углеводород. Бесцветная жидкость, имеющая специфический сладковатый запах. Бензол применяется в промышленности в качестве исходного сырья для производства красителей, различных пластмасс, синтетической резины, лекарственных препаратов, а так же входит в состав бензина [9].

В таблице 2 представлены физические свойства бензола.

Таблица 2 – физические свойства бензола [1]

Хим. формула	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>
Молярная масса	78,11 г/моль
Плотность	878,6 кг/м <sup>3</sup>
Температура плавления	5,5 °С
Температура кипения	80,1 °С
Растворимость в воде	1,79 г/л при 25 °С
Критическая температура $T_{кр}$ , °С	289,41
Критическое давление $p_{кр}$ , МПа	4,92
Критическая плотность $\rho_{кр}$ , 10 <sup>3</sup> кг/м <sup>3</sup>	0,307

Пропилен — горючий газ, ненасыщенный углеводород, относящийся к ряду этилена, обладает наркотическим действием при повышении его концентрации в организме (выше нормы ПДК). Относится к 4-му классу опасности [11].

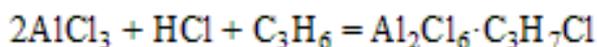
Таблица 3 — физические свойства пропилена [1]

Физические свойства	Единица измерения	Значение
Молекулярная масса	-	42,08
Температура плавления	°С	-187,65
Температура кипения	°С	-47,7
Температура самовоспламенения	°С	410
Концентрационный предел взрываемости в смеси с воздухом	%	2,0-11,1
Предельно допустимая концентрация	мг/м <sup>3</sup>	30
Растворимость в воде при 0 °С	%	0,083
Растворимость в воде при 20°С	%	0,041
Растворимость воды в пропилене при 5°С	%	0,032
Растворимость воды в пропилене при 35°С	%	0,052
Удельная теплоемкость при 25°С	ккал/(кг·град)	0,363
Критическое давление	МПа	4,6
Критическая температура	°С	-92
Энтальпия образования	кДж/моль	-20,42
Энтальпия сгорания	кДж/моль	-1698,5

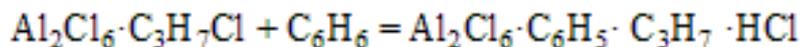
## 2.2 Физико-химические основы производства

Алкилирование бензола пропиленом производится в присутствии катализатора хлористого алюминия при мольном соотношении бензола к пропилену в пределах 1:0,3-0,33 [1].

Первой стадией процесса является присоединение олефина к хлористому алюминию в присутствии хлористого водорода:

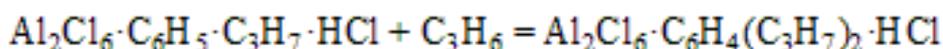


Затем присоединяется бензол и образуется тройной комплекс:

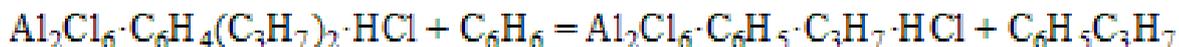


После образования тройного комплекса реакция протекает по следующей схеме:

а) присоединяется олефин к комплексу:

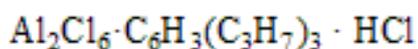
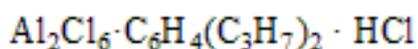


б) реакция обмена между комплексом и исходным углеводородом (бензолом) с образованием алкилбензола:



Все эти комплексы находятся в состоянии подвижного равновесия, т.е. алкильные радикалы непрерывно переходят из одного комплексного соединения в другое.

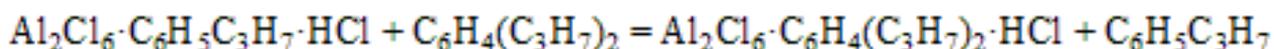
Хлористый алюминий может образовывать тройные комплексы не только с одним, но и с двумя, тремя и так далее алкильными радикалами:



В результате присоединения олефина образуются комплексы с еще большим числом алкильных радикалов, которые при обменной реакции с исходным углеводородом (бензолом) дают полиалкилбензолы:



Комплексы могут вступать в обменную реакцию не только с бензолом, но и с продуктами реакции, например, с диалкилбензолами, тогда происходит процесс деалкилирования:



Чем больше концентрация алкильных радикалов в среде, окружающей комплекс, тем больше алкильных радикалов будет содержаться в комплексных соединениях хлористого алюминия, и тем больше будет образовываться полиалкилбензолов. Следовательно, с увеличением отношения поглощенного олефина к бензолу реакция идет в сторону образования полиалкилбензолов.

Таким образом, в результате протекающих реакций образуется ИПБ и вся гамма алкилбензолов и в то же время меняется углеводородная часть комплекса.

Этот процесс продолжается до тех пор, пока не установится совершенно определенный состав продуктов реакции, который обуславливается только отношением алкильных радикалов к бензольным ядрам в реакционной смеси и не зависит от состава исходного сырья.

Реакция алкилирования бензола пропиленом осуществляется в алкиляторе при температуре не выше 100 °С и давлении не выше 0,4 МПа (4 кгс/см<sup>2</sup>).

Тепловой эффект реакции алкилирования равен 621 ккал/кг поглощенного пропилена [1,2].

### 2.3 Кинетика процесса

Реакция алкилирования с каталитическим комплексом Густавсона протекает с достаточно большой скоростью, ускоряется при интенсивном барботировании газообразных олефинов через алкилат или механическом перемешивании. Протекает в близкой к ней или в самой диффузионной области. За счет низкой энергии активации скорость реакции мало зависит от температуры, но значительно увеличивается при повышении давления. Несмотря на повышение давления, реакционная способность олефинов все так же остается сильной, в отличие от их растворимости. Это связано с тем, что

лимитирующей стадией процесса является стадия диффузии олефина через пленку каталитического комплекса, находящейся на поверхности раздела фаз, где и протекают все реакции. В свою очередь, реакция переалкилирования идет значительно медленнее, и за счет энергии активации, приблизительно равной 63 кДж/моль, ускоряется за счет повышения температуры [15].

Оба процесса, а особенно сильно реакция переалкилирования, замедляются при дезактивировании каталитического комплекса. За счет замедления процесса алкилирования полиалкилбензолы не успевают вступить в реакцию переалкилирования и накапливаются в реакционной смеси. Для предотвращения повышения концентрации полиалкилбензолов в алкилате, уменьшают подачу реагентов, в результате лимитирующей стадией становится самая медленная реакция — реакция переалкилирования.

Дезактиваторами катализатора являются не только примеси реагентов, но и накопившиеся побочные продукты алкилирования, способные образовывать стабильные  $\sigma$ -комплексы, которые с трудом отдают протон молекуле олефина, или прочно связываются с хлоридом алюминия. При высокой температуре протекания процесса такими веществами являются смолы и полициклические ароматические соединения, при низких температурах — полиалкилбензолы.

Исходя из выше представленного, можно сделать вывод, что наиболее оптимальные расход катализатора и производительность при синтезе изопропил- и этилбензола достижима при средней температуре, в данном случае это  $\approx 100^\circ\text{C}$ . При такой температуре процесса, образование дезактивирующих катализатор полициклических веществ незначительно, и реакция переалкилирования протекает с достаточно высокой скоростью [13,15].

## 2.4 Выбор и обоснование конструкции основного аппарата

Для данного процесса в качестве основного аппарата целесообразнее использовать аппарат колонного типа с барботажным устройством, т.к. реакция алкилирования бензола пропиленом протекает гораздо быстрее, при интенсивном барботировании реакционной смеси олефином. Подача олефина должна осуществляться через низ колонны, с целью увеличения поверхности контакта реагентов.

Так как процесс алкилирования протекает с большим выделением тепла, то для регулировки температуры, в аппарате должен быть предусмотрен отвод паров бензола. Отвод паров будет производиться через верх колонны, поэтому в конструкции аппарата обязательно должен присутствовать отбойник (брызгоуловитель), например распределительная сетка, представляющая собой перфорированный лист с  $n$ -м количеством отверстий. Данное устройство необходимо для предотвращения уноса капель образовавшегося алкилата [2,4].

Материал, из которого следует конструировать аппарат, должен обладать антикоррозийными свойствами, так как основой каталитического комплекса является  $AlCl_3$ , а так же в состав комплекса входит хлорпроизводное. Исходя из этого, следует, что во время проведения синтеза возможно выделение  $HCl$ , который в свою очередь взаимодействует с железом (основной элемент сталей), из-за чего возникает разрушение материала. Из наиболее доступных и подходящих для данного производства материалов является нержавеющая сталь, например сталь марки 12X18H10 [4,17].

На рисунке 2 представлено схематическое изображение реактора колонного типа.

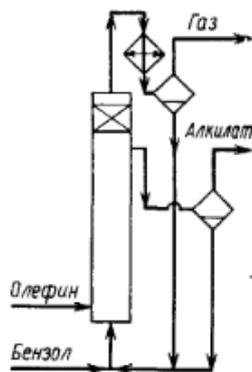


Рисунок 2 — реактор колонного типа [2]

## 2.5 Описание технологической схемы узла синтеза изопропилбензола

Готовый каталитический комплекс состоящий из хлорида алюминия, полиалкилбензолов, 2-хлорпропана и бензола, а так же осушенной бензольной шихты (ОБШ) и пропилена поступает в барботажную колонну (алкилатор) А-1 при температуре 20°C. Подача пропилена осуществляется барботированием через реакционную смесь. Каталитический комплекс представляет суспензию.

В барботажной колонне процесс проводится при 100 °С и давлении 0,4 МПа.

После проведения основного процесса (время пребывания реагентов в аппарате 40 мин) образовавшийся алкилат подается насосом Н-8/3 в теплообменник (Т-2) с циркулирующей водой, где охлаждается до 70 °С.

Дроссельным вентилем (Д-3) дросселируется давление в трубопроводе до 0,002 МПа и через сепаратор (С-4) удаляются пары бензола (около 5%) с небольшим содержанием паров алкилата.

В дальнейшем, алкилат проходит стадии очистки от каталитического комплекса.

В начале, проводится осаждение хлорида алюминия в отстойнике О-5/1, через который пропускают воду. В результате протекания химической реакции образуется гидроксохлорид алюминия ( $AlOHCl_2$ ) и 29% раствор

соляной кислоты. Образовавшийся осадок с некоторым количеством раствора кислоты отводится из отстойника О-5/1 в специальные резервуары.

Из отстойника О-5/1 в отстойник О-5/2 алкилат поступает самотеком.

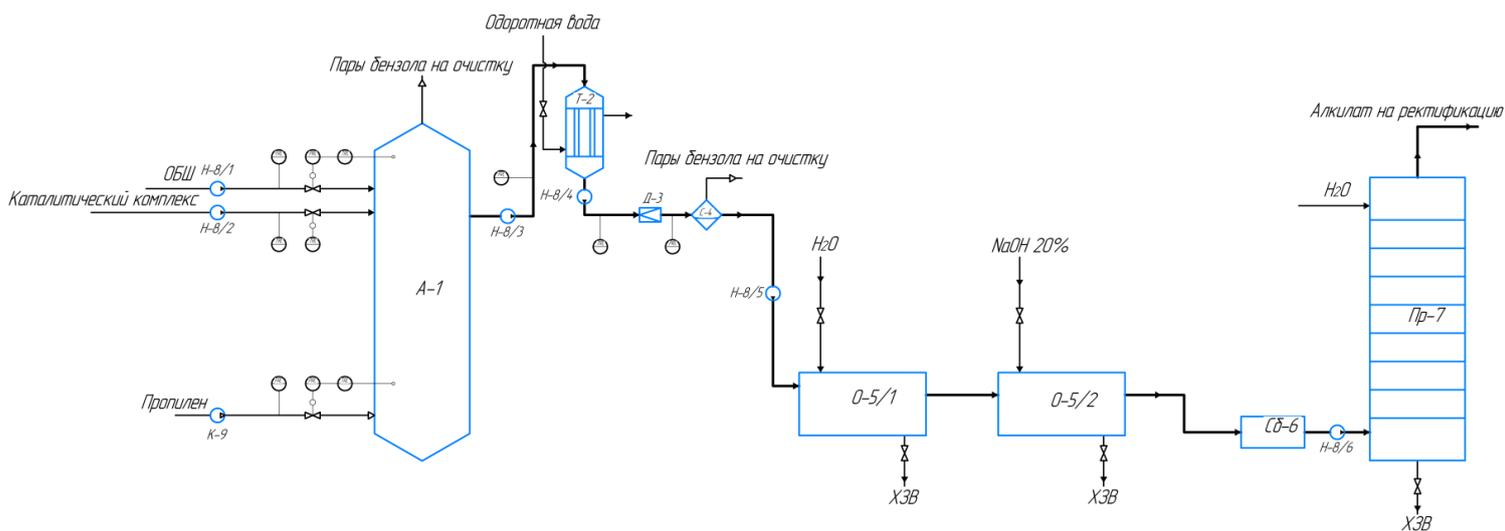
В отстойнике О-5/2 проводится нейтрализация 20%-м раствором NaOH раствора соляной кислоты. В результате образуется смесь, состоящая из азеотропной смеси изопропилового спирта и раствора хлорида натрия. Часть смеси удаляется из алкилата в процессе расслоения. Нейтрализованный алкилат собирают в сборнике Сб-6, куда он так же поступает самотеком.

Последней стадией очистки алкилата является промывка в промывной колонне Пр-7.

В промывную колонну Пр-7, насосом Н-8/6, подается алкилат, который орошается водой, поступающей через верх колонны, в результате чего вымываются остатки веществ, образовавшихся в процессе осаждения и нейтрализации.

После проведения всех стадий очистки алкилат отправляется в соседний цех для выделения основного продукта (ректификация) [1,2].

Рисунок 3 — технологическая схема узла синтеза изопропилбензола [1]



А-1 — алкилятор; Т-2 — теплообменник; Д-3 — дроссельный вентиль; С-4 — сепаратор; О-5/1,2 — отстойники; Сб-6 — сборник; Пр-7 — промывная колонна; Н-8/1,2,3,4,5,6 — насосы; К-9 — компрессор.

## 2.6 Аналитический контроль

Изопропилбензол принимают партиями и каждую партию анализируют на наличие примесей. Основным методом анализа фракции технического изопропилбензола является метод газовой хроматографии в соответствии с "ГОСТ 20491-75 Изопропилбензол технический. Технические требования". В данном случае используют метод газо-жидкостной хроматографии.

Технический изопропилбензол должен, по физико-химическим характеристикам, соответствовать нормам, указанным в таблице 4.

Таблица 4 — физико-химические показатели технического ИПБ [24]

Наименование показателя	Норма	
	Высший сорт ОКП 2414410110	Первый сорт ОКП 2414410130
1. Внешний вид	Бесцветная прозрачная жидкость	
2. Плотность при 20°C, г/см <sup>3</sup>	0,861-0,862	0,861-0,863
3. Массовая доля изопропилбензола, %, не менее	99,9	99,7
4. Массовая доля органических примесей, %, не более, в том числе:	0,003	Не нормируется
-неароматических соединений	0,03	0,15
-этилбензола;	0,05	0,20
-пропилбензола;	0,01	0,10
-бутилбензолов;		
-высших углеводородов.		
5. Массовая доля непредельных соединений в г брома на 100 г продукта, не более	0,015	0,02
6. Массовая доля фенола, %, не более	0,0003	0,001

Продолжение таблицы 4

Наименование показателя	Норма	
	Высший сорт ОКП 2414410110	Первый сорт ОКП 2414410130
7. Массовая доля общей серы, % не более	0,0002	0,001
8. Массовая доля хлора, %, не более	0,0004	0,001

Анализ готового технического изопропилбензола, проводится в следующей последовательности [24]:

— отбирается проба из цистерн для хранения или товарных цистерн объемом не менее 1 дм<sup>3</sup>;

— с помощью ареометра или пикнометра определяют плотность изопропилбензола;

— определяются массовые доли изопропилбензола и примесей с помощью лабораторного газового хроматографа с пламенно-ионизационным детектором (по типу ЛХМ-80).

Перед началом работ с хроматографом, проводятся все необходимые мероприятия по подготовке прибора к работе, которые описаны в инструкции, приложенной к прибору (перевод аппарата в рабочий режим, градуировка и т.д.).

После подготовки прибора к работе производится непосредственный анализ изопропилбензола. Отбирается около 20 г исследуемого вещества и взвешивается в закрытой колбе, после чего в колбу приливают 5-7 мм<sup>3</sup> н-октана (внутренний эталон). Полученную смесь повторно взвешивают, затем тщательно перемешивают и загружают в испаритель.

Результатом проведения анализа являются хроматограммы (рисунок 4), на которых изображены пики всех веществ, входящие в состав анализируемой смеси [24].

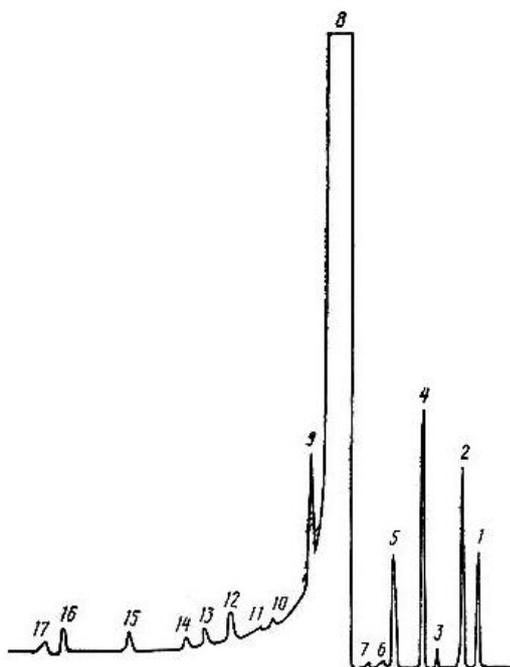


Рисунок 4 — хроматограмма анализа изопропилбензола [24]

1— гексан; 2— бензол; 3— толуол; 4— октан; 5— этилбензол; 6— м+п-ксилолы; 7— ксилол; 8— изопропилбензол; 9— н-пропилбензол; 10— м+п-этилтолуол; 11— третичный бутилбензол; 12— изо+вторичный бутилбензол; 13— м-цимол; 14— п-цимол; 15— н-бутилбензол; 16, 17— высшие углеводороды (диизопропилбензолы).

Из полученной хроматограммы определяются массовая доля изопропилбензола и примесей. Для этого применяется следующая формула[24]:

$$X_i = \frac{K_i \cdot S_i \cdot m_{\text{ЭТ}}}{S_{\text{ЭТ}} \cdot m}, \quad (1)$$

$K_i$  — градуировочный коэффициент;

$S_i$  — площадь пика анализируемого компонента, мм<sup>2</sup>;

$m_{\text{ЭТ}}$  — масса внутреннего эталона, г;

$S_{\text{эт}}$  — площадь пика внутреннего эталона, мм<sup>2</sup>;

$m$  — масса изопропилбензола, г.

Градуировочный коэффициент рассчитывается по следующей формуле [24]:

$$K_i = \frac{S_{\text{эм}} \cdot a_i}{S_i \cdot a_{\text{эт}}}, \quad (2)$$

$a_i$ ,  $a_{\text{эт}}$  — массовые доли анализируемой примеси и внутреннего эталона в приготовленной смеси для анализа.

Площадь пиков определяют умножением ширины, измеренной на середине высоты, на высоту пика.

Все результаты расчетов округляются до четвертого знака. Если полученные результаты не удовлетворяют нормам, то изготовитель проверяет каждую партию, до получения не менее трех удовлетворительных результатов, в соответственном количестве партий [24].

## 2.7 Автоматический контроль и управление процессом

Контроль и управление процессом осуществляется дистанционно, за счет передачи сигналов с места монтирования датчиков на пульт управления в диспетчерскую, где за изменением параметров процесса следят аппаратчики, и по необходимости принимают меры по их регулированию. В случае чрезвычайных ситуаций срабатывает система сигнализации.

В таблице 5 представлены датчики, характеристики регистрируемые ими, а так же типы датчиков и их модели.

Все датчики расположены на входе и выходе из основного аппарата, а так же непосредственно на нем.

Таблица 5 — приборы и средства автоматизации [1]

Наименование параметра	Предельные значения параметра	Характеристика и наименование	Тип, модель	Количество	Примечание
Температура	+150 °С	Регистрация, сигнализация, измерение	Термопара ХК	2	Устанавливаются в верхней и нижней части реактора
Температура	+100 °С	Регистрация, сигнализация, управление, измерение	Манометрический термометр ТКП-160Сг-М2	1	Устанавливается на трубопроводе для вывода алкилата из теплообменника
Давление	25 кгс/см <sup>2</sup>	Регистрация, сигнализация, управление, измерение	Манометр МП4-У	3	Устанавливаются на трубопроводах подвода сырья в реактор, а также после дроссельного вентиля
Расход	30 м <sup>3</sup> /ч	Регистрация, измерение, управление	Расходомер ADMAG	3	Устанавливается на трубопроводах подачи сырья в реактор, а также на выходе из реактора

## 4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

### 4.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

Целевым рынком изопропилбензола являются топливная промышленность и органическая промышленность.

Изопропилбензол используется как высокооктановая добавка к моторному топливу и является промежуточным продуктом для промышленного производства ацетона и фенола.

### 4.2 Анализ конкурентных технических решений

При ведении собственного производства необходим систематический анализ конкурирующих разработок во избежание потери занимаемой ниши рынка. Периодический анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности позволяет оценить эффективность научной разработки по сравнению с конкурирующими предприятиями.

К наиболее крупным производителям изопропилбензола в России относятся: ОАО «Уфаоргсинтез» (г. Уфа, Республика Башкортостан) и ПАО «Омский каучук» (г. Омск, Омская область).

В таблице 16 приведена оценочная карта, включающая конкурентные технические разработки в области производства изопропилбензола.

Таблица 16 – оценочная карта для сравнения конкурентных технических разработок

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б <sub>ф</sub>	Б <sub>к1</sub>	Б <sub>к2</sub>	К <sub>ф</sub>	К <sub>к1</sub>	К <sub>к2</sub>
1	2	3	4	5	6	7	8
<b>Технические критерии оценки ресурсоэффективности</b>							
1. Выход продукта	0,1	10	9	8	1	0,9	0,8
2. Повышение производительности труда пользователя	0,05	9	9	7	0,45	0,45	0,35
3. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,04	10	8	7	0,4	0,32	0,28
4. Надежность	0,13	10	9	8	1,3	1,17	1,04
5. Безопасность эксплуатации оборудования	0,2	10	9	8	2	1,8	1,6
<b>Экономические критерии оценки эффективности</b>							
1. Конкурентоспособность продукта	0,07	9	7	7	0,63	0,49	0,49
2. Уровень проникновения на рынок	0,05	6	6	6	0,3	0,3	0,3
3. Цена	0,1	9	8	10	0,9	0,8	1
4. Предполагаемый срок эксплуатации	0,06	10	10	10	0,6	0,6	0,6
5. Финансирование научной разработки	0,1	4	4	4	0,4	0,4	0,4
6. Срок выхода на рынок	0,06	8	8	8	0,48	0,48	0,48
7. Наличие сертификации разработки	0,04	9	9	9	0,36	0,36	0,36
<b>Итого</b>	<b>1</b>				<b>8,82</b>	<b>8,07</b>	<b>7,7</b>

Б<sub>ф</sub> – продукт проведенной работы;

Б<sub>к1</sub> – «ОАО Уфаоргсинтез»;

Б<sub>к2</sub> – «ПАО Омский каучук».

#### 4.3 SWOT-анализ

SWOT– (Strengths – сильные стороны, Weaknesses – слабые стороны, Opportunities – возможности и Threats – угрозы) – это комплексный анализ научно-исследовательского проекта. SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта [18].

Результаты первого этапа SWOT-анализа представлены в табл. 17.

Таблица 17 – первый этап SWOT-анализа

	<b>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</b> С1. Экологичность технологии С2. Более низкая стоимость производства по сравнению с другими технологиями С3. Возможность использования инновационной инфраструктуры ТПУ	<b>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</b> Сл1. Долгий срок поставок материалов, используемых при проведении исследования
<b>Возможности:</b> В1. Повышение стоимости конкурентных разработок		
<b>Угрозы:</b> У1. Отсутствие спроса на новые технологии производства У2. Несвоевременное финансовое обеспечение научного исследования У3. Развитая конкуренция технологий производства		

Интерактивные матрицы представлены в таблицах 18, 19, 20, 21.

Таблица 18 – интерактивная матрица проекта «Сильные стороны и возможности»

Сильные стороны проекта				
Возможности проекта		С1	С2	С3
	В1		+	+

Таблица 19 – интерактивная матрица проекта «Слабые стороны и возможности»

Слабые стороны проекта		
Возможности проекта		Сл1
	В1	

Таблица 20 – интерактивная матрица проекта «Сильные стороны и угрозы»

Сильные стороны проекта				
Угрозы		С1	С2	С3
	У1	+	-	+
	У2	-	-	+
	У3	+	-	+

Таблица 21 – интерактивная матрица проекта «Слабые стороны и угрозы»

Слабые стороны проекта		
Угрозы		Сл1
	У1	+
	У2	+
	У3	-

Таким образом, в рамках третьего этапа может быть составлена итоговая матрица SWOT-анализа(табл. 22).

Таблица 22 – итоговая матрица SWOT-анализа

	<p><b>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</b>                      С1. Экологичность технологии.                      С2. Более низкая стоимость производства по сравнению с другими технологиями.                      С3. Заявленная экономичность и энергоэффективность технологии.</p>	<p><b>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</b>                      Сл1. Отсутствие необходимого современного оборудования для проведения испытания опытного образца.</p>
<p><b>Возможности:</b>                      В1. Повышение стоимости конкурентных разработок.</p>	<p>Разработка производства изопропилбензола на катализаторе — хлорид алюминия. (низкая цена катализатора, больший выход конечного продукта, по сравнению с другими методами.</p>	<p>По причине большого срока поставок необходимых для исследований материалов возможно отставание от конкурентов с последующим падением спроса на продукцию.</p>

## Продолжение таблицы 22

<p><b>Угрозы:</b>          У1. Отсутствие спроса на новые технологии производства.          У2. Несвоевременное финансовое обеспечение научного исследования.          У3. Развитая конкуренция технологий производства.</p>	<p>Экономичность и энергоэффективность технологии, а так же экологичность технологии способны ослабить влияние перечисленных угроз.</p>	<p>При задержках в поставках используемых материалов и одновременном развитии конкуренции технологии обогащения есть риски потери занятой ниши рынка. При добавлении к этому несвоевременного финансового обеспечения угроза потери рынка значительно возрастает.</p>
--	---	---

### 4.3 Определение возможных альтернатив проведения научных исследований

Таблица 23 — морфологическая матрица для методов получения изопропилбензола

	1	2	3
А. Сырье	Осушенная бензольная шихта, пропилен	Осушенная бензольная шихта, пропилен	Осушенная бензольная шихта, пропилен
Б. Катализатор	Хлорид алюминия безводный	Трифторид бора	Хлорид алюминия
В. Инициатор	2-хлорпропан	—	Раствор соляной кислоты

### 4.4 Планирование научно-исследовательских работ

#### 4.4.1 Структура работ в рамках научного исследования

Для выполнения научных исследований формируется рабочая группа, в чей состав входят: бакалавр, научный руководитель, консультант по части социальной ответственности (СО) и консультант по экономической части (ЭЧ) выпускной квалификационной работы. Составим перечень этапов и

работ в рамках проведения научного исследования и проведем распределение исполнителей по видам работ (табл. 24) [18].

Таблица 24 – перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
1	2	3	4
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Научный руководитель, консультант ЭЧ, СО, бакалавр
Выбор направления исследований	2	Выбор направления исследований	Руководитель, бакалавр
	3	Подбор и изучение материалов по теме	Руководитель, бакалавр,
	4	Патентный обзор литературы	Бакалавр
	5	Календарное планирование работ по теме	Руководитель, бакалавр
Теоретические исследования	6	Проведение теоретических расчетов и обоснований	Бакалавр
Обобщение и оценка результатов	7	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель, бакалавр
	8	Определение целесообразности проведения ВКР	Руководитель, бакалавр
Проведение ВКР			
Разработка технической документации и проектирование	9	Разработка технологии получения изопропилбензола	Бакалавр
	10	Оценка эффективности производства и применения разработки	Бакалавр, консультант по ЭЧ
	11	Разработка социальной ответственности по теме	Бакалавр, консультант СО
Оформление комплекта документации по ВКР	12	Составление пояснительной записки	Бакалавр

#### 4.4.2 Определение трудоемкости выполнения работ

Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости  $t_{ож}$  используется формула (56) [18]:

$$t_{ожi} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5}, \quad (56)$$

где  $t_{ожi}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения  $i$  – ой работы, чел. – дн.;

$t_{\min i}$  – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$  – ой работы, чел. – дн.;

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

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях  $T_p$ , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями [18]:

$$T_{pi} = \frac{t_{ожi}}{Ч_i}, \quad (57)$$

где  $T_{pi}$  – продолжительность одной работы, раб.дн.;

$t_{ожi}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.дн.;

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

Результаты расчетов занесены в табл. 25

Таблица 25 – временные показатели проведения научного исследования

№	Название работ	Трудоемкость работ									Исполнители	Т <sub>р</sub> , раб. дн.			Т <sub>р</sub> , кал. дн.		
		t <sub>min</sub> , чел-дн.			t <sub>max</sub> , чел-дн.			t <sub>ож</sub> , чел-дн.				Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
		Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3							
1	Составление технического задания	0,4	0,4	0,4	1	1	1	0,64	0,64	0,64	Р	0,16	0,16	0,16	0,24	0,24	0,24
		0,4	0,4	0,4	1	1	1	0,64	0,64	0,64	Б	0,16	0,16	0,16	0,24	0,24	0,24
		0,4	0,4	0,4	1	1	1	0,64	0,64	0,64	К <sup>1</sup>	0,16	0,16	0,16	0,24	0,24	0,24
		0,4	0,4	0,4	1	1	1	0,64	0,64	0,64	К <sup>2</sup>	0,16	0,16	0,16	0,24	0,24	0,24

Продолжение таблицы 25

№	Название работ	Трудоемкость работ									Исполнители	Т <sub>р</sub> , раб. дн.			Т <sub>р</sub> , кал. дн.		
		t <sub>min</sub> , чел-дн.			t <sub>max</sub> , чел-дн.			t <sub>ож</sub> , чел-дн.				Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
		Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3							
2	Выбор направления исследований	0,6	0,6	0,6	2	2	2	1,2	1,2	1,2	Р	0,6	0,6	0,6	0,9	0,9	0,9
		0,6	0,6	0,6	2	2	2	1,2	1,2	1,2	Б	0,6	0,6	0,6	0,9	0,9	0,9
3	Подбор и изучение материалов	5	5	5	10	10	10	7	7	7	Р	3,5	3,5	3,5	5,25	5,25	5,25
		5	5	5	10	10	10	7	7	7	Б	3,5	3,5	3,5	5,25	5,25	5,25
4	Литературный обзор	8	8	8	10	10	10	8,8	8,8	8,8	Б	8,8	8,8	8,8	13,2	13,2	13,2
5	Календарное планирование работ по теме	1	1	1	2	2	2	1,4	1,4	1,4	Р	0,7	0,7	0,7	1,05	1,05	1,05
		1	1	1	2	2	2	1,4	1,4	1,4	Б	0,7	0,7	0,7	1,05	1,05	1,05
6	Проведение теоретических расчетов и обоснований	7	7	7	14	14	14	9,8	9,8	9,8	Б	9,8	9,8	9,8	14,7	14,7	14,7
7	Оценка эффективности результатов	3	3	3	4	4	4	3,4	3,4	3,4	Р	1,7	1,7	1,7	2,55	2,55	2,55
		6	6	6	8	8	8	6,8	6,8	6,8	Б	3,4	3,4	3,4	5,1	5,1	5,1
8	Определение целесообразности проведения ВКР	5	5	5	6	6	6	5,4	5,4	5,4	Р	2,7	2,7	2,7	4,05	4,05	4,05
		5	5	5	6	6	6	5,4	5,4	5,4	Б	2,7	2,7	2,7	4,05	4,05	4,05
9	Разработка производства изопропилбензола	3	3	3	4	4	4	3,4	3,4	3,4	Б	3,4	3,4	3,4	5,1	5,1	5,1
10	Оценка эффективности производства	8	8	8	10	10	10	8,8	8,8	8,8	Б	4,4	4,4	4,4	6,6	6,6	6,6
		8	8	8	10	10	10	8,8	8,8	8,8	К <sup>1</sup>	4,4	4,4	4,4	6,6	6,6	6,6
11	Разработка СО	6	6	6	9	9	9	7,2	7,2	7,2	Б	3,6	3,6	3,6	5,4	5,4	5,4
		6	6	6	9	9	9	7,2	7,2	7,2	К <sup>2</sup>	3,6	3,6	3,6	5,4	5,4	5,4
12	Составление пояснительной записки	10	10	10	15	15	15	12	12	12	Б	12	12	12	18	18	18

Р – руководитель

Б – бакалавр

К<sup>1</sup> – консультант по экономической части

К<sup>2</sup> – консультант по социальной ответственности

#### 4.4.3 Разработка графика проведения научного исследования

При выполнении дипломных работ студенты становятся участниками сравнительно небольших по объему научных тем, поэтому наиболее удобным и наглядным является построение ленточного графика проведения научных работ в форме диаграммы Ганта.

Диаграмма Ганта – это горизонтальный ленточный график (табл. 26), на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ. Данный график строится на основе табл. 25.

Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться формулой (58) [18]:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}}, \quad (58)$$

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

$T_{pi}$  – продолжительность выполнения  $i$  – й работы в рабочих днях;

$k_{\text{кал}}$  – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по формуле (59) [18]:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}}, \quad (59)$$

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

$T_{\text{вых}}$  – количество выходных дней в году;

$T_{\text{пр}}$  – количество праздничных дней в году.

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} = \frac{365}{365 - 90 - 28} = 1,5$$

Таким образом:

Таблица 26 – календарный план-график проведения НИОКР

Вид работы	Исполнители	$T_{кi}$ , дней	Продолжительность выполнения работ														
			февраль		март			апрель			май						
			2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3				
Составление технического задания	Руководитель, бакалавр, консультант ЭЧ, СО	0,24	■														
Выбор направления исследований	Руководитель, бакалавр	0,9	■	■													
Подбор и изучение материалов	Руководитель, бакалавр	5,25		■													
Патентный обзор литературы	Бакалавр	13,2			■	■	■	■									
Календарное планирование работ	Руководитель, бакалавр	1,05					■	■									
Проведение теоретических расчетов и обоснований	Бакалавр	14,7					■	■	■								
Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель, бакалавр	2,55 5,1								■	■						

Продолжение таблицы 26

Вид работы	Исполнители	$T_{ki}$ , дней	Продолжительность выполнения работ												
			февраль		март			апрель			май				
			2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3		
Определение целесообразности проведения ВКР	Руководитель, бакалавр	4,05													
Разработка технологии полимеризации метилметакрилата	Бакалавр	5,1													
Оценка эффективности производства и применения разработки	Бакалавр, консультант ЭЧ	6,6													
Разработка социальной ответственности	Бакалавр, консультант СО	5,4													
Составление пояснительной записки	Бакалавр	18													

Руководитель	Бакалавр	Консультант ЭЧ	Консультант СО

#### 4.4.4 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

В процессе формирования бюджета НТИ используется следующая группировка затрат по статьям [18]:

- материальные затраты НТИ;
- затраты на основное оборудование;
- основная заработная плата исполнителей темы;
- дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- накладные расходы.

#### 4.4.5 Расчет материальных затрат НТИ

Для выполнения данной ВКР требуются материальные затраты на: приобретаемые со стороны сырье и материалы, необходимые для создания научно-технической продукции;

покупные материалы, используемые в процессе создания научно-технической продукции для обеспечения нормального технологического процесса и для упаковки продукции или расходуемых на другие производственные и хозяйственные нужды;

покупные комплектующие изделия и полуфабрикаты, подвергающиеся в дальнейшем монтажу или дополнительной обработке;

сырье и материалы, покупные комплектующие изделия и полуфабрикаты, используемые в качестве объектов исследований (испытаний) и для эксплуатации, технического обслуживания и ремонта изделий – объектов испытаний (исследований) [18].

Материальные затраты данного НТИ представлены в табл. 27.

Таблицы 27 – материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество			Цена за ед., Тыс. руб.			Затраты на материалы, (З <sub>м</sub> ), тыс. руб.		
		Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
Бензол	т	40	45	40	180	180	180	7200	8100	7200
Пропилен	т	5	6	5	22,4	22,5	22,4	112	135	112
2-хлопропан	т	1	-	-	19,3	-	-	19,3	-	-
Вода	т	6	10	9	2,1	2,5	2,1	12,6	25	21
Соляная кислота	т	-	-	0,8	-	-	11	-	-	8,8
Едкий натр	т	1	1,5	2	16,5	16,5	16,5	16,5	24,75	33
Хлорид алюминия	т	1,6	-	1	20,3	-	20,3	32,48	27,3	20,3
Трифторид бора	т	-	1	-	-	57	-	-	57	-
<b>Итого:</b>								<b>7393</b>	<b>8341,75</b>	<b>7395</b>

4.4.6 Расчет затрат на оборудование для научно-экспериментальных работ

Таблица 28 — затраты на оборудование

№ п/п	Наименование оборудования	Кол-во единиц оборудования	Цена единицы оборудования, руб.	Общая стоимость оборудования, руб.
1.	Алкилатор	2	1200000	2400000
2.	Теплообменник	2	500000	1000000
3.	Сепаратор	2	110000	220000
4.	Емкость	3	130000	390000
5.	Промывная колонна	1	800000	800000
6.	Ректификационная колонна	1	900000	900000
<b>Итого</b>				<b>5710000</b>

Для оборудования нужно рассчитать величину годовой амортизации по следующей формуле [18]:

$$A_{\text{год}} = \frac{C_{\text{перв}}}{T_{\text{пи}}}, \quad (60)$$

где  $C_{\text{перв}}$  – первоначальная стоимость, руб;

$T_{\text{пи}}$  – время полезного использования, год.

Результаты расчетов приведены в табл.29.

Таблица 29 – ежегодные амортизационные отчисления

№ п/п	Наименование оборудования	Общая стоимость оборудования, руб.	Время полезного использования, руб.	Годовая амортизация, руб.
1.	Алкилатор	2400000	10	240000
2.	Теплообменник	1000000	10	100000
3.	Сепаратор	220000	10	22000
4.	Емкость	390000	10	39000
5.	Промывная колонна	800000	10	80000
6.	Ректификационная колонна	900000	10	90000
Итого				571000

#### 4.4.7 Основная заработная плата исполнителей темы

Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением НИИ, (включая премии и доплаты) и дополнительную заработную плату. Также включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы в размере 20 –30 % от тарифа или оклада [18]:

$$Z_{\text{зп}} = Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}, \quad (61)$$

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

$Z_{\text{доп}}$  – дополнительная заработная плата (12 – 20 % от  $Z_{\text{осн}}$ ).

Основная заработная плата ( $Z_{\text{осн}}$ ) руководителя от предприятия рассчитывается по следующей формуле [18]:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_p, \quad (62)$$

где  $Z_{\text{осн}}$  – основная заработная плата одного работника;

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

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле [18]:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d}, \quad (63)$$

где  $Z_m$  – месячный должностной оклад работника, руб.;

$M$  – количество месяцев работы без отпуска в течение года;

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

В табл. 30 приведен баланс рабочего времени каждого работника НТИ.

Таблица 30 — баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Бакалавр	Консультант ЭЧ	Консультант СО
Календарное число дней	365	365	365	365
Количество нерабочих дней				
выходные дни:	90	90	90	90
праздничные дни:	28	28	28	28
Потери рабочего времени				
отпуск:	28	28	28	28
невыходы по болезни:	0	0	0	0
Действительный годовой фонд рабочего времени	219	219	219	219

Месячный должностной оклад работника [18]:

$$Z_m = Z_{тс} \cdot (1 + k_{пр} + k_d) \cdot k_p, \quad (64)$$

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

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

$k_d$  – коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,2 – 0,5;

$k_p$  – районный коэффициент, для Томска равный 1,3.

Расчет основной заработной платы приведен в табл.31.

Таблица 31– расчет основной заработной платы

Категория	$Z_{тс}$ , руб.	$k_d$	$k_p$	$Z_m$ , руб	$Z_{дн}$ , руб.	$T_p$ , раб.дн.	$Z_{осн}$ , руб.
Руководитель							
ППСЗ	12067,25	0,4	1,3	26668,62	1339,52	12	16074,24
Бакалавр							
ППС1	2410,2	0,4	1,3	5326,542	267,5432	68	18192,94
Консультант ЭЧ							
ППСЗ	20080,9	0,4	1,3	44378,79	2229,072	5	11145,36
Консультант СО							
ППСЗ	20080,9	0,4	1,3	44378,79	2229,072	5	11145,36

Таблица 32 – общая заработная плата исполнителей

Исполнитель	$Z_{осн}$ , руб.	$Z_{дон}$ , руб.	$Z_{зн}$ , руб.
Руководитель	16074,24	2411,136	18485,37
Бакалавр	18192,94	2728,941	20921,88
Консультант ЭЧ	11145,36	1671,804	12817,16
Консультант СО	11145,36	1671,804	12817,16

#### 4.4.8 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

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

Величина этих отчислений определяется по формуле (65) [18]:

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}), \quad (65)$$

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

На 2014 г. в соответствии с Федеральным законом от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30 %. Однако на основании пункта 1 ст.58 закона №212-ФЗ для учреждений осуществляющих образовательную и научную деятельность в 2014 году водится пониженная ставка – 27,1 % [18].

Отчисления во внебюджетные фонды представлены в табл. 33.

Таблица 33 – отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата, руб.
Руководитель проекта	16074,24	2411,136
Бакалавр	18192,94	2728,941
Консультант ЭЧ	11145,36	1671,804
Консультант СО	11145,36	1671,804
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	0,271	
<b>Итого:</b>	<b>17626,27</b>	

#### 4.4.9 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование графических материалов, оплата услуг связи, электроэнергии, транспортные расходы и т.д. Их величина определяется по следующей формуле [18]:

$$Z_{\text{накл}} = k_{\text{нр}} \cdot (\text{сумма статей } 1 \div 4), \quad (66)$$

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

Величину коэффициента накладных расходов  $k_{нр}$  допускается взять в размере 16 % [18]. Таким образом, накладные расходы на данные НИТ составляют 2109707 руб.

#### 4.4.10 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект приведен в табл.34.

Таблица 34 – расчет бюджета затрат НИТ

Наименование статьи	Сумма, тыс. руб			Примечание
	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3	
1. Материальные затраты НИТ	7393000	8341750	7395000	табл. 12
2. Затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	5710000	5710000	5710000	табл. 13
3. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	56557,89	56557,89	56557,89	табл.17
4 Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	8483,684	8483,684	8483,684	табл.17
5. Отчисления во внебюджетные фонды	17626,27	17626,27	17626,27	табл.17
6. Накладные расходы	2109707	2261507	2109707	16 % от суммы ст. 1-5
7. Бюджет затрат НИТ	15295375	16395925	15297375	Сумма ст. 1-6

Как видно из табл. 34 основные затраты НИТ приходятся на материалы и спецоборудование.

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

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности [18].

**Интегральный финансовый показатель** разработки определяется как [18]:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{ri}}{\Phi_{\text{max}}}, \quad (67)$$

где  $I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i}$  – интегральный финансовый показатель разработки;

$\Phi_{ri}$  – стоимость  $i$ -го варианта исполнения;

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

Полученная величина интегрального финансового показателя разработки отражает соответствующее численное увеличение бюджета затрат разработки в размах (значение больше единицы), либо соответствующее численное удешевление стоимости разработки в размах (значение меньше единицы, но больше нуля).

Таблица 35 — сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Объект исследования Критерии	Весовой коэффициент параметра	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1.Выход продукта	0,1	10	9	8
2. Повышение производительности труда пользователя	0,05	9	9	7

Продолжение таблицы 35

Объект исследования Критерии	Весовой коэффициент параметра	Исп.1	Исп.2	Исп.3
3. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,04	10	8	7
4. Надежность	0,13	10	9	8
5. Безопасность эксплуатации оборудования	0,2	10	9	8
6. Конкурентоспособность продукта	0,07	9	7	7
7. Уровень проникновения на рынок	0,05	6	6	6
8. Цена	0,1	9	8	10
9. Предполагаемый срок эксплуатации	0,06	10	10	10
10. Финансирование научной разработки	0,1	4	4	4
11. Срок выхода на рынок	0,06	8	8	8
12. Наличие сертификации разработки	0,04	9	9	9
<b>Итого</b>	<b>1</b>			

Таблица 36 — сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1	Интегральный финансовый показатель разработки	1	0,933	1
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,9	4,3	4,35
3	Интегральный показатель эффективности	4,9	4,61	4,35
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1	0,94	0,89

Вывод: Сравнительный анализ интегральных показателей эффективности показывает, что предпочтительно первое исполнение для получение изопропилбензола (на хлориде алюминия в присутствии 2-хлорпропана), но и второй вариант не уступает в эффективности (на трифторид бора).