

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
Проект узла гидрирования сернистых соединений

УДК 622.279.8:66.094.25.03-047.74

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2Д4А	Даянова Регина Руслановна		

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 Татьяна Гавриловна	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

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

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Волгина Татьяна Николаевна	к.х.н., доцент		

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 _____
 Уровень образования _____ бакалавр _____
 Отделение школы (НОЦ) _____ Отделение химической инженерии _____
 Период выполнения _____ осенний / весенний семестр 2017/2018 учебного года _____

Форма представления работы:

Бакалаврская работа

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН
выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	30.05.2018
------------------------------------------	------------

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

Составил преподаватель:

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

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Волгина Татьяна Николаевна	к.х.н., доцент		

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 _____

УТВЕРЖДАЮ:
Руководитель ООП
_____ Волгина Т.Н.
(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы

Студенту:

Группа	ФИО
2Д4А	Даяновой Регине Руслановне

Тема работы:

Узел гидрирования сернистых соединений	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	25.12.2017 №10042

Срок сдачи студентом выполненной работы:	30.05.2018
------------------------------------------	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе <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>	Гидроочистка природного газа от сернистых соединений с использованием алюмокобальтмолибденового катализатора. Процесс непрерывный; основной аппарат – контактный аппарат цилиндрической формы. В аппарате находится один слой катализатора, расположенный на тарелке с решеткой.
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</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, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<p>В ходе работы были разработаны следующие разделы:</p> <ul style="list-style-type: none"> – теоретическая часть; – объект и методы исследования; – инженерные расчеты, включающие материальный, тепловой, механический расчеты, расчет вспомогательного оборудования; – контроль производства; – финансовый менеджмент ресурсоэффективность и ресурсосбережение; – социальная ответственность; – заключение по работе.
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

<p>Перечень графического материала</p> <p><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Схема технологическая. 2. Реактор. Вид общий. 3. Реактор. Сборочный чертеж
--------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

<p>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</p> <p><i>(с указанием разделов)</i></p>	
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Рыжакина Татьяна Гавриловна
Социальная ответственность	Король Ирина Степановна

<p>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</p>	
<p> </p>	
<p> </p>	

<p>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</p>	<p>18.09.2017</p>
--------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------

Задание выдал руководитель:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2Д4А	Даянова Регина Руслановна		

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

Студенту:

Группа	ФИО
2Д4А	Даяновой Регине Руслановне

Школа	ИШПР	Отделение	Химическая инженерия
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	Химическая технология

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

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	06.04.2018
-------------------------------------------------------------	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Рыжакина Татьяна Гавриловна	Кандидат экономических наук		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2Д4А	Даянова Регина Руслановна		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

Группа	ФИО
2Д4А	Даяновой Регине Руслановне

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

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	<p>Объект исследования – узел гидрирования сернистых соединений</p> <p>Приборы – персональный компьютер, материальное обеспечение лаборатории ОХИ ТПУ.</p> <p>Методика – проектирование узла гидрирования сернистых соединений.</p> <p>Рабочая зона – лабораторное помещение ОХИ ТПУ.</p> <p>Область применения – химическая промышленность.</p>
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Производственная безопасность	<p>1.1 Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть при эксплуатации объекта исследования;</p> <p>1.2 Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследований;</p> <p>1.3 Обоснование мероприятий по защите исследователя от действия опасных и вредных факторов.</p>
2. Экологическая безопасность:	<p>2.1 Анализ выявления объекта исследования на окружающую среду;</p> <p>2.2 Обоснование мероприятий по защите окружающей среды.</p>
3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	<p>3.1 Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований;</p> <p>3.2 Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть при проведении исследования;</p> <p>3.3 Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действий в случае возникновения ЧС.</p>
4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:	<p>4.1 Специальные (характерные для рабочей зоны исследователя) правовые нормы трудового законодательства;</p> <p>4.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны исследователя.</p>

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	06.04.2018
-------------------------------------------------------------	------------

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	Даянова Регина Руслановна		

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

Код результата	Результат обучения
<i>Профессиональные компетенции</i>	
P1	Применять базовые и специальные, математические, естественнонаучные, социально-экономические и профессиональные знания в профессиональной деятельности
P2	Применять знания в области современных химических технологий для решения производственных задач
P3	Ставить и решать задачи производственного анализа, связанные с созданием и переработкой материалов с использованием моделирования объектов и процессов химической технологии
P4	Разрабатывать новые технологические процессы, проектировать и использовать новое оборудование химической технологии, проектировать объекты химической технологии в контексте предприятия, общества и окружающей среды
P5	Проводить теоретические и экспериментальные исследования в области современных химических технологий
P6	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
<i>Универсальные компетенции</i>	
P7	Демонстрировать знания социальных, этических и культурных аспектов профессиональной деятельности
P8	Самостоятельно учиться и непрерывно повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности
P9	Активно владеть иностранным языком на уровне, позволяющем разрабатывать документацию, презентовать результаты профессиональной деятельности
P10	Эффективно работать индивидуально и в коллективе, демонстрировать лидерство в инженерной деятельности и инженерном предпринимательстве, ответственность за результаты работы и готовность следовать корпоративной культуре организации

Реферат

Дипломный проект содержит 96 страниц, 8 рисунков, 46 таблиц, 37 источников литературы, 4 листа графического материала.

Ключевые слова: природный газ, гидрирование, сернистые соединения.

Объектом проектирования является аппарат для гидрирования природного газа.

Целью ВКР является расчет аппарата гидрирования природного газа.

В работе было выполнено:

- расчет материального баланса;
- расчет теплового баланса;
- конструктивный расчет;
- механический расчет.

На основании расчета построен чертеж общего вида аппарата, сборочные единицы реактора. Приведена технологическая схема производства.

Пояснительная записка содержит такие разделы, как:

- Обзор литературы;
- Расчет и аналитика;
- Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение;
- Социальная ответственность;
- Заключение.

Дипломный проект выполнен с использованием графического редактора Microsoft Visio и текстовом редакторе Microsoft Word 2016, а также Компас 3D-V16 и записанный на USB носитель.

Оглавление

Реферат	8
Введение.....	12
1 Физико-химические основы технологического процесса	13
1.1 Обоснование выбора метода очистки	13
1.2 Выбор катализатора	16
1.3 Химизм процесса гидрирования сернистых соединений	18
1.4 Механизм процесса.....	19
1.5 Кинетика процесса	19
1.6 Термодинамика процесса	21
2 Объекты и методы исследования	22
2.1 Характеристика производимой продукции, исходного сырья, материалов и полупродуктов	22
2.2 Выбор и обоснование технологической схемы производства	23
2.3 Описание реактора гидрирования сернистых соединений.....	24
2.4 Описание средств автоматизации и приборов контроля производства	26
2.5 Аналитический контроль	29
3 Инженерный расчеты.....	31
3.1 Материальный расчет	31
3.1.1 Материальный расчет стадии подогрева смеси природного и продувочного газов	31
3.1.2 Материальный расчет стадии гидрирования серосодержащих соединений.....	39
3.2 Технологический расчет реактора.....	42
3.3 Тепловой расчет	44
3.3.1 Тепловой расчет стадии гидрирования сернистых соединений	44
3.4 Конструктивно – механический расчет.....	52
3.4.1 Обоснование выбора материала	52
3.4.2 Расчет толщины обечайки.....	53
3.4.3 Выбор крышки и днища	54
3.4.4 Подбор фланцев.....	55
3.4.5 Расчет и подбор штуцеров	56
3.4.6 Подбор прокладки	58

3.4.7	Расчет и подбор люков для загрузки выгрузки катализатора	58
3.4.8	Расчет опоры.....	59
3.4.9	Расчет вспомогательного оборудования.....	60
4	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение...	62
4.1	Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	62
4.1.1	Потенциальные потребители результатов исследования	62
4.1.2	Анализ конкурентных технических решений	63
4.1.3	SWOT-анализ.....	64
4.2	Определение возможных альтернатив проведения научных исследований	67
4.3	Планирование научно-исследовательских работ.....	67
4.3.1	Структура работ в рамках научного исследования	67
4.3.2	Определение трудоемкости выполнения работ	69
4.3.3	Разработка графика проведения научного исследования	71
4.3.4	Бюджет научно-технического исследования (НТИ)	74
4.3.4.1	Расчет материальных затрат НТИ	74
4.3.4.2	Расчет затрат на оборудование для научно-экспериментальных работ	75
4.3.4.3	Основная заработная плата исполнителей темы	76
4.3.4.4	Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)..	78
4.3.4.5	Накладные расходы	79
4.3.4.6	Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта.....	79
4.4	Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования .	80
5	Социальная ответственность	83
5.1	Производственная безопасность.....	83
5.1.1	Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть при эксплуатации объекта исследования	84
5.1.2	Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследований	84

5.1.3 Обоснование мероприятий по защите исследователя от действия опасных и вредных факторов.....	86
5.2 Экологическая безопасность.....	88
5.2.1 Анализ выявления объекта исследования на окружающую среду .	88
5.2.2 Обоснование мероприятий по защите окружающей среды	89
5.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	89
5.3.1 Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований	89
5.3.2 Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть при проведении исследования.....	90
5.3.3 Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действий в случае возникновения ЧС.	90
5.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	91
Заключение	92
Список литературы.....	93

Введение

При химической переработке газов сернистые соединения являются такой же вредоносной примесью, что и сероводород, так как вызывают похожие отрицательные эффекты – коррозию трубопроводов и аппаратуры, ухудшение качества продукции, отравление катализаторов, загрязнение атмосферы.

Содержание сернистых соединений в природном газе чаще всего составляют сероуглерод, сероокись углерода, тиофены, меркаптаны, сульфиды и дисульфиды. Состав серы в технологических газах зависят от способа и режима их получения. Концентрация примесей в различных газах обычно колеблется от 0 до нескольких десятых процента. В настоящее время для установок по производству синтез-газа норма содержания сернистых соединений после сероочистки установлена на уровне не более 0,1 мг/ м³.

Глубокая очистка от сернистых соединений, так же, как и от сероводорода, рекомендуется на возможно более раннем этапе обработки газа. Выбор способа очистки газа обусловлен составом газа, свойствами органических соединений серы и требованиям к очистке.

Гидрирование является одним из наиболее качественных и эффективных способов очистки природного газа от соединений серы.

1 Физико-химические основы технологического процесса

1.1 Обоснование выбора метода очистки

Природный газ используется в химической промышленности, как исходное сырьё для получения различных органических веществ, например, метанола. Природный газ в своем составе содержит метан, этан и другие углеводороды, азот, а также примеси сернистых соединений. Сернистые соединения как органические, так и неорганические являются ядами для катализаторов, используемых в процессе конверсии и синтеза, ухудшают качество продукции, вызывают коррозию аппаратуры и трубопроводов с образованием сульфида, вызывает загрязнение атмосферы.

Очистка природного газа от сероводорода, меркаптанов и сероуглерода не вызывает каких-либо трудностей, так при высоких температурах (520-690 °С) эти примеси отлично адсорбируются на твердых поглотителях, на основе оксида углерода. Очистка газа от тиофена и сульфидов осуществляется труднее и тогда процесс следует проводить в несколько стадий.

Известно несколько эффективных методов очистки природного газа от соединений серы. К ним относятся: хемосорбция оксидом цинка с предварительным гидрированием на катализаторах; адсорбция на синтетических цеолитах; абсорбция жидкими поглотителями. Очистку по первому методу ведут при высокой температуре, по второму и третьему при температуре окружающей среды.

1. Абсорбционный метод основан на разной растворимости газов в жидкостях и сопровождается химической реакцией газа с раствором. Условия проведения абсорбционных способов очистки обычно характеризуются пониженными температурами и повышенным давлением. Технология абсорбционного метода представляет собой непрерывный цикл с циркулирующим жидким абсорбентом, который поглощает примеси в

абсорбере и выделяет их в регенераторе, восстанавливая свою поглотительную способность [1].

2. Адсорбционный метод основывается на селективном извлечении примесей адсорбентами – твердыми поглотителями. Поглотительная способность твердого вещества зависит от совокупности свойств: состояния поверхности сорбента, его пористости, свойств поглощаемой примеси, температуры и давления. В зависимости от полноты химического взаимодействия и условий проведения процесса в адсорбционном методе может проявляться физическая адсорбция с последующей капиллярной конденсацией или хемосорбция. Физическая адсорбция наблюдается при обычной или низкой температуре, хемосорбция - при высокой [1].

Использование твердых адсорбентов имеет эффект при малых концентрациях примесей в газе. В промышленности достаточно распространен периодический процесс адсорбции, когда газ продувают через неподвижный слой гранулированного адсорбента, а затем, после потери адсорбционной способности, поглотитель регенерируют [1].

3. Каталитический метод очистки базируется на превращении вредных примесей в инертные вещества или соединения, хорошо поглощаемые на последующих стадиях адсорбционной или абсорбционной очистки. Для этого удаляемое вещество должно химически вступить в связь с компонентами на поверхности катализатора, которые содержатся в очищаемом газе, или с искусственно добавляемыми в смесь веществами. Состав катализатора в процессе очистки не меняется и все реакции, протекающие на его поверхности, подчиняются общим законам гетерогенно-каталитических процессов. Так же, как и адсорбционные методы очистки, каталитический метод имеет высокую эффективность при переработке малых концентраций удаляемого компонента, содержание которого после очистки сильно понижается. Оценку активности катализаторов очистки на практике осуществляют по количеству перерабатываемых примесей единицей объема

катализатора или по максимально допустимой объемной скорости, при которой достигается желаемая степень превращения [1].

Каталитическое обезвреживание примесей в промышленных условиях проводят при повышенных температурах и давлениях. В интервале 300—400 °С реакции гидрирования сернистых соединений практически необратимы. Гидрирование протекает при повышенном давлении (3—4 МПа) и используются модификации алюмокобальтмолибденового и алюмоникельмолибденового катализатора, применяемые для гидрогенизационных процессов в нефтехимии.

Также кроме основных технологических схем очистки природного газа от примесей, используют и физические методы разделения газов - это различные виды магнитной и термической диффузии, в том числе разделительные мембраны и полупроницаемые перегородки и криогенная техника.

Присутствующие в очищаемом природном газе примеси соединений серы в виде CS_2 , COS или меркаптанов могут поглощаться как активированным углем, так и оксидом цинка с большой удельной поверхностью. Впрочем, при этом есть возможность получить очищенный природный газ с содержанием серы 0.5 мг/нм^3 , что является достаточно низкой степенью очистки. Поэтому серосодержащие соединения, находящиеся в газе в виде меркаптанов, сульфидов, тиофенов и т.д., перед поглощением обязательно подвергают каталитическому гидрированию.

Каталитическое гидрирование заключается в превращении сложных сернистых соединений в слое катализатора в более простые. В данном случае в сероводород и органические вещества, не содержащие серы и в дальнейшей переработке могут использоваться как углеводородное сырье.

В каталитическом гидрировании применяются обобщенные закономерности гетерогенно-каталитических процессов. Действие катализаторов сводится к повторяемой промежуточной химической реакции катализатора с реагирующими соединениями, в результате которой

образуются вещества, способные распадаться в особых условиях на основной продукт и регенерированный катализатор. За счет такого постадийного пути реакции скорость достижения равновесия увеличивается, относительно термодинамически возможного, но сложно достижимого в отсутствие катализатора. Таким образом, активность катализатора определяется его химическим составом.

В промышленности об активности катализатора судят по объему продукта получаемого с единицы объема катализатора, так же по самой максимально допустимой объемной скорости, при которой обеспечивается нужная степень превращения. Каталитическая очистка применяется основным образом при малой концентрации удаляемого компонента в исходном газе; содержание этого компонента после очистки понижается на несколько порядков. Довольно часто процесс идет при высоком избытке другого компонента реакции, концентрация которого после очистки фактически не изменяется. Поэтому при проведении очистки значимость приобретают процессы диффузии, связанные тесным образом с пористой структурой катализатора. Исходя из вышесказанного, пористая структура является одной из важных характеристик катализаторов. Она определяется удельной поверхностью, пористостью, размером пор и распределением их по радиусу.

Также важными свойствами, которыми должен обладать катализатор гидроочистки, является избирательность к реакциям разрыва связи C-S, то есть в его присутствии данные реакции не будут протекать, проявление высокой активности к реакциям с разрывом связи C-S и достаточной активностью к реакциям насыщения непредельных углеводородов [2].

1.2 Выбор катализатора

В промышленности используются катализаторы, представляющие собой сложные композиции, в составе которых присутствуют такие компоненты как:

- Никель (Ni), кобальт (Co), платина (Pt), палладий (Pd) (металлы из VIII группы).
- Сульфиды и окислы металлов VI группы, таких как молибден (Mo) и вольфрам (W).
- Носители, обладающие кислотными свойствами, у которых развита удельная поверхность, высокая механическая прочность и термостойкость.

В качестве носителя для катализатора гидроочистки применяют оксид алюминия. Носитель является не только инертным разбавителем, но и принимает участие в процессе формирования активных фаз, а также играет роль структурного промотора, который создает определенную пористость структуры, подходящую для переработки необходимого сырья [3].

Основными катализаторами, используемыми в процессах гидроочистки нефтяных фракции, являются катализаторы на основе кобальта – молибдена (АКМ), никеля – молибдена (АНМ), и никеля – вольфрама (АНВ), нанесенных на оксид алюминия (иногда с добавлением цеолитов).

Сравнение катализаторов для гидрирования ведут по следующим показателям (таблица 1):

Таблица 1 - Характеристика катализаторов гидрирования сернистых соединений

Показатели	Катализаторы		
	АКМ	АНМ	АНВ
Насыпная плотность, г/см ³	0,6-0,7	0,6-0,7	1,5-1,7
Удельная поверхность, м ² /г	100	100	72
Содержание, % масс:			
CoO	6-7	-	-
NiO	-	5-6	15-16

MoO ₃	12-14	12-14	-
WO ₃	-	-	30-33
Носитель	Al ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	Al ₂ O ₃
Диаметр гранул, мм	5,5-6	5,5-6	9-11
Прочность, кг /мм	7	5	3.5
Удельная активность по гидрированию сернистых соединений, %	95	95	65

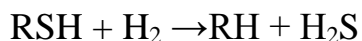
По каталитическим свойствам молибден похож на вольфрам, но имеет стоимость существенно больше первого. Никель дешевле кобальта, но имеет большую активность в реакциях гидрирования ароматических и ненасыщенных соединений. Это приводит к перегидрированию, что повышает расход водорода. Вместе с тем он быстро теряет высокую первоначальную активность. Таким образом, на данный момент оптимальным катализатором процессов гидрообессеривания сырья риформинга можно считать алюминийкобальтмолибденовый катализатор. Применение данного катализатора увеличивает регенерационный цикл и срок службы катализатора гидрирования и улучшает распределение газовой смеси по сечению реактора [4].

1.3 Химизм процесса гидрирования сернистых соединений

Очистка природного газа от сернистых соединений проводится до содержания серы в исходном сырье не более 0,4 мг/нм³ (в пересчете на серу) [5].

Сера в природном газе химически связана с углеводородными соединениями и устраняется путем восстановления, с последующей

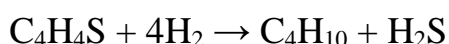
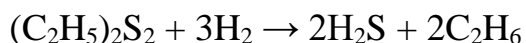
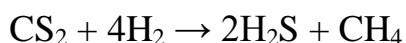
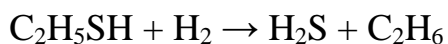
адсорбцией образовавшегося сероводорода. Восстановление серы, которое можно выразить, как [5]:



проводится в температурном интервале (350-400)⁰C над катализатором в присутствии избыточного водорода, подаваемого с потоком продувочного газа из цикла синтеза.

Катализатор, состоящий из окиси кобальта и молибдена на носителе из окиси алюминия, в условиях рабочего режима находится в восстановленном сульфидированном состоянии.

Реакции гидрирования сернистых соединений:



1.4 Механизм процесса

Процесс гидрирования достаточно сложен. Предполагается, что он протекает через ряд промежуточных продуктов.

Первая стадия процесса – восстановление катализатора. Последующие стадии включают расщепление серосодержащей молекулы с образованием элементарной серы, а затем внедрение этой серы в восстановленные участки катализатора. Механизм реакции гидрирования носит окислительно-восстановительный характер.

1.5 Кинетика процесса

Кинетика гидрирования сернистых соединений сильно зависит от их строения. Скорость реакции падает в следующем ряду: меркаптаны >

дисульфид > сульфид > тиофен. С увеличением молекулярного веса сернистых соединений скорость гидрогенизационного обессеривания уменьшается.

Поэтому скорость процесса гидрирования исходного сырья, содержащего различные соединения, будет в основном определяться скоростью гидрирования наиболее устойчивых соединений, которыми являются тиофеновые соединения. Кроме того, для данного типа соединений серы скорость гидрирования повышается с увеличением молекулярного веса.

Обычно, для практических кинетических расчетов гидрирования сероорганических соединений применяют уравнение первого порядка по сере:

$$W = k * P^n$$

где W- скорость химической реакции; k- константа скорости; P – парциальное давление соединений серы.

Порядок реакции гидрирования по серосодержащему компоненту близок к единице. Таким образом, скорость растет с увеличением парциального давления водорода. Скорость гид зависит также от характера углеводородов, присутствующих в очищаемом газе и оказывающих ингибирующее воздействие на процесс.

Константа скорости реакции зависит от температуры, давления, природы катализатора и парциального давления водорода. В большинстве случаев температурная зависимость константы скорости может быть описана уравнением Аррениуса:

$$k = k_0 e^{-\frac{E}{RT}}$$

где k_0 – предэкспоненциальный множитель, независимый от температуры;

E – энергия активации, Дж/моль;

R – универсальная газовая постоянная, равная 8,314 Дж/моль·К;

T – абсолютная температура, К.

1.6 Термодинамика процесса

К основным параметрам процесса гидрирования сернистых соединений относятся температура, количество циркулирующего продувочного газа и содержание в нем водорода, объёмная скорость подачи сырья и давление.

Процессы гидрирования из термодинамических соображений следует проводить при возможно более низкой температуре, позволяющей достичь достаточной скорости реакции. В промышленности температура процесса колеблется от 350 до 400⁰С (в зависимости от активности катализатора и реакционной способности исходного вещества). Реакции гидрирования сернистых соединений экзотермичны и протекают либо без изменения объема, либо в случае, например, производных тиофена с уменьшением объема. В следствии этого, чтобы сохранить систему в равновесии процесс ведут при высоких давлениях.

С повышением давления увеличиваются скорость и глубина реакций гетероорганических соединений с водородом. Значительно уменьшается загрязненность коксом катализаторов и срок их службы становится выше. Давление системы определяет класс используемого оборудования и, следовательно, капитальные затраты на процесс. В промышленной практике чаще всего проводят процесс гидроочистки при 3 – 5 МПа.

На результаты может сильно влиять объёмная скорость подачи сырья. Повышение скорости приводит к понижению интенсивности реакций, в связи с этим понижаются расход водорода и коксообразование. Чем подвергается гидрированию продукт легче, тем более высокую скорость возможно поддерживать в процессе. Обычно объёмная скорость поддерживается на уровне 0,5—7 ч⁻¹. Также важное значение имеет серосодержание в перерабатываемом сырье: чем выше концентрация сернистых соединений, тем ниже объёмная скорость, так как скорость гидрирования сераорганических соединений выше, чем для других соединений.

2 Объекты и методы исследования

2.1 Характеристика производимой продукции, исходного сырья, материалов и полупродуктов

1) Природный газ - бесцветный горючий газ без запаха, температура самовоспламенения – 645 °С, пределы взрываемости в смеси с воздухом 4,9-15,4 %об. В больших концентрациях производит наркотическое действие. Класс опасности 4. ПДК в воздухе рабочей зоны производственных помещений 300 мг/м³. Используется в качестве сырья и топлива. В своем составе содержит:

Таблица 2 – Состав природного газа (% масс.) [3]

CH ₄	C ₂ H ₆	C ₃ H ₈	C ₄ H ₁₀	C ₅ H ₁₂	C ₆ H ₁₄	CO ₂	N ₂	Остальное
91,060	3,421	2,048	0,861	0,109	0,162	0,466	1,858	0,0112
4	1	9	2	8	4	3	7	

2) Продувочный газ. Используется на узле очистки природного газа в качестве топлива. В своем составе содержит:

Таблица 3 – Состав продувочного газа (% масс.) [3]

CH ₄	H ₂	N ₂	CO	CO ₂
12,65	83,43	0,99	1,5	1,43

3) Серосодержащие соединения представляют собой бесцветные соединения с чрезвычайно неприятным запахом. Общее содержание сернистых соединений до 80 мг/м³. Меркаптаны, дисульфиды и другие сернистые соединения до 60 мг/м³.

4) Сероводород H₂S - присутствует в природном и топливном газе. Обладает высокой токсичностью и при концентрации свыше 20 ppm в воздухе считается опасным для дыхания. При очень низких концентрациях этот газ

имеет запах тухлых яиц. При наличии такого запаха следует принять меры, т.к. сероводород вызывает паралич органов обоняния. Класс опасности - 2. ПДК в воздухе производственных помещений - 10 мг/м³. Сильный нервный яд, вызывает смерть от остановки дыхания. В газе содержится до 20 мг/м³.

5) Алюмокобальтмолибденовый катализатор. Предназначен для использования в процессах гидрирования сернистых соединений. Катализатор разработан для процессов получения дизельного топлива с содержанием серы менее 0,05 % масс. насыпной вес от 0.45 до 0.7 кг/дм³

2.2 Выбор и обоснование технологической схемы производства

В ходе проекта была выявлена оптимальная схема очистки природного газа она состоит из следующих стадий:

- нагрев природного газа;
- гидрирование сернистых соединений;
- адсорбционная очистка природного газа.

На сероочистку природный газ поступает после второй ступени компрессора, где сжимается до давления 3 атм. К сжатому газу с температурой около 120°C примешивают продувочный газ. Содержание водорода в смеси составляет 20%. Газовая смесь направляется в змеевики огневого подогревателя, где нагревается до 340°C за счет тепла сжигания топливного газа в специальных горелках. Наличие такого подогревателя позволяет осуществить пуск и налаживание работы узла сероочистки независимо от работы всей системы. Нагретый газ поступает в контактный аппарат, в котором на алюмокобальтмолибденовом катализаторе при 340 °C и объемной скорости 180 ч⁻¹ проходит гидрирование сероорганических соединений, образуется сероводород [6].

Содержание сернистых соединений после катализатора сначала равно нулю, потом постепенно увеличивается и в момент насыщения количество серы в газе до и после катализатора становится одинаковым. При изменении

условий очистки (температура, состав газа) возможно выделение части поглощенной серы или наоборот дополнительное поглощение. Сероводород поглощается оксидноцинковым поглотителем в двух адсорберах. В схеме предусмотрено подключение адсорберов как на параллельную, так и на последовательную работу. Обычно адсорберы работают последовательно. При этом поглощение серы осуществляется в первом по ходу газа аппарате. Когда в газе после первого адсорбера появляется сероводород и его концентрация достигает определенной величины ($0,5— 3 \text{ мгS/м}^3$), его отключают и перегружают поглотитель. Второй аппарат подключают первым по ходу газа, а во время перегрузки поглотителя он работает один, а затем вторым по ходу газа включают аппарат со свежим поглотителем. Такая система подключения аппаратов позволяет, как указано выше, наиболее полно использовать поглотитель и обеспечить надежную и глубокую очистку газа, при этом содержание сернистых соединений в очищенном газе не превышает $0,5 \text{ мгS/м}^3$. На газовых линиях после каждого адсорбера имеются свечи с вентилями для сброса при необходимости газа в атмосферу. Блок-схема процесса представлена на рисунке 1 [6].

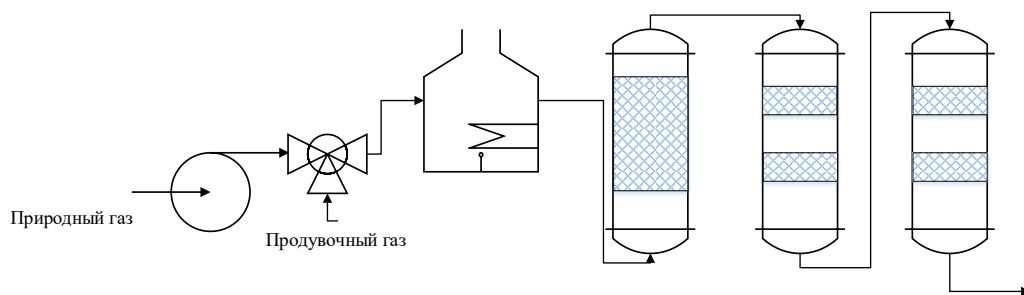


Рисунок 1 – Блок-схема очистки природного газа от серосодержащих соединений [6]

2.3 Описание реактора гидрирования сернистых соединений

При решении вопроса о подходящем типе реактора должны учитываться различные соображения. Номенклатура и объем производства, характер реакции (гомогенная, гетерогенная), периодичность или

непрерывность процесса, степень превращения, тип аппарата, температурный режим и давление в аппарате, одним из основных критериев при выборе аппарата является экономичность работы реактора

При проведении гетерогенных каталитических процессов в различных областях химической, нефтехимической и нефтеперерабатывающей промышленности широко распространены реакторы с неподвижным слоем катализатора. Так как процессы, реализуемые в реакторах с неподвижным зернистым слоем, разнообразны, то и конструкции таких аппаратов имеют, большое разнообразие. Основная проблема, с которой сталкиваются специалисты при моделировании каталитических реакторов, является формирование диапазона оптимальных температур в слое катализатора. В реакционном узле для этого предусматривается подвод или отвод тепла (для эндо- и экзотермических процессов соответственно). В связи со способом теплообмена можно рассмотреть три главных вида реакторов с неподвижным слоем [7]:

- адиабатические реакторы (теплообмена нет);
- реакторы с промежуточным отводом или подводом тепла – многослойные (полочные) аппараты;
- реакторы с непрерывным отводом или подводом тепла – трубчатые аппараты.

Т.к. в системе теплообмен отсутствует, то подходящим является адиабатический реактор.

Адиабатический реактор (рисунок 2 [7]) представляет собой цилиндр (металлический), в нижней части которого располагается решетка, на которую высыпается катализатор в виде различных гранул: таблеток, шаров, зёрен разных форм и т. д. Газовая реакционная смесь направляется в аппарат как сверху вниз, так и снизу вверх. Стенки цилиндра имеют теплоизоляцию [7].

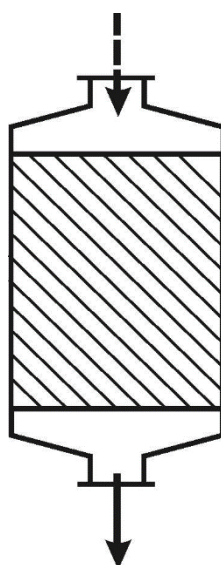


Рисунок 2 – Реактор адиабатического типа [7]

Отсутствие устройств для съема тепла в адиабатических реакторах приводит к осуществлению процессов с небольшими тепловыделениями и малой чувствительностью к изменению температуры, а также к процессам с небольшими степенями превращения. При невысоких линейных скоростях газового потока и, соответственно, невысокой мощности такой реактор имеет небольшой размер, что уменьшает загрузки катализатора, низкое гидравлическое сопротивление в слое катализатора и уменьшает энергетические расходы по подаче газа в систему.

Такая конструкция используется в основном, при создании экологически чистых технологий для каталитической очистки выходных газов от окислов азота и серы, сероводорода, органических веществ и т. д., а также при разработке малотоннажных процессов. Дешевизна изготовления таких аппаратов обусловлена простотой конструкции.

2.4 Описание средств автоматизации и приборов контроля производства

Развитие автоматизации химической промышленности связано с возрастающей интерфиксацией технологических процессов, ростом

производства, использованием агрегатов большой мощности, а также усложнением технологических схем.

Автоматизация процессов имеет особое значение в химической технологии, это связано с взрывопожароопасностью перерабатываемых веществ, их токсичностью и агрессивностью, и с необходимостью предотвращения вредных выбросов в окружающую среду.

Управление технологическим процессом вручную невозможно, так как производство имеет следующие особенности:

- высокая чувствительность к нарушениям заданного режима;
- наличие большого количества точек контроля и управлением процесса;
- необходимость своевременного воздействия на процесс в случае отклонения от заданных условий протекания.

Вследствие чего в настоящее время без автоматизации эксплуатация процессов химической технологии практически не мыслима. Для поддержания ровного протекания процессом, им нужно управлять.

Управление – это целенаправленное воздействие на объект, которое обеспечивает его оптимальное функционирование и количественно оценивается величиной критерии качества.

Частным случаем управления является регулирование.

Регулирование – это поддержание выходных величин объекта вблизи требуемых постоянных или переменных значений с целью обеспечения нормального режима его работы посредством подачи на объект управляемых воздействий.

Устройство, которое обеспечивает поддержание выходных параметров объекта вблизи требуемых значений, называют автоматическим регулированием.

Для процесса сероочистки природного газа от сернистых соединений используется двухступенчатая очистка. На первой стадии сернистые

соединения подвергаются гидрированию с образованием сероводорода, на второй стадии происходит поглощение сероводорода оксидом цинка.

Задача управления процессом сероочистки состоит в достижении концентрации сернистых соединений в газе до 0,01 мг/нм³, при установленной производительности оборудования и оптимальных условиях процесса.

Основными регулируемыми технологическими величинами процесса являются степень поглощения. На полноту протекания реакции поглощения оказывают влияние ряд параметров процесса- температура, давление и расход газа.

Узел гидрирования сернистых соединений регулируется и контролируется следующими приборами:

- температура в слое катализатора осуществляется прибором ТП-1 на щите ЦПУ. Предельно допустимая температура до 390 °С;
- контроль давления газа в реакторе осуществляется прибором РІ-1 на щите ЦПУ. Максимальное значение давление до 35 кг/см²;
- давление на выходе из реактора контролируется с помощью прибора РІ-2. Максимальное значение давление до 35 кг/см².

Таблица 4– Технологический контроль узла гидрирования сернистых соединений [2]

	Контролируемый параметр	Средства контроля	Ед. изм.	Предельно-допустимые параметры	Кто контролирует
1	Давление в реакторе гидроочистки	Манометр РІ-1	кг/см ²	до 35	аппаратчик периодически 1 раз в 2 часа запись в рапорт
2	Давление после реактора гидроочистки поз.Р-2	Манометр РІ-2	кг/см ²	до 35	аппаратчик периодически 1 раз в 2 часа запись в рапорт
3	Температура в реакторе гидроочистки	TRC-1	°С	до 390	аппаратчик постоянно 1 раз в 2 часа запись в рапорт

2.5 Аналитический контроль

Аналитический контроль является неотъемлемой частью основного производственного процесса. Контроль производства на всех его стадиях очень важен, так как от этого зависит не только чистота выхода продукта, но и сохранность используемого оборудования.

Таблица 5 – Аналитический контроль [2]

№ п/п	Наименование сырья, материалов, продукта и места его отбора	Контролируемый параметр	Единицы измерения	Нормы и технологические показатели	Частота контроля	Кто контролирует
1	Природный газ на выходе реактора гидросероочистки	H ₂ S (сероводород)	мг/м ³	1,0-80	По требованию	Лаборант лаборатории производства метанола

Указанный метод анализа может быть реализован с помощью хроматографического разделения компонентов газа. При подготовке к выполнению измерений проводят следующие работы:

- установку хроматографических колонок (в случае, если монтаж хроматографических колонок не проведен предприятием-изготовителем);
- кондиционирование (или регенерацию) хроматографических колонок;
- настройку рабочего режима хроматографа;
- градуировку хроматографа.

Выполнение измерений проводится после получения положительных результатов градуировки хроматографа и затем приступают к выполнению измерений массовой концентрации серосодержащих компонентов анализируемого газа. Дозирование пробы анализируемого природного газа в потоковый хроматограф осуществляется в автоматическом программируемом режиме. После завершения регистрации хроматограммы с использованием

встроенного или внешнего блока обработки данных автоматически осуществляется расчет значений массовой концентрации серосодержащих компонентов в ГГП [8].

Результаты расчета значений массовой концентрации серосодержащих компонентов пробы природного газа архивируются и могут быть по требованию оператора извлечены для просмотра на мониторе компьютера или получены в виде распечатки [8].

4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

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

Гидроочистка – один из наиболее распространённых процессов нефтепереработки и применяется практически на любом нефтеперерабатывающем заводе.

При химической переработке газов органические соединения являются такой же вредной примесью, что и сероводород, так как вызывают аналогичные отрицательные явления – отравление катализаторов, ухудшение качества продукции, коррозию трубопроводов и аппаратуры, загрязнение атмосферы.

В данном разделе дипломной работы проводится исследование гидрирования природного газа на трех различных катализаторах для установки очистки природного газа от сернистых соединений.

4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Для анализа потребителей результатов исследования необходимо рассмотреть целевой рынок и провести его сегментирование.

В результате сегментирования рынка были определены основные сегменты, а также выбраны наиболее благоприятные из них.

Таблица 25 – Карта сегментирования рынка услуг процесса очистки природного газа

		Характеристика метода			
		Дешевое сырье	Высокая скорость реакции	Доступность катализаторов	Высокий выход продукта
Основные компании	Крупные				
	Средние				
	Мелкие				

Таким образом, самым оптимальным методом очистки природного газа являются методы крупных компаний, таких как ООО «Сибметакхим» и ООО «Томскнефтехим», т.к. их методы имеют множество преимуществ, таких как дешевое сырье, доступность катализаторов, высокая скорость реакции и выход продукта.

4.1.2 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.

Данная методика очистки природного газа применяется на многих предприятиях. Проведем анализ среди двух крупных компаний ООО «Сибметакхим» (г. Томск, Томская область) и ООО «Томскнефтехим» (г. Томск, Томская область).

В таблице 26 приведена оценочная карта, включающая конкурентные технические разработки в области производства изопропилбензола.

Таблица 26 – 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							
1. Степень очистки	0,3	10	10	8	3	3	2,4
2. Энергоемкость процессов	0,2	10	8	8	2	1,6	1,6
3. Безопасность	0,1	10	9	9	1	0,9	0,9
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Конкурентоспособность продукта	0,1	8	8	7	0,8	0,8	0,7
2. Уровень проникновения на рынок	0,1	6	6	6	0,6	0,6	0,6
3. Цена	0,2	7	7	10	1,4	1,4	2
Итого	1				8,8	8,3	8,2

Б_ф – продукт проведенной работы;

Б_{к1} – ЗАО «Метанол»;

Б_{к2} – ООО «Томскнефтехим».

Степень очистки является основным параметром ресурсоэффективности всего процесса. Именно от него зависит дальнейшее распределение природного газа по производству. Энергоемкость и безопасность так же являются важными критериями, именно от них будет отталкиваться ценообразование конечного продукта.

4.1.3 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.

Результаты первого этапа SWOT-анализа представлены в таблице 27.

Таблица 27 – Первый этап SWOT-анализа

	Сильные стороны научно-исследовательского проекта: С1. Экологичность технологии С2. Экономичность и энергоэффективность технологии С3. Значительно низкая стоимость производства по сравнению с другими технологиями С4. Возможность использования инновационной инфраструктуры ТПУ	Слабые стороны научно-исследовательского проекта: Сл1. Долгий срок поставок материалов, используемых при проведении исследования
Возможности: В1. Повышение стоимости конкурентных разработок		
Угрозы: У1. Отсутствие спроса на новые технологии производства У2. Несвоевременное финансовое обеспечение научного исследования У3. Развитая конкуренция технологий производства		

Интерактивные матрицы представлены в таблицах 28, 29, 30, 31.

Таблица 28 – Интерактивная матрица проекта «Сильные стороны и возможности»

Сильные стороны проекта				
Возможности проекта		С1	С2	С3
	В1		+	+

Таблица 29 – Интерактивная матрица проекта «Слабые стороны и возможности»

Слабые стороны проекта		
Возможности проекта		Сл1
	В1	

Таблица 30 – Интерактивная матрица проекта «Сильные стороны и угрозы»

Сильные стороны проекта					
Угрозы		С1	С2	С3	С4
	У1	+	-	+	+
	У2	-	-	+	-
	У3	+	-	+	-

Таблица 31 – 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 (таблица 32).

Таблица 32 – Итоговая матрица SWOT-анализа

	<p>Сильные стороны научно-исследовательского проекта: С1. Экологичность технологии С2. Экономичность и энергоэффективность технологии С3. Значительно низкая стоимость производства по сравнению с другими технологиями С4. Возможность использования инновационной инфраструктуры ТПУ</p>	<p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта: Сл1. Долгий срок поставок материалов, используемых при проведении исследования</p>
--	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Продолжение таблицы 32

<p>Возможности: В1. Повышение стоимости конкурентных разработок.</p>	<p>Высокая степень очистки природного газа, будет способствовать увеличению спроса на продукцию. Дешевизна катализатора также влияет на спрос.</p>	<p>По причине большого срока поставок необходимых для исследований материалов возможно отставание от конкурентов с последующим падением спроса на продукцию.</p>
<p>Угрозы: 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 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>

4.2 Определение возможных альтернатив проведения научных исследований

Таблица 33 — Морфологическая матрица для методов получения изопропилбензола

	1	2	3
А. Сырье	Природный газ, продувочный газ	Природный газ, продувочный газ	Природный газ, продувочный газ
Б. Катализатор	Алюмокобальтмолибден новый	Алюмоникельмолибден овый	Алюмоникельвольфрам овый

4.3 Планирование научно-исследовательских работ

4.3.1 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 (таблица 34)

Таблица 34 – 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	Научный руководитель, бакалавр
	3	Подбор и изучение материалов по теме	Научный руководитель, бакалавр,
	4	Патентный обзор литературы	Бакалавр
	5	Календарное планирование работ по теме	Научный руководитель, бакалавр
Теоретические исследования	6	Проведение теоретических расчетов и обоснований	Бакалавр
Обобщение и оценка результатов	7	Оценка эффективности полученных результатов	Научный руководитель, бакалавр
	8	Определение целесообразности проведения ВКР	Научный 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

4.3.2 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 $t_{ожi}$ используется формула:

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

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:

$$T_{pi} = \frac{t_{ожi}}{Ч_i},$$

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 таблицу 35.

Таблица 35 – Временные показатели проведения научного исследования

№	Название работ	Трудоемкость работ									Ис пол нит ели	T _p , раб. дн.			T _к , кал. дн.		
		t _{min} , чел-дн.			t _{max} , чел-дн.			t _{ож} , 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	0,19	0,19	0,19
		0,4	0,4	0,4	1	1	1	0,64	0,64	0,64	Б	0,16	0,16	0,16	0,19	0,19	0,19
		0,4	0,4	0,4	1	1	1	0,64	0,64	0,64	К ¹	0,16	0,16	0,16	0,19	0,19	0,19
		0,4	0,4	0,4	1	1	1	0,64	0,64	0,64	К ²	0,16	0,16	0,16	0,19	0,19	0,19
2	Выбор направления исследований	0,5	0,5	0,5	2	2	2	1,1	1,1	1,1	Р	0,55	0,55	0,55	0,65	0,65	0,65
		0,5	0,5	0,5	2	2	2	1,1	1,1	1,1	Б	0,55	0,55	0,55	0,65	0,65	0,65
3	Подбор и изучение материалов	6	6	6	9	9	9	7,2	7,2	7,2	Р	3,6	3,6	3,6	4,25	4,25	4,25
		6	6	6	9	9	9	7,2	7,2	7,2	Б	3,6	3,6	3,6	4,25	4,25	4,25
4	Литературный обзор	8	8	8	10	10	10	8,8	8,8	8,8	Б	8,8	8,8	8,8	10,4	10,4	10,4
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	0,83	0,83	0,83
		1	1	1	2	2	2	1,4	1,4	1,4	Б	0,7	0,7	0,7	0,83	0,83	0,83
6	Проведение теоретических расчетов и обоснований	7	7	7	10	10	10	8,2	8,2	8,2	Б	8,2	8,2	8,2	9,68	9,68	9,68
7	Оценка эффективности и результатов	3	3	3	5	5	5	3,8	3,8	3,8	Р	1,9	1,9	1,9	2,24	2,24	2,24
		4	4	4	8	8	8	5,6	5,6	5,6	Б	2,8	2,8	2,8	3,3	3,3	3,3
8	Определение целесообразности проведения ВКР	5	5	5	6	6	6	5,4	5,4	5,4	Р	2,7	2,7	2,7	3,19	3,19	3,19
		5	5	5	6	6	6	5,4	5,4	5,4	Б	2,7	2,7	2,7	3,19	3,19	3,19
9	Разработка производства изопрропилбензола	4	4	4	5	5	5	4,4	4,4	4,4	Б	4,4	4,4	4,4	5,2	5,2	5,2
10	Оценка эффективности и производства	8	8	8	10	10	10	8,8	8,8	8,8	Б	4,4	4,4	4,4	5,2	5,2	5,2
		8	8	8	10	10	10	8,8	8,8	8,8	К ¹	4,4	4,4	4,4	5,2	5,2	5,2
11	Разработка СО	3	3	3	8	8	8	5,5	5,5	5,5	Б	2,5	2,5	2,5	2,95	2,95	2,95
		3	3	3	8	8	8	5,5	5,5	5,5	К ²	2,5	2,5	2,5	2,95	2,95	2,95
12	Составление пояснительной записки	10	10	10	15	15	15	12	12	12	Б	12	12	12	14,2	14,2	14,2

Р – руководитель

Б – бакалавр

К¹ – консультант по экономической части

К² – консультант по социальной ответственности

4.3.3 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 (таблица 36), на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ. Данный график строится на основе таблицы 35.

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

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}},$$

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:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}},$$

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.

Таким образом:





$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} = \frac{142}{142 - 18 - 4} = 1,18.$$

Таблица 36 – Календарный план-график проведения НИОКР

Вид работы	Исполнители	$T_{ки}$, 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	0,19	■														
Выбор направления исследований	Руководитель, бакалавр	0,65	■	■													
Подбор и изучение материалов	Руководитель, бакалавр	4,25		■													
Патентный обзор литературы	Бакалавр	10,4		■	■	■	■	■									
Календарное планирование работ	Руководитель, бакалавр	0,83				■	■										
Проведение теоретических расчетов и обоснований	Бакалавр	9,68				■	■	■	■	■							
Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель, бакалавр	2,24 3,3								■	■	■					

Продолжение таблицы 36

Вид работы	Исполнители	T _{кi} , 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	3,19																
Разработка технологии полимеризации метилметакрилата	Бакалавр	5,2																
Оценка эффективности производства и применения разработки	Бакалавр, консультант ЭЧ	5,2																
Разработка социальной ответственности	Бакалавр, консультант СО	2,95																
Составление пояснительной записки	Бакалавр	14,2																

Руководитель	Бакалавр	Консультант ЭЧ	Консультант СО
			

4.3.4 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

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

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

4.3.4.1 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).

Материальные затраты данного НТИ представлены в таблице 37.

Таблицы 37 – Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество			Цена за ед., руб.			Затраты на материалы, (З _м), руб.		
		Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
Природный газ	м ³	7824	7824	7824	4,9	4,9	4,9	38337,6	38337,6	38337,6
Продувочный газ	м ³	7560	7560	7560	3,5	3,5	3,5	26460	26460	26460
Алюмокобальт молибденовый катализатор	кг	2530	-	-	540	-	-	1366200	-	-
Алюмоникельмолибденовый катализатор	кг	-	2530	-	-	460	-	-	1163000	-
Алюмоникельвольфрамовый катализатор	кг	-	-	2530	-	-	680	-	-	1720400
Итого:								1430997,6	1227797,6	1785197,6

4.3.4.2 Расчет затрат на оборудование для научно-экспериментальных работ

Для оборудования нужно рассчитать величину годовой амортизации по следующей формуле:

$$A_{\text{год}} = \frac{C_{\text{перв}}}{T_{\text{пи}}},$$

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

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

Результаты расчетов приведены в таблице 38.

Таблица 38 – Ежегодные амортизационные отчисления

№ п/п	Наименование оборудования	Общая стоимость оборудования, руб.	Время полезного использования, руб.	Годовая амортизация, руб.
1.	Компрессор	530000	10	53000
2.	Смеситель	260000	10	26000
3.	Огневой подогреватель	720000	10	72000
4.	Реактор	700000	10	70000
Итого				221000

4.3.4.3 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:

$$Z_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп} ,$$

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

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

Основная заработная плата ($Z_{осн}$) руководителя от предприятия рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p ,$$

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

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

T_p – продолжительность работ, выполняемых научно – техническим работником, раб.дн. (таблица 35).

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}},$$

где $Z_{\text{м}}$ – месячный должностной оклад работника, руб.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года;

$F_{\text{д}}$ – действительный годовой фонд рабочего времени научно – технического персонала, раб.дн.

В таблице 39 приведен баланс рабочего времени каждого работника НТИ.

Таблица 39 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Бакалавр	Консультант ЭЧ	Консультант СО
Календарное число дней	142	142	142	142
Количество нерабочих дней				
выходные дни:	18	18	18	18
праздничные дни:	4	4	4	4
Потери рабочего времени				
отпуск:	0	0	0	0
невыходы по болезни:	0	0	0	0
Действительный годовой фонд рабочего времени	120	120	120	120

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_{\text{м}} = Z_{\text{тс}} \cdot (1 + k_{\text{пр}} + k_{\text{д}}) \cdot k_{\text{р}},$$

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

$k_{\text{пр}}$ – премиальный коэффициент, равный 0,3 (т.е. 30 % от $Z_{\text{тс}}$);

$k_{\text{д}}$ – коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,2 – 0,5;

$k_{\text{р}}$ – районный коэффициент, для Томска равный 1,3.

Расчет основной заработной платы приведен в таблице 40.

Таблица 40 – Расчет основной заработной платы

Категория	$Z_{мс}$, руб.	k_d	k_p	Z_m , руб.	$Z_{дн}$, руб.	T_p , раб.дн.	$Z_{осн}$, руб.
Руководитель							
ППСЗ	26390,9	0,35	1,3	56608,5	5283,5	9,61	50774,1
Бакалавр							
ППС1	8147,6	0,35	1,3	17476,6	1631,2	50,81	58614,8
Консультант ЭЧ							
ППСЗ	20080,9	0,35	1,3	43073,5	4020,2	4,56	18332,1
Консультант СО							
ППСЗ	20080,9	0,35	1,3	43073,5	4020,2	2,66	10693,7

Общая заработная исполнителей работы представлена в таблице 41.

Таблица 41 – Общая заработная плата исполнителей

Исполнитель	$Z_{осн}$, руб.	$Z_{доп}$, руб.	$Z_{зн}$, руб.
Руководитель	50774,1	7616,1	58390,2
Бакалавр	58614,8	8792,2	67407,0
Консультант ЭЧ	18332,1	2749,8	21081,9
Консультант СО	10693,7	1604,1	12297,8

4.3.4.4 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:

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

где $k_{внеб}$ – 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 %.

Отчисления во внебюджетные фонды представлены в таблице 42.

Таблица 42 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата, руб.
Руководитель проекта	50774,1	7616,1
Бакалавр	58614,8	8792,2
Консультант ЭЧ	18332,1	2749,8
Консультант СО	10693,7	1604,1
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	0,271	
Итого:	43136,9	

4.3.4.5 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:

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

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

Величину коэффициента накладных расходов $k_{\text{нр}}$ допускается взять в размере 16 %.

4.3.4.6 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект приведен в таблице 43.

Таблица 43 – Расчет бюджета затрат НИИ

Наименование статьи	Сумма, руб.			Примечание
	Исп.1	Исп.2	Исп.3	
1. Материальные затраты НТИ	1430997,6	1227797,6	1785197,6	табл. 13
2. Затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	2210000	2210000	2210000	табл. 14
3. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	138414,7	138414,7	138414,7	табл. 16
4. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	20762,2	20762,2	20762,2	табл. 17
5. Отчисления во внебюджетные фонды	43136,9	43136,9	43136,9	табл. 18
6. Накладные расходы	614929,8	582417,8	671601,8	16 % от суммы ст. 1-5
7. Бюджет затрат НТИ	4458241,2	4222529,2	4869113,2	Сумма ст. 1-6

Как видно из таблицы 43 основные затраты НТИ приходятся на материалы и специальное оборудование для научных работ.

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

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

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}},$$

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

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

Φ_{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 разгах (значение больше единицы), либо соответствующее численное удешевление стоимости разработки в разгах (значение меньше единицы, но больше нуля).

Таблица 44 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Объект исследования Критерии	Весовой коэффициент параметра	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1. Степень очистки	0,5	10	10	8
2. Энергоемкость процессов	0,33	10	8	8
3. Безопасность	0,17	10	9	9
ИТОГО	1	10	9,17	8,17

Таблица 45 - Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,802	0,753	1
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	10	9,17	8,17
3	Интегральный показатель эффективности	12,469	12,178	8,17
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1	0,977	0,655

Сравнительный анализ интегральных показателей эффективности показывает, что наиболее предпочтительным методом является гидрирование природного газа на алюмокобальтмолебденовом катализаторе (исполнение 1). Именно для этого исполнения характерны средние показатели затрат на сырье, для очистки на алюмоникельмолебденовом катализаторе (исполнение 2) они меньше на 203200,6 руб/сутки, а для очистки на алюмоникельвольфрамовом катализаторе (исполнение 3) – больше на 354200 руб/сутки. Основываясь на ранее полученных данных из курса химии и физики, а так же общей химической технологии, можно утверждать, что гидрирование природного газа на алюмокобальтмолебденовом катализаторе является более ресурсоэффективным, чем на остальных катализаторах: выход целевого продукта может достигать 99,5%, а степень гидрирования – 96-98%.