

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

---

Институт природных ресурсов  
Направление подготовки: Химическая технология  
Кафедра технологии органических веществ и полимерных материалов

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

Тема работы
Проект узла синтеза стирола

УДК 66.094.258.097:547.534.1

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2Д2А	Захаров Александр Александрович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Троян Анна Алексеевна	Кандидат химических наук		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

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

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент кафедры	Раденков Тимофей Александрович			

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Юсубов Мехман Сулейманович	доктор химических наук, профессор		

Томск – 2016 г.

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

---

Институт природных ресурсов  
Направление подготовки: химическая технология  
Кафедра технологии органических веществ и полимерных материалов

УТВЕРЖДАЮ:  
Зав. кафедрой

\_\_\_\_\_ Юсубов М.С.  
(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
2Д2А	Захарову Александру Александровичу

Тема работы:

Проект узла синтеза стирола

Утверждена приказом директора (дата, номер)

от 28.01.2016 № 410/С

Срок сдачи студентом выполненной работы:

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<b>Исходные данные к работе</b> <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>	Объектом исследования является реактор дегидрирования этилбензола, производительность составляет 250000 тонн в год, режим работы непрерывный, сырьем является этилбензол. В результате получаем смесь продуктов, одним из которых является целевой стирол.
<b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b> <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</i>	Литературный обзор Инженерные расчеты и их обсуждение Финансовый менеджмент Социальная ответственность Заключение

<i>работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение).</i>	
<b>Перечень графического материала</b> <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	Технологическая схема, ректор дегидрирования
<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b> <i>(с указанием разделов)</i>	
<b>Раздел</b>	<b>Консультант</b>
Проект установки получения синтез –газа	к.х.н., Мананкова А.А.
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	к.э.н., Рыжакина Т.Г.
Социальная ответственность	Раденков Т. А.

<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	19.10.2016
---	------------

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Руководитель	Троян А.А.	к.х.н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2Д2А	Захаров А.А.		

## **Реферат**

Выпускная квалификационная работа содержит 96 – страниц, 36 – таблиц, 8 – рисунков, 21 – литературный источник.

Ключевые слова: дегидрирование этилбензола, стирол, этилбензол, катализаторы, реактор, производительность.

Объектом исследования является проектирование узла синтеза стирола на железохромкалиевых катализаторах.

Цель данной работы – изучение физико–химических свойств, процесса и их влияния на протекание реакции, а также конструирование основного аппарата – реактора каталитического дегидрирования этилбензола.

В результате был выполнен расчет материального и теплового баланса, конструктивный и механический расчеты. На основании проведенной работы выполнен чертеж основного аппарата – реактора дегидрирования.

Выпускная квалификационная работа набрана в текстовом редакторе MicrosoftWord 2010, чертежи начерчены в программе Компас 2014.

## Essay

Final qualifying work contains 96 pages, 36 tables, 8 pictures and 21 literary sources.

Keywords: dehydrogenation of ethylbenzene, styrene, ethylbenzene, catalysts, reactor productivity.

The object of this work is to design the reactor of styrene synthesis at ferrum-chrome-potassium catalysts.

The purpose of the work is the research of physical and chemical properties, processes and their influence on the reaction, as well as the construction of the main unit - reactor of catalytic dehydrogenation of ethylbenzene.

By this work were made calculations of the material and heat balance, structural and mechanical calculations. On the basis of the work carried out drawing of the main unit - dehydrogenation reactor.

Final qualifying work is typed in a text editor Microsoft Word 2010; all drawings drawn in 2014 Compass program.

## Оглавление

Введение.....	7
1. Теоритическая часть .....	8
1.1 Техничко-экономическое обоснование .....	8
1.2 Характеристика продукта, исходного сырья, материалов и полупродук- тов .....	10
1.3 Физико-химические особенности процессов .....	11
1.4 Выбор и обоснование конструкции основного аппарата.....	13
1.5 Выбор и обоснование технологической схемы производства .....	16
2. Расчетная часть.....	20
2.1 Материальный расчет стадии синтеза стирола.....	20
2.2 Тепловой расчет .....	32
2.2.1 Тепловой расчет первой ступени катализа.....	32
2.2.2 Тепловой расчет межступенчатого теплообменника .....	34
2.2.3 Тепловой расчет второй ступени катализа.....	35
2.2.4 Расчет реактора первой ступени.....	37
2.2.5 Расчет времени пребывания в зоне катализа .....	38
2.2.6 Расчет межступенчатого теплообменника .....	38
2.3 Технологический расчет реактора.....	43
2.3.1 Назначение , устройство и основные размеры. Расчет числа реакторов	43
2.3.2 Конструктивно – механический расчет .....	44
<b>2.3.3</b> Расчет обечайки, работающей под внутренним избыточным давлением .....	45
2.3.4 Расчет и подбор штуцеров .....	46
2.3.5 Выбор крышки и днища .....	47

2.3.6 Расчет опоры.....	48
2.3.7 Гидравлический расчет.....	49
3 Контроль производства .....	50
3.1 Аналитический контроль .....	50
3.2 Автоматическое управление основными параметрами .....	52
4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение...	54
4.1 Сегментирование.....	55
4.2 Анализ конкурентно-технических решений .....	56
4.3 SWOT - анализ.....	58
4.4 Планирование научно-исследовательских работ.....	60
4.4.1 Структура работ в рамках научного исследования .....	60
4.4.2 Определение трудоемкости выполнения работы .....	61
4.4.3 Разработка графика проведения исследования.....	65
4.5 Бюджет научно-технического исследования (НТИ) .....	69
4.5.1 Расчет материальных затрат (НТИ) .....	69
4.5.2 Расчет затрат на специальное оборудование для научных работ .....	71
4.5.3 Основная заработная плата исполнительской системы и отчисления во внебюджетные фонды.....	72
4.5.4 Накладные расходы.....	73
4.5.5 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта ...	73
4.6 Определение ресурсной, финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования .....	74
5 Социальная ответственность .....	78
5.1 Описание рабочего места .....	78
5.1.2 Законодательные и нормативные документы .....	79

5.2 Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды.....	80
5.2.1 Физико-химическая природа вредных веществ.....	80
5.2.2 Шум и вибрация .....	82
5.2.3 Освещение.....	84
5.2.4 Метероусловия .....	85
5.3 Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды.....	85
5.3.1 Электробезопасность .....	85
5.3.2 Пожарная безопасность .....	86
5.4 Охрана окружающей среды .....	88
5.4.1 Защита селитебной зоны .....	88
5.4.2 Анализ действия объекта на атмосферу .....	88
5.4.3 Анализ воздействия объекта на гидросферу .....	89
5.4.4 Анализ воздействия объекта на литосферу .....	89
5.5 Защита в чрезвычайных ситуациях .....	90
5.5.1 Перечень возможных чрезвычайных ситуаций на объекте .....	90
5.5.2 Выбор наиболее типичной ЧС .....	90
5.5.3 Разработка превентивных мер по предупреждению ЧС .....	90
5.5.4 Разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации их последствий.....	91
5.6 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности .....	92
Список использованных источников .....	95

## **Введение**

Процесс производства стирола является важнейшим звеном в современном нефтехимическом синтезе. Стирол является главным сырьем для получения полистирола, одного из основных полимеров для производства каучуков и пластиков. Конечные варианты применения стирола: одноразовая посуда, упаковка для электронного оборудования, компоненты автомобильных салонов. Так же стирол входит в состав напалма. Исходным сырьем для производства стирола является этилбензол. Более 90 % всего производимого этилбензола перерабатывается в стирол. Крупнейшими производителями стирола в мире считаются: США, Япония и Китай. Мировое производство стирола составляет свыше 32,7 миллионов в год [1].

В настоящее время основными методами получения стирола являются каталитическое газофазное дегидрирование этилбензола и эпоксидование пропилена гидропероксидом этилбензола. По технико-экономическим показателям производство стирола каталитическим газофазным дегидрированием этилбензола более выгодно и на сегодняшний день считается самым используемым. Дегидрирование этилбензола, осуществляется в адиабатическом двухступенчатом реакторе (со встроенным межступенчатым теплообменником). Процесс осуществляется с использованием железохромкалиевых катализаторов [1].

По последним экономическим прогнозам, производство стирола в последующие годы будет только расти, что связано прежде всего с ростом потребности человечества в полистироле.

Целью данной работы является проектирование узла синтеза стирола на железохромкалиевом катализаторе.

## **1. Теоритическая часть**

### **1.1 Техничко-экономическое обоснование**

Стирол является важным мономером, используемым для получения полимеров. Существует множество полимеров на основе стирола среди них: полистирол, пенопласт, каучуки и латексы, содержащие стирол, различные пластики, например, такие как АБС и САН, стирол используется, как один из компонентов напалма. Стружка полистирола, растворенная в стироле, образует идеальный клей для полистирола.

На сегодня производство стирола является крупнотоннажным. Средняя производительность составляет 150-280 тысяч тонн в год.

Стирол получают в виде бесцветной жидкости, которая имеет слабый запах. Стирол с достаточной легкостью подвергается окислению, присоединяет галогены и полимеризуется, образуя полистирол. Промышленное получение стирола возможно несколькими способами. Одним из получивших наиболее промышленное применение, является метод совместного производства стирола и пропиленоксида. Данный процесс состоит из трех основных стадий: Первая стадия заключается в синтезе гидропероксида этилбензола окислением этилбензола воздухом, окисление ведется до получения 10% гидропероксида. На второй стадии происходит жидкофазное эпоксидирование пропилена в присутствии гомогенного, либо гетерогенного катализатора, при температуре 365 К и давлении 1,6 – 6,5 МПа. В результате эпоксидирования получается фенилметилкарбинол. В качестве катализатора используется нафтенат молибдена. Последняя стадия заключается в образовании фенилметилкарбинола в стирол [2]. Еще один метод, который встречается для производства стирола, это его получение метатезисом этилена со стильбеном. Процесс проводится в две стадии. На первой стадии происходит окисление толуола в присутствии  $PbO_2$ . Получение стирола метатезисом этилена со стильбеном. Процесс проводят в две стадии. На первой стадии получают стильбен окислением толуола в присутствии, при температуре приблизительно

873 К. Вторая стадия образования стирола в результате взаимодействия этилена со стилибеном в присутствии  $WO_3$  при температуре 723 К[3].

Классический вариант промышленного получения стирола основывается на реакции дегидрирования, на железохромкалиевом катализаторе, процесс проходит при относительно небольшом давлении равном менее 0,5 МПа, при температуре 580 – 610<sup>0</sup>С.

В отличие от других методов получения, где применяются высокое значение давления, которое влияет на цену продукта, в методе каталитического дегидрирования, значение давления близко к атмосферному, а значение температуры, можно считать относительно невысоким. Также стоит отметить более высокий выход продукта, обусловленный оптимальным подбором условий процесса и как следствие, высокой степени превращения этилбензола. Поэтому наиболее оптимальным способом производства является каталитическое дегидрирование. Каталитическое дегидрирование этилбензола, заключается в прохождении реакционной смеси, через слои катализаторов, в результате контакта с которыми образуется продукт, который поступает на сепарацию, а затем на ректификацию.

Мировое производство стирола составляет свыше 32,7 миллионов в год [1]. Крупнейшими производителями стирола в мире считаются: США, Япония и Китай.

Таблица – 1.1 Крупнейшие производители стирола в России[1].

Предприятие	Город	Метод получения	Мощность, тонн/год.
ОАО «Нижнекамскнефтехим»	Нижнекамск	Дегидрирование этилбензола	200 000
ОАО «Салаватнефтеоргсинтез»	Уфа	Дегидрирование этилбензола	147 000
ЗАО «Сибур-химпром»	Пермь	Дегидрирование	76

		этилбензола	
ОАО «Пластик»	Узловая	Дегидрирование этилбензола	34
ОАО «Ангарский завод полимеров»	Ангарск	Дегидрирование этилбензола	37

## **1.2 Характеристика продукта, исходного сырья, материалов и полупродуктов**

В качестве исходного сырья при производстве стирола используется этилбензол, который подвергается реакции дегидрирования в присутствии катализатора. Этилбензол получают в промышленности в основном алкилированием на цеолитных или хлоралюминиевых катализаторах из бензола и этилена. Помимо этого метода бензол выделяют из фракции С8, продуктов полученных в результате риформинга нефти.

Основными производителями этилбензола в России являются: ЗАО «Сибур-химпром», ОАО «Салаватнефтеоргсинтез», ОАО «Ангарский завод полимеров» и ОАО «Нижекамскнефтехим». Потребность производства этилбензола напрямую зависит от роста спроса на полистирол.

Этилбензол представляет собой бесцветную жидкость, которая практически не растворяется в воде, однако имеет достаточную растворимость в спиртах, эфирах и бензоле.

Целевым продуктом реакции каталитического дегидрирования этилбензола является стирол. Стирол, представляет собой жидкость, не имеющую цвета, которая обладает специфическим запахом. Стирол не растворим в воде, но имеет хорошую способность растворяться в различных органических растворителях, также может и сам выступать в роли растворителя полимеров, на этой способности основано приготовление клея для полистирола.

К основным побочным продуктам образующимся в результате получения стирола относится бензол, который представляет ароматическое соединение имеющее резкий запах, а также не имеющее цвета. Бензол в промышленности получают каталитическим риформингом нефтяных фракций. К основным производителям бензола в России относятся предприятия: ОАО «Рязанский НПЗ», ОАО ПО «Киришинефтеоргсинтез», ОАО «Салаватнефтеоргсинтез», ОАО «Ангарский завод полимеров» и ОАО «Нижекамскнефтехим».

Таблица 1.2 – Характеристика сырья, материалов и реагентов[4].

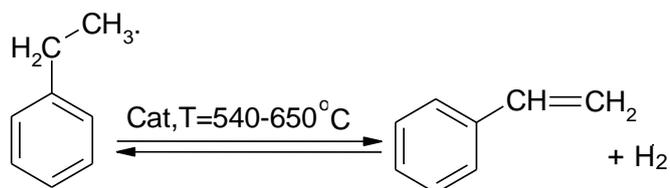
1. Свежий этилбензол	ГОСТ 25070-87	Молекулярный вес –106 г/моль. $T_{\text{кип.}} = (136^{\circ}\text{C})$ $T_{\text{пл}} = (-95^{\circ}\text{C})$ .	$\text{C}_6\text{H}_5\text{C}_2\text{H}_5$ $\text{C}_6\text{H}_6$	99,965 0,035
2. Железохромк алиевый катализатор	Импортный	1. Размер гранул, мм: диаметр 1,5; длина не более 5 2. Насыпная плотность, $1400 \text{ кг/м}^3$ . 3. Механическая прочность, кг/мм мин. 0,45 4. Срок службы 15840 ч.		

### 1.3 Физико–химические основы процесса

Основным методом промышленного производства стирола является каталитическое дегидрирование этилбензола.

Дегидрирование этилбензола осуществляется, при следующих условиях: массовое соотношение пар: этилбензол – (1,7-2,1):1 давление близкое к атмосферному. При дегидрировании ввиду отщепления водорода всегда происходит увеличение объема газов и, следовательно, повышению степени конверсии благоприятствует низкое давление. По этой причине выбираемой давление близкое к атмосферному. Так, при  $595^{\circ}\text{C}$  равновесная степень конверсии этилбензола в стирол при 0,1МПа составляет 40%, а при 0,001МПа уже 80% [5].

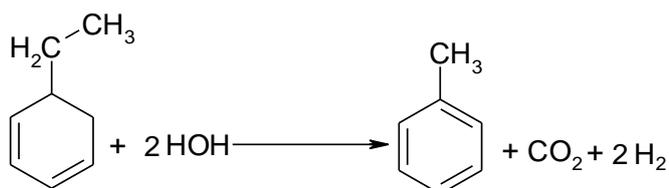
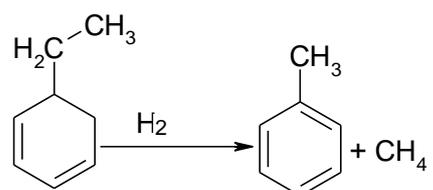
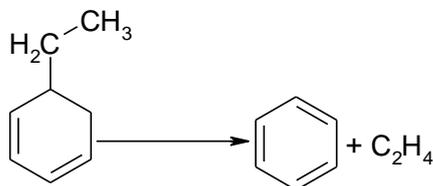
Основная реакция:



Железохромокалиевые катализаторы обладают высокой механической прочностью, технология их получения проста. По известным в настоящее время сведениям, оптимальной температурой прокаливания для *железохромкалиевых катализаторов* является  $600 - 700^{\circ} \text{C}$ . Для их приготовления могут быть использованы широко доступные реактивы, при этом входящие в состав последних примеси, за исключением ионов хлора, не оказывают влияния на каталитическую активность полученного оксида железа в окислении сероводорода. С ее повышением значительно уменьшается удельная поверхность нанесения активной массы на пористый носитель. При этом в катализаторе сохраняются поры среднего диаметра, обеспечивающие высокую каталитическую активность. Нанесенные катализаторы имеют перед массовыми еще и то преимущество, что они проявляют более высокую селективность и обладают высокой механической прочностью [5].

В последнее время используют, главным образом, железо-оксидные катализаторы, содержащие 55-80%  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ; 2-28%  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ; 15-35%  $\text{K}_2\text{CO}_3$  и некоторые оксидные добавки. В частности широко используется катализатор НИИМСК К-24 состава  $\text{Fe}_2\text{O}_3 - 66-70\%$ ;  $\text{K}_2\text{CO}_3 - 19-20\%$ ;  $\text{Cr}_2\text{O}_3 - 7-8\%$ ;  $\text{ZnO}_2 - 2,4-3,0\%$ ;  $\text{K}_2\text{SiO}_3 - 2,0-2,6\%$ . Значительное содержание  $\text{K}_2\text{CO}_3$  в катализаторе обусловлено тем, что он способствует дополнительной саморегенерации катализатора за счет конверсии углеродистых отложений водяным паром. Катализатор работает непрерывно 2 месяца, после чего его регенерируют, выжигая кокс воздухом. Общий срок службы катализатора – 2 года. Ранее наиболее распространенным был катализатор стирол-контакт на основе  $\text{ZnO}$ . В последнее время используют, главным образом, железо-оксидные катализаторы, содержащие 55-80%  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ; 2-28%  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ; 15-35%  $\text{K}_2\text{CO}_3$  и некоторые оксидные добавки [5].

Наряду с основной реакцией протекают побочные реакции распада и уплотнения. В результате распада этилбензола образуется бензол, толуол, метан, этилен, углекислый газ. Происходит также полное разложение углеводородов:



#### 1.4 Выбор и обоснование конструкции основного аппарата

Процесс осуществляется в трубчатых изотермических или адиабатических реакторах со стационарным слоем катализатора.

В реакторах трубчатого типа (см. рис 3) тепло подводится путем непрямого теплообмена реакционной массы с теплоносителем – дымовыми газами или расплавами солей. Применение изотермических реакторов в промышленности существенно ограниченное, вследствие, малой производительности(5-15 тыс. т/год) и сложности конструкции [6].

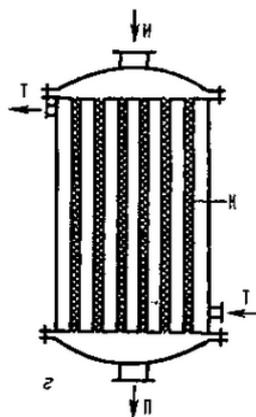


Рисунок 1.1 – Реактор трубчатого типа [7].

И – исходное вещество; П – продукты реакции; Т – теплоноситель; К – катализатор; Н – насадка.

Адиабатический реактор, применяемый для дегидрирования этилбензола (рис. 4), - это аппарат цилиндрической формы с конической крышкой и днищем, изготовленным из углеродистой стали и футерованный огнеупорным материалом. В среднем диаметр реактора около 4 м, высота цилиндрической части около 2,5 м. общая высота 7,5 м.

При дегидрировании в одну ступень перегретый пар с температурой около  $750^{\circ}\text{C}$  и смесь паров этилбензола с водяным паром при  $560^{\circ}\text{C}$  поступают в верхнюю часть реактора. После смесительного устройства 9 и распределительного устройства 8 смесь при  $640^{\circ}\text{C}$  проходит через слой катализатора сверху вниз. Реакционные газы проходят из нижней части реактора с температурой около  $590^{\circ}\text{C}$ . Таким образом, в одноступенчатом адиабатическом реакторе процесс протекает с отклонением от оптимальных условий по температуре на  $50^{\circ}\text{C}$  [6].

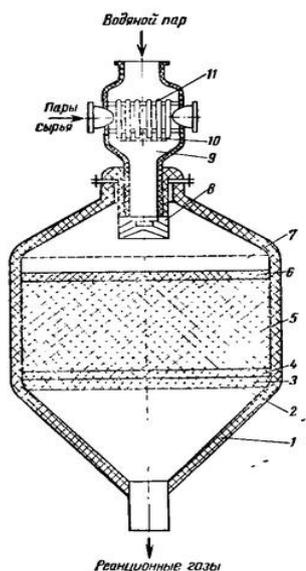


Рисунок 1.2 -Адиабатический реактор для дегидрирования этилбензола [6].  
 2,7 – решетки; 3,4,6 – слои насадки; 5- катализатор; 8 – распределительное устройство; 9 – смешительное устройство; 10 – сопла; 11- трубки.

В целях улучшения температурных условий дегидрирования в адиабатических реакторах в условиях изотермических реакций, процесс осуществляют в несколько ступеней с дополнительным подогревом контактного газа в выносных или межступенчатых перегревателях после каждой ступени. Так при двухступенчатом дегидрировании контактный газ после первой ступени подогревается до температуры, при которой парогазовая смесь поступала в первую ступень. За счет применения двухступенчатого дегидрирования конверсия этилбензола повышается до 60% при селективности 86% [6].

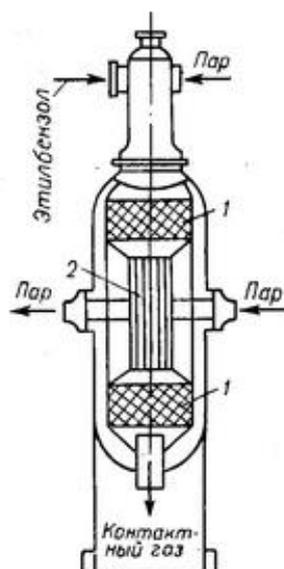


Рисунок 1.3— Двухступенчатый адиабатический реактор для дегидрирования этилбензола с промежуточным подогревом смеси [6].

1-катализатор;2-межступенчатый подогреватель.

Из рассмотренных типов реакторов наиболее выгоден реактор, изображенный на рисунке 5. Использование двух ступеней качественно влияет на превращение исходных реагентов в продукт, а высокая селективность увеличивает избирательность.

Нельзя не отметить виды реакционных узлов, которые могут быть использованы при нехватке одного реактора для обеспечения заданной производительности.

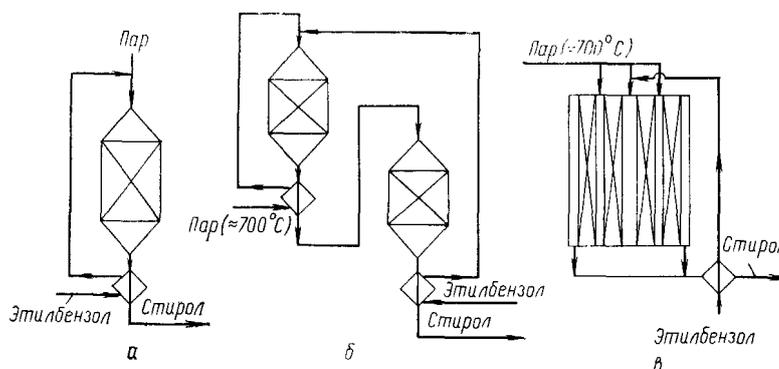


Рисунок 1.4 – Реакционные узлы для дегидрирования этилбензола [7]:

а – единственный реактор адиабатического типа; б – узел из двух реакторов с промежуточным подогревом смеси; в – реактор с несколькими слоями катализатора и секционированной подачей перегретого пара.

### 1.5 Выбор и обоснование технологической схемы производства

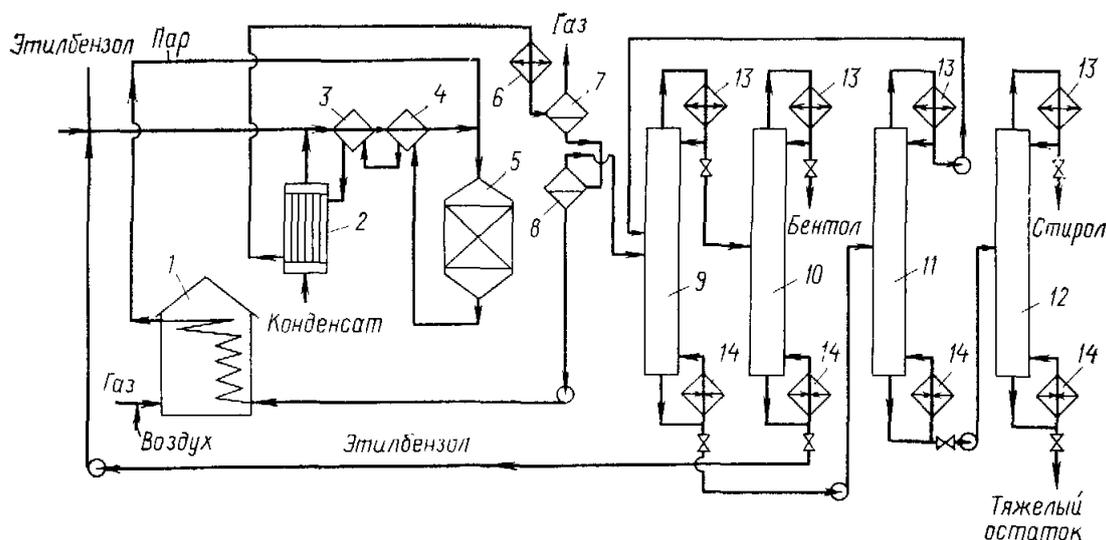


Рисунок 1.5 - Технологическая схема производства стирола [7].

1 – трубчатая печь; 2 – котел-утилизатор; 3,4 – теплообменники; 5 – реактор; 6 – холодильник; 7,8 - сепараторы; 9-12 ректификационные колонны; 13 – дефлегматор; 14 – кипятильники.

Свежий этилбензол вместе с небольшим количеством пара подается с целью подогрева до 520-530°C в теплообменники 3 и 4, перед реактором происходит смешение паров этилбензола и перегретого водяного пара. Реакционная смесь на выходе из реактора имеет температуру 560°C. Она отдает свое тепло вначале в теплообменниках 4 и 3 для подогрева этилбензола и затем в котле-утилизаторе 2 для получения пара низкого давления (этот пар служит для испарения и разбавления этилбензола перед теплообменником 3). Затем парогазовую смесь охлаждают в системе холодильников бводой и рассолом, отделяют в сепараторе 7 конденсат от газа, который поступает в линию топливного газа. После этого в сепараторе 8 конденсат разделяют на водную и органическую фазы. Последнюю, содержащую непревращенный

этилбензол, стирол и побочные продукты (бензол, толуол), называют печным маслом. Оно поступает на ректификацию. Ректификация затрудняется также близостью температур кипения стирола (145°C) и этилбензола (136°C). Печное масло поступает в вакуум-ректификационную колонну 11, где от него отгоняют бензол, толуол и большую часть этилбензола. Этот дистиллят в колонне 10 делят на бензол-толуольную фракцию (бентол) и этилбензол, возвращаемый на дегидрирование. Кубовую жидкость колонны 9, содержащую стирол, направляют в вакуум-ректификационную колонну 11, где отгоняют остатки стирола с некоторой частью этилбензола. Эту смесь возвращают на ректификацию в колонну 9. Кубовую жидкость колонны 11 подвергают заключительной ректификации в вакуумной колонне 12. Дистиллятом является 99,8% стирол, удовлетворяющий по качеству требованиям по этому мономеру. В кубе колонны остается тяжелый остаток, содержащий полимеры стирола. Из него в двух перегонных кубах (нет на схеме) периодически отгоняют более летучие вещества, возвращаемые на ректификацию в колонну 12 [7].

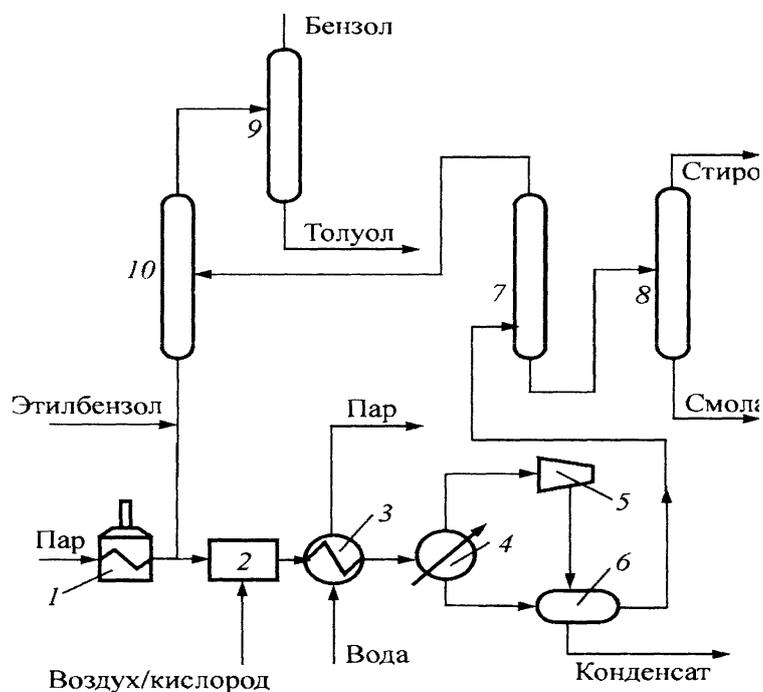


Рисунок 1.6 – Принципиальная технологическая схема производства стирола [8].

1 -Печь; 2 – многоступенчатый реактор;3-котел-утилизатор;4 – система конденсации; 5 – система сжатия; 6 – сепаратор; 7,8 – ректификационные колонны; 9,10 – колонны разделения.

Вариант разработан упомянутыми выше фирмами “Lummus” и“UOP”. Процесс проходит с частичным окислением образующегося водорода (процесс SMART).

В классическом варианте свежий и рециркулирующий этилбензол смешивается с перегретым в печи 1 водяным паром и поступает в многоступенчатый реактор 2 с промежуточным подогревом реакционной смеси между ступенями. В процессе SMART дополнительное тепло подводится за счет частичного окисления водорода кислородом или воздухом на соответствующем катализаторе. Кроме подогрева реакционной смеси окисление водорода обеспечивает сдвиг равновесия в сторону образования стирола. При этом достигается 80% степень превращения этилбензола за проход. Выходящая из реактора 2 парогазовая смесь охлаждается в котле-утилизаторе 3 и поступает в систему конденсации 4, где разделяется на газовую и жидкую фазу. Несконденсирующие газы сжимаются и используются, как топливо. Жидкие продукты поступают в сепаратор 6 для отделения водного конденсата. Товарный стирол – мономер с чистотой 98,8-99,95 % выделяется в системе ректификационных колонн 7,8. Непревращенный этилбензол выделяется в колонне 10 и возвращается в процесс дегидрирования. Образующиеся в небольшом количестве бензол и толуол разделяются в колонне 9, причем бензол возвращается в процесс алкилирования с получением этилбензола (процессы алкилирования и дегидрирования, как правило комбинируют в одном комплексе)[8].

В данном методе расход этилбензола составляет 1,054 т/ т стирола.

В настоящее время в мире эксплуатируется 36 комплексов производства стирола по классическому варианту (общая мощность 6,7 млн. в год) и 3 комплекса по процессу SMART[8].

Из всех перечисленных последний вариант технологической схемы, разработанный фирмами “Lummus” и “UOP”, изображенный на рисунке 2, выглядит более предпочтительным. Качественная степень превращения, высокая производительность, но из-за высокой стоимости процесса, которая связана с использованием зарубежных технологий, использования дорогого катализатора и сложности совмещения двух процессов, более экономически оправданным и простым, выглядит классическая схема производства стирола.

#### **4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение**

В основе любого химического процесса лежит химическая реакция. В процессе получения стирола в основе лежит реакция дегидрирования этилбензола.

Дегидрирование - реакция отщепления водорода от молекулы органического соединения. Процесс обычно проводится в присутствии катализаторов, в роли которых чаще всего выступают железо - оксидные катализаторы. Данной реакцией получают стирол, который является важнейшим мономером для получения полистирола, который используется в качестве пластика. В настоящее время существует множество способов получения данного мономера. Наиболее простое и выгодное получение дегидрированием, однако и для этой реакции существует множество вариантов выбора условий, от которых зависит чистота и выход продукта.

В соответствии с вышеизложенной информацией, проект нужен для того, чтобы изучить и выбрать наиболее оптимальный процесс подобрать необходимые условия и оборудование для наиболее качественного и количественного получения стирола.

## 4.1 Сегментирование

По результатам проведенного сегментирования рынка были определены основные сегменты, а также выбраны наиболее благоприятные из них (рисунок 4).

		Характеристика метода				
		Высокий выход продукта	Высокая чистота целевого продукта	Наращиваемая мощность установки	Дешевое сырье	Доступность
Метод получения	ОАО «Пластик» г. Москва.					
	ЗАО «Сибур-Химпром» г. Пермь					
	ПАО «Нижнекамскнефтехим» г. Нижнекамск					

Рисунок 1 – Карта сегментирования рынка основных предприятий по производству стирола.

Таким образом, самым оптимальным методом получения продуктов является метод каталитического дегидрирования этилбензола, т. к. данный метод является основным, наиболее простым и распространенным методом имеет относительно высокий выход продукта.

## 4.2 Анализ конкурентных технических решений

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

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

Поскольку исследование оптимальных условий проведения процесса дегидрирования этилбензола, в литературе не обнаружено, был проведен анализ сравнения, выбора возможных условий проведения процесса.

Лидирующие позиции в настоящее время занимают продукты компаний – ОАО «Пластик» и ЗАО «Сибур-химпром». Также имеется возможность выполнять расчеты основных конструктивных характеристик, оценку стоимости оборудования, разрабатывать и отлаживать схемы регулирования процессов и т.д. Условия процессов компании ПАО «Нижнекамскнефтехим» являются не оптимальными вследствие дороговизны сырья и его трудности в транспортировке. Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений представлена в таблице 1.

Таблица 4.2.1– Оценочная карта для сравнения конкурентных технических разработок

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		$B_{\phi}$	$B_{k1}$	$B_{k2}$	$K_{\phi}$	$K_{k1}$	$K_{k2}$
1	2	3	4	5	6	7	8

<b>Технические критерии оценки ресурсоэффективности</b>							
1. Повышение производительности	0,2	4	3	3	0,8	0,6	0,6
2. Удобство в эксплуатации	0,05	5	5	5	0,25	0,25	0,25
3. Энергоэкономичность	0,09	4	4	4	0,36	0,36	0,36
4. Надежность	0,05	4	3	3	0,2	0,15	0,15
5. Безопасность	0,08	5	5	5	0,4	0,4	0,4
6. Простота эксплуатации	0,05	5	4	4	0,25	0,2	0,2
<b>Экономические критерии оценки эффективности</b>							
1. Конкурентоспособность продукта	0,1	4	3	3	0,4	0,3	0,3
2. Уровень проникновения на рынок	0,02	1	2	3	0,02	0,04	0,06
3. Цена	0,1	5	4	4	0,5	0,4	0,4
4. Предполагаемый срок эксплуатации	0,05	5	4	4	0,25	0,2	0,2
5. Финансирование научной разработки	0,08	2	5	5	0,16	0,4	0,4
6. Срок выхода на рынок	0,08	3	5	4	0,24	0,4	0,32
7. Наличие сертификации разработки	0,05	1	3	3	0,05	0,15	0,15
<b>Итого</b>	<b>1</b>				<b>3,88</b>	<b>3,85</b>	<b>3,79</b>

Бф – продукт проведенной исследовательской работы;

Бк1 – ЗАО «Сибур-химпром»;

Бк2– ОАО «Пластик»;

Как видно из оценочной карты, разрабатываемые условия процесса являются относительно конкурентоспособными на российском рынке. Преимуществом является рациональное использование катализатора и наиболее оптимальные условия процесса: температура, давление, время контакта. Цена, разрабатываемого технологического процесса получения стирола, ниже. Недостатками является наличие производителей на рынке, которые уже хорошо себя зарекомендовали на рынке стирола.

### 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.

Результаты первого этапа SWOT-анализа представлены в табл. 6.1.2.

Таблица 4.3 – Первый этап SWOT-анализа

	<b>Сильные стороны научно:</b>	<b>Слабые стороны:</b>
	<p>С1. Заявленная экономичность и энергоэффективность технологии синтеза стирола.</p> <p>С2. Экологичность технологии синтеза стирола.</p> <p>С3. Более низкая стоимость производства по сравнению с другими технологиями</p> <p>С4. Наличие бюджетного финансирования</p> <p>С5. Квалифицированные работники (аппаратчики 5го разряда и выше)</p>	<p>Сл1. Отсутствие прототипа научной разработки</p> <p>Сл2. Отсутствие подрядной компании, способной построить производство «под ключ»</p> <p>Сл3. Отсутствие необходимого оборудования для построения лабораторной установки</p> <p>Сл4. Удаленность потенциальных потребителей</p> <p>Сл5. Большой срок поставок материалов и комплектующих, необходимых для построения установки</p>
<p><b>Возможности:</b></p> <p>В1.Использование инновационной инфраструктуры ТПУ</p> <p>В2. Использование инфраструктуры ООО</p>	<p>Выход синтеза стирола на рынок, будет способствовать развитию разработки, что увеличит спрос на продукцию.</p> <p>За счет инфраструктуры ТПУ возможно увеличение</p>	<p>Использование инфраструктуры ТПУ, а так же заводов Томска «Томскнефтехим» позволят создать прототип научной разработки, а так же обеспечит возможность построения</p>

<p>«Томскнефтехим» г.Томска</p> <p>В3. Появление дополнительного спроса на продукты</p> <p>В4. Снижение таможенных пошлин на исходное сырье: этилбензол.</p> <p>В5. Повышение стоимости конкурентных разработок</p>	<p>потенциала разработки.</p>	<p>производства.</p>
<p><b>Угрозы:</b></p> <p>У1. Отсутствие спроса на новые технологии</p> <p>У2. Развитая конкуренция технологий производства</p> <p>У3. Ограничения на экспорт технологии</p> <p>У4. Введение дополнительных требований к сертификации продукции</p> <p>У5. Несвоевременное финансовое обеспечение научного исследования</p>	<p>Угрозу отсутствия спроса и наличие развитой конкуренции уменьшит качество получаемого продукта стирола.</p> <p>Наличие необходимого оборудования для исследования образца покроет несвоевременное финансовое обеспечение, а квалифицированный персонал увеличит качество продукции</p>	<p>Слабые стороны проекта это развитие конкуренции.</p> <p>Высока вероятность производительность других способов получения стирола использующихся за рубежом будет иметь более высокую производительность.</p> <p>Отсутствие своевременного финансового обеспечения со стороны государства приведет к тому, что установка не будет опробована в производственных масштабах, следовательно будет увеличение срока выхода разработки на рынок. Именно поэтому, необходимо найти пути усовершенствования технологии получения стирола, для повышения ее конкурентной активности относительно других существующих компаний</p>

## 4.4 Планирование научно-исследовательских работ

### 4.4.1 Структура работ в рамках научного исследования

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке[12]:

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

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

В данном разделе необходимо составить перечень этапов и работ в рамках проведения научного исследования, провести распределение исполнителей по видам работ. Порядок составления работ и этапов, распределение исполнителей по данным видам работ приведены в таблице 2.

Таблица 4.4 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель
Выбор направления Исследований	2	Выбор направления исследований	Руководитель, бакалавр
	3	Подбор и изучение материалов	Руководитель, бакалавр
	4	Патентный обзор литературы	Руководитель, бакалавр
	5	Календарное планирование	Руководитель, бакалавр

		работ по теме	
Теоретические и экспериментальные исследования	6	Проведение теоретических расчетов и обоснований	Руководитель, бакалавр
	7	Сопоставление результатов с теоретическими исследованиями	Руководитель, бакалавр
Обобщение и оценка результатов	8	Сопоставление результатов с теоретическими исследованиями  Оценка эффективности результатов	Руководитель, бакалавр
	9	Оценка эффективности результатов  Определение целесообразности проведения ВКР	Руководитель, бакалавр
Разработка технической документации и проектирование	10	Определение целесообразности проведения ВКР  Разработка технологии синтеза стирола	Руководитель, бакалавр
	11	Оценка эффективности производства	Руководитель, бакалавр
	12	Оценка эффективности производства, СО.	Руководитель, бакалавр, руководитель СО
	13	Разработка ФЧ	Руководитель, бакалавр, руководитель ФЧ
Оформление комплекта документации по ВКР	14	Составление пояснительной записки	Руководитель, 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  $t_{ожі}$  используется формула:

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

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

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

$t_{max\ i}$  – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$  – ой работы (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:

$$T_{pi} = \frac{t_{ож\ i}}{Ч_i},$$

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

$t_{ож\ i}$  – 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. 2

Таблица 4.4.2 – Результаты расчетов

№	Название работ	Трудоемкость работ									Исполнители	$T_p$ , раб. дн.			$T_{кв}$ 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			





13	Разработка ФЧ	7	7	7	10	10	10	8,2	8,2	8,2	К <sup>2</sup>	4,1	4,1	4,1	6	6	6
		3	3	2	4	4	4	3,4	3,4	3,4	Р	1,7	1,7	1,7	2,5	2,5	2,5
		13	13	13	16	16	16	14,2	14,2	14,2	Б	7	7	7	10,36	10,36	10,36
14	Составление пояснительной записки	13	13	13	16	16	16	14,2	14,2	14,2	Б	7	7	7	10,36	10,36	10,36

Б – бакалавр, Р – руководитель,

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. 6.2.2), на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

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.

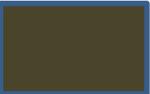
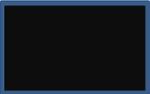
Таким образом:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} = \frac{365}{365 - 104 - 14} = 1,48$$

Таблица 4.4.3– Календарный план-график проведения НИОКР

№ ра бо т	Вид работ	Исполни тели	T <sub>кi</sub> кал. дн.	Продолжительность выполнения работ															
				февр.		март			апрель			май			июнь				
				2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2			
1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель, бакалавр, руководитель и СО, ФЧ.	0,22																
2	Выбор направления исследований	Бакалавр	0,74																
3	Подбор и изучение материалов	Руководитель, бакалавр	5																
4	Патентный обзор литературы	Бакалавр	9,8																
5	Календарное планирование работ по теме	Руководитель, бакалавр	1																
6	Проведение теоретических расчетов и обоснований	Бакалавр	15																
7	Сопоставление результатов теоретическими исследованиями	Руководитель	1,7																
8	Сопоставление результатов с теоретическими исследованиями  Оценка эффективности результатов	Руководитель, бакалавр	4,3																



	Бакалавр
	Руководитель
	Руководитель СО
	Руководитель ФЧ

## 4.5. Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

### 4.5.1 Расчет материальных затрат НТИ

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле[1]:

$$Z_m = (1+k_T) * \sum C_i * N_{расхi},$$

где  $m$  – количество видов материальных ресурсов, потребляемых при выполнении научного исследования;

$N_{расхi}$  – количество материальных ресурсов  $i$ -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования (шт., кг, м,  $m^2$  и т.д.);

$C_i$  – цена приобретения единицы  $i$ -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./м, руб./ $m^2$  и т.д.);

$k_T$  – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовленные расходы.

Примем  $k_T = 0,2$ .

Материальные затраты, необходимые для данной разработки, заносятся в таблицу.

Таблица 4.5 – Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество			Цена за ед. с НДС, руб.			Затраты на материалы, (З <sub>м</sub> ), руб.		
		Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3
Этилбензол	Кг	139	139	139	81	81	81	11259	11259	11259
Катализатор	Кг	33	33	33	65	65	65	2145	2145	2145
Итого								13404	13404	13404

#### 4.5.2 Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ

В данную статью включают все затраты, связанные с приобретением специального оборудования (приборов, контрольно-измерительной аппаратуры, стендов, устройств и механизмов), необходимого для проведения работ по конкретной теме. Определение стоимости спецоборудования производится по действующим прейскурантам, а в ряде случаев по договорной цене. Расчет затрат по данной статье заносится в таблицу.

При приобретении спецоборудования необходимо учесть по его доставке и монтажу в размере 15 % от его цены. Стоимость оборудования, используемого при выполнении конкретного НИИ и имеющегося в данной научно-технической организации, учитывается в калькуляции в виде амортизационных отчислений. Все расчеты сводятся в таблице.

Таблица 4.5.2 – Расчет бюджета на приобретение спецоборудования для научных работ

№ п/п	Наименование оборудования	Кол-во единиц оборудования			Цена единицы оборудования, руб.			Общая стоимость оборудования, руб.		
		Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3
1	Реактор	1	1	1	1500 0	1500 0	1500 0	1500 0	1500 0	1500 0
2	Теплообменник	1	1	0	5000 0	5000 0	5000 0	5000 0	5000 0	0
3	Ректификационная колонна	1	2	4	7400 0	7400 0	7400 0	7400 0	1480 00	2220 00
4	Сепаратор	1	1	0	9500	9500	9500	9500	9500	0
5	Трубчатая печь	1	0	0	5000	5000	5000	5000	0	0
6	Котел - утилизатор	0	1	0	1000 0	1000 0	1000 0	0	1000 0	0
7	холодильник	1	0	0	5000 0	5000 0	5000 0	5000 0	0	0
Итого:								20350 0	2325 00	2235 00

Расчет затрат на электроэнергию определяется по формуле[1]:

$$E_э = \sum N_i * T_э * Ц_э,$$

где  $N_i$  – мощность электроприборов по паспорту, кВт;

$T_э$  – время использования электрооборудования, час;

$Ц_э$  – цена одного кВт\*ч, руб. (1,89 руб. в г. Томск).

$$E_э = 0,8 * 250 * 1,89 = 389 \text{руб.}$$

#### **4.5.3 Основная заработная плата исполнительской темы и отчисления во внебюджетные фонды**

В настоящую статью включается основная заработная плата научных и инженерно-технических работников, рабочих макетных мастерских и опытных производств, непосредственно участвующих в выполнении работ по данной теме. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок. В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы в размере 20 –30 % от тарифа или оклада. Расчет основной заработной платы сводится в таблице.

Таблица 4.5.3 – Расчет основной заработной платы

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.			
	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3	
Руководитель проекта	50000	45000	30000	
<b>Отчисления во внебюджетные фонды</b>				
	<b>ПФР (22%)</b>	<b>ФСС (2,9%)</b>	<b>ФОМС (5,1%)</b>	<b>Страхование по классу опасности (0,5%)</b>
Исп.1	11000	1450	2550	250
Исп.2	9900	1305	2295	225
Исп.3	6600	870	1530	150

#### 4.5.4. Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и телеграфные расходы, размножение материалов и т.д. Их величина определяется по следующей формуле:

$$Z_{\text{накл}} = (\text{сумма статей } 1 \div 7) * k_{\text{нр}},$$

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

Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 16 %.

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

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы (темы) является основной для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции.

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведен в таблице 5.

Таблица 4.5.6 – Расчет бюджета затрат НИИ

Наименование статьи	Сумма, руб.			Примечание
	Исп.1	Исп.2	Исп.3	
1. Материальные затраты НИИ	13404	13404	13404	Пункт 1.3.3.1
2. Затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	203500	232500	223500	Пункт 1.3.3.2
3. Затраты на электроэнергию	389	389	389	

4. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	50000	45000	30000	Пункт 1.3.3.3
5. Отчисления во внебюджетные фонды	15250	13725	9150	Пункт 1.3.3.3
6. Накладные расходы	45207	48803	22711	16 % от суммы ст. 1-5
7. Бюджет затрат НИИ	327750	353821	312154	Сумма ст. 1-6

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

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

Интегральный 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;

$\Phi_{pi}$  – 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).

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

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

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

$a_i$  – весовой коэффициент  $i$ -го варианта разработки;

$b_i$  – бальная оценка  $i$ -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

$n$  – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности приведен в таблице 6.

Таблица 4.6 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии	Объект исследования			
	Весовой коэффициент параметра	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1 Способствует росту производительности труда	0,2	4	3	3
2 Удобство в эксплуатации	0,15	5	5	5
3 Энергосбережение	0,1	4	4	4
4 Надежность	0,2	5	4	4
5 Воспроизводимость	0,2	5	4	4
6 Материалоемкость	0,15	5	4	3
Итого	1	4,7	3,95	3,8

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

$$I_{p-исп2} = 3 * 0,2 + 5 * 0,15 + 4 * 0,1 + 4 * 0,2 + 4 * 0,2 + 4 * 0,15 = 3,95;$$

$$I_{p-исп3} = 3 * 0,2 + 5 * 0,15 + 4 * 0,1 + 4 * 0,2 + 4 * 0,2 + 3 * 0,15 = 3,8;$$

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{исп.1} = \frac{I_{p-исп1}}{I_{финр}}, \text{ и т.д.}$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволяет определить сравнительную эффективность проекта и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных. Сравнительная эффективность проекта ( $\mathcal{E}_{\text{ср}}$ ):

$$\mathcal{E}_{\text{ср}} = \frac{I_{\text{исп.1}}}{I_{\text{исп.2}}}$$

Таблица 4.7– Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Исп. 1	Исп.2	Исп.3
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,93	1	0,88
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,7	3,95	3,8
3	Интегральный показатель эффективности	5	3,95	4,3
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1	0,79	0,86

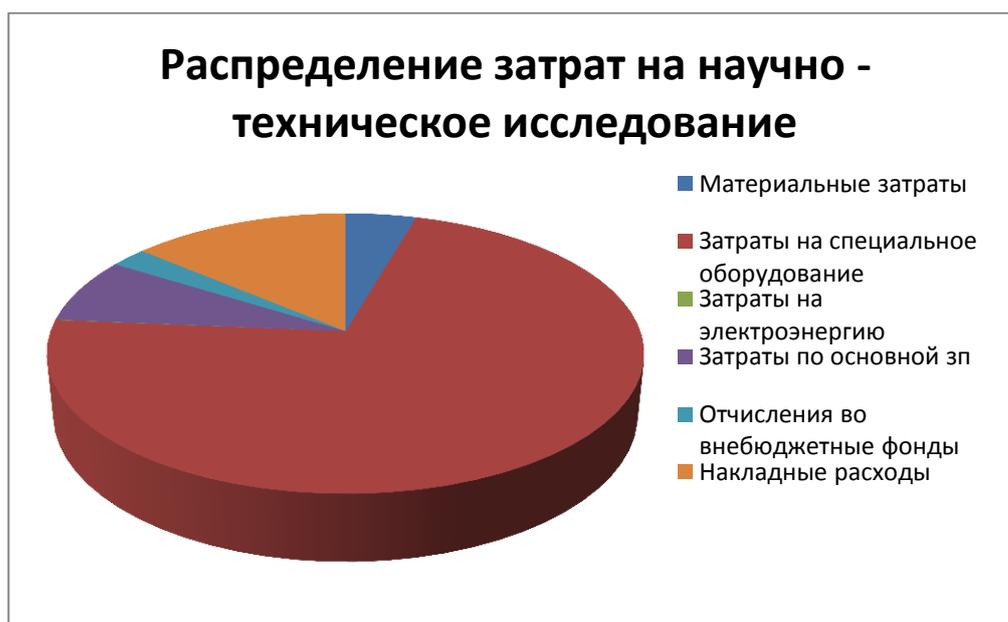


Рисунок 2 – Распределение затрат на научно – техническое исследование.

**Вывод:** Сравнение значения интегральных показателей эффективности позволило понять, что более эффективным вариантом решения поставленной в бакалаврской работе технической задачи с позиции финансовой и ресурсной эффективности является исполнение.

