

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

---

Институт природных ресурсов  
Направление подготовки: 18.03.01 Химическая технология  
Кафедра: Технология органических веществ и полимерных материалов

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

Тема работы
<b>Проект узла сополимеризации бутадиена со стиролом</b>

УДК 66.095.26-922.023:678.762.2-134.622.2

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2Д3А	Богачев Андрей Игоревич		

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	Раденков Тимофей Александрович			

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ТОВПМ	Юсубов Мехман Сулейман-оглы	Профессор, доктор химических наук		

Томск – 2017 г.

## ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

Код Результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
<b>Профессиональные компетенции</b>	
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, <i>выводить на рынок новые материалы</i> , соблюдать правила охраны здоровья и безопасности труда на химико-технологическом производстве, выполнять требования по защите окружающей среды.
<b>Универсальные компетенции</b>	
P7	Демонстрировать знания социальных, этических и культурных аспектов профессиональной деятельности.
P8	Самостоятельно учиться и непрерывно повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности.
P9	<i>Активно</i> владеть <i>иностранным языком</i> на уровне, позволяющем разрабатывать документацию, презентовать результаты профессиональной деятельности.
P10	Эффективно работать индивидуально и в коллективе, <i>демонстрировать лидерство в инженерной деятельности и инженерном предпринимательстве</i> , ответственность за результаты работы и готовность следовать корпоративной культуре организации.

**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 – Технология органических веществ и полимерных материалов

УТВЕРЖДАЮ:  
 Зав. кафедрой ТОВПМ, д.т.н.,  
 профессор  
 \_\_\_\_\_  
 (Подпись) (Дата) Юсубов М.С.  
 (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ**  
**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:  

<b>Бакалаврской работы</b>
<small>(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)</small>

Студенту:

Группа	ФИО
2ДЗА	Богачев Андрей Игоревич

Тема работы:

<b>Проект узла сополимеризации бутадиена со стиролом</b>		
Утверждена приказом директора (дата, номер)	27.01.2017г	№ 417/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	15.06.2017г.
--	--------------

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<p><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></p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Проект узла сополимеризации бутадиена и стирола.</li> <li>2. Производительность 10000 тонн в год.</li> <li>3. Режим работы производства: непрерывный.</li> <li>4. Бутадиен и стирол.</li> </ol>
<p><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 работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Теоретическая часть</li> <li>2. Объект исследования</li> <li>3. Инженерные расчеты</li> </ol>
<p><b>Перечень графического материала</b>  <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Чертеж общего вида</li> <li>2. Технологическая схема</li> <li>3. Чертеж сборочных единиц</li> </ol>
<p><b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b></p>	

<i>(с указанием разделов)</i>	
<b>Раздел</b>	<b>Консультант</b>
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Рыжакина Т. Г.
Социальная ответственность	Раденков Т. А.
<b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b>	

<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	10.09.2016г.
---	--------------

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Троян А.А.	к. х. н., доцент		10.09.2016г.

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2ДЗА	Богачев Андрей Игоревич		10.09.2016г.

## Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит 105 страниц, 13 источников, 7 рисунков, 33 таблицы, 3 листа графических материалов. Ключевые слова: БСК, Бутадиен-стирольный каучук, синтетический каучук, эмульсионная сополимеризация. Объектом исследования является (ются) процесс эмульсионной сополимеризации бутадиена и стирола. Цель работы – расчет и проектирование установки получения сополимера бутадиена и стирола эмульсионным способом с производительностью 10000 т/год. В процессе исследования проводились расчеты материального, теплового баланса и инженерные расчеты. К тому же, были проведены исследования технико-экономических показателей, физико-химических основ, финансового менеджмента, ресурсоэффективности и ресурсосбережения, и социальной ответственности. В результате была выбрана технологическая схема производства бутадиен-стирольного каучука эмульсионным способом. Основные конструктивные, технологические и технико- эксплуатационные характеристики: емкостной реактор объемом 20 м<sup>3</sup>, диаметром 2600 мм, оснащенный тепловой рубашкой, рамной мешалкой, торцевым уплотнением. Сокращения: бутадиен-стирольный каучук (БСК), поверхностно-активные вещества (ПАВ), окислительно-восстановительная система (ОВС)

## Содержание

Введение.....	8
1 Теоретическая часть.....	9
1.1 Технико-экономическое обоснование.....	9
1.2 Физико-химические основы процесса.....	11
1.2.1 Механизм процесса эмульсионной полимеризации.....	11
1.2.2 Кинетика эмульсионной полимеризации.....	13
1.2.3 Химизм процесса эмульсионной полимеризации.....	14
1.3 Способы производства бутадиен-стирольного каучука.....	18
1.3.1 Синтез БСК в растворе.....	18
1.3.2 Синтез БСК эмульсионным способом.....	20
2 Объекты и методы исследования.....	23
2.1 Характеристика используемого сырья.....	23
2.2 Описание технологической схемы.....	28
2.3 Характеристика производимой продукции.....	32
6 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность, ресурсоемкость.....	33
6.1 Анализ конкурентных технических решений.....	33
6.2 Технология QuaD.....	35
6.3 SWOT-анализ.....	36
6.4 Планирование научно-исследовательских работ.....	41
6.4.1 Структура работ в рамках научного исследования.....	41
6.4.2 Определение трудоемкости выполнения работ.....	42
6.4.3 Разработка графика проведения научного исследования.....	43
6.5 Бюджет научно-технического исследования (НТИ).....	48
6.5.1 Расчет материальных затрат НТИ.....	48
6.5.2 Расчет затрат на оборудование для научно экспериментальных работ.....	50
6.5.3 Основная заработная плата исполнителей темы.....	50
6.5.4 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления).....	53
6.5.5 Накладные расходы.....	54

6.5.6 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта .....	54
6.6 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования..	56

## **Введение**

Каучуки – это натуральные или синтетические материалы, характеризующиеся эластичностью, водонепроницаемостью и электроизоляционными свойствами; путем специальной обработки из каучуков получают резину [1].

В начале 30-х годов в Советском Союзе впервые было начато промышленное производство синтетического каучука общего назначения. В то время он назывался GR-S (сокращение от англ. Government Rubber-Styrene), а в дальнейшем переименовался в SBR (сокращение от англ. Styrene Butadiene Rubber). В Германии он же известен под названием Buna-S.

Бутадиен-стирольные каучуки – семейство синтетических каучуков, полученных путем сополимеризации стирола и 1,3-бутадиена. Эти материалы имеют хорошую резистентность к истиранию и не менее хорошую устойчивость к старению при различных добавках. Более 51% всех шин для автомобилей изготовлены из БСК различных типов, кроме того, благодаря электроизоляционным свойствам могут быть изготовлена изоляция и защитная оболочка для кабелей, также в США занимаются получением транспортерных лент. Не стоит забывать, что современная обувная промышленность не может обойтись без данного типа синтетического каучука: цветные и прозрачные подошвы, черные каблуки.



## **1 Теоретическая часть**

### **1.1 Технико-экономическое обоснование**

Бутадиен-стирольный каучук (БСК), бутадиеновый каучук (СКД), этилен-пропиленовый каучук (СКЭП), бутилкаучук (БК), бутадиен-нитрильные каучуки (НБК), а также хлоропреновый каучук (ХК) и изопреновый каучук (ИР). Ежегодно во всем мире потребляется более 12,6 млн. тонн этих видов каучуков. Более половины глобального спроса приходится на Азиатско-Тихоокеанский регион. В связи с темпами роста выше среднего, доля рынка в этом регионе предположительно возрастет до 56% в 2022 году. Наиболее важным рынком сбыта в 2016 году были сегментные шины: почти 60% всего мирового спроса было ориентированно на изготовление OEM-шин и шип специального назначения.

Кроме того, каучуки используются в различных других продуктах в автомобильной промышленности. Среди них: шланги, кабели, прокладки, а также профили для окон и дверей.

Второй по величине областью применения для каучуков является производство технических продуктов, таких как: конвейерные ленты, покрытия для валков, шланги, профили, прокладки, кабели, профили и кровельные пленки. От химической промышленности машиностроения и строительства до электротехники и электроники требуется увеличение количества производимой резины.

Общий объем производства синтетических каучуков в России в 2014 году составил чуть более 1300 тыс тонн. В настоящее время ведущими Российскими компаниями в этой сфере являются: ПАО «Нижнекамскнефтехим», ООО «Тольяттикаучук», ПАО «Воронежсинтезкаучук», НПАО «Каучук», ПАО «Омский каучук» ПАО «Ефремовский завод СК», ПАО «Красноярский завод СК», многие из которых сейчас принадлежат крупному холдингу «Сибур».

За время своего существования структура выпуска шин претерпела глобальные изменения и в общем смысле приблизилась к общемировой.

Значительно выросла доля легковых шин, порядка 63%, к примеру, в определенных регионах Европы и США этот показатель 72% и 85% соответственно. Приоритетными для потребителей шин стали тягово-сцепные свойства на разных дорожных покрытиях, потери качения, силовая и геометрическая неоднородность и материалоемкость [1]. Исходя из этого появилась тенденция производства БСК полимеризацией в растворе.

В 2016 году было переработано более 5,3 млн. тонн. БСК. Он производится путем эмульсионной полимеризации (E-SBR) или полимеризации в растворе (S-SBR). В то время как на E-SBR приходится 73% общего спроса SBR, рынок S-SBR развивается со значительно более динамичными темпами роста более чем на 5% с. Шинная промышленность является доминирующим рынком сбыта для этих двух продуктов.

Блок-сополимеры стирола и бутадиена, получаемые в растворе, служат идеальным материалом для изготовления подошв. Эмульсионный БСК с промежуточным содержанием стирола используется при производстве протекторов шин, так как они обеспечивают лучшее сцепление с дорогой. В каучуках, предназначенных для изготовления изделий общего назначения, требуется невысокое содержание связанного стирола (20-30%).

## 1.2 Физико-химические основы процесса

### 1.2.1 Механизм процесса эмульсионной полимеризации

Схематический портрет процесса показан на рисунке 3.

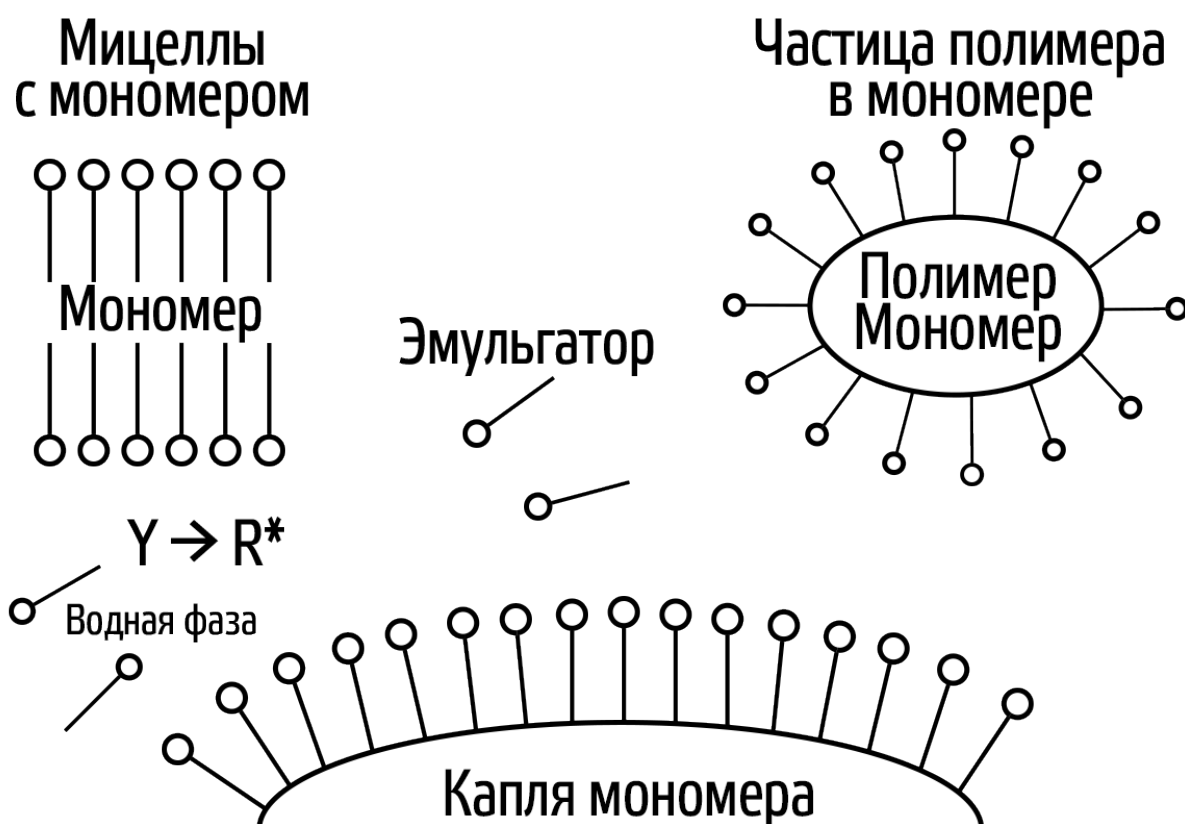


Рисунок 3 – Механизм эмульсионной полимеризации

При эмульсионной полимеризации, реакция начинается в том месте, где концентрация мономера и инициатора наиболее высока. Кинетическая кривая радикальной полимеризации в эмульсии состоит из четырех участков: ингибирование, ускорение, стационарный период и замедление. Особенности кинетики эмульсионной полимеризации характерны для каждого мономера и определяются следующими параметрами: степенью дисперсностью компонентов, растворимостью инициатора в воде и мономере, растворимостью самого мономера в воде, соотношением дисперсной фазой и дисперсионной средой.

Начальная стадия происходит в мицеллах эмульгатора, поверхностный слой которых содержит водорастворимый инициатор, а углеводородная среда растворенный мономер. По мере проведения процесса, образуются полимерные частицы, которые окружены адсорбционным слоем эмульгатора.

На определенной стадии полимеризации мицеллы эмульгатора исчезают, и он полностью переходит в адсорбционные слои на поверхности полимерных частиц, далее, последние впитывают мономер, который по мере полимеризации диффундирует из эмульгированных капель. Результатом полимеризации является переход эмульсии мономера в дисперсию полимер-латекс.

Исследование кинетики эмульсионной полимеризации показывают, что роль эмульгаторов не ограничивается только стабилизацией эмульсии, эмульгатор сильно влияет на сам процесс полимеризации, определяя его механизм [2].

Согласно кинетической теории, скорость процесса определяется проникновением радикалов в растущие частицы, т.е. само образование свободных радикалов протекает в адсорбированном слое мономера на поверхности частицы. Инициация происходит в мицелле; далее внутри части, содержащей мономер и полимер.

Влияние температуры недостаточно изучено, но можно считать, что с определенными допущениями оно имеет характер гомогенной полимеризации, т.е. с повышением температуры суммарная скорость повышается, в следствие увеличения константы  $K_p$  и числа частиц полимера, которое увеличивается от повышения скорости образования радикалов. Но было замечено понижение концентрации мономера в частицах. Таким примером может являться полимеризация стирола, в которой, при увеличении температуры с  $35^{\circ}\text{C}$  до  $85^{\circ}\text{C}$  концентрация стирола уменьшается на 13% [2].

## 1.2.2 Кинетика эмульсионной полимеризации

Объяснения кинетики эмульсионной полимеризации были заложены Смитом, Эвардом и Говардом. В типичных системах размер частиц таков, что два радикала, находящиеся в одной и той же частице, взаимно разрушаются в течении очень малых долей секунды. С другой стороны, число частиц и скорости образования радикалов таковы, что в среднем новый радикал диффундирует в частицу один раз за несколько секунд. В соответствии с этим, если эмульсионная полимеризация идет непрерывно, то в каждый момент почти каждая вторая частица будет содержать растущую цепь, а остальные будут “мертвы”.

На основании этой картины можно сделать ряд выводов. Во-первых, если эмульсионная полимеризация идет (ПАВ адсорбировано на частицах полимера, так что не мицелл, способных создать новые центры), то скорости полимеризации будут зависеть только от числа частиц, а не от скорости инициирования цепи, размера части или концентрации мыла. Такая кинетика процесса была показана на примере стирола, бутадиена и изопрена в присутствии некоторых иницирующих систем. Далее, так как обычно применяется концентрация частиц  $10^{19}$  (что эквивалентно концентрации радикалов приблизительно  $10^{-5}$  моля по сравнению с обычной применяемой при полимеризации в массе мономера концентрацией  $10^{-8}$ ), то становится очевидным объяснение высоких скоростей, возможных при эмульсионной полимеризации. Затем, поскольку длина кинетической цепи будет определяться скоростью, с которой новые радикалы проникают в отдельную частицу, то не наблюдается обычное обратное отношение между скоростью и  $\bar{P}$  и, несмотря на очень высокую скорость полимеризации, можно получать полимеры очень высокого молекулярного веса, поэтому особенно важно применение “регуляторов” для эмульсионных систем.

Применимость уравнения местодля уравнения к эмульсионным системам была доказана Смитом. Наконец, если известно число частиц и концентрация в них мономера, можно вычислить  $k_p$ .

Любая законченная теория эмульсионной полимеризации должна обладать способностью предсказывать число частиц полимера, образующихся в единице объема в начальной стадии полимеризации, в стадии образования частиц, так как это в свою очередь определяет скорость реакции в дальнейшем.

$$N = k(v/\mu)^{2/5}(a_s S)^{3/5};$$

где  $N$  – число частиц;  $k$  – константа, значение которой составляет от 0.37 до 0.53;  $v$  – скорость образования радикалов;  $\mu$  – скорость роста частицы;  $S$  – концентрация мыла;  $a_s$  – площадь поверхности, занимаемая молекулой мыла.

Таким образом, уравнение дает возможность определить суммарную скорость, зависящую от концентрации ПАВ и инициатора, что детально подтверждено для полимеризации стирола и, по-видимому, выполняется, выполняется качественно при эмульсионной полимеризации вообще.

### **1.2.3 Химизм процесса эмульсионной полимеризации**

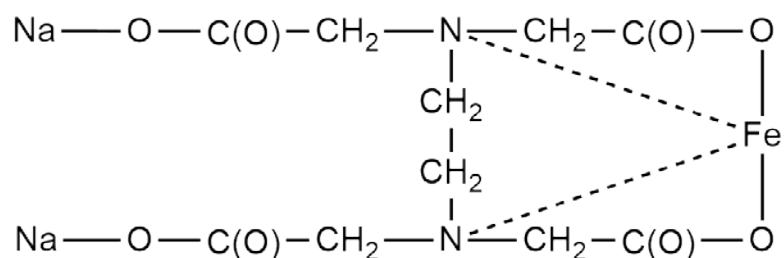
#### **1) Инициаторы**

При производстве синтетических каучуков эмульсионную полимеризацию разделяют на два вида: при высокой (45-50 °С) или при низкой (5°С) температурах, так называемые “горячая” и “холодная” полимеризация соответственно.

Экспериментально установлено, что с понижением температуры улучшается качество получаемых синтетических каучуков [3]. Поэтому были разработаны окислительно-восстановительные системы инициирования, которые позволяют проводить полимеризацию при пониженных температурах.

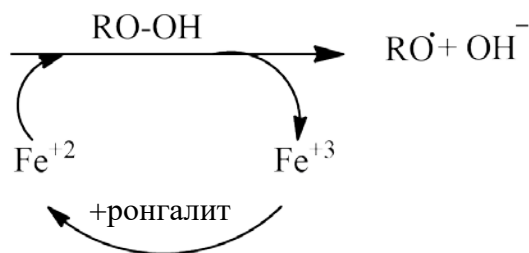
В качестве восстановителя – ионы металлов переменной валентности в низшей степени окисления, такими являются  $F^{+2}$  (только они оказались практически выгодными, поскольку ионы других металлов вызывают мгновенный, слишком быстрый, распад гидропероксида, в виду своей высокой активности), которые поступают в водную фазу в виде  $FeSO_4$ .

Для того, чтобы удерживать концентрацию  $\text{Fe}^{+2}$  низкой применяют динатриевую соль этилендиаминтетрауксусной кислоты (Трилон Б). Ион  $\text{Fe}^{+2}$  связывается с атомами азота координационными связями:

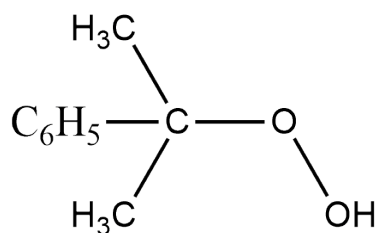


Такая конфигурация ограничивает возможности к диссоциации и позволяет в течении длительного времени удерживать концентрацию ионов на низком уровне.

Также необходимо уменьшить количество ионов, попадающие в каучук при сушке, для этого применяют дополнительный восстановитель – ронгалит (продукт взаимодействия формальдегида с сульфитом натрия). Функция его заключается в превращении иона  $\text{Fe}^{+3}$  в ион  $\text{Fe}^{+2}$ . Таким образом это позволяет интенсифицировать процесс благодаря тому, что ион железа может многократно использоваться в образовании свободных радикалов, то есть эта система является обратимой:



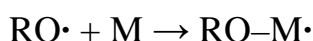
В качестве окислителя используют гидропероксиды; самый доступный из них – гидропероксид изопропилбензола (ГПИПБ):



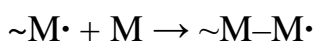
Такая окислительно-восстановительная система является наиболее распространённой при низкотемпературной эмульсионной полимеризации синтетических каучуков.

## 2) Инициация и рост цепи.

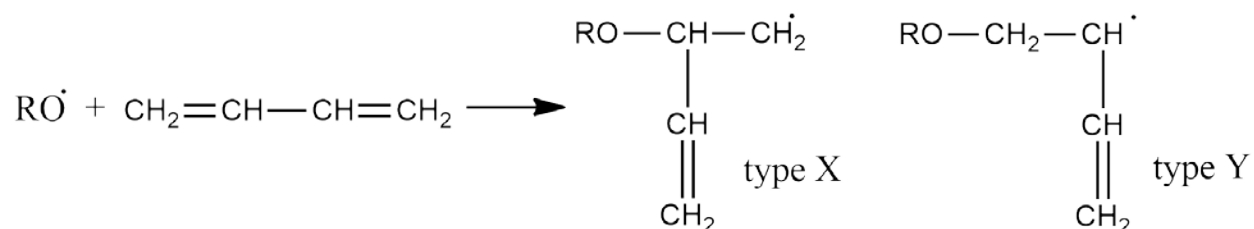
Радикал, образовавшийся на стадии иницирования, к примеру,  $RO\cdot$ , только единожды встречается с мономером, активируя реакционный центр и давая начало реакции роста цепи:



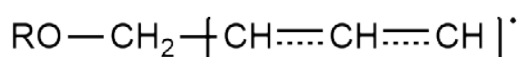
Далее рост идёт по принципам радикальной полимеризации: рост полимерной цепи идёт за счет присоединения мономера к активному макро radicalу:



Особенностью является диеновый мономер, в котором реакции с активным центром сначала принимает двойная связь (1-2, 3-4), при этом присоединение может происходить по следующим вариантам:



Образуя радикал X и радикал Y. Стоит заметить, что образование радикала X маловероятно, так как он менее стабилен в следствие локализации электронного облака на углеродном атоме без заместителей. А в радикале Y неспаренный электрон свободного радикала находится в сопряжении с  $\pi$ -электронами двойной связи, в результате чего образуется единое облако из трех электронов, таким образом структура нашего радикала можно представить формулой:



В этой связи структуру второго радикала можно рассматривать как вполне определенную, в которой обобщенное электронное облако сдвинуто в сторону



2-го углеродного атома. При сдвиге электронного облака в сторону 4-го атома углерода, получим структуру Y`:



### 3) Обрыв цепи

Реакциями обрыва цепи являются рекомбинация и диспропорционирования. Первая характеризуется низкими энергиями активации, порядка 0 – 4 кДж/моль, а вторая, наоборот, высокими 13 – 16 кДж/моль.

Кроме того, при увеличении степени превращения, мы приходим к нежелательным последствиям: передача цепи на полимер становится более вероятной, поэтому полимер становится более разветвленный. Чтобы это избежать, нужно не доводить степень превращения до высоких концентрация и держать её на уровне 65-70 %. В этом нам помогут ингибиторы (стопперы), которые при введении в реакционную массу останавливают процесс полимеризации.

### **1.3 Способы производства бутадиен-стирольного каучука**

Основные, существующие на данный момент, способы промышленного получения БСК – синтез БСК в растворе и синтез БСК в эмульсии. Основная масса, конечно же, получается путем радикальной полимеризации в эмульсии, но кроме этого бутадиен способен к сополимеризации со стиролом по анионному механизму, следовательно, проводить синтез также можно и в растворе, с использованием литийорганических катализаторов. Стоимость таких каучуков выше, так как технология более энергоемка и сложна, но выигрыш в свойствах должен с лихвой окупить затраты.

#### **1.3.1 Синтез БСК в растворе**

Можно получить два типа сополимеров на литийорганических соединениях:

- а) Статистические, к примеру, ДССК: не содержащие стирольных микроблоков (меньше низкомолекулярных фракций, характеризуются повышенным содержанием бутадиеновых звеньев в положении 1,4-цис и пониженным в положении 1,2)
- б) Блочные, обладающие свойствами термоэластопластов, которые могут перерабатываться методами жидкой формовки.

В зависимости от содержания связного стирола, каучуки под марками ДССК могут выпускаться с разным индексом, показывающим количество вводимого стирола. На данный момент наша промышленность выпускает марки каучуков: ДССК-2545 (25% стирола и 45% 1,2-звеньев), ДССК 2545-27М (37% масла), изготавливаемой ПАО «Воронежсинтезкаучук».

Основное назначение каучуков под маркой ДССК – замена БСК, полученных эмульсионной полимеризацией, как в шинных смесях, так и в производстве других технических изделий. Основным отличием является повышенная жесткость.

Практическую заинтересованность проявляют трёхблочные сополимеры, в которых серединный блок обладает высокой гибкостью, к примеру полибутадиен, а концевой будет жесткоцепным, к примеру

полистирол или поли- $\alpha$ -метилстирол. Такие сополимеры при обычных температурах являются гетерофазными, т.е. проявляют свойства термоэластопластов. При нормальных условиях полимер ведет себя как сетчатый, по свойствам близкой к резине, а при температурах переработки переходит в ВТС (вязкотекучее состояние).

Процесс анионной полимеризации проводят на литийорганических соединениях, к примеру, втор-бутилитий. Мажорным фактором является возможность координировать строение продукта: последовательность блоков, состав, длина цепи и т.п.

Получаемые блочные полимеры маркируют в соответствии от типа применяемых мономеров и содержанием связного стирола: ДСТ-30, ДМСТ-Р.

Переработка таких полимеров осуществляется следующими методами: каландрование, экструзия, литье под давлением; поскольку не требуют вулканизации.

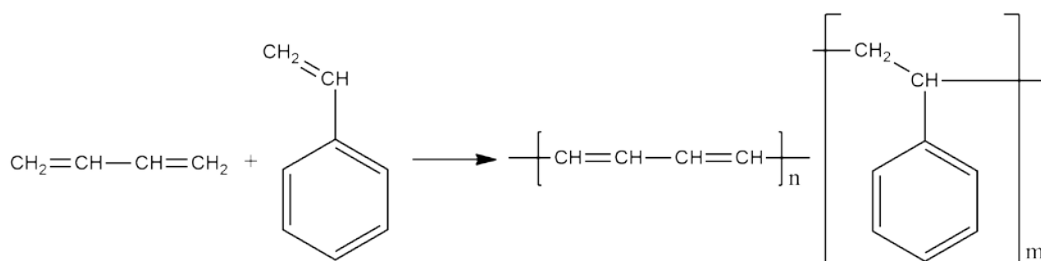
Основным недостатком является пониженная температуростойкость.

### 1.3.2 Синтез БСК эмульсионным способом

Основным способом получения синтетических каучуков, в том числе и БСК, является полимеризация в водных эмульсиях. Простота оформления технологических схем, аппаратного процесса, доступность мономеров, требуемые свойства получаемых полимеров – всё это объясняет популярность данного метода. Однако, методы растворной полимеризации выигрывают в некоторых физико-механических и эксплуатационных свойствах, поэтому, скорее всего, доля эмульсионного способа будет с каждым годом падать на некоторое число.

Эмульсия представляет собой смесь двух взаимно нерастворимых или мало растворимых жидкостей, одна из которых, дисперсная фаза, содержится в другой, дисперсионной среде, в виде мельчайших капель. Кроме того, вещества, которые способствуют эмульгированию, называются эмульгаторами.

Синтез БСК эмульсионным способом проходит по свободно радикальному механизму:



В этой системе вода является дисперсионной средой, которая должна быть хорошо очищена, чаще всего её очищают на ионообменных смолах и дегазируют от кислорода. Делается это для избежание ингибирования радикальной полимеризации. Под глубоким контролем также находится общая жесткость, содержание диоксида углерода, железа, щелочи и других взвешенных частиц.

Дисперсной фазой является мономер, который распределен по всему объему в виде мелких капель. Для термодинамической устойчивости, в

систему вводятся эмульгаторы, которые стабилизируют коллоидную дисперсию образующегося полимера.

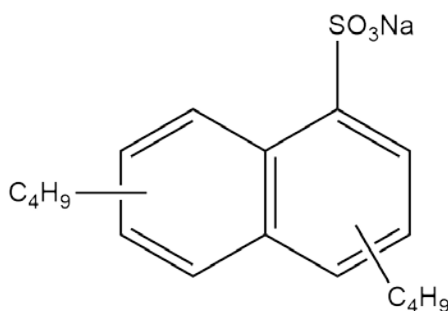
Все эмульгаторы являются поверхностно-активными веществами, которые способны адсорбироваться на границе раздела фаз, что приводит к существенному снижению поверхностного натяжения [3]. Следовательно, основной задачей является подобрать наиболее эффективный эмульгатор.

Эмульгатор – молекула, имеющая длинную неполярную углеводородную цепь и полярную карбоксильную или сульфогруппу. Основная часть их находится в виде мицелл. Соответственно полярная часть ориентирована к воде, а неполярная – внутрь мицелл. Внутри мицеллы образуется углеводородная фаза, в которой растворяется часть мономера [2].

По итогу мы получаем сложную систему, состоящую из молекулярного водного раствора эмульгатора и мономера, в котором взвешены капли мономера и мицеллы эмульгатора с растворенным в них мономером [2].

Наиболее распространенные это мыла: лаураты щелочных металлов, олеаты, натриевые соли ароматических сульфокислот, олеаты; сюда же можно отнести мыла на основе канифоли. Последние улучшают свойства каучуков: увеличивается прочность на растяжение, повышается клейкость резиновых смесей, сопротивление к истиранию и раздиру. Но наличие систем сопряженных двойных связей, которые также способны участвовать в свободнорадикальных процессах, замедляют общую скорость процесса, поэтому используют различные модификации канифоли.

Широко применяются мыла на основе дибутилнафталинсульфокислот, тривиально – некаль.



Это смесь продуктов алкилирования и сульфирования нафталина, причем сульфогруппа находится преимущественно в  $\alpha$ -положении.

Основным и критическим недостатком является устойчивость к биологическому окислению, так как очистка сточных вод становится трудной задачей, поэтому некаль в эмульсионной полимеризации применяется крайне редко или вообще применение исключено [2].

Выбор диспергаторов, которые повышают устойчивость латекса, падает на натриевую соль продукта конденсации  $\beta$ -нафталинсульфокислоты с формальдегидом:

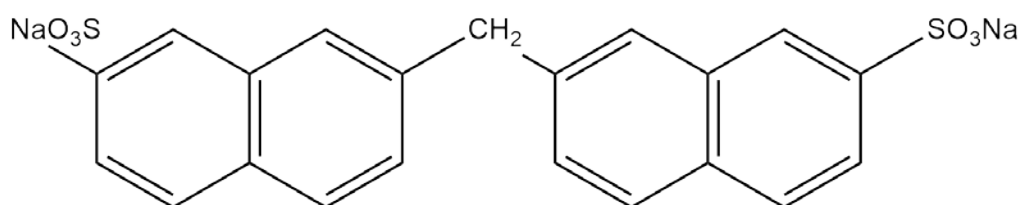


Рисунок 2 – Лейканол

В промышленности бутадиен-стирольные каучуки получают горячей (порядка  $50^{\circ}\text{C}$ ) и холодной (порядка  $5^{\circ}\text{C}$ ) полимеризацией. При производстве в качестве инициатора используют пероксодисульфат калия, в роли стабилизатора молекулярной массы дипроксид или трет-додецилмеркаптан, эмульгатором служит калиевое мыло канифоли, а также соли жирных кислот ( $\text{C}_{12} - \text{C}_{16}$ ).

В результате проведения полимеризации мы получаем латекс, который проходит через батарею со скоростью, обеспечивающей на выходе из последнего полимеризатора заданную конверсию мономеров. Продолжительность полимеризации примерно 15 часов, содержание сухого остатка в латексе 28 – 30 %. Температура процесса полимеризации автоматически регулируется подачей горячей воды в первый аппарат и холодной в последующие [2].

## **2 Объекты и методы исследования**

### **2.1 Характеристика используемого сырья**

Основными мономерами при производстве бутадиен-стирольного каучука являются бутадиен и стирол.

Бутадиен-1,3 или дивинил – ненасыщенный углеводород, простейший представитель сопряженных диеновых углеводородов. Кроме того, это бесцветный газ с характерным запахом, который плохо растворяется в воде и наоборот, хорошо растворяется в спирте и керосине [7].

Стирол или фенилэтилен – винилароматический углеводород. При нормальных условиях представляет собой бесцветную жидкость. Практически нерастворим в воде, хорошо растворим в органических растворителях, хороший растворитель полимеров. Это один из самых многотоннажных мономеров. Сополимеры бутадиена-1,3 и стирола содержат до 30% масс. последнего. Наличие звеньев стирола в макромолекуле каучука повышает эластические свойства и стабильность каучуков и резин, улучшает их технологические свойства [7].

Характеристика используемого сырья показана в таблице ниже.

Таблица 4 – Характеристика сырья, применяемого в процессе сополимеризации бутадиена и стирола

Наименование сырья	Государственный или отраслевой стандарт, технические условия, регламент	Показатели по стандарту, обязательные для проверки	Регламентируемые показатели
Бутадиен-1,3	ГОСТ Р 55066-2012	Массовая доля бутадиена-1,3, % не менее; Массовая доля легколетучих углеводородов (C <sub>2</sub> ,C <sub>3</sub> ), %, не более; Массовая доля азотистых соединений (в пересчете на азот), %, не более; Массовая доля карбонильных соединений в пересчете на ацетон, %, не более; Массовая доля монозамещенных ацетиленовых углеводородов, %, не более; Массовая доля тяжелого остатка, %, не более; Массовая доля меди, %, не более; Массовая доля перекисных соединений (в пересчете на активный кислород), %, не более; Содержание нерастворенной влаги;	98,0  0,40  0,020  0,006  0,020  0,30  0,00005  0,0010  Отсутствует



Стирол	ГОСТ 10003-90 изм. №2	<p>Массовая доля стирола, %, не менее;</p> <p>Массовая доля фенилацетилена, %, не более;</p> <p>Массовая доля дивинилбензола, %, не более;</p> <p>Массовая доля карбонильных соединений в пересчете на бензальдегид, %, не более;</p> <p>Массовая доля перекисных соединений в пересчете на активный кислород, %, не более;</p> <p>Массовая доля полимера, %, не более;</p> <p>Массовая доля стабилизатора пара-трет-бутилпирокатехина, %;</p>	<p>99,80</p> <p>0,01</p> <p>0,0005</p> <p>0,01</p> <p>0,0005</p> <p>0,001</p> <p>0,005-0,0015</p>
Тринатрийфосфат	ГОСТ 201-76	<p>Массовая доля общего P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, %, не менее;</p> <p>pH 1%-ного водного раствора;</p> <p>Массовая доля нерастворимого в воде остатка, %, не более;</p>	<p>18,5</p> <p>11,5-12,5</p> <p>0,03</p>

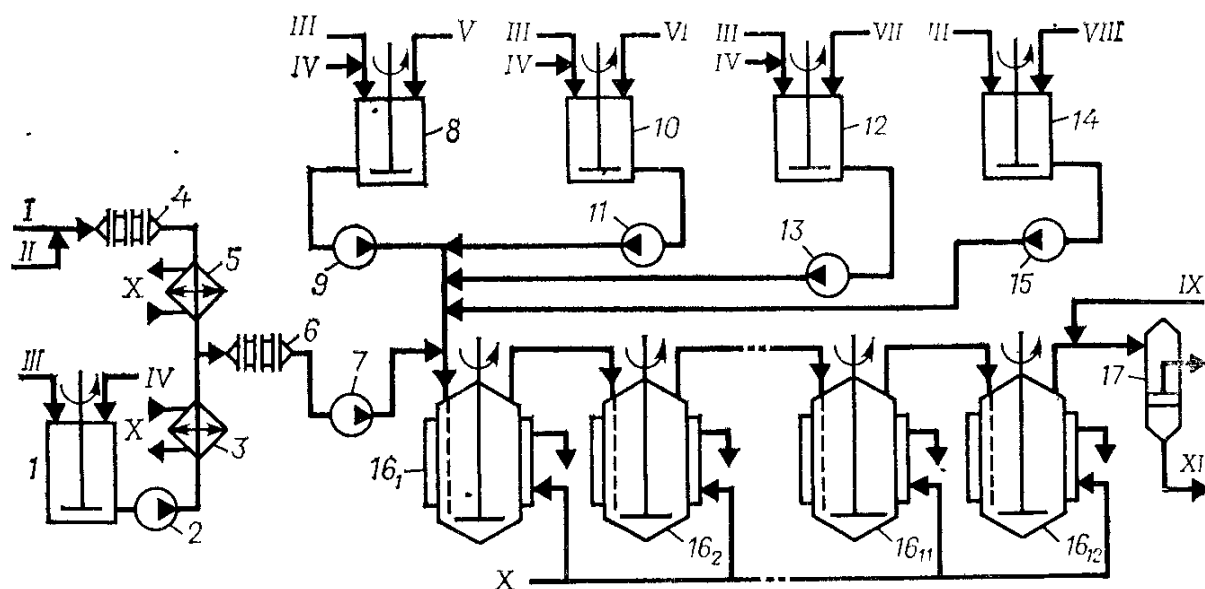
Пирофосфат калия	ГОСТ 55054-2012	Массовая доля основного вещества, %, не менее; Массовая доля потерь при высушивании, %, не более; Массовая доля нерастворимых в воде веществ, %, не более; Массовая доля (содержание) фторидов, млн <sup>-1</sup> (мг/кг), не более;	95,0  0,5  1,0  10,0
Сульфат железа семиводный	ГОСТ 4148-78	Массовая доля 7-водного сернокислого железа (II) (FeSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O), %; Массовая доля нерастворимых в воде веществ, %, не более; Массовая доля никеля (Ni), %, не более; Массовая доля меди (Cu), %, не более; Массовая доля цинка (Zn), %, не более; Массовая доля кремния (Si), %, не более	98  0,02  0,02  0,01  0,02  0,02

Трилон Б	ГОСТ 10652-73	<p>Массовая доля 2-водной динатриевой соли этилендиамин-N,N,N',N'-тетрауксусной кислоты (<math>C_{10}H_{14}O_8N_2Na_2 \cdot H_2O</math>), %;</p> <p>Массовая доля нерастворимых в воде веществ, %, не более;</p> <p>Массовая доля железа (Fe), %, не более;</p> <p>Массовая доля меди (Cu), %, не более;</p> <p>Массовая доля тяжелых металлов (Pb), %, не более;</p>	<p>99,0</p> <p>0,020</p> <p>0,0050</p> <p>0,0050</p> <p>0,005</p>
----------	---------------	---	---

## 2.2 Описание технологической схемы

Процесс получения бутадиен-стирольных каучуков состоит из следующих фаз: приготовление углеводородной и водной фазы; приготовление растворов стоппера, регулятора, инициатора, эмульгатора; полимеризация и её обрыв; отгонка мономера из латекса; выделение и сушка каучука. Сам процесс осуществляется по непрерывной схеме.

Схема процесса представлена на рисунке.



1 – емкость для приготовления водной фазы; 2, 7, 9, 11, 13, 15 – насосы; 3, 5 – холодильники; 4, 6 – диафрагмовые смесители; 8, 10, 12, 14 – аппараты для приготовления компонентов; 16<sub>1</sub> – 16<sub>12</sub> – полимеризаторы; 17 – фильтр.

I – бутадиен; II – стирол; III – умягченная вода; IV – эмульгаторы; V – инициатор; VI – комплекс железа; VII – ронгалит; VIII – регулятор молекулярной массы; IX – стоппер; X – рассол; XI – латекс на дегазацию.

Водная фаза, включающая раствор эмульгатора и электролита, готовится в аппарате 1 путем смешения указанных компонентов и имеет водородный показатель 10-11. Далее водная фаза подается насосом 2 через холодильник, который охлаждается рассолом, и уходит на смешение с углеводородной фазой в смеситель 6. Сама углеводородная фаза готовится непрерывным смешением бутадиена и стирола, подаваемые насосами в диафрагмовый

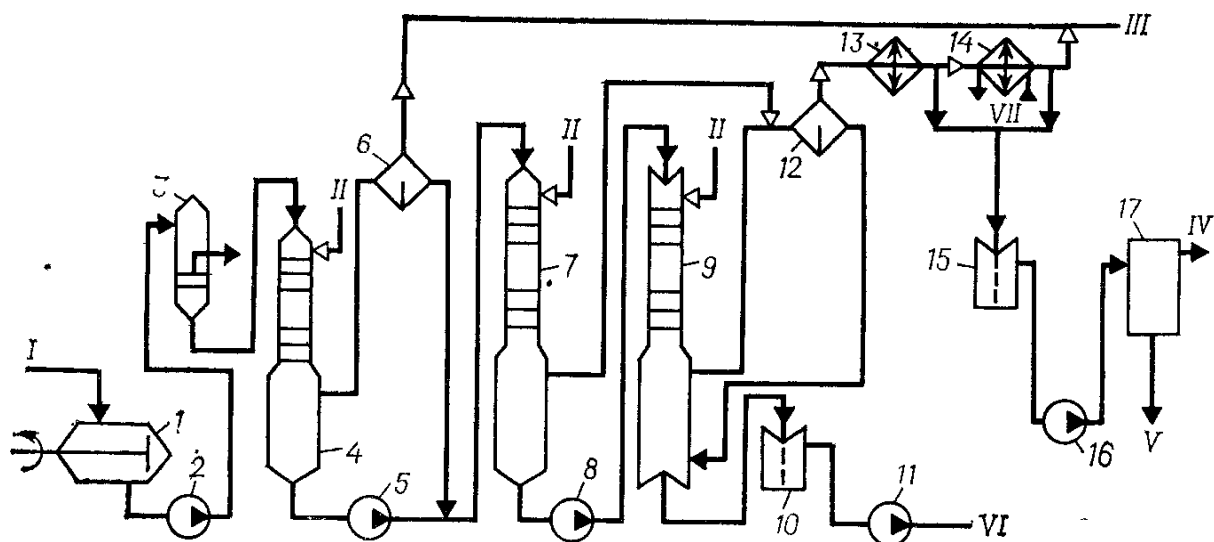
смеситель 4, которая, охлаждаясь в холодильнике 5, проходя через смеситель 6, насосом подается в первый аппарат батареи полимеризаторов. Всего их в системе 12 штук, в работе 10. Эмульсия иницирующей окислительно-восстановительной системы готовится в аппарате 8 из инициатора, умягченной воды и эмульгатора. Насосом 9 подается на смешение с эмульсией углеводов в воде в линию шихты перед первым полимеризатором 16.

Регулятор молекулярной массы каучука применяется в виде раствора в стироле. Комплекс железа готовится в виде тонкой взвеси при отсутствии воздуха в воде при нагревании смеси растворов пирофосфата калия и сульфата железа (II) при перемешивании или в виде раствора омылением этилендиаминтетрауксусной кислоты едким кали с последующим взаимодействием образовавшийся соли, а ронгалит растворяется в воде при перемешивании. Далее растворы подаются в линию шихты перед первым полимеризатором.

В самой же батарее, полимеризаторы соединены так, что полимеризуемая шихта поступает в нижнюю часть аппарата через сифон и направляется в следующий аппарат переливом. Сам полимеризатор представляет собой автоклав с рубашкой, через которую рассолом отводится теплота. Мешалка имеет рамную конфигурацию. Все полимеризаторы связаны друг с другом тремя линиями: одна с основным продуктом, вторая – шунтовая линия, предназначенная для вывода любого аппарата в случае отключения его из батареи, третья – разгрузочная, она приспособлена для разгрузки выключенного из работы полимеризатора.

По окончании полимеризации, которая сигнализируется достижением степени конверсии мономеров 60-62% (14-15 часов), вводится 1%-ный раствор диметилдитиокарбамата натрия – стоппер. Он подается в последнюю линию латекса, затем продукт проходит через фильтр 17 и поступает на дегазацию.

Дальнейшая дегазация протекает по схеме, показано на рисунке



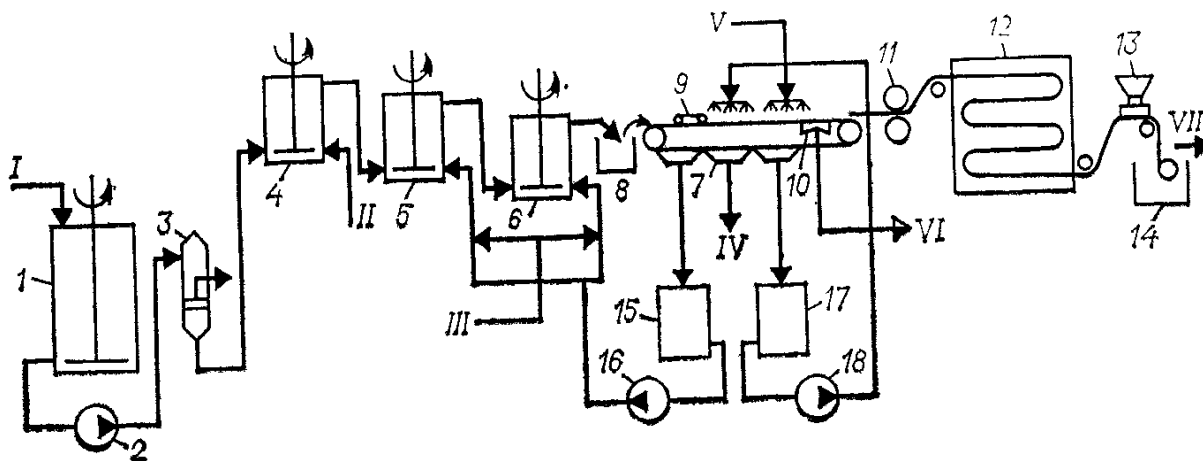
1 – промежуточная емкость; 2, 5, 8, 11, 16 – насосы; 3 – фильтр; 4 – колонна предварительной дегазации; 6, 12 – сепараторы; 7 – дегазатор первой ступени; 9 – дегазатор второй ступени; 10, 15 – гидрозатворы; 13, 14 – конденсаторы; 17 – отстойник.

I – латекс из полимеризаторов; II – пар; III – углеводороды на компримирование; IV – углеводороды на осушку; V – вода на отпарку органических соединений; VI – латекс на выделение; VII – охлажденная вода.

Из полимеризаторов латекс поступает в емкость 1, снабженную мешалкой, откуда насосом 2, проходя через фильтр 3 подается в колонную предварительной дегазации 4, работающую в режиме прямотока латекс-пар давлением 0,6 Мпа. В колонне удаляется основная масса бутадиена, который через сепаратор 6 направляется на выделение и регенерацию, а частично дегазированный латекс насосом 5 подается в верхнюю часть колонны первой ступени 7, где окончательно удаляется весь бутадиен и отгоняется основная масса стирола. Чтобы удалить оставшуюся часть стирола, латекс из куба колонны 7 подается насосом 8 в колонну второй ступени 9. Латекс дегазируется до концентрации стирола менее 0,3% (по массе) и выводится из куба колонны через гидрозатвор 10 и насосом 11 уходит на выделение каучука. Углеводороды, которые отгонялись в колоннах 7 и 9 поступают в сепаратор 12, где очищаются от каучука и далее в систему конденсации, которая состоит из пары последовательно соединенных конденсаторов, которые охлаждаются

промышленной и охлажденной водой (аппарат 13 и 14 соответственно). Продукты конденсации (стирол) проходят гидрозатвор 15, насосом 16 подаются в отстойник 17, а несконденсированные (бутадиен) вместе с газообразными веществами из колонны 4 подаются на разделение и регенерацию.

Сушка происходит по схеме, показанной на рисунке



1 – емкость для масла; 2 – емкость для эмульгатора; 3 – емкость для латекса; 4 – бункер; 5 – смеситель; 6 – диспергатор; 7, 8, 9 – аппараты коагуляции; 10, 12 – вибросита; 11 – аппарат для промывки пульмы; 13 – молотковая дробилка; 14, 15, 17, 18 – насосы; 16 – емкость для электролита; 19 – сборник серума.

I – технический углерод; II – вода; III – углеводородное масло; IV – эмульгатор; V – латекс; VI – электролит; VII – умягченная вода; VIII – каучук на сушку; IX – вода на очистку.

Вначале готовится дисперсия технического углерода. Для этого в смеситель 5 подается умягченная вода и технический углерод из бункера 4. Далее дисперсия и эмульгатор из емкости 2 гомогенизируется в аппарате 6, после чего смесь направляется в первый аппарат каскада коагуляции 7 на смешение с латексом, который подается из мерника 3. Далее латекс поступает на коагуляцию в нижнюю часть аппарата 8, куда одновременно из емкости 16 подается электролит – раствор серной кислоты. Формование мелкозернистой крошки заканчивается в аппарате 9, куда из сборника 19 подается серум. Крошка каучука промывается на вибросите 10, отделяемая вода собирается в

сборнике 19. Последним этап – промывка крошки водой в аппарате 11, далее происходит отделение воды на вибростите 12 и поступление в молотковую дробилку 13, в конце сушка и упаковка.

### 2.3 Характеристика производимой продукции

Бутадиен-стирольный каучук синтетический СКС-30АРК представляет собой сополимер стирола (30 %) и бутадиена (70 %), полученный эмульсионным способом, путем низкотемпературной полимеризации, в процессе применен регулятор молекулярной массы, использован канифолевый эмульгатор; ГОСТ 15627-79. Полимер не содержит нитрозаминов и веществ, которые могут стать источником нитрозаминов. Внешний вид – темно-коричневый брикет. В таблице ниже представлены показатели качества бутадиен-стирольного каучука марки СКС-30АРК

Таблица 96 – Показатели качества БСК

Показатель	Марка СКС-30АРК	
	1 сорт	2 сорт
Вязкость по Муни МБ1+4 (100 °С)	47-56	46-57
Условная прочность при растяжении, МПА (кгс/см <sup>2</sup> ), не менее	27,9 (285)	27,4 (280)
Эластичность по отскоку, %, не менее	39	38
Массовая доля золы, %, не более	0,6	0,6
Массовая доля металлов, %, не более	0,00015	0,0002
Массовая доля органических кислот, %	5,0-6,5	5,0-6,5
Потери массы при сушке, %, не более	0,35	0,40



## **6 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность, ресурсоемкость**

### **6.1 Анализ конкурентных технических решений**

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку сравнительной эффективности научной разработки и определить направления для ее будущего повышения. Целесообразно проводить данный анализ с помощью оценочной карты, которая приведена в таблице 1.

Позиция разработки и конкурентов оценивается по каждому показателю экспертным путем по пятибалльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 5 – наиболее сильная. Веса показателей, определяемые экспертным путем, в сумме должны составлять 1.

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum V_i \cdot B_i,$$

где  $K$  – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

$V_i$  – вес показателя (в долях единицы);

$B_i$  – балл  $i$ -го показателя.

Таблица 1 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы	Максимальный балл	Относительное значение (3/4)	Средневзвешенное значение (5x2)
1	2	3	4	5	
<b>Показатели оценки качества разработки</b>					
Повышение производительности труда пользователя	0,10	85	100	0,85	0,085
Удобство эксплуатации <sup>В</sup>	0,10	88	100	0,88	0,088
Качество продукта	0,30	91	100	0,91	0,273
Безопасность	0,10	85	100	0,85	0,085
Длительность производственного цикла	0,10	85	100	0,85	0,085
<b>Показатели оценки коммерческого потенциала разработки</b>					
Конкурентоспособность продукта	0,10	90	100	0,90	0,090
Уровень проникновения на рынок	0,07	93	100	0,93	0,066
Цена	0,09	85	100	0,85	0,077
Перспективность рынка	0,04	90	100	0,90	0,036
Итого	1				0,885

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

Б<sub>к1</sub> – ПАО «ВоронежСинтезКаучук»;

Б<sub>к2</sub> – ОАО «Омский каучук».

## 6.2 Технология QuaD

Технология QuaD (QUality ADvisor) представляет собой гибкий инструмент измерения характеристик, описывающих качество новой разработки и ее перспективность на рынке и позволяющие принимать решение целесообразности вложения денежных средств в научно – исследовательский проект.

Таблица 2 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы	Максимальный балл	Относительное значение (3/4)	Средневзвешенное значение (5x2)
1	2	3	4	5	
<b>Показатели оценки качества разработки</b>					
Повышение производительности труда пользователя	0,10	85	100	0,85	0,085
Удобство эксплуатации	0,10	88	100	0,88	0,088
Качество продукта	0,30	91	100	0,91	0,273
Безопасность	0,10	85	100	0,85	0,085
Длительность производственного цикла	0,10	85	100	0,85	0,085
<b>Показатели оценки коммерческого потенциала разработки</b>					
Конкурентоспособность продукта	0,10	90	100	0,90	0,090
Уровень проникновения на рынок	0,07	93	100	0,93	0,066
Цена	0,09	85	100	0,85	0,077
Перспективность рынка	0,04	90	100	0,90	0,036
Итого	1				0,885

Оценка качества и перспективности по технологии QuaD определяется по формуле:

$$P_{\text{ср}} = \sum V_i \cdot B_i, \quad (2)$$

где  $P_{\text{ср}}$  – средневзвешенное значение показателя качества и перспективности научной разработки;

$V_i$  – вес показателя (в долях единицы);

$B_i$  – средневзвешенное значение  $i$ -го показателя.

Значение показателя  $P_{\text{ср}}$  является 88,5 %, что позволяет говорить о перспективах разработки и качестве проведенного исследования. К тому же, перспективность высока и в дальнейшем к направлению усовершенствования можно отнести изменение иницирующей окислительно-восстановительной системы, это будет способствовать увеличению степени конверсии мономеров (бутадиена и стирола).

### 6.3 SWOT-анализ

SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта. Он проводится в несколько этапов.

Первый этап заключается в описании сильных и слабых сторон проекта, в выявлении возможностей и угроз для реализации проекта, которые проявились или могут появиться в его внешней среде.

Результаты первого этапа SWOT-анализа представлены в табл. 2.

Таблица 2 – Матрица SWOT

	<b>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</b>	<b>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</b>
	С1. Простота сырьевой базы С2. Адекватность разработки	Сл1. Отсутствие прототипа научной разработки Сл2. Громоздкость технологической линии

	<p>С3. Более совершенная иницирующая ОВ-система</p> <p>С4. Относительно невысокая денежная и временная затратность проекта</p>	<p>Сл3. Отсутствие необходимого оборудования для проведения испытания опытного образца</p> <p>Сл.4 Загрязнение сточных вод</p>
<p><b>Возможности:</b></p> <p>В1. Внедрение бессолевого коагулянта латексов</p> <p>В2. Разработка более эффективных инициаторов и регуляторов молекулярной массы</p> <p>В3. Компьютеризация управления технологическими процессами</p>		
<p><b>Угрозы:</b></p> <p>У1. Отсутствие спроса на новые технологии</p> <p>У2. Значимая конкуренция</p> <p>У3. Введения дополнительных государственных требований к сертификации</p> <p>У4. Несвоевременное финансовое обеспечение научного исследования со стороны государства</p>		

После того как сформулированы четыре области SWOT переходят к реализации второго этапа, который состоит в выявлении соответствия

сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды. Это соответствие или несоответствие должны помочь выявить степень необходимости проведения стратегических изменений.

В рамках данного этапа необходимо построить интерактивную матрицу проекта. Ее использование помогает разобраться с различными комбинациями взаимосвязей областей матрицы SWOT. Каждый фактор помечается либо знаком «+» – сильное соответствие сильных сторон возможностям, либо знаком «-» – слабое соответствие; «0» – если есть сомнения в том, что поставить «+» или «-». Пример интерактивной матрицы проекта представлен в таблице 3.

Таблица 3 - Интерактивная матрица проекта

<b>Сильные стороны проекта</b>					
Возможности проекта		C1	C2	C3	C4
	B1	+	+	-	+
	B2	-	+	+	-
	B3	0	+	-	-
<b>Сильные стороны проекта</b>					
Угрозы проекта		C1	C2	C3	C4
	У1	0	+	0	-
	У2	+	-	+	+
	У3	-	-	-	-
	У4	-	-	+	+
<b>Слабые стороны проекта</b>					
Возможности проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4
	B1	-	+	-	+
	B2	-	-	-	+
	B3	0	+	-	-
<b>Слабые стороны проекта</b>					
Угрозы проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4
	У1	-	0	+	-
	У2	0	-	+	-
	У3	-	0	-	-
	У4	-	+	-	-

В случае, когда две возможности сильно коррелируют с одними и теми же сильными сторонами, с большой вероятностью можно говорить об их единой природе.

Таким образом, в рамках третьего этапа может быть составлена итоговая матрица SWOT-анализа (таблица 4).

Таблица 4 – SWOT-анализ

	<p><b>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</b></p> <p>С1. Простота сырьевой базы</p> <p>С2. Адекватность разработки</p> <p>С3. Более совершенная иницирующая ОВ-система</p> <p>С4. Относительно невысокая денежная и временная затратность проекта</p>	<p><b>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</b></p> <p>Сл1. Отсутствие прототипа научной разработки</p> <p>Сл2. Громоздкость технологической линии</p> <p>Сл3. Отсутствие необходимого оборудования для проведения испытания опытного образца</p> <p>Сл.4 Загрязнение сточных вод</p>
<p><b>Возможности:</b></p> <p>В1. Внедрение бессолевого коагулянта латексов</p> <p>В2. Разработка более эффективных инициаторов и регуляторов молекулярной массы</p> <p>В3. Компьютеризация управления технологическими процессами</p>	<p>Внедрение бессолевого коагулянта и разработка более эффективных инициаторов и регуляторов молекулярной массы определенно положительно скажется на упрощении сырьевой базы и более совершенной ИОВ-системы.</p>	<p>Разработка более эффективных инициаторов и регуляторов молекулярной массы, а также повсеместная автоматизация позволит в какой-то мере и степени упростить технологическую линию, к тому же это облегчит работу в очистке сточных вод.</p>
<p><b>Угрозы:</b></p> <p>У1. Отсутствие спроса на новые технологии</p> <p>У2. Значимая конкуренция</p> <p>У3. Введения дополнительных государственных</p>	<p>Отсутствие спроса и значимая конкуренция на рынке поставит под угрозу использование совершенных ИОВ-систем, кроме того, задержки, связанные с финансированием научного обеспечения,</p>	<p>Отсутствие прототипа, сертификации научной разработки, невозможность использования в компаниях со старым оборудованием, приведет к отсутствию спроса и отсутствию конкуренции</p>



требований к сертификации У4. Несвоевременное финансовое обеспечение научного исследования со стороны государства	могут подвергнуть адекватность разработки.	проекта, а отсутствие финансирования приведет к невозможности получения сертификации.
---	--	---

## 6.4 Планирование научно-исследовательских работ

### 6.4.1 Структура работ в рамках научного исследования

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

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

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

Примерный порядок составления этапов и работ, распределение исполнителей по данным видам работ приведено в таблице 5.

Таблица 5 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ ра б	Содержание работ	Должность исполнителя
1	2	3	4
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Научный руководитель
Выбор направления исследований	2	Выбор направления исследований	Научный руководитель

	3	Подбор и изучение материалов по теме	Библиотекарь и бакалавр
	4	Календарное планирование работ по теме	Научный руководитель, бакалавр
Теоретические и экспериментальные исследования	5	Проведение теоретических расчетов и обоснований	Бакалавр
	6	Утверждение лучшего результата	Научный руководитель
Обобщение и оценка результатов	7	Оценка эффективности полученных результатов	Научный руководитель, бакалавр
	8	Определение целесообразности проведения ВКР	Бакалавр
<b>Проведение ВКР</b>			
Разработка технической документации и проектирование	9	Разработка технологии сополимеризации бутадиена и стиролом	Бакалавр
	10	Выбор и расчет конструкции	Бакалавр
	11	Оценка эффективности производства и применения разработки	Бакалавр, консультант по ЭЧ
	12	Разработка социальной ответственности по теме	Бакалавр, консультант СО
Оформление отчета (комплекта документации по ВКР)	13	Составление пояснительной записки (эксплуатационно-технической документации)	Бакалавр

#### **6.4.2 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  $t_{ожi}$  используется формула (3):

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

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:

$$T_{pi} = \frac{t_{ожi}}{Ч_i}, \quad (4)$$

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.

### 6.4.3 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, 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 (6):

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}}, \quad (5)$$

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 (6):

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}}, \quad (6)$$

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:

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

Рассчитанные значения в календарных днях по каждой работе  $T_{ki}$  необходимо округлить до целого числа. Все рассчитанные значения сводим в единую таблицу 6.

Таблица 6 – Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоёмкость работ									Исполнители	Длительность работ в рабочих днях $T_{pi}$			Длительность работ в календарных днях $T_{ki}$		
	$t_{min}$ , чел-дни			$t_{max}$ , чел-дни			$t_{ожi}$ , чел-дни				Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3		Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
Составление технического задания	3	3	2	4	4	2	4	4	2	Р С К <sup>1</sup> К <sup>2</sup>	1	1	0,5	1,5	1,5	0,8
Изучение литературы	20	19	21	25	26	27	22	21,8	23,4	С	22	21,8	23,4	32,6	32,3	34,6
Выбор направления исследований	3	2	2	3	4	3	3	2,8	2,4	Р С	1,5	1,4	1,2	2,22	2,1	1,8
Теоретические исследования, расчёты, чертежи	25	23	24	35	34	34	29	27,4	28	Р С	14,5	13,7	14	21,5	20,3	20,7
Оформление отчета по ВКР	14	15	13	21	20	24	16,8	17	17,4	С Р	8,4	8,5	8,7	12,4	12,6	12,9

Р – руководитель; Б – бакалавр; К<sup>1</sup> – консультант по экономической части; К<sup>2</sup> – консультант по социальной ответственности

На основе таблицы 6 строится календарный план-график. График строится для максимального по длительности исполнения работ в рамках научно-исследовательского проекта с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней) за период времени дипломирования. При этом работы на графике следует выделить различной штриховкой в зависимости от исполнителей, ответственных за ту или иную работу. План-график приведён в таблице 7.

Таблица 7 – Календарный план-график проведения ВКР

№	Вид работ	Исполнители	$T_{ki}$	Продолжительность выполнения работ													
				февр.			март			апрель			май			июнь	
				2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	
1	Составление ТЗ	Руководитель, студент, консультант ЭЧ, СО	1														
2	Изучение литературы	Студент (дипломник)	35														
3	Выбор направления исследования	Руководитель, студент	2														
4	Теоретические исследования и расчёты	Руководитель, студент	21														
5	Оформление отчета по НИР	Руководитель, студент	13														

Руководитель - ; Студент - ; Руководитель ЭЧ - ; Руководитель СО -

## **6.5 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)**

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

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

### **6.5.1 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 8.



Таблицы 8 – Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество			Цена за ед., 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
Бутадиен	кг	18000	20000	17900	200	200	200	3600000	4000000	3580000
Стирол	кг	5400	6000	5370	60	60	60	324000	360000	322200
Калиевое мыло	кг	1185	1300	1400	20	0	0	23000	26000	28000
Тамол	кг	13,2	0	0	50.5	0	0	667	0	0
Даксад	кг	0	130	130	0	27.5	27.5	0	3575	3575
Трет-додецилмерк аптан	кг	4	4	4	56	56	56	224	224	224
Хлорид калия	кг	0	240	480	0	39	39	0	9360	18720
Пирофосфат калия	кг	0	30	60	0	84	84	0	2520	5040
<b>Итого:</b>								<b>3924891</b>	<b>4401679</b>	<b>3957759</b>

## 6.5.2 Расчет затрат на оборудование для научно экспериментальных работ

В данную статью включают все затраты, связанные с приобретением специального оборудования для выполнения исследования.

Для оборудования нужно рассчитать величину годовой амортизации по следующей формуле:

$$A_{\text{год}} = \frac{C_{\text{перв}}}{T_{\text{пи}}}, \quad (8)$$

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

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

Результаты расчетов приведены в таблице 9.

Таблица 9 – Затраты на специальные оборудования

№ п/п	Наименование оборудования	Кол-во единиц оборудования	Цена единицы оборудования, руб.	Сумма амортизационных отчислений, руб.
1.	Реактор полимеризации	1	1400000	93333
2.	Смеситель	2	672000	44800
3.	Дегазатор	2	1560000	104000
4.	Сушилка	1	350000	35000
5.	Экструдер-гранулятор	1	1030000	68666
<b>Итого</b>			<b>5012000</b>	<b>345799</b>

## 6.5.3 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:

$$З_{\text{зп}} = З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}, \quad (9)$$

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:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p, \quad (10)$$

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.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d}, \quad (11)$$

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

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

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

В таблице 10 приведен баланс рабочего времени каждого работника НТИ.

Таблица 10 – 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:

$$Z_m = Z_{тс} \cdot (1 + k_{пр} + k_d) \cdot k_p, \quad (12)$$

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

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

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

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

Расчет основной заработной платы приведен в таблице 11.

Таблица 11 – 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	12067,25	0,35	1,3	25884,25	1206,725	11,8	14239,35
Бакалавр							
ППС1	8600,25	0,35	1,3	18447,53	860,035	58,2	50053,45
Консультант ЭЧ							
ППСЗ	20080,9	0,35	1,3	43073,5	2008,09	5	10040,45
Консультант СО							
ППСЗ	20080,9	0,35	1,3	43073,5	2008,09	5	10040,45

Общая заработная исполнителей работы представлена в таблице 12.

Таблица 12 – Общая заработная плата исполнителей

Исполнитель	$Z_{осн}$ , руб.	$Z_{доп}$ , руб.	$Z_{зп}$ , руб.
Руководитель	14239,35	2135.9	16375,25
Бакалавр	50053,45	7508.02	57561,47
Консультант ЭЧ	10040,45	1506.07	11546,52
Консультант СО	10040,45	1506.07	11546,52

#### 6.5.4 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 (13):

$$Z_{внеб} = k_{внеб} \cdot (Z_{осн} + Z_{доп}), \quad (13)$$

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 – 30 %.

Отчисления во внебюджетные фонды представлены в табл. 13.

Таблица 13 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата, руб.
Руководитель проекта	14239,35	2135.9
Бакалавр	50053,45	7508.02
Консультант ЭЧ	10040,45	1506.07
Консультант СО	10040,45	1506.07
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	30,5 %	
<b>Итого:</b>	<b>29594,13</b>	

### 6.5.5 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:

$$Z_{\text{накл}} = k_{\text{нр}} \cdot (\text{сумма статей } 1 \div 4), \quad (14)$$

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

Величину коэффициента накладных расходов  $k_{\text{нр}}$  допускается взять в размере 16 %. Таким образом, накладные расходы на данные НТИ составляют 1527027,04 руб.

### 6.5.6 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы (темы) является основой 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 приведен в табл.14.

Таблица 14 – Расчет бюджета затрат НИИ

Наименование статьи	Сумма, руб.			Примечание
	Исп.1	Исп.2	Исп.3	
1. Материальные затраты НИИ	3924891	4401679	3957759	Пункт 2.4.1
2. Затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	5012000	5012000	5012000	Пункт 2.4.2
3. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	84373,7	84373,7	84373,7	Пункт 2.4.3
4. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	12656,06	12656,06	12656,06	-
5. Отчисления во внебюджетные фонды	29594,13	29594,13	29594,13	Пункт 2.4.5
6. Накладные расходы	1527027,04	1527027,04	1527027,04	16 % от суммы ст. 1-4
7. Бюджет затрат НИИ	10590541,93	11067329,93	10623409,93	Сумма ст. 1-6

Как видно из таблицы 14 основные затраты НИИ приходятся на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ.

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

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

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получают в ходе оценки бюджета затрат трех (или более) вариантов исполнения научного исследования. Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принимается за базу расчета (как знаменатель), с которым соотносятся финансовые значения по всем вариантам исполнения.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

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

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

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

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

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



Таблица 15 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Объект исследования Критерии	Весовой коэффициент параметра	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1. Способствует росту производительности труда	0,25	5	4	3
2. Удобство в эксплуатации	0,15	4	4	3
3. Надежность	0,20	5	5	3
4. Воспроизводимость	0,25	4	5	4
5. Материалоемкость	0,15	5	4	4
ИТОГО	1	4,6	4,45	3,4

$$I_{p-исп1} = 5*0,25+4*0,15+5*0,20+4*0,25+5*0,15 = 4,6.$$

$$I_{p-исп2} = 4*0,25+4*0,15+5*0,20+5*0,25+4*0,15 = 4,45.$$

$$I_{p-исп3} = 3*0,25+3*0,15+3*0,20+4*0,25+4*0,15 = 3,4.$$

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

$$I_{исп.1} = \frac{I_{p-исп1}}{I_{финр}} \quad (15), \quad I_{исп.2} = \frac{I_{p-исп2}}{I_{финр}} \quad \text{и т.д.} \quad (16)$$

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

$$\mathcal{E}_{cp} = \frac{I_{исп.1}}{I_{исп.2}} \quad (17)$$

Таблица 16 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,957	1	0,96
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,6	4,45	3,4
3	Интегральный показатель эффективности	4,81	4,45	3,54
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1	0,92	0,74

Сравнение значений интегральных показателей эффективности позволяет понять и выбрать более эффективный вариант решения поставленной в бакалаврской работе технической задачи с позиции финансовой и ресурсной эффективности. Таким вариантом решения поставленной задачи является первое исполнение.