

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

---

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

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

Тема работы
<b>Проект узла синтеза бутадиен-стирольного каучука</b>

УДК 678.762.1-134:622.2.001.6

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-2Д31	Матвеева Оксана Николаевна		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ротарь Ольга Васильевна	К. Х. Н., С. Н. С.		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Рыжакина Татьяна Гавриловна	К.Э.Н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Король Ирина Степановна	К.Х.Н.		

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Волгина Татьяна Николаевна	К.Х.Н.		

Томск – 2018 г.

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

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

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

Форма представления работы:

Бакалаврская работа

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

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

Срок сдачи студентом выполненной работы:	28 мая 2018 г.
--	----------------

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

Составил преподаватель:

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

**СОГЛАСОВАНО:**

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

**Перечень результатов обучения (профессиональных и универсальных компетенций), запланированных к достижению выпускниками данной образовательной программы**

Код Результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
<i>Профессиональные компетенции</i>	
P1	Применять базовые и специальные, математические, естественнонаучные, социально-экономические и профессиональные знания в профессиональной деятельности
P2	Применять знания в области современных химических технологий для решения производственных задач
P3	Ставить и решать задачи производственного анализа, связанные с созданием и переработкой материалов с использованием моделирования объектов и процессов химической технологии
P4	Разрабатывать новые технологические процессы, проектировать и использовать новое оборудование химической технологии, проектировать объекты химической технологии в контексте предприятия, общества и окружающей среды
P5	Проводить теоретические и экспериментальные исследования в области современных химических технологий
P6	Внедрять, эксплуатировать и обслуживать современное высокотехнологичное оборудование, обеспечивать его высокую эффективность, выводить на рынок новые материалы, соблюдать правила охраны здоровья и безопасности труда на химико-технологическом производстве, выполнять требования по защите окружающей среды
<i>Универсальные компетенции</i>	
P7	Демонстрировать знания социальных, этических и культурных аспектов профессиональной деятельности.
P8	Самостоятельно учиться и непрерывно повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности
P9	Активно владеть иностранным языком на уровне, позволяющем разрабатывать документацию, презентовать результаты профессиональной деятельности
P10	Эффективно работать индивидуально и в коллективе, демонстрировать лидерство в инженерной деятельности и инженерном предпринимательстве, ответственность за результаты работы и готовность следовать корпоративной культуре организации

**Министерство образования и науки Российской Федерации**

федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Школа Инженерная школа природных ресурсов

Направление подготовки (специальность) 18.03.01 Химическая технология

Отделение школы (НОЦ) Отделение химической инженерии

УТВЕРЖДАЮ:

Руководитель ООП

Т.Н.

(Подпись)

(Дата)

Волгина

(Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ**

**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

Бакалаврская работа

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

Студенту:

Группа	ФИО
3-2Д31	Матвеева Оксана Николаевна

Тема работы:

Проект узла синтеза бутадиен-стирольного каучука

Утверждена приказом директора (дата, номер)

10135/с от 26.12.2017

Срок сдачи студентом выполненной работы:

28 мая 2018 г.

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

**Исходные данные к работе**

*(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.).*

1. Проект узла синтеза бутадиен – стирольного каучука.
2. Производительность 8000 тонн в год.
3. Режим работы производства – непрерывный.
4. Бутадиен-1,3 и стирол.

<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b></p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, 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></p> <p><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Чертеж общего вида.</li> <li>2. Чертеж сборочных единиц.</li> <li>3. Технологическая схема.</li> </ol>
<p><b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b></p> <p><i>(с указанием разделов)</i></p>	
<p><b>Раздел</b></p>	<p><b>Консультант</b></p>
<p>Социальная ответственность</p>	<p>Король Ирина Степановна</p>
<p>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</p>	<p>Рыжакина Татьяна Гавриловна</p>
<p><b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b></p>	

<p><b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b></p>	<p>02 октября 2017 г.</p>
--	---------------------------

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший научный сотрудник	Ротарь Ольга Васильевна	К. х. н., доцент		02 октября 2017 г.

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-2Д31	Матвеева Оксана Николаевна		02 октября 2017 г.

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

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
3-2Д31	Матвеева Оксана Николаевна

<b>Школа</b>	<b>ИШПР</b>	<b>Отделение школы (НОЦ)</b>	<b>ОХИ</b>
<b>Уровень образования</b>	Бакалавриат	<b>Направление/специальность</b>	180301 Химическая технология
<b>Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:</b>			
1. Стоимость ресурсов проекта: материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих		Работа с информацией, представленной в российских и иностранных научных публикациях, статических бюллетенях и изданиях, нормативно-правовых документах; опрос.	
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов			
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования			
<b>Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:</b>			
1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала проекта		Проведение предпроектного анализа. Определение целевого рынка и проведение его сегментирования. Выполнение SWOT-анализа проекта	
2. Разработка устава научно-технического проекта		Определение целей и ожиданий, требований проекта. Определение заинтересованных сторон и их ожиданий.	
3. Планирование процесса управления проектом: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок		Определение производственной мощности. Расчет сырья, материалов, оборудования, фонда оплаты труда. Расчет себестоимости готового продукта. Расчет точки безубыточности Расчет технико-экономических показателей	
4. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности		Проведение оценки экономической эффективности проекта узла синтеза бутадиев-стирольного каучука.	
<b>Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):</b>			
1. Расчет точки безубыточности графическим и математическим методами.			
2. Расчет технико-экономических показателей			
3. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности проекта			

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

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Рыжакина Татьяна Гавриловна	К.Э.Н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-2Д31	Матвеева Оксана Николаевна		

## Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит 95 страниц, 33 источников, 13 рисунков, 43 таблиц, 3 листа графических материалов. Ключевые слова: бутадиен-стирольный каучук, синтетический каучук, эмульсионная полимеризация.

Объектом исследования является процесс эмульсионной полимеризации бутадиена и стирола.

Цель работы – расчет и проектирования установки получения сополимера бутадиена и стирола путем эмульсионной полимеризацией с производительностью 8 000 т/г.

Проведены инженерные расчеты материального и теплового баланса, а также технико-экономических показателей, ресурсоэффективности и исследования социальной ответственности.

В ходе работы была выбрана технологическая схема производства бутадиен-стирольного каучука эмульсионным способом.

Нормативные ссылки: ГОСТ Р 55066-2012, ГОСТ 10003-90 изм. №2, ГОСТ 201-76, ГОСТ 55054-2012, ГОСТ 4148-78, ГОСТ 10652-73, ГОСТ 15627-79.



## Содержание

Введение.....	13
1. Теоретическая часть.....	14
1.1 Технико-экономическое обоснование производства .....	14
1.2 Виды полимеризации.....	15
1.3 Физико-химические основы процесса.....	19
1.3.1 Механизм процесса эмульсионной полимеризации .....	19
1.3.2 Кинетика эмульсионной полимеризации .....	21
1.3.3 Химизм процесса эмульсионной полимеризации .....	23
1.4 Способы производства бутадиен-стирольного каучука.....	29
1.4.1 Синтез бутадиен-стирольного каучука в растворе.....	29
1.4.2 Синтез бутадиен-стирольного каучука в эмульсии .....	31
1.5 Объекты и методы исследования .....	34
1.5.1 Характеристика используемого сырья.....	34
1.5.2 Описание технологической схемы .....	36
1.5.3 Характеристика производимой продукции .....	41
2. Инженерные расчеты .....	44
2.1 Материальный баланс.....	44
2.2 Технологический расчет основного аппарата.....	55
2.2.1 Расчет размеров аппарата.....	55
2.2.2 Тепловой расчет.....	57
2.3 Механический расчет.....	61
2.3.1 Выбор материала.....	61
2.3.2 Расчет толщины обечайки.....	61
2.3.3 Расчет штуцеров.....	62
2.3.4 Расчет опор.....	63
2.3.5 Подбор рубашки.....	64
3. Нормы технологического режима.....	65
3.1 Контроль производства и управление технологическим процессом.....	65

4. Социальная ответственность.....	68
4.1 Производственная безопасность.....	68
4.1.1 Анализ вредных факторов производства.....	68
4.1.2 Анализ опасных факторов производства.....	68
4.2 Экологическая безопасность.....	71
4.2.1 Анализ воздействия объекта на атмосферу.....	72
4.2.2 Анализ воздействия объекта на гидросферу.....	73
4.2.3 Анализ воздействия объекта на литосферу.....	74
4.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	75
4.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.....	80
5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	82
5.1 SWOT – анализ.....	82
5.2 Планирование производства.....	84
5.2.1 Расчет производственной мощности и производственной программы.....	84
5.2.2 Расчет годового фонда заработной платы персонала установки.....	87
5.2.3 Расчет затрат на производство продукции.....	83
5.2.4 Расчет цены готовой продукции.....	95
5.2.5 Анализ безубыточности по действующему производству.....	96
Заключение.....	100
Литература.....	102

## Введение

Каучуки – это натуральные или синтетические материалы, характеризующиеся эластичностью, водонепроницаемостью и электроизоляционными свойствами. Каучуки являются исходным сырьем для получения резины [1].

Более распространенными являются бутадиен – стирольные каучуки (БСК). Имеют широко выпускаемый ассортимент, что свидетельствует о том, что сырье является доступным. Сырьем для производства являются: бутадиен и стирол. Бутадиен-стирольные каучуки – семейство синтетических каучуков, большую часть которых получают путем сополимеризации стирола и 1,3-бутадиена [1].

Эти материалы имеют хорошую устойчивость к истиранию и к старению при различных добавках. Более 51 % всех шин для автомобилей изготовлены из БСК различных типов, также, благодаря электроизоляционным свойствам могут быть изготовлена изоляция и защитная оболочка для кабелей. Современная обувная промышленность использует синтетические каучуки для изготовления цветных и прозрачных подошв, черных каблуков.

Объектом исследования является процесс эмульсионной сополимеризации бутадиена и стирола.

Цель работы – расчет и проектирование установки получения сополимера бутадиена и стирола эмульсионным способом с производительностью 8000 т/год.

Приводится обоснование выбранного метода производства, описание сырья и готовой продукции, подробное описание технологического процесса, материальные и тепловые расчеты, выбор и описание основного технологического аппарата, его расчет, описание вспомогательного оборудования. Расчет технико-экономических показателей, ресурсоэффективности, исследование социальной ответственности.

## **1. Теоретическая часть**

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

Бутадиен-стирольный каучук (БСК), бутадиеновый каучук (СКД), этилен-пропиленовый каучук (СКЭП), бутилкаучук (БК), бутадиеннитрильные 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. 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 [2]: 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 России бутадиен – стирольные (метилстирольные) каучуки эмульсионной полимеризации производят четыре промышленных предприятия:

- ОАО «Воронежсинтезкаучук» - 59,7 тыс. тонн/год;
- ООО «Тольяттикаучук» - 78,4 тыс. тонн/год;
- ОАО «Синтезкаучук», Стерлитамак – 59,5 тыс. тонн/год;
- ОАО «Омский каучук» - 81,8 тыс. тонн/год;

- В.ф. ФГУП «НИИСК» - 0,02 тыс. тонн/год.

Эти предприятия выпускают почти весь ассортимент эмульсионных бутадиен – стирольных каучуков, известных и произведенных в мире. И только ОАО «Воронежсинтезкаучук» производит бутадиен – стирольные каучуки (другие заводы - метилстирольные).

Важными свойствами для потребителей шин являются тягово-сцепные на разных дорожных покрытиях, потери качения, силовая и геометрическая неоднородность и материалоемкость [1]. Исходя из этого появилась тенденция производства БСК полимеризацией в растворе.

Шинная промышленность является доминирующим рынком сбыта для этих двух продуктов. Блок-сополимеры стирола и бутадиена, получаемые в растворе, служат идеальным материалом для изготовления подошв [1]. 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 Виды полимеризации**

Исходным сырьем в получении каучуков является сырая нефть, которую разделяют на фракции (углеводороды определенного размера) и далее уже используют в синтезе необходимых мономеров [2]. Мономеры используют для производства синтетических каучуков различными методами полимеризации.

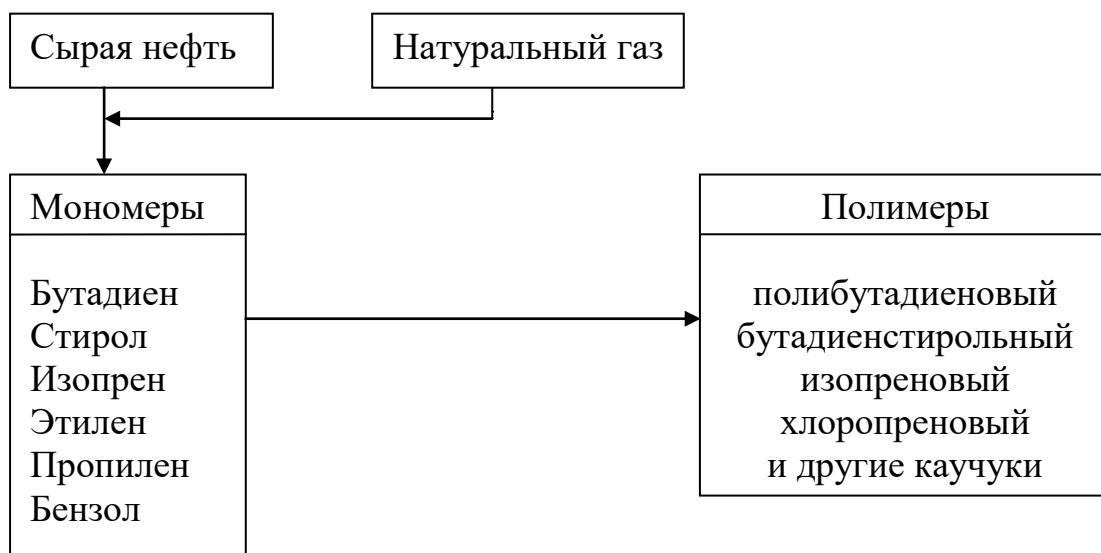


Рисунок 1 – Сырье для производства каучуков

В зависимости от фазового состояния среды, в которой протекает реакция полимеризации, различают следующие виды процесса: жидкофазная, газофазная, эмульсионная и растворная полимеризация [2]. Полученные синтетические каучуки разными способами полимеризации, отличаются структурой, а следовательно, и свойствами.

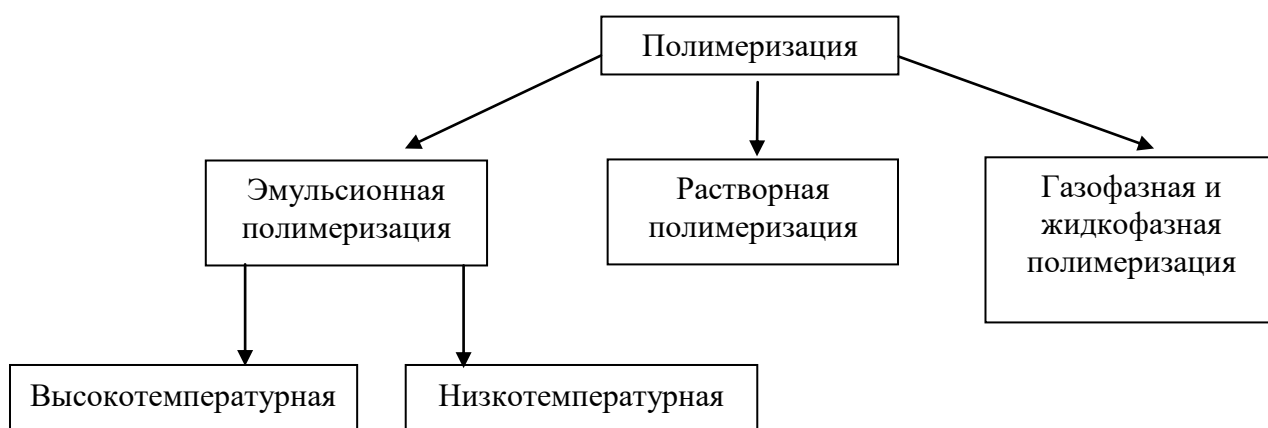


Рисунок 2 – Виды полимеризации

**Газофазная и жидкофазная полимеризация.**

Первым промышленным методом полимеризации был метод синтеза

бутадиена под влиянием металлического натрия в жидкой среде мономера. Позже разработали газофазный метод полимеризации бутадиена. Преимуществами данного метода являются: щелочной металл используется в виде катализаторной пасты, ем увеличивает его поверхность [2]. Получаемый полимер более однородный по качеству. Само производство каучука упростилось, стало более безопасным, и появилась возможность частичной механизации.

Основным компонентом катализаторной пасты выступают щелочные металлы: натрий, калий и литий. Наибольшее преимущество получил натриевый катализатор, но при его использовании получаемый каучук недостаточно морозостойкий и эластичный. В присутствии лития каучук получается с меньшим содержанием 1,2-звеньев в составе полибутадиена, а также имеет лучшую морозостойкость и эластичность. При полимеризации на щелочных металлах получают полимеры с высоким молекулярным весом. Из-за возможных неоднородностей катализатора и перегревов реакционной массы наблюдается образование так называемых «хрящей» - твердых трехмерных образований, которые ухудшают качество каучука.

Широкое применение газофазная полимеризация имела в 30-е годы, а после введения эмульсионной полимеризации, ее популярность резко снизилась [2]. На данный момент газофазная полимеризация сохранилась на единичных заводах, и объем производства каучука по данной технологии незначителен.

Недостатком жидкофазного и газофазного способа полимеризации считается периодичность и невысокое качество каучука по ряду технических показателей.

### **Эмульсионная полимеризация.**

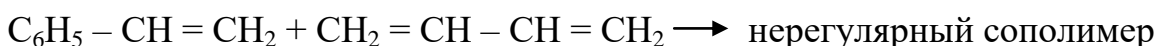
Преимуществами полимеризации в эмульсии заключается в том, что процесс протекает с большей скоростью и его можно организовать по непрерывной схеме [2]. Кроме того процесс хорошо регулируется из – за того, что тепло реакции отводится равномерно, и получаемый полимер имеет

более высокий молекулярный вес, более однороден по структуре и качеству. Полимеризацию в эмульсии, различают высокотемпературную и низкотемпературную эмульсионную полимеризацию. Низкотемпературные эластомеры обладают более высокими физико-механическими показателями по сравнению с высокотемпературными.

### **Растворная полимеризация.**

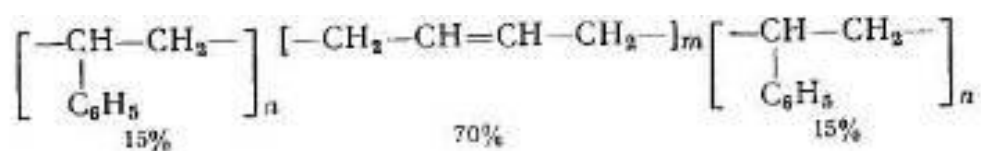
Данная полимеризация обеспечивает эффективный теплообмен в массе раствора, в котором протекает реакция. Следовательно, полученный полимер обладает более лучшим комплексом свойств и более однороден. Применение органических растворов позволяет использовать в процессе полимеризации различные эффективные каталитические системы, с помощью которых можно осуществлять направленный синтез эластомеров и создавать высокомолекулярные соединения с заданной структурой и свойствами. Трудностью данного процесса является необходимость работы с катализаторами, многие из которых являются высокореакционными соединениями и меняют свойства при хранении [2]. Использование таких каталитических систем требует тщательной подготовки и очистки мономеров и растворителей, которые используются в синтезе.

При сополимеризации бутадиена со стиролом в полярном растворителе на литийорганических катализаторах или в присутствии добавок, сближающих активность мономеров, образуются статистические сополимеры, близкие по структуре и свойствам к эмульсионным аналогам. Представителем каучуков этого типа является ДССК-25, образующийся при сополимеризации 75% (масс.) бутадиена и 25% (масс.) стирола:



При полимеризации в неполярном углеводородном растворителе и последовательной подаче мономеров получают блоксополимеры типа полистирол-полибутадиен-полистирол, в частности ДСТ-30, обладающий свойствами термоэластопласта [2]:





Аналогичным методом производят бутадиеновые каучуки СКД-Л литиевой полимеризации, отличающиеся от каучуков типа СКД нерегулярной структурой и высокой морозостойкостью.

### **1.3 Физико-химические основы процесса**

#### **1.3.1 Механизм процесса эмульсионной полимеризации**

Скорость полимеризации в эмульсии и строение образующегося полимера, определяются теми же реакциями, что и при полимеризации в массе или в растворе [3]. Однако эти элементарные реакции могут протекать в различных частях полимеризационной системе: в воде, в каплях мономера, на поверхности раздела капля мономера – водная фаза, в мицеллах эмульгатора и, наконец, в полимерно – мономерных частицах, образующихся в процессе полимеризации.

На рисунке 1 показаны схематически четыре возможных участка реакции: 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 [4].

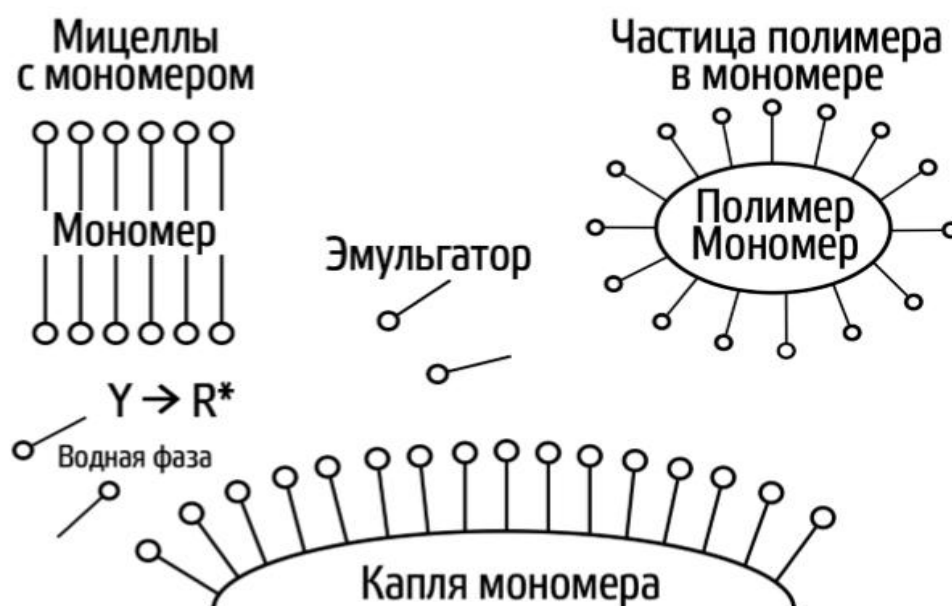


Рисунок 1 – Механизм эмульсионной полимеризации

Если мономеры относительно мало растворимы в воде, то большинство частиц полимера образуется внутри мицелл. К молекуле полимера диффундирует из мономерной фазы и с поверхностного слоя ориентированных мицелл (мицелла (англ. *micelle*) - отдельная частица высокодисперсной коллоидной системы с жидкой дисперсионной средой, состоящая из ядра и поверхностной стабилизирующей оболочки [3]. Средний размер мицелл составляет от 1 до 100 нм) мыла определенное количество мономера, и в результате образуется полимерно-мономерная частица. Примерно при 13% конверсии поглощение мыла полимерно-мономерными частицами настолько велико, что все мицеллы исчезают. Следовательно, наиболее важным участком, где протекает реакция полимеризации (на 83% и более), являются полимерно-мономерные частицы.

Объяснения кинетики эмульсионной полимеризации были заложены Смитом, Эвардом и Говардом.

Капли мономера служат только резервуаром для снабжения мономером сначала мицелл эмульгатора, а затем полимерно-мономерных частиц. Результатом полимеризации является переход эмульсии мономера в дисперсию полимер-латекс [4].

Исследование кинетики эмульсионной полимеризации показывают, что эмульгаторы не ограничиваются только стабилизацией эмульсии, эмульгатор сильно влияет на сам процесс полимеризации, определяя его механизм.

Исходя из кинетической теории, скорость процесса определяется проникновением радикалов в растущие частицы, т.е. самообразование 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% [4].

### **1.3.2 Кинетика эмульсионной полимеризации**

Объяснения кинетики эмульсионной полимеризации были заложены Смитом, Эвардом и Говардом.

В таких системах размер частиц такой, что два радикала, находящиеся в одной и той же частице, взаимно разрушаются в течение очень малых долей секунды [2].

С другой стороны, число частиц и скорости образования радикалов такие, что в среднем новый радикал проникает в частицу один раз за несколько секунд. Следовательно, если эмульсионная полимеризация идет

непрерывно, то в каждый момент почти каждая вторая частица будет содержать растущую цепь, а остальные будут «мертвы».

Из выше сказанного можно сделать выводы.

1) 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 [4]. Такая кинетика процесса показана на примере стирола, бутадиена и изопрена в присутствии некоторых иницирующих систем.

2) так как часто 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 явным объяснение высоких скоростей, возможных при эмульсионной полимеризации.

3) так как длина кинетической цепи определяется скоростью, с которой новые радикалы проникают в отдельную частицу, то не наблюдается обычное обратное отношение между скоростью и  $P$  и, несмотря на то, что высокая скорость полимеризации, можно получить полимеры высокого молекулярного веса, следовательно важно применение «регуляторов» для эмульсионных систем.

Применимость уравнения место для уравнения к эмульсионным системам была доказана Смитом [5]. Наконец, если известно число частиц и концентрация в них мономера, можно вычислить  $k_p$ .

Любая 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.

$$N = k(v/\mu)^{2/5} * (a_s S)^{3/5} \quad (1)$$

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, выполняется качественно при эмульсионной полимеризации вообще.

### **1.3.3 Химизм процесса эмульсионной полимеризации**

Основными компонентами системы эмульсионной полимеризации являются: 1) водная фаза (дисперсионная среда); 2) углеводородная фаза, состоящая из основного и дополнительного мономеров (в процессах совместной полимеризации); 3) эмульгатор; 4) инициатор; 5) активатор (в системах окислительно-восстановительного активирования); 6) регулятор; 7) прерыватель; 8) противостаритель; 9) антифриз (в процессах полимеризации, проводимых при температурах ниже  $0^{\circ}\text{C}$ ) [10].

Основное назначение эмульгаторов – обеспечить устойчивость эмульсии мономеров [7]. А также они являются стабилизаторами для латекса, предотвращающими его расслоение в процессе полимеризации и его самопроизвольную коагуляцию при прохождении латекса через все стадии обработки при производстве эмульсионного синтетического каучука [20]. Наиболее эффективными эмульгаторами, способствующими коллоидному растворению мономеров, являются мыла.

EDiSKAN - эмульгатор представляет собой водный раствор калиевых солей, получаемый путем омыления смесей предварительно диспропорционированных смоляных и жирных кислот.

Преимущества: экологическая безопасность: производится из смоляных и жирных кислот растительного происхождения, способных

разлагаться в сточных водах; экономия: низкий расход эмульгатора на 1 т полимера; оптимальная форма выпуска: готовый к использованию продукт – не нужно разогревать; удобная товарная форма: осуществление подачи в процесс (со)полимеризации непосредственно из приемной тары; использование продукта снижает производственные затраты и увеличивает производительность выпуска каучука.

В качестве инициаторов полимеризации могут быть применимы такие вещества, как перекись бензоила или перекиси жирных кислот, растворимые в мономере, но в обычных системах полимеризации они значительно менее эффективны, чем водорастворимые инициаторы (например, перекись водорода, персульфат калия, diazoneвые соли и др.). в промышленности применяют главным образом соли надкислот, например персульфаты или пербораты. Выбор инициатора зависит от природы других компонентов полимеризуемой смеси.

Активаторы – вещества, которые взаимодействуют с инициатором полимеризации и ускоряют его распад, приводящий к образованию свободных радикалов.

В системах окислительно-восстановительного активирования процессов полимеризации обычно присутствуют восстановительный активатор и окислительный возбудитель; во многих системах обязательно присутствие следов железа, которые должны находиться и в углеродной и водной фазах. Восстановительный активатор должен обладать способностью превращать окисное железо в закисное; окислительный возбудитель, наоборот, должен иметь достаточно высокий потенциал для того, чтобы превращать закисное железо в окисное [10].

Особенно сильное влияние на скорость распада перекисных инициаторов оказывают соединения, способные в условиях полимеризации окисляться перекисями. Так, например, с введением в полимеризационную систему солей двухвалентного железа скорость распада перекиси бензоила увеличивается в сотни раз.

Регуляторы, представляют собой вещества, содержание которых в полимеризуемой смеси даже в небольших количествах способствует заметному увеличению пластичности получаемых сополимеров и их растворимости в бензоле, что имеет большое значение для улучшения обрабатываемости каучуков.

В качестве регуляторов при производстве эмульсионных полимерных каучуков применяются меркаптаны и диизопрпилксантогенатдисульфид (дипроксид) [10]. Весьма распространенными регуляторами при сополимеризации дивинила и стирола являются высокомолекулярные ( $C_{10}$ - $C_{16}$ ) меркаптаны. Чаще всего применяются первичный и третичный додецилмеркаптаны.

При получении эмульсионного сополимерного каучука процесс полимеризации доводится до определенной, заданной по режиму глубины (обычно около 60%). Дальнейшего углубления полимеризации не допускают, так как это приводит к ухудшению свойств каучука. Поэтому по достижении заданной глубины полимеризации в латекс вводят специальные вещества, называемые прерывателями или стопперами (обычно в виде водной суспензии), в результате чего дальнейший ход реакции полимеризации приостанавливается. Прерыватели выполняют следующие функции [20]:

- 1) химически взаимодействуют с остатками инициатора;
- 2) переводят растущие полимерные радикалы в устойчивые соединения, не способные к дальнейшей полимеризации.

В процессах производства дивинил - стирольного каучука, получаемого при  $50^{\circ}C$  с применением персульфата калия как инициатора, для обрыва реакции обычно применяется гидрохинон в количестве 0,1 части от веса исходных мономеров.

В процессах низкотемпературной полимеризации обрыв реакции производится действием диметилдитиокарбамата натрия с добавлением тетрасульфида натрия или нитрита натрия. Диметилдитиокарбамат применяют в количестве 0,2 вес.ч. (к весу каучука).

Противостарители или противоокислители – вещества, которые защищают полимер в латексе и товарный каучук после его выделения из латекса от окисления и тем самым обеспечивают возможность их хранения и переработки.

В качестве противостарителя для каучуков, на основе которых готовятся обычные (темные) резины, наиболее широко применяется неозон Д-фенил-β-нафтиламин.

При осуществлении полимеризации при температурах ниже 0<sup>0</sup>С, для предотвращения замерзания необходимо добавлять в эмульсию специальные вещества – антифризы. Метанол является наиболее пригодным антифризом для процессов полимеризации, проводимых при отрицательных температурах [2].

#### 1) Инициаторы.

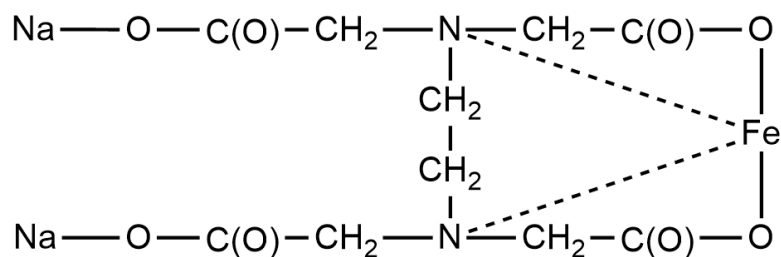
При производстве синтетических каучуков эмульсионную полимеризацию разделяют на два вида: при высокой (45-50 °С) или при низкой (5°С) температурах, так называемые “горячая” и “холодная” полимеризация соответственно.

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  $FeSO_4$ .

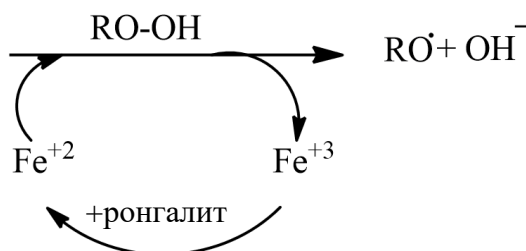
Для того, чтобы удерживать концентрацию  $Fe^{+2}$  низкой применяют динатриевую соль этилендиаминтетрауксусной кислоты (Трилон Б). Ион  $Fe^{+2}$  связывается с атомами азота координационными связями [1]:



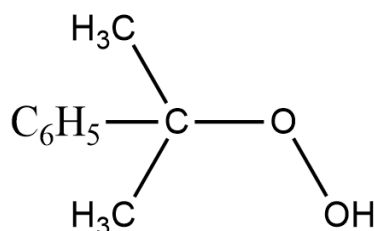


Такая конфигурация ограничивает возможности к диссоциации и позволяет в течение длительного времени удерживать концентрацию ионов на низком уровне.

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:



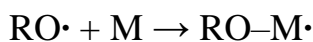
В качестве окислителя используют гидропероксиды; самый доступный из них – гидропероксид изопропилбензола (ГПИПБ):



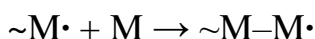
Такая окислительно-восстановительная система является наиболее распространённой при низкотемпературной эмульсионной полимеризации синтетических каучуков.

2) Инициация и рост цепи.

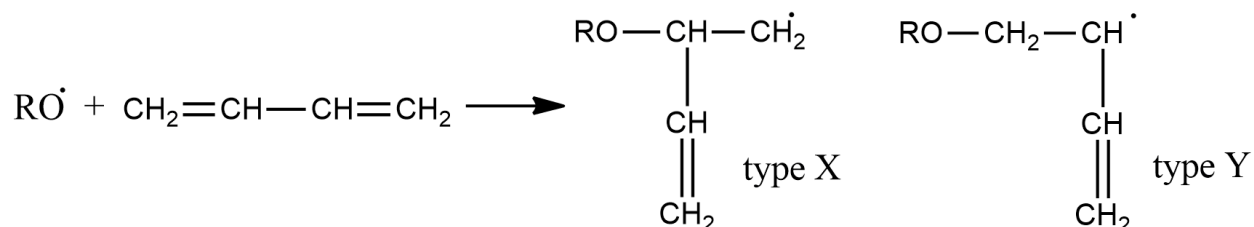
Радикал, образовавшийся на стадии инициирования, к примеру, RO·, только один раз встречается с мономером, активируя реакционный центр и тем самым дав начало реакции роста цепи [1]:



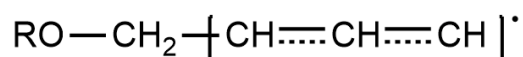
Далее рост идёт по принципам радикальной полимеризации: рост полимерной цепи идёт за счет присоединения мономера к активному макрорадикалу:



Особенностью является диеновый мономер, в котором реакции с активным центром сначала принимает двойную 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 π-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' [1]:



3) Обрыв цепи.

Основными реакциями обрыва цепи являются рекомбинация и диспропорционирование, протекающие при взаимодействии двух растущих микрорадикалов [1]. Первая характеризуется низкими энергиями активации, порядка 0 – 4 кДж/моль, а вторая - наоборот, высокими 13 – 16 кДж/моль [1].

Кроме того, при увеличении степени превращения, можно прийти к нежелательным последствиям: передача цепи на полимер становится более вероятной, поэтому полимер становится более разветвленным. Во избежание этого, нужно не доводить степень превращения до высоких концентраций, а держать её на уровне 65-70 % [1]. Для этого понадобятся ингибиторы (стопперы), которые при введении в реакционную массу останавливают процесс полимеризации.

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

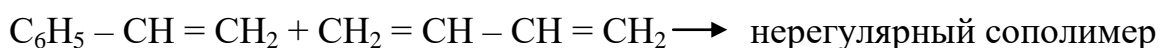
Основные, существующие на данный момент, методы промышленного получения БСК – синтез БСК в растворе и синтез БСК в эмульсии. Основная масса, получается путем радикальной полимеризации в эмульсии, но кроме этого бутадиен способен к сополимеризации со стиролом по анионному механизму, следовательно, проводить синтез также можно и в растворе, с использованием литийорганических катализаторов [6]. Стоимость таких каучуков выше, так как технология более энергоемка и сложна, но выигрыш в свойствах должен окупить затраты.

##### **1.4.1 Синтез бутадиен – стирольного каучука в растворе**

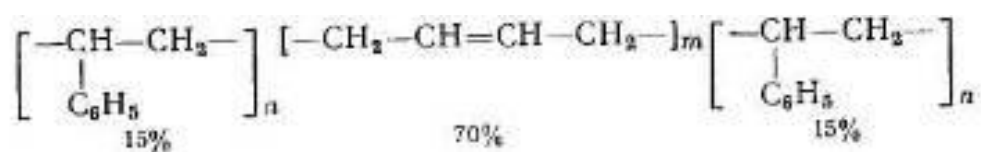
Полимеризация в растворе обеспечивает эффективный теплообмен в массе раствора, в котором протекает реакция. Полученный полимер более однороден и обладает лучшим комплексом свойств. Применение органических растворов позволяет использовать в процессе полимеризации различные эффективные каталитические системы, с помощью которых

можно осуществлять направленный синтез эластомеров, создавать высокомолекулярные соединения с заданной структурой и свойствами. Трудностью для проведения таких процессов является работа с катализаторами, большая часть которых является реакционными соединениями и тем самым меняют свои свойства во время хранения. Использование таких систем требует более тщательной подготовки, очистки мономеров и растворителей, используемые в синтезе [1].

При сополимеризации бутадиена со стиролом в полярном растворителе на литийорганических катализаторах или в присутствии добавок, сближающих активность мономеров, образуются статистические сополимеры, близкие по структуре и свойствам к эмульсионным аналогам. Каучуком такого типа является ДССК-25, получаемый путем сополимеризации 75% (масс.) бутадиена и 25% (масс.) стирола:



При полимеризации в неполярном углеводородном растворителе и последовательной подаче мономеров получают блоксополимеры типа полистирол-полибутадиен-полистирол, в частности ДСТ-30, который обладает свойствами термоэластопласта:



Аналогичным методом производят бутадиеновые каучуки СКД-Л литиевой полимеризации, отличающиеся от каучуков типа СКД нерегулярной структурой и высокой морозостойкостью.

Процесс анионной полимеризации проводят на литийорганических соединениях, к примеру, втор-бутилитий [7]. 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 связанного стирола: ДСТ-30, ДМСТ-Р.

Переработка таких полимеров осуществляется следующими методами: каландрование, экструзия, литье под давлением; поскольку не требуют вулканизации [1].

Основным недостатком является пониженная температуростойкость.

#### **1.4.2 Синтез бутадиен – стирольного каучука в эмульсии**

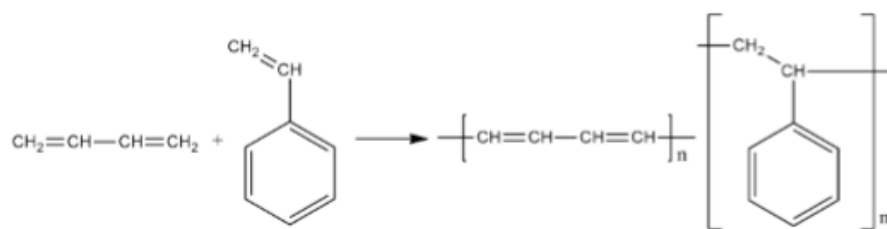
Достоинствами полимеризации в эмульсии перед полимеризацией в растворе является то, что процесс протекает с большой скоростью и его можно организовать по непрерывной схеме [1]. Так же процесс хорошо регулируется за счет того, что тепло реакции отводится равномерно, полученный полимер имеет высокий молекулярный вес, однороден по структуре и качеству. Полимеризацию в эмульсии различают на высокотемпературную и низкотемпературную полимеризацию. Каучуки полученные низкотемпературной полимеризацией обладают более высокими физико-механическими показателями относительно высокотемпературной [8].

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 особым контролем также находится общая жесткость, содержание железа, щелочи, диоксида углерода 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].

В результате получается сложная система, состоящая 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: натриевые соли ароматических сульфокислот, олеаты, , олеаты; сюда же можно отнести мыла на основе канифоли. Последние улучшают свойства каучуков: повышается клейкость резиновых смесей, увеличивается прочность на растяжение, 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.

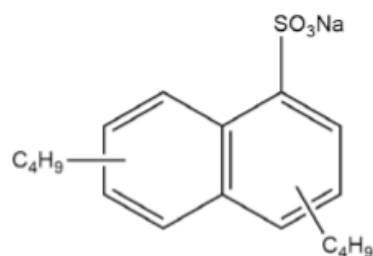


Рисунок 2 - Некаль

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:

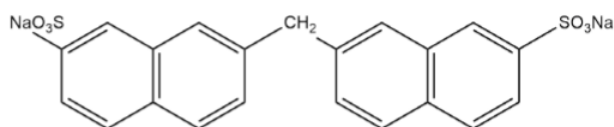


Рисунок 3 – Лейканол

В промышленности бутадиен-стирольные каучуки получают горячей (порядка 50°C) и холодной (порядка 5°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 (C<sub>12</sub> – C<sub>16</sub>).

В результате проведения полимеризации получается 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].

## **1.5. Объекты и методы исследования**

### **1.5.1 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 [19]. К тому же, является наиболее дешевым и доступным.

Стирол или фенилэтилен – винилароматический углеводород. Стирол широко применяется в производстве промышленных типов синтетических каучуков, так как этот мономер сравнительно дешев, легко может быть получен в чистом виде и дает сополимеры с хорошими свойствами [20]. При нормальных условиях представляет собой бесцветную жидкость. Практически нерастворим в воде, хорошо растворим в органических



растворителях, хороший растворитель полимеров. Это один из самых многотонажных мономеров. Сополимеры бутадиена - 1,3 и стирола содержат до 30% масс. последнего. Наличие звеньев стирола в макромолекуле каучука повышает эластические свойства и стаильность каучуков и резин, улучшает их технологические свойства [20].

Характеристики используемого сырья показаны в таблице 1 ниже.

Таблица 1 – 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 0,40 0,020 0,006 0,020 0,30 0,00005 0,0010 Отсут-ет
Стирол	ГОСТ 10003-90 изм. №2	Массовая доля стирола, %, не менее; Массовая доля фенилацетиленов, %, не более; Массовая доля дивинилбензола, %, не более; Массовая доля карбонильных соединений в пересчете на бензальдегид, %, не более; Массовая доля перекисных соединений в пересчете на активный кислород, %, не более; Массовая доля полимера, %, не более; Массовая доля стабилизатора паратретбутилпирокатехина, %;	99,80 0,01 0,0005 0,01 0,0005 0,001 0,005-0,0015
Тринатрийфосфат	ГОСТ 201-76	Массовая доля общего P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , %, не менее; рН 1 %-ного водного раствора; Массовая доля нерастворимого в воде остатка, %, не более;	18,5 11,5-12,5 0,03

## Продолжение таблицы 1

Наименование сырья	Государственный или отраслевой стандарт, технические условия, регламент	Показатели по стандарту, обязательные для проверки	Регламентируемые показатели
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-1 (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) ( $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ), %; 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	Массовая доля 2-водной динатриевой соли этилендиамина-N,N,N',N'-тетрауксусной кислоты ( $\text{C}_{10}\text{H}_{14}\text{O}_8\text{N}_2\text{Na}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ), %; Массовая доля нерастворимых в воде веществ, %, не более; Массовая доля железа (Fe), %, не более; Массовая доля меди (Cu), %, не более; Массовая доля тяжелых металлов (Pb), %, не более;	99,0 0,020 0,0050 0,0050 0,005

### 1.5.2 Описание технологической схемы

Процесс получения бутадиен-стирольных каучуков состоит из следующих стадий [12]:

- 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 4.

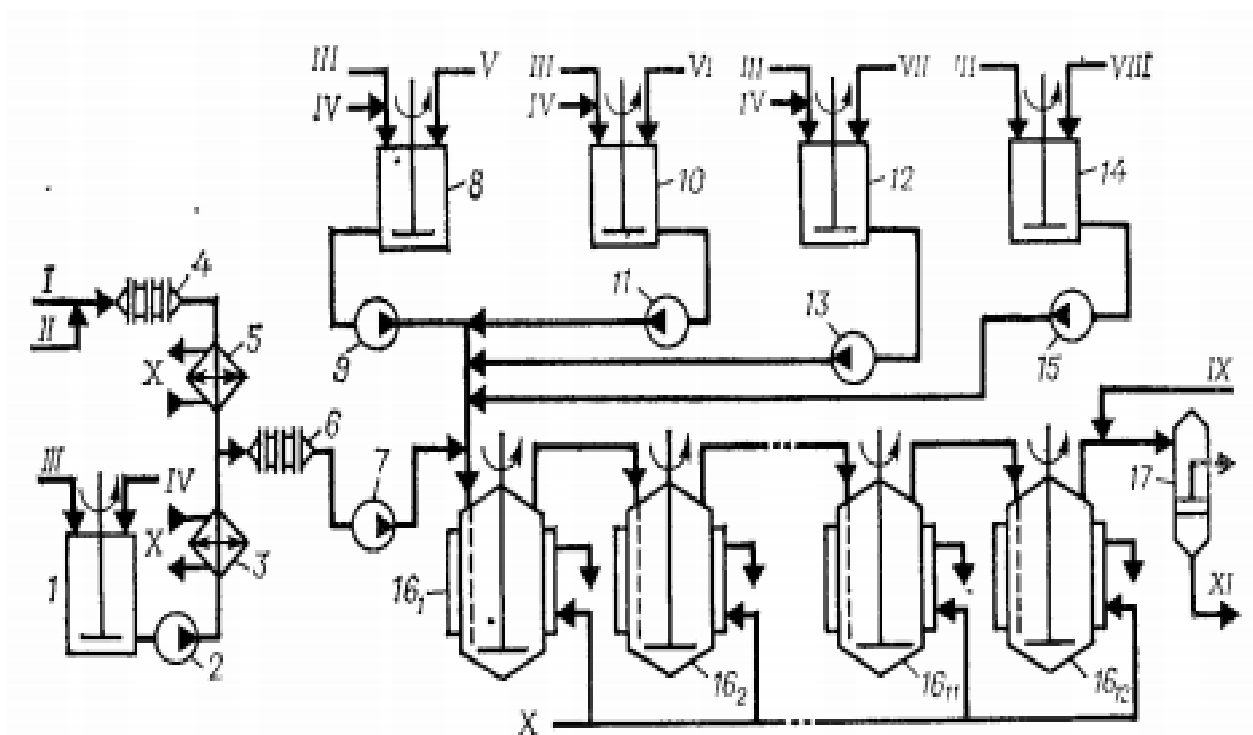


Рисунок 4 – Технологическая схема

*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; 161 – 1612 – 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, состоящая из раствора эмульгатора и электролита, готовится в аппарате 1 путем смешения указанных компонентов. Раствор имеет водородный показатель 10-11 [17].

Далее водная фаза подается насосом 2 через холодильник, который охлаждается рассолом, и идет на смешение в смеситель 6 с углеводородной фазой.

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 пиррофосфата 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 [17].

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, показанной на рисунке.

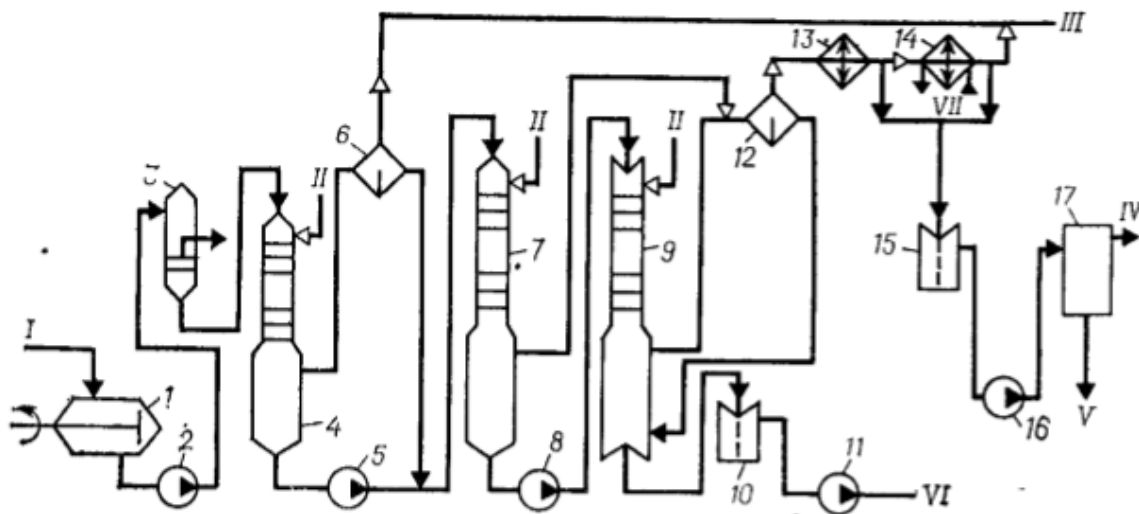


Рисунок 5 - Технологическая схема стадии дегазации

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 колонну предварительной дегазации 4, работающую в режиме прямотока латекс-пар давлением 0,6 Мпа [17].

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) [17].

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 6.

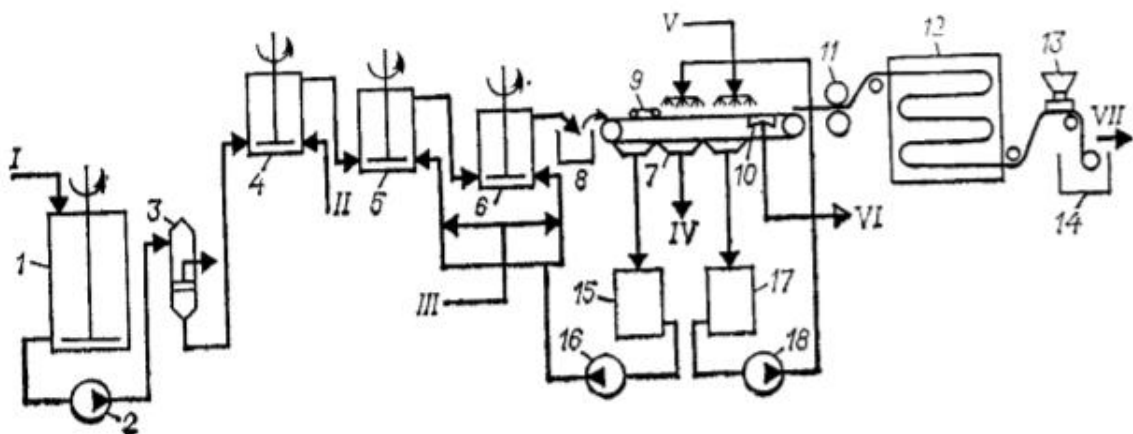


Рисунок 6 – Технологическая схема процесса сушки

*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.*

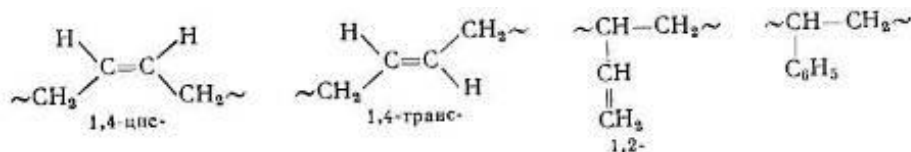
Вначале готовится дисперсия технического углерода. Для этого в смеситель 5 подается умягченная вода и технический углерод из бункера 4. Далее дисперсия и эмульгатор из емкости 2 гомогенизируется в аппарате 6, после чего смесь направляется в первый аппарат каскада коагуляции 7 на смешение с латексом, который подается из мерника 3 [17].

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 вибросите 12 и поступление в молотковую дробилку 13, в конце сушка и упаковка [17].

### 1.5.3 Характеристика производимой продукции

Макромолекула бутадиен-стирольных каучуков, получаемых эмульсионной полимеризацией, характеризуется наличием следующих структур:



Около 80% звеньев бутадиена присоединены в положение 1,4-, около 20% – в положение 1,2– Относительное содержание 1,4-цис-и 1,4-транс-звеньев зависит от температуры полимеризации [20]:

Таблица 5 - Содержание 1,4-цис-и 1,4-транс-звеньев от температуры полимеризации

Содержание звеньев, %	Температура, °C	
	50	5
1,4-транс-	62-65,3	71,7-72,0
1,4-цис-	14,0-18,3	7,0-12,3
1,2-	16,3-23,0	15,8-21,0

Звенья стирола распределены в макромолекуле нерегулярно.

Бутадиен-стирольные каучуки относятся к аморфным некристаллизующимся полимерам. Ниже приведены их физико-химические свойства в таблице 6 [4].

Таблица 6 - Физико-химические свойства

Наименование показателя	Норма
Насыщенность, %	89
Молекулярная масса $\overline{M}_n \cdot 10^{-3}$	1,5-4
Показатель полидисперсности $\overline{M}_w / \overline{M}_n$	2-5
Константы в уравнении Марка-Хувинка (при 25 <sup>0</sup> С в бензоле), К, дл/г	$5,4 \cdot 10^{-4}$
$\alpha$	0,66
Плотность (при соотношении бутадиен : стирол = 70:30), г/см <sup>3</sup>	0,92-0,93
Температура стеклования, <sup>0</sup> С	-52 ÷ -56

Бутадиен-стирольные каучуки растворяются в ароматических и алифатических углеводородах, не владеют стойкостью к действию смазочных масел, но достаточно стойки к действию разбавленных кислот и полярных углеводородов, а так же стойки к действию воды. Структурные изменения вызывают следующие воздействия: теплоты, кислорода, озона и света. Каучуки, заправленные стабилизаторами, не изменяют свойств при хранении в течение двух и более лет.

Эмульсионные бутадиен-стирольные каучуки относятся к наиболее распространенным синтетическим каучукам общего назначения. Основная область их применения – производство шин [20]. Их широко используют также при изготовлении транспортерных лент, различных резинотехнических изделий, обуви и др. Специальные марки бутадиен-стирольных каучуков (например, СКМС-30 АРПД), не содержащие электропроводящих примесей, используются в кабельной промышленности. Бутадиен-стирольные каучуки с низким содержанием стирола (10%) применяются для изготовления изделий, работающих в условиях низких температур. На основе бутадиен-стирольных каучуков изготавливают защитные резины, стойкие к воздействию  $\gamma$ -радиации



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 2– 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

## 5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Продуктом производства является – бутадиен-стирольный каучук.

Целевой рынок – производство шин, обувная промышленность, производство технических продуктов (конвейерные ленты, шланги, кабели и др.).

### 5.1 SWOT –анализ

Проведение SWOT- анализа заключается в исследовании внешней и внутренней среды проекта и состоит из нескольких этапов.

На первом этапе описываются сильные и слабые стороны проекта, выявление возможностей и угроз для реализации данного проекта, проявляющиеся в его внешней среде [29].

Данные исследования первого этапа представлены в таблице 1.

Таблица 28 – Матрица SWOT

<b>Сильные стороны</b>	<b>Слабые стороны</b>
1. Простота сырьевой базы. 2. Усовершенствованная иницирующая окислительно – восстановительная система. 3. Относительно невысокие денежные затраты проекта.	1. Отсутствие прототипа научной разработки. 2. Громоздкость технологической линии. 3. Загрязнение сточных вод.
<b>Возможности</b>	<b>Угрозы</b>
1. Внедрить бессолевую коагуляцию латекса. 2. Разработать более эффективные инициаторы и регуляторы молекулярной массы. 3. Усовершенствовать управление технологическим процессом (компьютеризация).	1. Высокая конкуренция. 2. Введение дополнительных государственных требований к сертификации продукта. 3. Несвоевременное финансирование проекта со стороны государства.

Второй этап исследования состоит из выявления соответствия сильных и слабых сторон проекта внешними условиями окружающей среды. Для этого строим интерактивную матрицу проекта (таблица 2) где каждый фактор

помечается знаком «+» - сильное соответствие сильных сторон возможностям, или знаком «-» - слабое соответствие, либо «0» - есть сомнения [29].

Таблица 29 – Интерактивная матрица проекта

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

На третьем этапе составляем итоговую матрицу SWOT – анализа [29].

Таблица 30 – SWOT – анализ

	<b>Сильные стороны</b>	<b>Слабые стороны</b>
	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Простота сырьевой базы.</li> <li>2. Усовершенствованная иницирующая окислительно – восстановительная система.</li> <li>3. Относительно невысокие денежные затраты проекта.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Отсутствие прототипа научной разработки.</li> <li>2. Громоздкость технологической линии.</li> <li>3. Загрязнение сточных вод.</li> </ol>
<b>Возможности</b>		
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Внедрить бессолевою коагуляцию латекса.</li> <li>2. Разработать более эффективные инициаторы и регуляторы молекулярной массы.</li> <li>3. Усовершенствовать управление технологическим процессом (компьютеризация).</li> </ol>	<p>Внедрение бессолевого коагуляции и разработка более эффективных регуляторов и инициаторов положительно скажется на упрощении сырьевой базы и более совершенной ИОВ-системе.</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>

## Продолжение таблицы 30

Угрозы		
1. Высокая конкуренция. 2. Введение дополнительных государственных требований к сертификации продукта. 3. Несвоевременное финансирование проекта со стороны государства.	Значимая конкуренция на рынке поставит под угрозу использование совершенных ИОВ- систем, кроме того, задержки, связанные с финансированием научного обеспечения, могут подвергнуть адекватность разработки.	Отсутствие прототипа, сертификации научной разработки, приведет к отсутствию спроса и отсутствию конкуренции проекта, а отсутствие финансирования приведет к невозможности получения сертификации.

### 5.2 Планирование производства

Целью экономического расчёта является определение расходов на производство бутадиен – стирольного каучука с учетом увеличения мощности, рассчитать себестоимость на производственную мощность, равную 5,6 тыс тонн БСК и сравнить её с себестоимостью на производственную мощность, равную 8 тыс. тонн БСК.

#### 5.2.1 Расчет производственной мощности и производственной программы

Результатом производственной деятельности предприятия является определенная продукция (работы, услуги) [30]. Основным ограничением объемов производства продукции на фирме выступают производственные возможности.

Производственная мощность предприятия — это максимально возможный выпуск продукции за единицу времени в натуральном выражении в установленных планом номенклатуре и ассортименте, при полном использовании производственного оборудования и площадей, с учетом применения передовой технологии, улучшении организации производства и труда, обеспечении высокого качества продукции [30].

Производственная мощность является величиной динамичной и поэтому должна быть сбалансирована с производственной программой. При планировании производственной мощности необходимо учесть требование достижения равновесия между спросом и предложением на продукцию или услуги [30]. Так, при превышении спроса над предложением необходимо в проектах планировать соответствующий прирост производственной мощности.

Поскольку производственный процесс является непрерывным, на предприятии планируется общая остановка на капитальный ремонт.

Расчет производственной мощности осуществляется по формуле [31]:

$$M = P_{\text{час}} \cdot T_{\text{эфф}} \cdot n,$$

где  $P_{\text{час}}$  – часовая производительность ведущего оборудования, кг/час;

$n$  - количество однотипного оборудования,  $n=6$ .

$T_{\text{эфф}}$  – эффективное время работы оборудования за год по выпуску данного вида продукции, час;

Эффективный фонд времени оборудования:

$$T_{\text{эфф}} = T_{\text{ном.}} - T_{\text{ППР}} - T_{\text{ТО}},$$

где  $T_{\text{ном.}}$  – номинальный фонд работы оборудования;

$T_{\text{ТО}}$  - время технологических остановок;

$$T_{\text{ном.}} = T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}} - T_{\text{ТО}} = 8760 - 2160 - 0 = 6600 \text{ часов,}$$

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

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

$$P_{\text{час}} = 8000 / (6 \cdot 6120) = 0,22 \text{ кг/ч}$$

$$T_{\text{эфф}} = 8760 - 2160 = 6600 \text{ часов.}$$

$$M = P_{\text{час}} \cdot T_{\text{эфф}} \cdot n = 0,22 \cdot 6600 \cdot 6 = 8000 \text{ т/год.}$$

Занесем полученные данные в таблицу 31.

Таблица 31 – Баланс рабочего времени оборудования

Показатели	Количество дней (часов)
Календарный фонд времени	365 (8760)
Режим потери рабочего времени <ul style="list-style-type: none"> <li>• Выходные</li> <li>• Праздники</li> </ul>	90 (2160) 0 (0)
Номинальный фонд рабочего времени	275(6600)
Простой оборудования в ремонтах	20 (480)
Эффективное время работы оборудования за год	255 (6120)

Для анализа использования оборудования рассчитываем экстенсивный и интенсивный коэффициенты. Коэффициент экстенсивного использования оборудования равен [31]:

$$K_{\text{экс}} = T_{\text{эф}}/T_{\text{н}} = 6120 / 6600 = 0,93$$

Коэффициент интенсивного использования оборудования равен

$$K_{\text{инт}} = Q_{\text{пп}}/Q_{\text{max}} = 0,75 / 1 = 0,75$$

где  $Q_{\text{пп}}$  – производительность единицы оборудования в единицу времени;  $Q_{\text{max}}$  – максимальная производительность в единицу времени.

Интегральный коэффициент использования мощности:

$$K_{\text{им}} = K_{\text{экс}} \cdot K_{\text{инт}},$$

$$K_{\text{им}} = 0,93 \cdot 0,75 = 0,7$$

Для определения фактического выпуска продукции рассчитывается производственная программа ( $N_{\text{год}}$ ):

$$N_{\text{год}} = K_{\text{им}} \cdot M,$$

$$N_{\text{год}} = 0,7 \cdot 8000 = 5600 \text{ т/год.}$$

Таблица 32 - Производственная программа выпуска продукции

Наименование показателя	Величина показателя по годам	
	2017	2018
1. Этапы загрузки мощности, %	70%	100%
2. Объем производства, тыс. т/год	5,6	8,0
3. Цена за единицу продукции, руб./т	70 433	70 433
4. Объем продаж, тыс.руб.	394 424,8	563 464,0

## 5.2.2 Расчет годового фонда заработной платы персонала установки

На предприятиях химической промышленности в зависимости от условий труда и степени вредности производства длительность рабочего дня составляет 12 часов. Поэтому возникает потребность в организации постоянной работы. Для этого на заводе организована 2-х сменная работа и составляется график сменности, т.к. работает 4 бригады (А, Б, В, Г) с дополнительными днями отдыха [32].

Таблица 33 - График сменности рабочих на 2017 год

Смена	Время	Дни выходов																					
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19			
1	8-20	Б	Б	А	А	Г	Г	В	В	Б	Б	А	А	Г	Г	В	В	Б	Б	А			
2	20-8	Г	В	В	Б	Б	А	А	Г	Г	В	В	Б	Б	А	А	Г	Г	В	В			
Отсыпной			Г		В		Б		А		Г		В		Б		А		Г				
Выходной	В	А	А	Г	Б	Г	В	А	В	Г	Б	Б	В	А	А	Г	Б	Б	В	А	А	Г	Б

Таблица 34 – Баланс рабочего времени одного среднесписочного рабочего

Показатели	Дни	Часы
Календарное время	365	8760
Нерабочие дни:		
Выходные	91	2184
праздничные	0	0
Номинальный фонд рабочего времени	274	6576
Планируемые невыходы:		
очередные и дополнительные отпуска	28	672
невыходы по болезни	0	0
декретные отпуска	0	0
отпуск в связи с учебой без отрыва от производства	0	0
Эффективный фонд рабочего времени	246	5904

Из графика сменности можно рассчитать величину сменоборота:

$$T_{см-о} = a \cdot b,$$

где  $T_{см-о}$  - длительность сменоборота;

$a$  - количество бригад;

$b$  - количество дней, в течение которых бригада работает одну смену.

$$T_{см-о} = 4 \cdot 2 = 8 \text{ дней}$$

Сменоборот позволяет нам определить количество выходных дней:

$$T_{вых} = \frac{T_{кал}}{T_{см-о}} \cdot n,$$

где  $T_{вых}$  - количество выходных за год;

$T_{кал}$  - время календарное;

$n$  - количество выходных за один сменоборот.

$$T_{вых} = \frac{365}{8} \cdot 2 = 91 \text{ день}.$$

Зная количество выходных за год, можно определить эффективное время работы за год [29]:

$$T_{эфф} = T_{кал} - T_{вых} - T_{отп} - T_{нев},$$

где  $T_{эфф}$  - эффективное время рабочего;

$T_{нев}$  - количество невыходов.

$$T_{эфф.раб} = 365 - 91 - 28 = 246 \text{ дня} = 5904 \text{ часов}$$

Количество производственного персонала, работающего посменно:

$$N_{яв} - \text{явочная численность: } N_{яв} = N_{штат} \cdot S,$$

где  $N_{штат} = 4$  человек - штатное количество человек, работающих в смену;

$S = 2$  - число смен в сутки.

Тогда явочная численность равна:  $N_{яв} = 2 \cdot 4 = 8 \text{ человек}.$

$T_{эфф.раб} = 5904$  часов.

Тогда списочная численность равна:

$$N_{сп} = N_{яв} \cdot K_{пер},$$



где  $K_{пер}$  - коэффициент перехода от явочной численности к списочной.

$$K_{пер} = T_{эфф.об.} / T_{эфф.раб.},$$

где  $T_{эфф.об.} = T_{вых} + T_{эфф.раб} = 2184 + 5904 = 8088$  часов,

$T_{эфф.раб}$  - эффективный фонд рабочего времени одного среднесписочного рабочего, ч.;

$$K_{пер} = 8088 / 5904 = 1,37$$

$$N_{сп} = 1,37 \cdot 8 = 10,96 = 11 \text{ человек}$$

Структура промышленного производственного персонала установки по производству бутадиен – стирольного каучука.

Таблица 35 – Структура производственного персонала

п/п	Группы ППП	Количество человек
	ИТР	2
	Основные рабочие: - операторы - лаборанты химического анализа	4 2
	Вспомогательные рабочие: слесари ремонтники	2
	МОП: уборщик производственных помещений	1
	<b>Итого по установке</b>	<b>11</b>

Тарифная заработная плата включает в себя:  $ЗП_{тар} = T_{ст} \cdot T_{эфф}$ ,

где  $T_{ст}$  - тарифная ставка данной категории рабочих;

$T_{эфф}$  - эффективное годовое время одного среднесписочного работника [32].

Тарифный коэффициент рабочих цеха представлен в таблице 36

Таблица 36 – Часовая тарифная ставка рабочих

Категории рабочих	Часовая тарифная ставка, руб.			
	3 разряд	4 разряд	5 разряд	6 разряд
1. Оператор технологической установки	-	-	41	48
2. Слесарь ремонтник	-	-	-	48
3. Лаборант химического анализа	-	40	43	-
4. ИТР:				
Технолог производства	-	-	-	73
Начальник лаборатории	-	-	-	62
5. Уборщик производственного помещения	36	-	-	-

Премиальные рассчитывается по формуле:

$$D_{\text{прем}} = 0,3 \cdot Z_{\text{тар}}$$

Доплата за работу в ночное время определяется по формуле:

$$D_{\text{н.вр}} = 0,4 \cdot T_{\text{ст}} \cdot t_{\text{н.вр}},$$

где  $t_{\text{н.вр}}$  - время ночной работы, которое для каждого рабочего в год составляет 1092 часа .

Доплата за работу в праздничные дни определяется по формуле:

$$D_{\text{пр}} = T_{\text{пр}} \cdot T_{\text{ст}} \cdot N_{\text{яв}},$$

где  $T_{\text{пр}}$  - количество часов, отработанных в праздник;

$N_{\text{яв}}$  - явочная численность рабочих.

Доплата из фонда мастера рассчитывается по формуле:

$$D_{\text{фм}} = 0,03 \cdot Z_{\text{тар}}.$$

Доплату за бригадирство определяется по формуле:

$$D_{\text{бр}} = 0,15 \cdot ЗП_{\text{тар}},$$

Заработную плату рабочих за год определяется по формуле:

$$\Phi ЗП_{\text{год}} = (ЗП_{\text{осн}} + ЗП_{\text{доп}}) g K_p,$$

где  $ЗП_{\text{осн}}$  - плата за труд;

$ЗП_{\text{доп}}$  - дополнительная плата за нерабочее время;

$K_p$  - районный коэффициент (для Томска он равен 1,3).

$$ЗП_{\text{осн}} = ЗП_{\text{тар}} + D_{\text{прем}} + D_{\text{н.вр.}} + D_{\text{праз}} + D_{\text{бр}};$$

$$ЗП_{\text{доп}} = (t_{\text{отп}} + t_{\text{зос.об}} + t_{\text{уч}}) g ЗП_{\text{осн}} / T_{\text{эфф}},$$

где  $ЗП_{\text{тар}}$  - зарплата по тарифу;

$D_{\text{прем}}$  - доплата премиальная;

$D_{\text{н.вр.}}$  - доплата за ночное время;

$D_{\text{праз}}$  - доплата за работу в праздничные дни;

$D_{бр}$  - доплата за бригадирство.

Начисления на зарплату за год определяется по формуле [32]:

$$N_{зач.} = (Z_{осн} + Z_{доп}) / 100 \cdot 30$$

Таблица 37 – Заработная плата рабочих на установке

Категории рабочих	Кол- тво челове к	ЗП тар	Д прем	Д н.вр	Д празд	Д фм	Д бр	ЗП осн	ЗП доп	ЗП год	ЗП с учетом районного коэффициента (25%)	ЗП с учетом численнос ти
1. ИТР:	2											
-технолог производства	1	430992	129297,6	31886,4	172396,8	12929,76	-	764572,8	293260,8	1057834	1322292	1322292
-начальник лаборатории	1	366048	109814,4	27081,6	146419,2	10981,44	-	649363,2	293260,8	942624	1178280	1178280
2.Оператор технологической установки:	4											
- 5-го разряда	2	242064	72619,2	17908,8	96825,6	7261,92	-	429417,6	293260,8	722678,4	903348	1806696
- 6-го разряда	2	283392	85017,6	20966,4	113356,8	8501,76	-	502732,8	293260,8	795993,6	994992	1989984
3.Лаборант х/ан:	2											
- 4 разряда	1	236160	70848	17472	94464	7084,8	-	418944	293260,8	712204,8	890256	890256
- 5 разряда	1	253872	76161,6	18782,4	101548,8	7616,16	-	450364,8	293260,8	743625,6	929532	929532
4. Слесарь ремонтник 6-го разряда	2	283392	85017,6	20966,4	113356,8	8501,76	-	502732,8	293260,8	795993,6	994992	1989984
5.Уборщик пр. помещений	1	212544	63763,2	15724,8	85017,6	6376,32	-	377049,6	293260,8	670310,4	837888	837888
<b>Итого:</b>	<b>11</b>	<b>230846 4</b>	<b>692539,2</b>	<b>170788,8</b>	<b>923385,6</b>	<b>69253,92</b>	<b>-</b>	<b>4095178</b>	<b>2346086,4</b>	<b>6441264</b>	<b>8051580</b>	<b>10944912</b>

Полученные расчеты представим в таблице 38.

Таблица 38 - Потребность в заработной плате.

Основные рабочие	Вспомогательные рабочие	ИТР	МОП	Сумма
<b>1898340</b>	<b>2814780</b>	<b>2500572</b>	<b>837888</b>	<b>8051580</b>

### 5.2.3 Расчет затрат на производство продукции

#### Расчет годовой потребности в электроэнергии

Таблица 39 - Потребность электроэнергии

Наименование оборудования	Мощность (суммарная), кВт	Кол-во оборудования	Эффективный фонд времени оборудования	Суммарная потребляемая электроэнергия, кВт · ч
1. Полимеризатор	80	6	6120	2937600
2. Центробежные насосы	12	6	6120	440640
3. Резервуар	8	5	6120	244800
4. Освещение производственных помещений	1,7		6120	10404
5. Холодильник	0,9	2	6120	11016
<b>Итого</b>				<b>3644460</b>

#### Расчет годовой потребности в сырье и материалах

Таблица 40 – Потребность в сырье и материалах Q = 5600 т/год

Наименование	Ед. изм.	Цена, тыс.руб.	Расход, кг		Затраты, тыс.руб		
			На ед. готовой продукции	На весь объем производства	На ед. готовой продукции	На весь объем производства	Q= 8000 т/год
1. Стирол	т	90	30	5600	2700	504000	720000
2. Бутадиен-1,3	т	300	70	5600	21000	1680000	2400000
3. Вода деэдарированная	т	16,2	194	5600	3142,8	90720	129600
4. Эмульгатор	т	185	5,8	5600	1073	1036000	1480000
5. Регулятор	т	19,3	0,24	5600	4632	108080	154500
6. Инициатор	т	100	0,075	5600	7,5	560000	800000
7. Прерыватель	т	1,9	0,04	5600	0,076	10640	15200
<b>Итого</b>					<b>32555,4</b>	<b>3989440</b>	<b>5699300</b>

## Расчет амортизационных отчислений

Таблица 41 – Амортизационные отчисления

Наименование	Стоимость, тыс. руб.	Норма амортизации, %	Годовые амортизационные отчисления, тыс. руб.
1. Здания	850	5	45,5
2. Машины и оборудование	280	15	42
- полимеризатор (6 шт.)	120	15	18
- центробежные насосы (6 шт.)	110	15	16,5
- резервуары (5 шт.)	50	15	7,5
3. Лабораторное оборудование	130	10	13
4. Приборы КИПиА	165	8	13,2
5. Инструменты	45	4	1,8
6. Хоз. инвентарь	18	4	0,72
<b>Итого</b>	<b>1768</b>		<b>116,22</b>

## Расчет калькуляции производства

Таблица 42 – Калькуляция производства

Статьи затрат	Ед. изм.	Q= 5600 т/год		Q= 8000 т/год	
		Сумма на 1т, тыс. руб.	Сумма затрат на объем про- ва, тыс. руб.	Сумма на 1т, тыс. руб.	Сумма затрат на объем про- ва, тыс. руб.
<b>Прямые переменные затраты</b>					
1. Сырье	тыс. руб.	27,928	156 396,8448	27,928	223 424,064
2. Электроэнергия	кВт	25,427	142 393,8696	25,427	203 419,8137
<b>Итого условно-переменные издержки</b>		<b>53,355</b>	<b>298 790,714</b>	<b>53,355</b>	<b>426 843,8777</b>
<b>Постоянные затраты</b>					
3. Заработная плата основных производственных рабочих	тыс. руб.	0,678	3 796,68	0,4746	3 796,68
4. Отчисления на соц. нужды	тыс. руб.	0,203	1 139,004	0,1424	1 139,004
<b>Общепроизводственные расходы</b>					
5. Расходы на содержание и экспл. об-я:	тыс. руб.	0,8919	4 994,7036	0,6243	4 994,7036
5.1 Амортизация оборудования	тыс. руб.	0,0075	42,00	0,00525	42,00
5.2 Заработная плата вспомогательного персонала	тыс. руб.	0,680	3 809,772	0,4762	3 809,772

Продолжение таблицы 42

Статьи затрат	Ед. изм.	Q= 5600 т/год		Q= 8000 т/год	
		Сумма на 1т, тыс. руб.	Сумма затрат на объем про-ва, тыс. руб.	Сумма на 1т, тыс. руб.	Сумма затрат на объем про-ва, тыс. руб.
5.3 Отчисление на соц. нужды вспомогательного персонала	тыс. руб.	0,204	1 142,9316	0,1429	1 142,9316
6.Заработная плата ИТР, МОП	тыс. руб.	0,5961	3 338,46	0,41731	3 338,46
7.Отчисление на соц. нужды ИТР, МОП	тыс. руб.	0,1788	1 001,538	0,1252	1 001,538
8.Амортизация зданий, лабораторного оборудования и т.д.	тыс. руб.	0,0133	74,22	0,0093	74,22
<b>Общезаводские расходы</b>					
9.Общезаводские расходы	тыс. руб.	0,678	3 796,68	0,4746	3 796,68
<b>Итого постоянные затраты</b>	<b>тыс. руб.</b>	<b>3,2395</b>	<b>18 141,2856</b>	<b>2,2677</b>	<b>18 141,2856</b>
<b>Полная себестоимость:</b>	<b>тыс. руб.</b>	<b>56,595</b>	<b>316 932,00</b>	<b>55,623</b>	<b>444 985,16</b>

### 5.2.4 Расчет цены готовой продукции

#### Расчет цены

Цену 1 тонны продукта рассчитываем по формуле:

$C = C \cdot (1 + P/100)$ ; где  $P$  – рентабельность 20%;  $C$  – себестоимость;

$C = 56,595 \cdot (1 + 20/100) = 67,914$  тыс. руб;

Выручку от продажи на 8 тыс. тонн продукта рассчитываем по формуле:

$C_{год} = C \cdot Q$ ; где

$Q_{2017} = 5,6$  тыс.т. (объем продаж).

$Q_{2018} = 8$  тыс.т. (объем продаж).

$V_{реал.2017} = 67,914 \cdot 5600 = 380318,4$  тыс. руб.

$V_{реал.2018} = 67,914 \cdot 8000 = 543312$  тыс. руб.

## 5.2.5 Анализ безубыточности по действующему производству

### Построение точки безубыточности.

**Точки безубыточности** - минимальный объем продаж, начиная с которого предприятие не несет убытков [33].

#### 2017 год

$$U_{\text{пост}} = 3,2395 \text{ тыс. руб.}$$

$$U_{\text{перем.}} = 53,355 \text{ тыс. руб.}$$

$$Q = 5,6 \text{ тыс.т. (объём продаж).}$$

$$U_{\text{пост}} \cdot Q = 3,2395 \cdot 5,6 = 18141,2856 \text{ тыс. руб.}$$

$$U_{\text{перем.}} \cdot Q = 53,355 \cdot 5,6 = 298790,714 \text{ тыс. руб.}$$

$$U = U_{\text{пост}} + U_{\text{перем.}} = 18141,2856 + 298790,714 = 316932,0 \text{ руб.}$$

#### 2018 год

$$U_{\text{пост}} = 2,2677 \text{ тыс. руб.}$$

$$U_{\text{перем.}} = 53,355 \text{ тыс. руб.}$$

$$Q = 8 \text{ тыс.т. (объём продаж).}$$

$$U_{\text{пост}} \cdot Q = 2,2677 \cdot 8 = 18141,2856 \text{ тыс. руб.}$$

$$U_{\text{перем.}} \cdot Q = 53,355 \cdot 8 = 426843,8777 \text{ тыс. руб.}$$

$$U = U_{\text{пост}} + U_{\text{перем.}} = 18141,2856 + 426843,8777 = 444985,16 \text{ тыс. руб.}$$

Тогда точка безубыточности определится следующим образом:

$$Q_{\text{кр}} = U_{\text{пост}} / (Ц_{1\text{т}} - U_{\text{перем.1т.}})$$

$$Q_{\text{кр}} = 18141,2856 / (67,914 - 53,355) = 1246,047 \text{ тыс. т.}$$

На основании вычислений строим графики безубыточности для каждого года.



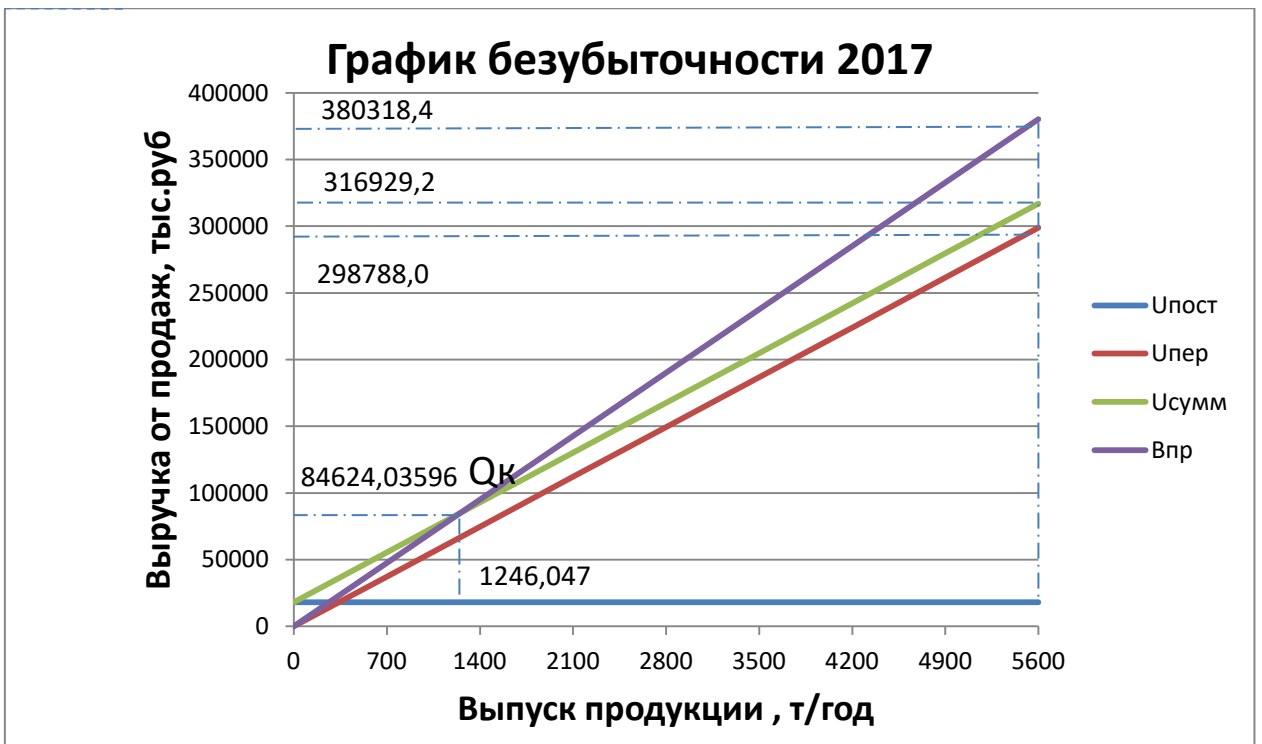


Рисунок 12 - График безубыточности 2017 год  $Q = 5600$  т

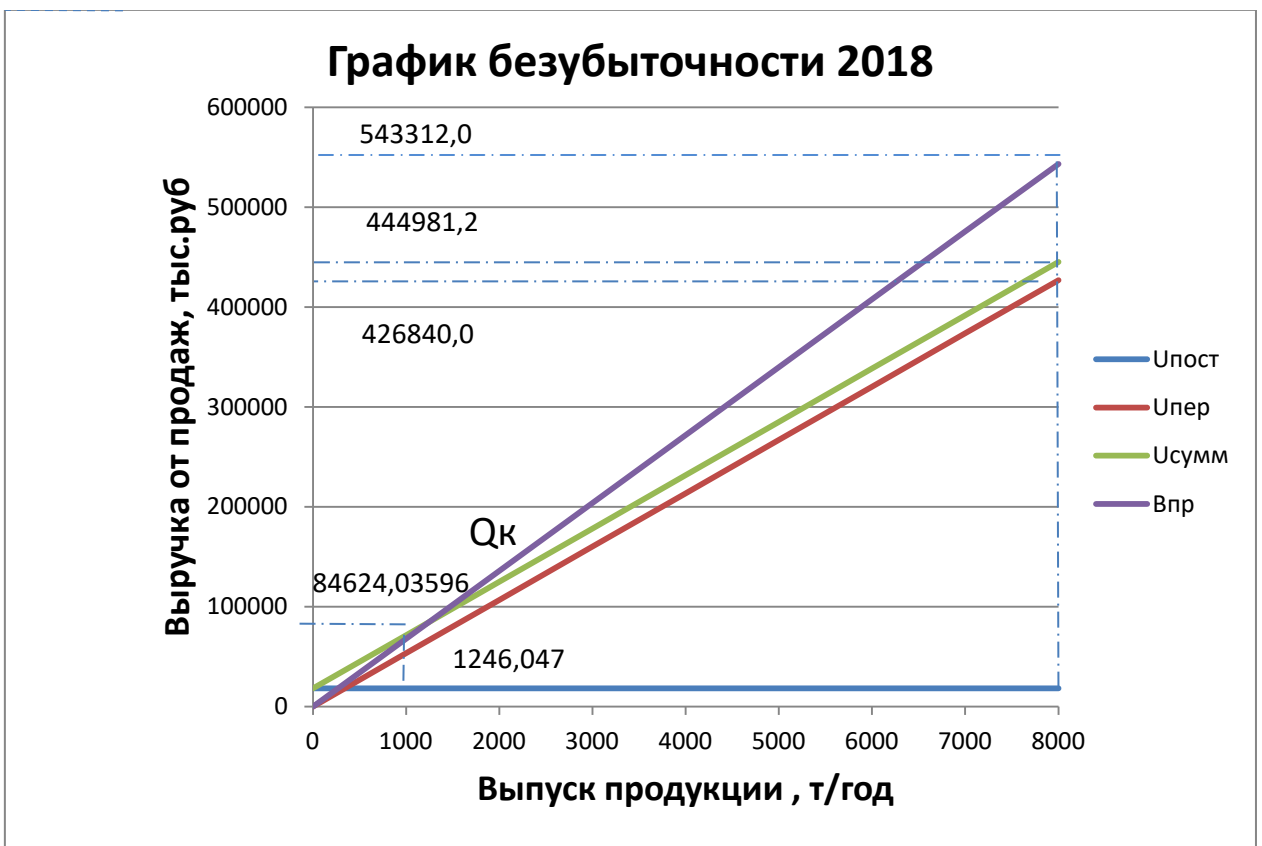


Рисунок 13 – График безубыточности 2018 год 8000 т

Таблица 43 - Техничко-экономические показатели

Наименование показателя	Ед. изм.	2017	2018
Объем производства	тыс. т	5,6	8,0
Объем продаж	тыс. т	5,6	8,0
Цена за тонну	тыс. руб.	67,914	67,914
Выручка от продаж	тыс. руб.	380318,4	543312,0
Суммарные издержки,	тыс. руб.	316929,2	444981,2
в т.ч переменные издержки	тыс. руб.	298788,0	426840,0
в т. ч. постоянные издержки	тыс. руб.	18141,2	18141,2
Операционная прибыль	тыс. руб.	63389,2	98330,8
Налог на прибыль	тыс. руб.	9669,54	14999,61
Чистая прибыль	тыс. руб.	53719,66	83331,19
Себестоимость 1 тонны продукции	тыс. руб.	56,595	55,623
Стоимость основных средств	тыс. руб.	116,22	116,22
Численность основных рабочих	чел.	10	10
Фондовооруженность	тыс. руб./чел	11,622	11,622
Фондоотдача	руб./руб.	3,3	4,7
Фондоёмкость	руб./руб.	0,303	0,213
Производительность труда	тыс. руб./чел	38031,84	54331,2
Рентабельность производства	%	16,8	17,9
Рентабельность продаж	%	14,1	15,3
Qкр. (критический объем продаж)	тыс. т	1246,047	1246,047
Qкр. (критический объем продаж)	тыс. руб.	84624,03596	84624,03596

В результате увеличения загрузки производственной мощности до 8000 т/год получаем следующий эффект:

1. Снижение себестоимости на 1 тонну с 56,595 до 55,623 тыс. руб.
2. Увеличение выручки от продаж с 380318,4 до 543312,0 тыс. руб.
3. Увеличение чистой прибыли с 53719,66 до 83331,19 тыс. руб.
4. Увеличение производительности труда с 38031,84 до 54331,2 тыс. руб.
5. Увеличение рентабельности производства с 16,8 до 17,9%.
6. Увеличение рентабельности продаж с 14,1 до 15,3%.

7. Увеличение суммы налогов с 9669,54 до 14999,61 тыс. руб.

8. Увеличение величины фондоотдачи с 3,3 до 4,7 тыс. руб.

Следовательно, увеличение мощности работающего производства будет рентабельным.