

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

---

Институт Энергетический

Направление подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»

Кафедра Электротехнических комплексов и материалов

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

Тема работы
<b>Проектирование производства и переработки полистирола</b>

УДК 678.746.222.002.001.63

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5ГЗВ	Шлапак Владислав Сергеевич		

Руководитель

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

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Грахова Елена Александровна			

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Извеков Владимир Николаевич	к.т.н.		

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ЭКМ	Гарганеев Александр Георгиевич	д.т.н., профессор		

Томск – 2017 г.

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

Институт Энергетический  
 Направление подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»  
 Кафедра Электротехнических комплексов и материалов

УТВЕРЖДАЮ:  
 Зав. кафедрой

\_\_\_\_\_  
 (Подпись)      (Дата)      (Ф.И.О.)

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

В форме:

<b>Бакалаврская работа</b>
----------------------------

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

Студенту:

Группа	ФИО
5ГЗВ	Шлапак Владислав Сергеевич

Тема работы:

<b>Проектирование производства и переработки полистирола</b>	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	от 28.12.2016 №10915/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	20.06.2017
--	------------

**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>	<p>Литературные данные об устойчивости полимерных материалов к воздействию агрессивных сред, стандарты проведения испытаний, технические характеристики материалов, ГОСТы на соответствия требованиям.</p>
<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. Аналитический обзор литературных источников в области процессов старения полимерных материалов агрессивных средах</li> <li>2. Разработка методики и плана-графика проведения испытаний</li> <li>3. Подготовка образцов и проведение испытаний</li> <li>4. Обработка и анализ результатов испытаний</li> <li>5. Формулировка выводов по результатам работы</li> </ol>
<p><b>Перечень графического материала</b>  <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<p>Графики зависимостей относительного удлинения, предела прочности от времени старения в углеводородной жидкости</p>

<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b> <i>(с указанием разделов)</i>	
<b>Раздел</b>	<b>Консультант</b>
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Грахова Елена Александровна
Социальная ответственность	Извеков Владимир Николаевич
<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>	27.10.2016
---	------------

**Задание выдал руководитель:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Доцент	Ротарь Ольга Васильевна	к.х.н. Ст.н.с.		27.10.2016

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
5ГЗВ	Шлапак Владислав Сергеевич		27.10.2016

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

Студенту:

Группа	ФИО
5ГЗВ	Шлапак Владислав Сергеевич

Институт	ЭНИН	Кафедра	ЭКМ
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	Электроэнергетика и электротехника

**Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:**

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Стоимость материальных ресурсов определялась по средней стоимости рынка; Оклады в соответствии с окладами сотрудников НИ ТПУ (количество исполнителей - 2 человека)
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	15 % доплаты и надбавки; 12-15 % дополнительная заработная плата; 30% районный коэффициент; 16% накладные расходы
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Отчисления по страховым взносам составляют 30,2 % от ФОТ на 2016 год

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

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	SWOT-анализ
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований	Формирование плана и графика разработки: - определение структуры работ; - определение трудоемкости работ; - разработка графика Ганта; - расчет сметы затрат: - материальные затраты; - оплата труда; - отчисления во внебюджетные фонды; - накладные расходы.
3. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности	Определение интегрального показателя ресурсоэффективности

**Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):**

1. Матрица SWOT	
2. Диаграмма Ганта	
3. Бюджет проекта	
4. Оценка ресурсоэффективности	

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

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Грахова Е.А.			

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5ГЗВ	Шлапак Владислав Сергеевич		

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
5ГЗВ	Шлапак Владислав Сергеевич

Институт	ЭНИН	Кафедра	ЭКМ
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	Электроэнергетика и электротехника

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

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения

Оценка влияния углеводородных жидкостей на физико-механические свойства оболочки кабельных изделий

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

#### 1. Производственная безопасность

1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:

- физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой;
- действие фактора на организм человека;
- приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ);
- предлагаемые средства защиты;
- (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства).

- *Вредные вещества;*
- *Микроклимат в помещении;*
- *Шум;*
- *Освещение рабочей зоны.*

1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:

- механические опасности (источники, средства защиты);
- термические опасности (источники, средства защиты);
- электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты);
- пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения).

- *Электробезопасность;*
- *Пожаробезопасность;*

<p><b>2. Экологическая безопасность:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– защита селитебной зоны</li> <li>– анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы);</li> <li>– анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы);</li> <li>– анализ воздействия объекта на литосферу (отходы);</li> <li>– разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– <i>Анализ объекта воздействия на атмосферу;</i></li> <li>– <i>Выброс отходов.</i></li> </ul>
<p><b>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения;</li> <li>– выбор наиболее типичной ЧС;</li> <li>– разработка превентивных мер по предупреждению ЧС;</li> <li>– разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– <i>Наиболее вероятными ЧС при исследовании фторполимерной оболочки являются высвобождение в природную среду обитания больших количеств опасных и вредных для жизни и здоровья людей веществ и агентов.</i></li> </ul>
<p><b>4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;</li> <li>– организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– <i>Перечень законодательных и нормативных документов.</i></li> </ul>

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

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Извеков В.Н.	К.Т.Н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5ГЗВ	Шлапак Владислав Сергеевич		

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 118 с., 23 рисунка, 41 таблицу, 21 литературных источников, 3 листа графических материалов.

**ВЫБОР И ОБОСНОВАНИЕ МЕТОДА ПРОИЗВОДСТВА, ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ, ТЕПЛОВОЙ РАСЧЕТ, МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ, КОНТРОЛЬ ПРОИЗВОДСТВА, СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ.**

Объектом разработки является производство полистирола и его переработка. Цель проектирования – разработка комплекса взаимосвязанных процессов, обеспечивающих производство требуемого полистирола нужного качества при минимальной себестоимости и его переработка.

Область применения полистирола весьма разнообразна: в кабельной промышленности используется как изоляционный материал, широко применяется в производстве некоторых марок пенополистирола прессовым методом, который в свою очередь используется для защиты кабелей от промерзания. (используется как диэлектрик, как конструкционный материал (панели, дверные ручки), для изготовления игрушек, посуды, галантереи и широко применяется в производстве некоторых марок пенополистирола прессовым методом.)

Выпускная квалификационная работа выполнена на кафедре ЭКМ под руководством доцента О. В. Ротарь студентом группы 5ГЗВ Шлапак В.С.

## Содержание

### Оглавление

Введение .....	10
1.1 Теоретическая часть .....	12
1.1.1 Кинетика процесса полимеризации .....	12
1.1.1.1 Закономерности радикальной полимеризации .....	12
1.1.1.2 Закономерности эмульсионной полимеризации .....	15
1.1.2 Термодинамика полимеризационных процессов .....	20
1.1.3 Химизм процесса эмульсионной полимеризации стирола.....	22
1.1.4 Влияние физических и химических факторов на процесс .....	25
1.1.5 Характеристика стирола и полистирола .....	31
1.2 Описание технологической схемы.....	35
2.1 Инженерные расчеты .....	39
2.1.1 Блок-схема.....	39
2.2 Общий материальный баланс .....	39
2.2.1 Постадийный материальный баланс.....	41
2.3 Технологический расчет основного аппарата .....	47
2.3.1 Выбор материала и конструкции основного аппарата .....	47
2.3.2 Расчет размеров единичного аппарата .....	51
2.4 Расчет и подбор вспомогательной аппаратуры .....	54
2.5 Механический расчет .....	59
2.5.1 Выбор фланцев .....	59
2.5.2 Расчет и выбор опор .....	60
2.5.3 Выбор обечайки и патрубков .....	61
2.5.4 Выбор днища и крышки.....	62
3.1 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение .....	65
3.1.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения .....	65
3.1.2 Анализ конкурентных технических решений.....	66
3.1.3 SWOT-анализ .....	67
3.1.4 Определение возможных альтернатив проведения научных исследований .....	70
3.2.1 Структура работ в рамках научного исследования.....	71
3.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ.....	72
3.4 Бюджет научно-технического исследования (НТИ) .....	79
3.4.1 Расчет материальных затрат НТИ.....	79
3.4.2 Расчет затрат на оборудование для научно-экспериментальных работ.....	80
3.4.3 Основная заработная плата исполнителей темы .....	81



3.4.4 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления).....	83
3.4.5 Накладные расходы.....	83
3.4.6 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта .....	84
Заключение.....	87

## Введение

Современное развитие науки и техники связано с прогрессом в области синтеза новых полимеров с уникальными свойствами, модификации промышленных полимеров, технологии изготовления материалов с заданными свойствами и разнообразных изделий на их основе.

Наибольший объем производства в мире (70%) составляют полимеризационные материалы: полиолефины, поливинилхлорид и полистирольные термопласты.

По объему производства полистирольный пластик занимает третье место, уступая в этом отношении только полиэтилену и поливинилхлориду. Высокие диэлектрические свойства, водостойкость и хорошая химическая стойкость, прозрачность и бесцветность, способность легко перерабатываться методом литья под давлением обеспечили ему широкое применение в различных отраслях техники.

Впервые полистирол был получен в лаборатории еще в 1834 г. [1] Процесс синтеза полимера чрезвычайно прост — при нагревании стирола на воздухе в присутствии влаги протекает спонтанная термическая радикальная полимеризация с образованием прозрачного стеклообразного полимера.

В промышленности полистирол начали получать в 1930 г., после того как было налажено крупное производство мономерного стирола, а после второй мировой войны начало стремительно развиваться производство сополимеров стирола.

К полистирольным пластикам принято относить материалы, содержащие более 50% стирола. Это прежде всего так называемые ударопрочные пластики. Поскольку полистирол хрупок, его смешивают с эластомерами. Марочный ассортимент этих материалов оказался весьма широк, а один из сополимеров этого типа (АБС-пластик) стали рассматривать как самостоятельный продукт, отличающийся от ударопрочного полистирола тем, что матрицей для диспергированных каучуковых частиц в нем является статический сополимер

стирола с акрилонитрилом, который обеспечивает материалу более высокую прочность.

В настоящее время крупнотоннажные полимеры составляют 86% общего объема выпуска и потребления термопластов. Особое место среди них занимает полистирол. Однако в последнее время этот пластик испытывает конкуренцию со стороны других крупнотоннажных полимеров, в первую очередь – полипропилена.

В потреблении полистирола на душу населения Россия занимает шестое место (1,75кг) после Китая и Индии (обе страны - по 2,3кг). Возглавляют этот рейтинг США – 12,5кг.

Наиболее потребляемыми пластиками группы полистирола в России являются полистирол общего назначения — 53,1% и вспененный полистирол — 26,9%. АБС-пластик и прочие сополимеры стирола занимают на рынке 14,3% и 5,7% соответственно. [2]

В основном, эти пластики используют в качестве изоляционного материала для высокочастотной техники. Основными потребителями полистирола как диэлектрика являются приборостроительная и кабельная промышленность. Полистирол используется как конструкционный материал в промышленности строительных материалов для изготовления деталей, не работающих под большими механическими нагрузками (панели, облицовочные плитки, дверные ручки и т.д.), также применяется для производства изделий бытового назначения: посуды, галантереи, игрушек, тары.

Эмульсионный полистирол широко применяется в производстве некоторых марок пенополистирола прессовым методом. Пенополистирол используется в качестве теплоизоляционного материала в строительной технике, железнодорожных вагонах и холодильниках.

Несмотря на такую большую потребность, полистирол, а особенно эмульсионный, находится в дефиците. Поэтому является целесообразным разработка проектов по его получению, один из которых представлен в данной работе.

## 1.1 Теоретическая часть

### 1.1.1 Кинетика процесса полимеризации

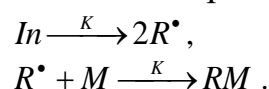
С точки зрения механизма полимеризации стирол является одним из наиболее универсальных мономеров. Он легко полимеризуется под действием инициаторов различного типа. Рассмотрим радикальную полимеризацию стирола.

#### 1.1.1.1 Закономерности радикальной полимеризации

**Радикальная полимеризация** - цепной процесс, основными стадиями которого являются инициирование (образование активных центров), рост цепи и обрыв цепи (гибель активных центров).

**Инициирование** - процесс возбуждения свободно-радикальных цепных процессов, приводящий к образованию из мономерных молекул реакционных центров радикального типа.

Этот процесс описывается двумя последовательными реакциями, одна из которых представляет собой разложение инициатора (In) с образованием свободных радикалов (R), а вторая заключается во взаимодействии радикала с мономером M с образованием активного центра свободно-радикального типа:



Скорости реакций  $V_{ин}$  и  $V'_{ин}$  подчиняются уравнениям:

$$V_{ин} = K_{ин} \cdot [In], \quad (1.2.1)$$

$$V'_{ин} = K'_{ин} \cdot [R] \cdot [M]$$

где  $K_{ин}$ , и  $K'_{ин}$  - константы скоростей соответствующих реакций.

Инициирование радикальной полимеризации возможно различными способами.

Различают термическое инициирование, фотоинициирование, радиационное инициирование, а также химическое инициирование с помощью специально добавленных веществ - инициаторов.

**Термическое инициирование** - процесс возбуждения цепного свободно-радикального процесса только под действием тепла, без введения специальных веществ - инициаторов.

**Фотоинициирование** - процесс образования радикалов из мономерных молекул при действии света.

**Радиационное инициирование** - процесс образования свободных радикалов при действии ионизирующего излучения, которое характеризуется более высокими энергиями, чем ультрафиолетовое.

**Химическое инициирование** - процесс образования свободных радикалов путем термического или фотохимического распада соединений, содержащих лабильные связи (инициаторов), или при окислительно-восстановительных реакциях.

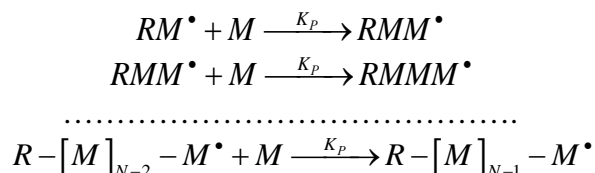
Вещества, легко образующие свободные радикалы в результате гомолитического разрыва лабильных связей, называются инициаторами. К их числу относятся соединения различных классов.

Вещество	Температура разложения, °С
<b>Перекиси</b>	
Перекись бензоила	Около 80
Перекись ацетила	60
Трет-бутилперекись	120-140
Перекись водорода	30-50
<b>Гидроперекиси</b>	
Гидроперекись изопропилбензола	130-140
<b>Персульфаты</b>	
Персульфат калия	40-60

**Рост цепи** - основная стадия радикальной полимеризации, ответственная за макромолекул. Это реакция заключается в последовательном присоединении

молекул мономера к активному центру, причем строение активного центра как свободнорадикальной частицы сохраняется.

В общем виде реакция роста цепи может быть представлена следующим образом:



При образовании макромолекул на стадии роста цепи мономеры могут присоединяться к активным центрам несколькими способами:

- К концу одного звена («хвосту») присоединяется начало («голова») другого - присоединение называется «голова к хвосту»;
- Конец одного мономерного звена присоединяется к концу другого - присоединение называется «хвост к хвосту»;
- Начало одного мономерного звена соединяется с началом другого - присоединение «голова к голове».

Кинетика роста цепи в большей мере определяется эффективной константой скорости роста.

Если принять допущение о независимости реакционной способности растущего радикала от его длины, то скорость роста цепи подчиняется выражению:

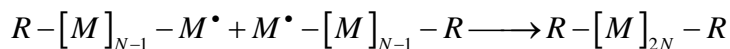
$$V_p = K_p \cdot [M \cdot] \cdot [M], \quad (1.2.2)$$

где  $K_p$  - константа скорости реакции роста цепи,  $[M \cdot]$  - концентрация растущих радикалов,  $[M]$  - концентрация мономера.

**Обрыв цепи** - это реакция гибели активных центров. Истинные обрыв цепи приводит к обрыву материальной и кинетической цепи. Эта реакция может произойти на любой стадии полимеризации, что приводит к получению макромолекул различной длины.

Различают два способа осуществления обрыва цепи: рекомбинацию и диспропорционирование .

**Рекомбинация** - это соединение растущих макрорадикалов друг с другом с образованием валентной связи.



Если  $\kappa_{об}^p$  - константа скорости обрыва рекомбинацией, а  $[M]$  - концентрация растущих макрорадикалов, то скорость реакции обрыва подчиняется уравнению:

$$V_{об}^p = \kappa_{об}^p \cdot [M \cdot]^2 \quad (1.2.3)$$

**Диспропорционирование**- превращение макрорадикалов в неактивные полимерные молекулы в результате межмолекулярной перегруппировки, передачи атома Н от одного радикала к другому.

Если  $\kappa_{об}^d$  - константа скорости реакции обрыва диспропорционированием, а  $[M]$  - концентрация растущих макрорадикалов, то скорость реакции обрыва подчиняется уравнению:

$$V_{об}^d = \kappa_{об}^d \cdot [M \cdot]^2, \quad (1.2.4)$$

При полимеризации возможен обрыв цепи по обоим механизмам.

В общем случае  $\kappa_{об} = \kappa_{об}^p + \kappa_{об}^d$ , тогда  $V_{об} = \kappa_{об} \cdot [M \cdot]^2$

Уравнение для скорости полимеризации выглядит следующим образом:

$$V = k_p \frac{(k_{ин} \cdot f)^2}{k_{об}^{0,5}} \cdot [J]^{0,5} \cdot [M]. \quad (1.2.5)$$

### 1.1.1.2 Закономерности эмульсионной полимеризации

Сущность эмульсионного процесса полимеризации состоит в том, что реакционную массу, представляющую собой эмульсию мономеров в дисперсионной среде с водорастворимым инициатором, выдерживают при перемешивании и определённом режиме до заданной конверсии с образованием конечного продукта в виде латекса с размером частиц полимера не выше 5 мкм.

Полимеризация в эмульсии предполагает наличие следующих основных компонентов: двух и более мономеров, дисперсионной среды, эмульгатора и инициатора.

Дисперсную фазу образуют мономеры, природа и количество которых определяет основной комплекс свойств получаемого полимера.

Дисперсионной средой обычно является вода. Чаще всего в промышленности используют умягчённую или деминерализованную воду, которую иногда подвергают деаэрации для удаления растворённого кислорода, способного ингибировать радикальную полимеризацию многих мономеров.

Соотношение дисперсионной и дисперсной фаз определяется условиями проведения процесса и назначением получаемого латекса.

Обязательным компонентом в эмульсионной полимеризации является эмульгатор. Наиболее часто в качестве эмульгаторов используются мыла (соли жирных и натриевые соли ароматических и алифатических сульфокислот). Мыла карбоновых кислот могут представлять собой индивидуальные вещества (соли олеиновой, стеариновой и др. кислот), но чаще они являются смесями на основе природных или синтетических продуктов.

Молекулярная растворимость мыла в воде очень незначительна, и при увеличении его концентрации выше определённого (критического) значения происходит агрегирование молекул мыла в коллоидальные кластеры или мицеллы. Критическая концентрация мицеллообразования (ККМ) зависит от природы эмульгатора, температуры и многих других факторов. Между частицами эмульгатора в растворе и мицеллах существует динамическое равновесие. Каждая мицелла состоит из 50 - 100 молекул эмульгатора. Мицеллы могут иметь сферическую (рисунок 1) или пластинчатую (рисунок 2) формы:





Рисунок 1.

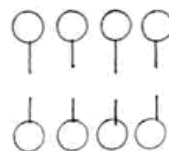


Рисунок 2.

О Углеводородные радикалы

— Полярные группы эмульгатора

В обоих случаях полярные группы эмульгатора располагаются во внешней части мицеллы и обращены к воде, а углеводородные радикалы - во внутренней. Длина пластинчатых мицелл равна 0,1 - 0,3 мкм, а диаметр шарообразных мицелл равен удвоенной длине молекул эмульгатора. Число и размер мицелл зависит от соотношения между количествами эмульгатора и мономера. При увеличении количества эмульгатора возрастает число мицелл меньшего размера, то есть возрастает поверхность мицелл.

При введении мономеров, нерастворимых или плохо растворимых в воде, лишь небольшая часть его растворяется и переходит в раствор. Основная часть мономеров диспергирована в виде капелек, размер которых зависит от скорости перемешивания. Диаметр таких капелек не менее 1 мкм, то есть значительно больше, чем размер мицелл. При наличии мицелл мыла часть молекул мономера диффундирует во внутреннюю часть мицелл. Эту часть мономера можно рассматривать как бы растворившуюся в воде. Явление, когда гидрофобное вещество поглощается мицеллами мыла и стабильно существует в водной фазе, называется стабилизацией.

Эмульгатор играет двоякую роль: во-первых, понижает поверхностное натяжение на границе раздела фаз «мономер - вода», что облегчает эмульгирование мономеров в воде; во-вторых, эмульгаторы сольбизируют мономеры. При увеличении концентрации эмульгатора в реакционной системе скорость полимеризации возрастает. Где и как развивается процесс эмульсионной полимеризации, можно рассмотреть с помощью рисунка 3:

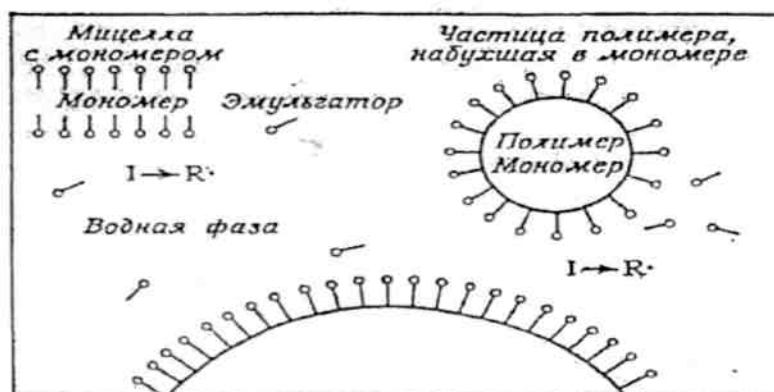


Рисунок 3. Схематическое изображение эмульсионной полимеризационной системы

Несмотря на наличие в системе большого количества мицелл, суммарное количество мицеллярно-растворённых мономеров относительно невелико. Остаток мономеров существует в виде капель эмульсии, на внешней поверхности которых адсорбируются молекулы эмульгатора гидрофобной группой в воде, а гидрофильной - к углеводороду.

Иницирование эмульсионной полимеризации, как правило, осуществляется веществами, растворимыми в воде.

При использовании такого инициатора свободные радикалы образуются в водном растворе и могут встречаться с каплями мономеров и мицеллами, содержащими солюбилизованный мономер.

Именно в мицеллах мыла, во внутренней части которых растворены мономеры, а в поверхностный слой диффундируют свободные радикалы, образовавшиеся в водной фазе в результате распада водорастворимого инициатора, и начинается полимеризация.

Протеканию реакции полимеризации в мицеллах благоприятствует высокая концентрация в них мономеров, и значительно большее, чем в капельках мономеров, отношение поверхности к объёму.

Рост полимерных цепей начинается в небольшой части мицелл (0,1%), присутствующих в системе, и развивается за счёт солюбизированных молекул мономера.

По мере протекания полимеризации мицеллы растут, пополняясь мономерами из капель путём диффузии через водный раствор.

По мере роста размеров активных мицелл, содержащих наряду с мономерами образовавшийся сополимер, они поглощают всё больше и больше молекул эмульгатора из раствора. При этом быстро наступает состояние, когда неактивные мицеллы (те, в которых полимеризация не идёт) становятся неустойчивыми, а эмульгатор, содержащийся в мицеллах, переходит в раствор.

При степени превращения 2 - 15 %, которая зависит от условий полимеризации, размер активных мицелл становится значительно больше, чем исходных мицелл. Их уже нельзя считать мицеллами, а правильнее говорить о частицах полимера, набухшего в мономере. Все мицеллы, и практически весь эмульгатор сорбируется частицами полимера. Вследствие этого капельки мономера становятся неустойчивыми и при прекращении перемешивания начинают сливаться.

В гомогенных условиях полимеризация идёт в частицах полимера при постоянной концентрации мономера за счёт диффузии мономера из капелек. В процессе полимеризации число полимерных частиц не меняется. С увеличением размера полимерных частиц величина капелек мономера уменьшается. Наконец, при степени превращения 50 - 80% капельки мономера исчезают, а частицы полимера содержат весь непрореагировавший мономер. По мере уменьшения концентрации мономера в частицах полимера скорость полимеризации непрерывно падает.

Полимер представляет собой частицы диаметром 0,05 - 0,2 мкм, промежуточные по размеру между исходными мицеллами и капельками мономера.

К числу существенных недостатков эмульсионной полимеризации относится многокомпонентность. Это вызывает необходимость тщательной отмывки сополимера от примесей, влияющих на эксплуатационные свойства полимерных материалов. Кроме основных компонентов эмульсионной системы,

в ней могут присутствовать другие компоненты, например, регуляторы м. м. полимера, из которых большое практическое применение нашли диизопропилксантогендисульфид (дипроксид, применяемых при высокотемпературной полимеризации) и трет-додецилмеркаптан (при низкотемпературной полимеризации).

Кроме инициаторов могут быть применены окислительно-восстановительные иницирующие системы и в этом случае необходимы добавки веществ, облегчающих растворимость солей металлов переменной валентности (восстановителей). Для создания определённого значения рН среды вводят буферы (фосфаты, ацетаты, бикарбонаты щелочных металлов), а для поддержания определённого поверхностного натяжения и снижения вязкости латекса в конце полимеризации в реакционную систему вводят электролиты (KCl, NaCl, K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> и другие ). [6]

### 1.1.2 Термодинамика полимеризационных процессов

Возможность образования высокомолекулярного полимера из мономеров определяется термодинамическими и кинетическими факторами.

Полагая, что в большинстве случаев полимеризация протекает при постоянном давлении, используем уравнение изменения изобарно-изотермического потенциала (энергии Гиббса) системы ( $\Delta G$ ) для описания процесса:

$$\Delta G = \Delta H - T \cdot \Delta S \quad (1.2.6)$$

где  $\Delta H$  - изменение энтальпии системы;

$T$  - абсолютная температура;

$\Delta S$  - изменение энтропии системы.

Полимеризация становится термодинамически возможной, когда термодинамический потенциал системы уменьшается ( $\Delta G < 0$ ). Это ещё не означает, что в данных конкретных условиях процесс будет протекать с ощутимой скоростью или приведёт к образованию продукта с высокой

молекулярной массой. И то и другое определяется кинетическими факторами. [2]

Используя уравнение (1.2.6), можно рассчитать, при каких температурах произойдёт образование высокомолекулярного полимера. Для этого необходимо учесть влияние температуры на термодинамические характеристики системы.

При  $\Delta G=0$  в полимеризационной системе должно установиться равновесие, и соответствующая температура получила название предельной температуры полимеризации ( $T_{пр}$ ).  $T_{пр}$  должна прежде всего определяться значением  $\Delta H$  и фазовым состоянием компонентов системы.

Для перехода жидкий стирол - жидкий (конденсированный) полистирол предельная температура полимеризации равна примерно  $427^{\circ}\text{C}$ . Это значительно выше обычных температур, при которых в технике ведут синтез и переработку полистирола. Если рассматривать систему газообразный стирол - жидкий полистирол, то из-за увеличения значения  $\Delta S$  при переходе из газообразного состояния в жидкое  $T_{пр}$  понижается до  $250^{\circ}\text{C}$ . В приведенных расчетах учитываются только реакции полимеризации и деполимеризации. Выше предельной температуры для данной системы (данные фазовых состояний компонентов) равновесие нацело сдвинуто в сторону образования мономера. Однако в расчетах не учтены возможные побочные реакции, искажающие картину.

Приведенные цифры справедливы для системы, включающей неразбавленный стирол. Для раствора мономера уравнение (1.2.6) трансформируется в уравнение:

$$T_p = \frac{\Delta \tilde{H}'}{\Delta \tilde{S}' + R \cdot \ln[M]} \quad (1.2.7)$$

$$\ln[M]_p = \frac{\Delta \tilde{H}'}{R \cdot T} - \frac{\Delta \tilde{S}'}{R}, \quad (1.2.8)$$

где  $T_p$  - равновесная температура полимеризации (предельная для данной концентрации мономера):

$\Delta\tilde{H}'$  и  $\Delta\tilde{S}'$  - соответственно парциальные мольные энтальпия и энтропия раствора с концентрацией мономера 1 моль/л;

$R$  - газовая постоянная;

$[M]_p$  - равновесная концентрация мономера при данной температуре.

Попытки максимально идентифицировать технологические процессы, протекающие по радикальному механизму, приводят к необходимости значительного повышения температур. Вот здесь проблема сдвига равновесия становится весьма важной. Ниже рассмотрено влияние давления на равновесную температуру полимеризации. Зависимость  $T_{np}$  от давления описывается уравнением Клаузиуса – Клапейрона:

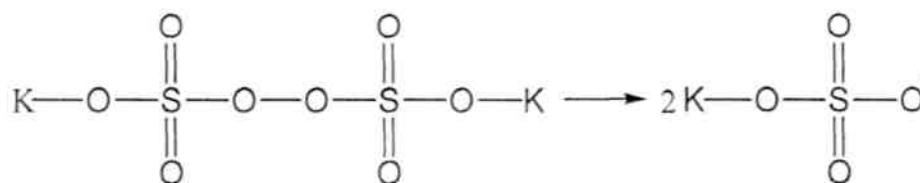
$$\frac{dT_{np}}{dP} = \frac{\Delta V}{\Delta S} = \frac{\Delta V}{\Delta H} \cdot T_{np} \quad (1.2.8)$$

Определяющим, таким образом, становится изменение объема системы.

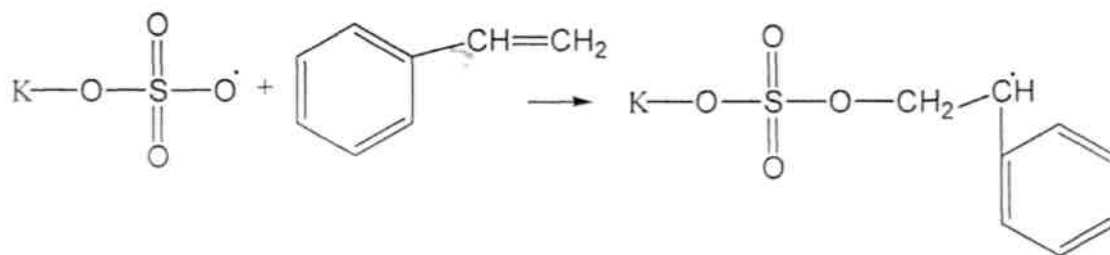
### 1.1.3 Химизм процесса эмульсионной полимеризации стирола

При проведении эмульсионной полимеризации стирола в качестве эмульгатора используем олеат натрия, инициатор - персульфат калия.

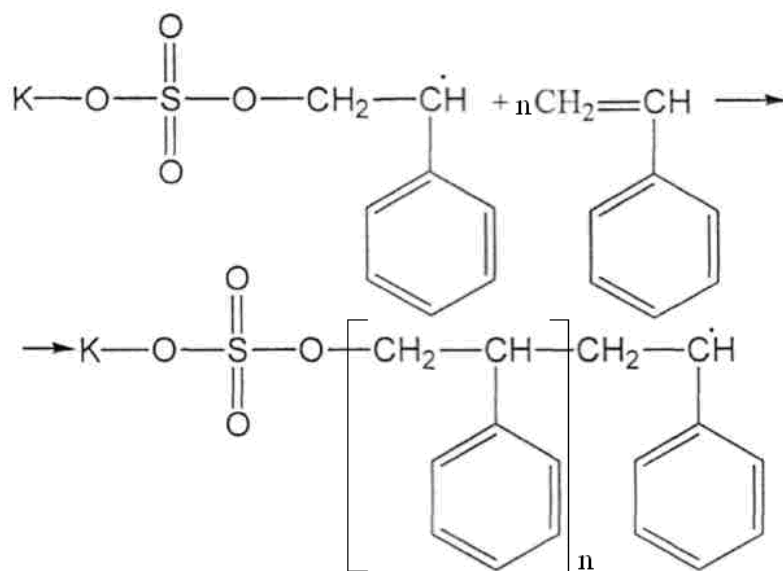
#### 1. Распад инициатора на радикалы.



## 2. Иницирование.



## 3. Рост цепи.

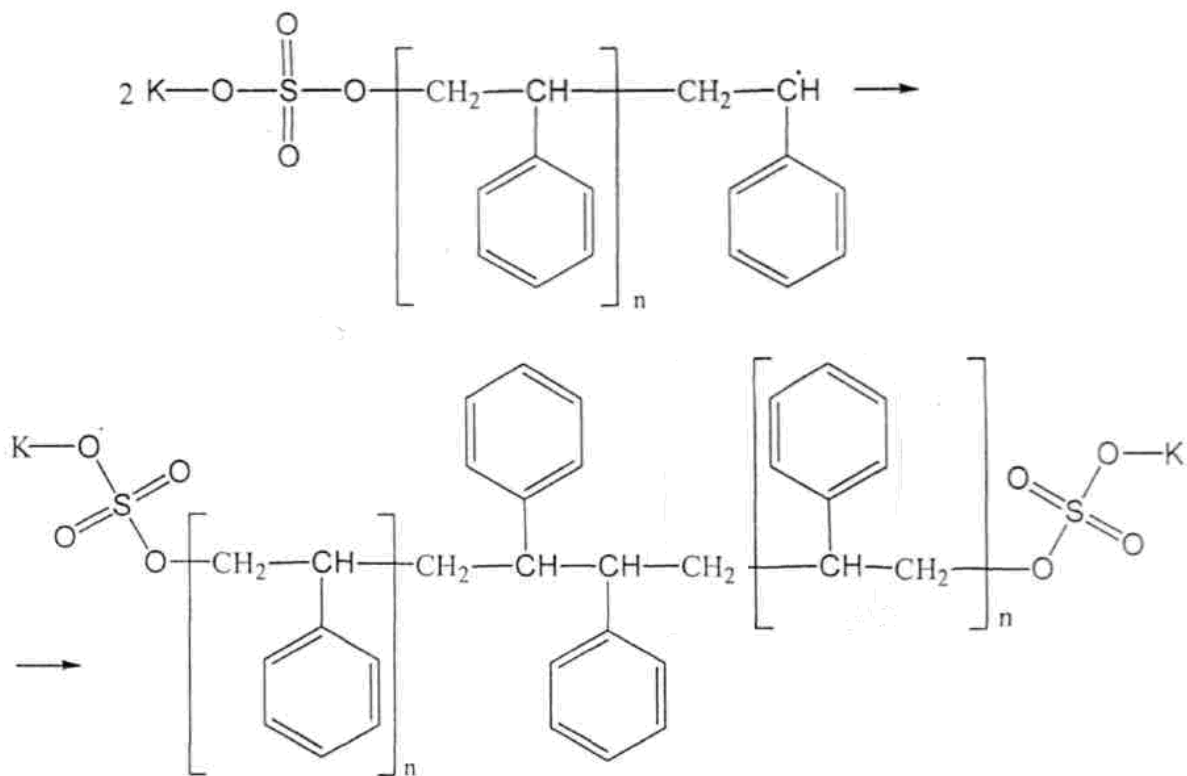


## 4. Обрыв цепи.

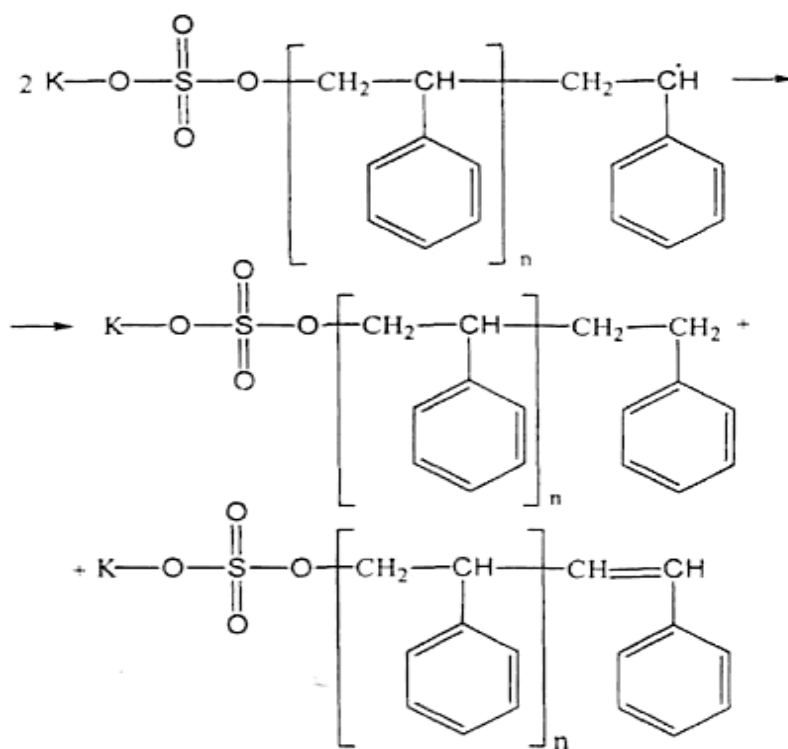
Для радикального процесса полимеризации\* стирола характерна реакция обрыва цепи путем взаимодействия двух полимерных радикалов друг с другом. Так же характерна и другая реакция, приводящая к обрыву полимерных цепей. Это спонтанная реакция передачи цепи на мономер.

а) Обрыв цепи путем взаимодействия двух полимерных радикалов.

1) рекомбиацией

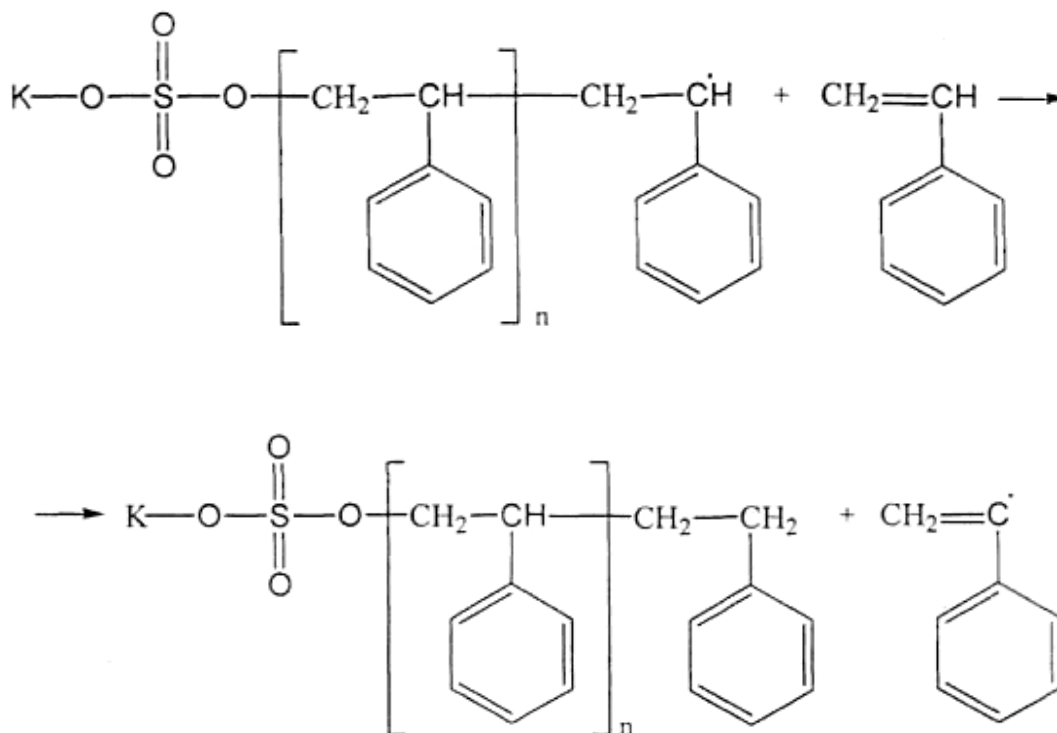


2) диспропорционированием





б) Спонтанная реакция передачи цепи на мономер.



#### 1.1.4 Влияние физических и химических факторов на процесс

На скорость радикальной полимеризации и на величину молекулярной массы оказывают влияние следующие факторы:

- 1) Температура;
- 2) Давление;
- 3) Концентрация мономера;
- 4) Концентрация инициатора;
- 5) Продолжительность процесса полимеризации.

#### Влияние температуры

Повышение температуры приводит к увеличению констант скоростей всех элементарных стадий процесса полимеризации. Наиболее существенное влияние изменение температуры оказывает на стадию инициирования. Повышение скорости инициирования приводит к увеличению числа активных центров и, следовательно, к увеличению роста цепи:

$$V_p = K_p \cdot [M \cdot] \cdot [M] \quad (1.2.9)$$

Одновременно растёт и скорость обрыва цепи:

$$V_{об} = \kappa_{об} \cdot [M \cdot]^2 \quad (1.2.10)$$

Так как концентрация активных центров входит в уравнение обрыва цепи во второй степени, а в уравнение роста цепи в первой степени, это значит, что с повышением температуры скорости обрыва будет возрастать в большей степени, чем скорость роста цепи. Следовательно, с повышением температуры скорости полимеризации возрастает, молекулярная масса полимера уменьшится.

#### *Влияние давления*

Обычно с повышением давления повышается скорость и молекулярная масса полимера.

#### *Влияние концентрации мономера*

С увеличением концентрации мономера повышается скорость полимеризации и увеличивается средняя степень полимеризации.

#### *Влияние концентрации инициатора*

С увеличением концентрации инициатора увеличивается скорость полимеризации, но уменьшается молекулярная масса полимера.

#### *Зависимость скорости полимеризации от времени*

Из основного кинетического уравнения полимеризации следует, что скорость процесса должна уменьшаться с течением времени, поскольку уменьшается концентрация мономеров, а скорость линейно зависит от неё. Но в реальности для большинства полимеров характерно автоускорение, то есть увеличение скорости полимеризации по мере образования полимера.

На скорость эмульсионной полимеризации стирола также оказывает влияние и концентрация эмульгатора. При увеличении концентрации эмульгатора скорость полимеризации увеличивается (рисунок 4). [7]

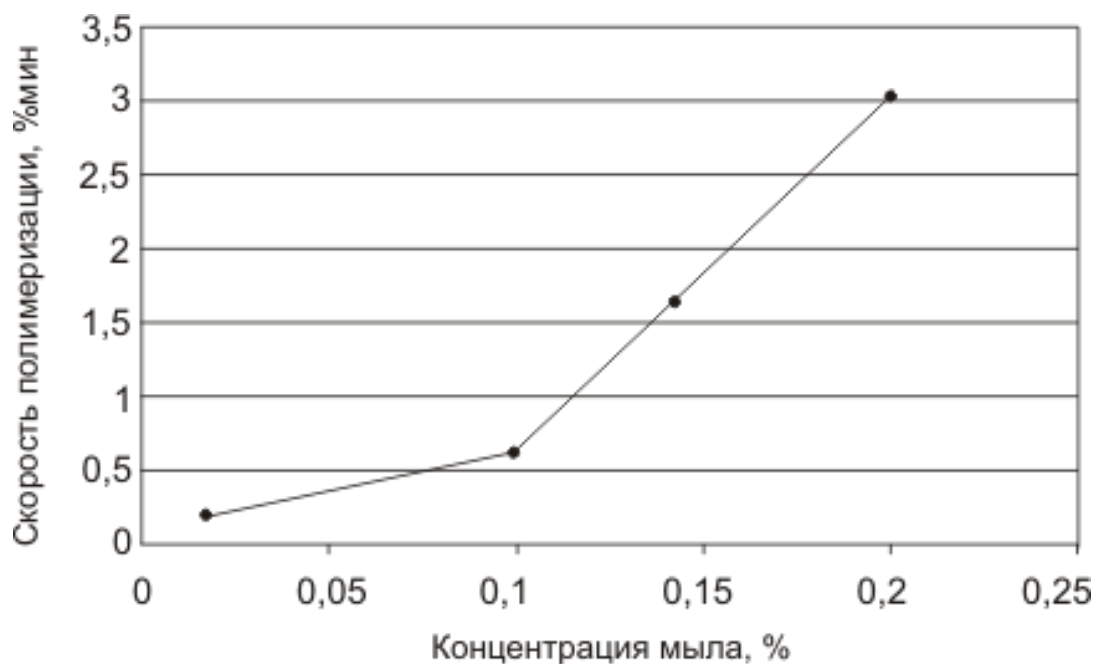


Рисунок 4. Зависимость скорости полимеризации стирола при 60° С от концентрации эмульгатора

В последние годы в связи с научно-техническим прогрессом возросла потребность в новых материалах и синтез полимеров стал играть важную роль в развитии промышленности всего мира. Полимерные материалы могут объединять в себе наилучшие свойства в зависимости от их применения – легкость, прочность, изоляция, пластичность и т. д. Также они имеют существенные экономические преимущества перед другими материалами – изделия из полимеров получают быстро и качественно. Полимерные материалы используют во многих отраслях промышленности, таких как машиностроение, авиация, медицина, сельское хозяйство, строительство и т. д. В настоящее время получают 124 млн. тонн полимеров в год и очевидно, что в дальнейшем эта цифра будет увеличиваться.

К наиболее массовым полимерам относится полистирол. Способ проведения полимеризации оказывает влияние на экономику процесса и на

характеристику получаемого продукта. Поэтому необходимо кратко проанализировать особенности существующих традиционных способов проведения процессов.

В промышленности полимеризацию стирола осуществляют в блоке (в массе), эмульсии и суспензии. Полимеризация в растворе не нашла широкого применения, так как получаемый полимер имеет сравнительно небольшую молекулярную массу и выделение его из раствора представляет значительные трудности. К тому же раствор полистирола (например, лак. клей) не может быть использован из-за низкой ударной прочности образуемого лакового покрытия, клеевого шва. [1]

### Блочный полистирол

Полимеризация стирола в массе (блоке) может проводиться как в присутствии инициатора, так и в его отсутствии.

При полимеризации в присутствии инициатора продукты его распада входят в состав макромолекул полистирола, вследствие чего этим способом не удается получить полистирол с высокими диэлектрическими показателями.

Полимеризация без инициатора (термическая полимеризация) позволяет получить полимер высокой степени чистоты. Существует два вида термической полимеризации: с полной и неполной конверсией.

Достоинства блочной полимеризации по сравнению с другими методами:

1. чистота продукта, так как отсутствуют разбавители;
2. более простая технология по сравнению с другими методами проведения процесса;
3. наибольшая (при прочих равных условиях) экономичность процесса;
4. отсутствие химически загрязненных сточных вод.

Данный способ процесса полимеризации обладает

существенными недостатками:

1. сложность перехода с выпуска одной марки ПС на выпуск другой марки, и вследствие этого узость марочного ассортимента;
2. процесс плохо поддается регулированию, вследствие огромных значений вязкости реакционной среды и затрудненного теплообмена;
3. относительно низкая молекулярная масса.

#### Суспензионный полистирол

Суспензионный полистирол применяется для получения различных малотоннажных марок полистирола и сополимеров стирола. Преимущества суспензионной полимеризации:

1. наличие водной дисперсной среды, что облегчает отвод тепла, упрощает управление процессом и регулирование режима работы реактора;
2. остаточное содержание мономера в полимере очень мало 0.1%, что позволяет применять его для производства изделий, соприкасающихся с пищевыми продуктами;
3. возможность получения большого ассортимента марок полистирола;
4. возможность получения полимера с более низкой степенью полидисперсности;
5. полимер имеет более узкое молекулярно-массовое распределение, по сравнению с блочным полимером, а, следовательно, большая ударная вязкость и теплостойкость.

Но в то же время данный способ полимеризации стирола имеет ряд недостатков:

1. многостадийность и многокомпонентность;
2. загрязнения продукта следами стабилизатора и других добавок;
3. значительное количество сточных вод, требующих очистки;
4. трудоемкость перевода на непрерывную схему.

## Эмульсионный полистирол

Полистирол, полученный эмульсионным методом, применяется главным образом для получения пенополистирола.

К достоинствам данного метода можно отнести следующее:

1. наличие водной дисперсной среды, что облегчает отвод тепла, упрощает управление процессом и регулирование режима работы реактора;
2. возможность проводить процесс при более низких температурах («холодная полимеризация»), чем при полимеризации в суспензии и в массе;
3. отсутствие зависимости между скоростью полимеризации и молекулярной массой образующегося полимера, т.е. есть возможность изменять эти параметры в широких пределах независимо друг от друга;
4. эмульсионный полистирол имеет более высокую молекулярную массу и самый маленький размер полимерных частиц, чем полимер, получаемый другими методами.

Но наряду с преимуществами этот способ имеет и свои недостатки:

1. многостадийность и многокомпонентность;
2. загрязнение продукта следами эмульгатора и других добавок;
3. худшие диэлектрические свойства по сравнению с продуктами получаемыми другими методами;
4. необходимость отделения водной фазы, отмывки реакционной среды, сушки тонкодисперсного полистирола и первичной переработки;
5. значительное количество сточных вод, требующих очистки.

Из вышесказанного следует, что эмульсионный метод полимеризации полистирола в отличие от блочного характеризуется большими достоинствами, в настоящее время широко применяется для получения пенополистирола.

В данной ВКР проектируется узел полимеризации стирола по эмульсионному методу, который обеспечивает низкое содержание стирола в готовом продукте и высокую массу полистирола.

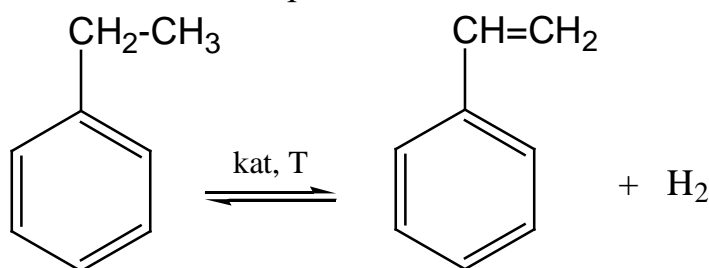
### 1.1.5 Характеристика стирола и полистирола

Стирол - непредельный углеводород, представляющий собой при нормальных условиях бесцветную прозрачную жидкость с приятным сладковатым запахом. Смешивается со спиртами, кетонами, простыми и сложными эфирами, алифатическими, ароматическими и хлорированными углеводородами, сероводородом. В воде при 20°C растворяется 0,026%. При хранении без ингибитора может полимеризоваться.

Легко воспламеняется; предел взрываемости в воздухе 1,1 - 6,1 объемн. %, обладает общим токсичным действием. Пары стирола действуют на слизистые оболочки глаз и носа, жидкий стирол - раздражает кожу.

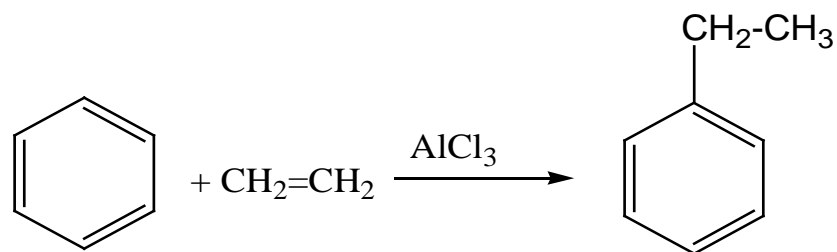
Стирол, служащий сырьем для производства полистирола, находится в легких и оросительных маслах, а также в других фракциях, получаемых при пиролизе нефти и сухой перегонке угля.

В промышленности стирол получают, в основном, дегидрированием этилбензола в присутствии катализаторов:



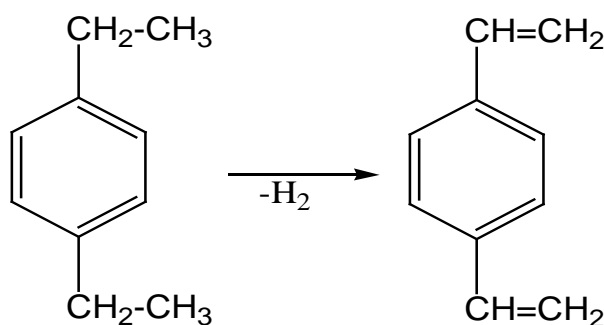
Стирол отделяют от примесей ректификацией.

Исходный продукт для синтеза стирола - этилбензол в промышленности получают из бензола и этилена, главным образом жидкофазным методом в присутствии хлорида алюминия в качестве катализатора:



Реакция алкилирования протекает с образованием не только моноалкилбензола, но и полиалкилбензола.

Очистку сырого этилбензола производят ректификацией. Особенно важно удалить из него *n*-диэтилбензол, который при дегидрировании образует *n*-дивинилбензол:



В присутствии *n*-дивинилбензола при полимеризации стирола происходит сшивание линейных макромолекул полистирола, в результате чего получается неплавкий и нерастворимый продукт сетчатого строения, который не поддается переработке. Нежелательной примесью является также этилбензол, который при выделении из полистирола вызывает его растрескивание или потускнение. Вода, находящаяся в мономере, вызывает помутнение полимера и ухудшение его диэлектрических свойств.

Присутствие в стироле полимера, образующегося при длительном хранении, также является нежелательным.

Для предотвращения самопроизвольной полимеризации стирол обычно ингибируют трет-бутилрокатехином или гидрохиноном. Ингибиторы удаляют перегонкой мономера в вакууме или промывкой разбавленной щелочью, после чего мономер тщательно высушивают.

Если стирол предназначен для полимеризации в эмульсии или суспензии, то после щелочной отмывки водой мономер не сушат. [1]



Некоторые свойства стирола представлены в таблице 1. [3]

Таблица 1 - Важнейшие физические свойства стирола

Параметр	Значение
Плотность $d_{25}^{25}$	0,9045
Показатель преломления $n_D^{25}$	1,54389
Вязкость при 25 °С, спз	0,730
Температура, °С	
Кипения	145,2
Плавления	-30,63
Вспышки	31,0
Воспламенения	34,0
Теплота, кал/г	
Испарения	86,9
Плавления	25,4
Горения	10,04
Полимеризации	168
Удельная теплоемкость при 25 °С, кал/(г град)	0,407
Пределы взрываемости в воздухе, объемн. %	1,1 ÷ 6,1
Усадка после полимеризации, объемн. %	17,0

Полистирол относится к группе весьма инертных пластмасс. Это твердый, жесткий и прозрачный полимер без запаха и вкуса. Полистирол растворяется в стироле, ароматических и хлорированных углеводородах, сложных эфирах и кетонах, но не растворяется в алифатических углеводородах, низших спиртах, этиловом эфире и воде. Полистирол горюч, горит коптящим пламенем.

Достоинства полистирола - высокая водостойкость и стойкость к действию водных растворов кислот, щелочей и солей, прозрачность, удовлетворительные механические свойства, хорошая окрашиваемость, хорошая перерабатываемость в изделия литьем под давлением и экструзией.

Недостатки полистирола - повышенная хрупкость при ударных нагрузках, невысокая рабочая температура, старение под действием солнечного света и склонность вследствие этого к растрескиванию.

Некоторые свойства эмульсионного полистирола представлены в таблице 2.

*Таблица 2 - Физико-химические свойства полистирола, полученного эмульсионным методом [4]*

Параметр	Значение
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	1050 ÷ 1070
Разрушающее напряжение при растяжении, МПа	39,2 ÷ 44
Ударная вязкость, кДж/м <sup>2</sup>	21,6
Относительное удлинение при разрыве, %	2,0
Твердость по Бринеллю, МПа	137 ÷ 196
Теплостойкость по Вика, °С	100 ÷ 105
Тангенс угла диэлектрических потерь при 10 <sup>6</sup> Гц	2 · 10 <sup>-4</sup> ÷ 3 · 10 <sup>-4</sup>
Диэлектрическая проницаемость при 10 <sup>6</sup> Гц	2,6
Содержание остаточного мономера, %	0,15 ÷ 0,2
Водопоглощение за 24ч. %	0,07

## 1.2 Описание технологической схемы

Несмотря на большой ассортимент полимерных материалов и многообразие технологических схем их получения, в промышленной практике используют в общем небольшое число типовых химических и физических процессов.

Химические и физические процессы подразделяются на:

- Процессы массообмена (растворение, экстракция и т. п.);
- Процессы гидромеханические (отстаивание, центрифугирование, фильтрование и др.);
- Процессы теплообмена (подогрев, охлаждение);
- Процессы механические (измельчение, рассев, транспортирование и др.);
- Процессы химические (полимеризация, поликонденсация, реакции в цепях полимеров).

В данной работе рассматривается узел эмульсионной полимеризации стирола. Этот проект включает в себя такие химические и физические процессы как:

- механические (просев и грануляция полистирола, расфасовка и упаковка готового продукта);
- массообмена (очистка мономера, растворение инициатора, эмульгатора и электролита для коагуляции полимера);
- теплообмена (сушка полимера);
- химические (полимеризация стирола);
- гидромеханические (коагуляция полимера).

В промышленности эмульсионный полистирол получают, в основном, периодическим способом, хотя разработаны технологические схемы и непрерывной полимеризации стирола в эмульсии. Перевод производства эмульсионного полистирола на непрерывную схему затруднен из-за большого

количества сточных вод, загрязненных токсичными веществами, а также из-за значительных выделений пылевидного полистирола при его сушке.

Технологический процесс получения полистирола эмульсионным способом складывается из следующих стадий:

1. подготовка сырья (очистка мономера, растворение инициатора, эмульгатора и электролита для коагуляции полимера);
2. полимеризация стирола;
3. коагуляция (осаждение) полимера;
4. промывка и центрифугирование;
5. сушка полимера;
6. просев и грануляция полистирола;
7. расфасовка и упаковка готового продукта;

Перед полимеризацией из мономера удаляют ингибитор (промывкой 5–10%-ным раствором щелочи с последующей отмывкой щелочи водой).

Для проведения полимеризации используют деминерализованную воду, поскольку присутствие солей в воде, во-первых, снижает устойчивость эмульсии, во-вторых, загрязняет полимер, ухудшая его диэлектрические свойства.

Стадия полимеризации проводится в реакторе. Все компоненты, поступающие на эту стадию, являются жидкостями, поэтому для проведения полимеризации выбираем реактор емкостного типа.

Процесс получения полистирола идет при определенной температуре 85°C. Для поддержания температуры на необходимом уровне аппарат снабжают гладкой рубашкой. При проведении процесса полимеризации необходимо тщательное перемешивание, для этой цели используют мешалки различных типов (якорные, рамные, турбинные, лопастные). Выбираем якорную мешалку, она обеспечивает хорошее перемешивание реакционной массы и позволяет интенсифицировать процесс теплообмена.

Продолжительность процесса полимеризации в среднем составляет около 5-7 часов.

Полученную эмульсию собирают в промежуточную емкость. Из этой емкости эмульсию насосом подают на стадию коагуляции. Эта стадия необходима для того, чтобы выделить полимер в твердом виде. С целью выделения полимера в твердом виде к полученному в полимеризаторах латексу прибавляем раствор электролита. Процесс проводят в аппарате емкостного типа, снабженном мешалкой.

Стадию промывки и центрифугирования проводят в двух различных аппаратах. Промывку проводят для того, чтобы отмыть полистирол от электролита, который использовался на стадии осаждения. Данная операция осуществляется в аппарате емкостного типа, снабженном механическим перемешивающим устройством, для промывки в аппарат подается деминерализованная вода. Отделение полимера от водной фазы проводится в центрифуге.

Окончательная сушка полимера проводится в сушилках. Для получения товарного полистирола используем сушилки с кипящим слоем.

Предварительно в реактор поз. Р-7, снабженный рубашкой, мешалкой и конденсатором поз. К-3 подают деминерализованную воду, нагретую до 50°С, и при перемешивании — эмульгатор из мерника поз. М-6 и 10% раствор едкого натра из мерника поз. М-4. Инициатор из мерника поз. М-2 поступает в смеситель поз. См-1, снабженный мешалкой для смешивания с деминерализованной водой. После перемешивания реакционной смеси в полимеризатор вводят также раствор инициатора в воде из смесителя поз. См-1. Смесь нагревают до 70°С. Дальнейшее повышение температуры до 90°С происходит за счет выделения теплоты экзотермической реакции. Общая продолжительность процесса 5 часов, содержание остаточного мономера — не более 0,5%. Полученная суспензия направляется в промежуточную емкость поз. Е-8. Затем суспензия с помощью центробежного насоса поз. Н9/1 медленной струей подается в осадитель поз. О-13, снабженный мешалкой и рубашкой. Для выделения полимера проводят коагуляцию суспензии раствором

алюмокалиевых квасцов из мерника поз. М-11, доводя рН среды до 5,5 — 6,0. Смесь продувают острым паром, нагревают ее до 75 — 85°С, перемешивают в течение 1,5 — 2 ч, добавляют аммиачную воду из мерника поз. М-12. Суспензию промывают в промывателе с мешалкой поз. П-14 деминерализованной водой из мерника поз. М-10. Далее промытый полимер поступает в центрифугу поз. Ц-15. Затем полимер поступает в сушилку поз. С-16 с помощью центробежного насоса поз Н-9/2. Сушку осуществляют в сушилках с кипящим слоем. Остаточная влажность полистирола не должна превышать 0,5%. [1]

## 2.1 Инженерные расчеты

### 2.1.1 Блок-схема

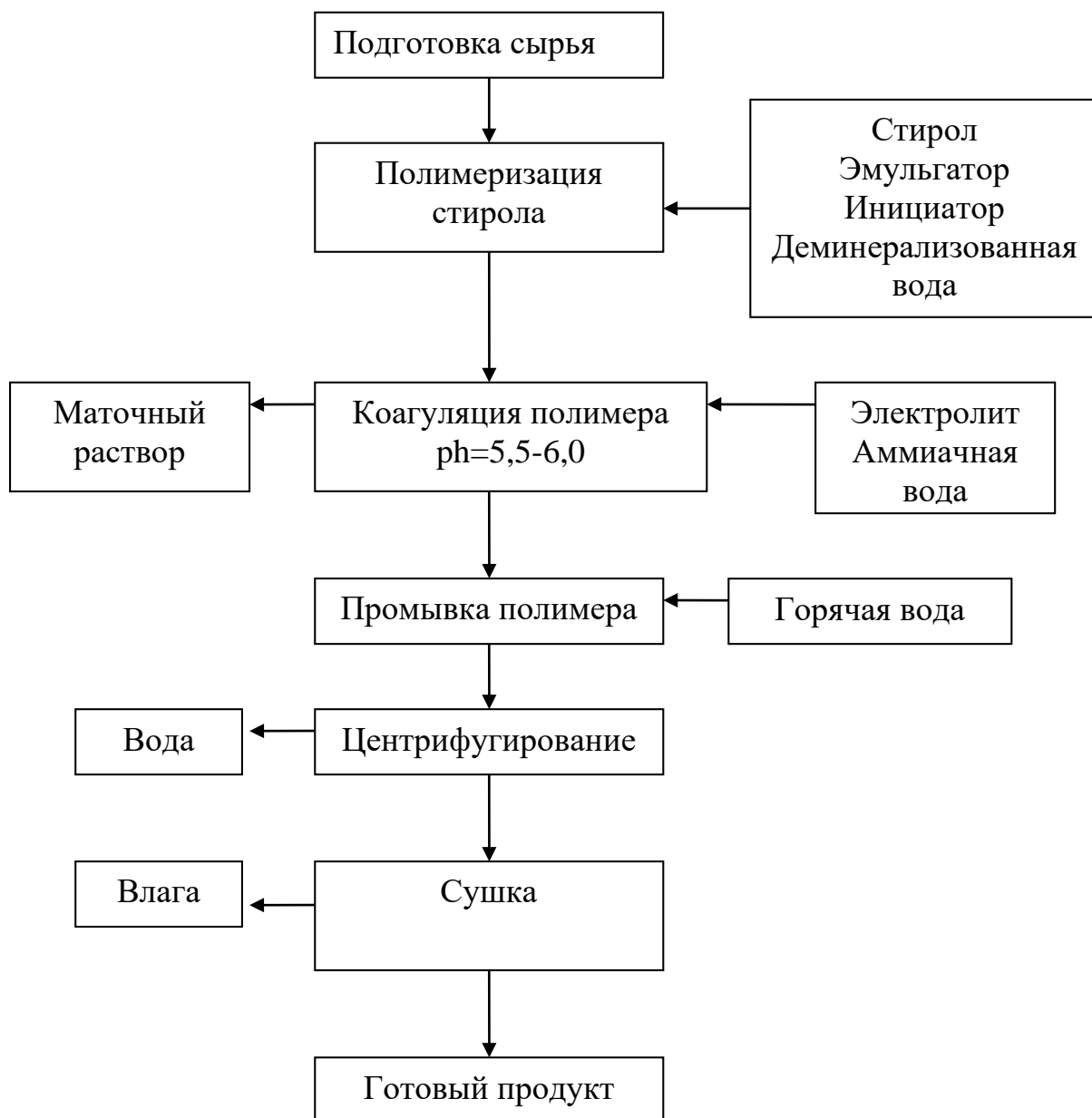


Рисунок 5. Схема материальных потоков

## 2.2 Общий материальный баланс

Годовая производительность цеха 3000 т/год.

Процесс периодический

Число рабочих дней в году равно:  $365-45=320$ .

Производительность в сутки без учета потерь составляет:

$$П_{\text{С}}^{\text{Б}} = \frac{3000}{320} = 9,375 \text{ т/сут}$$

Потери полистирола по стадиям равны:

- полимеризация - 0,7%;
- осаждение - 0,3%;
- промывка и центрифугирование - 0,1%;
- сушка - 0,2%;
- просеивание и упаковка - 0,2%;

Итого -  $a=1,5\%$ . Тогда производительность в сутки с учетом потерь составляет:

$$П_{\text{С}}^{\text{П}} = \frac{9375}{1 - \frac{1,5}{100}} = \frac{9375}{0,985} = 9517,8 \text{ кг/сут}$$

Производительность в сутки без учета потерь на абсолютно сухой полимер (влажность готового продукта - 0,6%) :

$$П_{\text{С}}^{\text{Б}} = \frac{9375}{1 + \frac{0,6}{100}} = \frac{9375}{1,006} = 9319,1 \text{ кг/сут}$$

Производительность в сутки с учетом потерь на абсолютно сухой полистирол составляет:

$$П_{\text{С}}^{\text{П}} = \frac{9517,8}{1 + \frac{0,6}{100}} = \frac{9517,8}{1,006} = 9461 \text{ кг/сут}$$

Общие потери полистирола составляют:  $9461-9319,1=141,9$  кг/сут.

Потери полимера по стадиям в весовых единицах составят:

- полимеризация -  $141,9 * \frac{0,7}{1,5} = 66,22$  кг/сут.;
- осаждение -  $141,9 * \frac{0,3}{1,5} = 28,38$  кг/сут.;
- промывка и центрифугирование -  $141,9 * \frac{0,1}{1,5} = 9,46$  кг/сут.;



- сушка -  $141,9 * \frac{0,2}{1,5} = 18,92$  кг/сут.;

- просеивание и упаковка -  $141,9 * \frac{0,2}{1,5} = 18,92$  кг/сут.

Рецептура загрузки сырья на полимеризацию:

Стирол	100 вес. частей
Инициатор - персульфат калия	0,3 вес. частей
Олеиновая кислота	0,8 вес. частей
Едкий натр	0,1 вес. частей
Умягченная вода	140 вес. частей

### 2.2.1 Постадийный материальный баланс

Таблица 3 - Транспортировка и загрузка сырья

Приход	кг/сут	вес. %	Расход	кг/сут	вес. %
Стирол	9470,47	41,48	Стирол	9461	41,44
Инициатор	28,44	0,12	Потери	9,47	0,04
Олеиновая кислота	75,84	0,33	стирола		
Щелочь	9,48	0,04	Инициатор	28,38	0,12
Умягченная вода	13245,4	58,03	Потери	0,06	0,0003
			инициатора		
			Олеиновая кислота	75,69	0,33
			Потери	0,15	0,0007
			олеиновой кислоты		
			Щелочь	9,46	0,04
			Потери	0,02	0,0009
			щелочи		
			Умягченная вода	13245,4	58,03
<b>Итого:</b>	<b>23516,79</b>	<b>100</b>	<b>Итого:</b>	<b>23516,79</b>	<b>100</b>

Потери стирола при транспортировке и загрузке – 0,1%. Суточный расход стирола с учетом всех потерь

$$\frac{9461}{1 - \frac{0,1}{100}} = 9470,47 \text{ кг/сут.}$$

Суточный расход инициатора:  $9461 * \frac{0,3}{100} = 28,38$  кг/сут. Потери инициатора при транспортировке и загрузке – 0,2%, тогда суточный расход его с учетом потерь составит  $\frac{28,38}{1 - \frac{0,2}{100}} = 28,44$  кг/сут. В процессе используется 4%-ный водный раствор инициатора, то расход раствора составит  $28,44 * \frac{100}{4} = 711$  кг/сут.

Таблица 4 - Полимеризация

Приход	кг/сут	вес. %	Расход	кг/сут	вес. %
Стирол	9461	40,23	Латекс		
Инициатор	711	3,02	в том числе:		
4% -ный р-р			полистирол	9362,61	39,81
Олеиновая кислота	75,69	0,32	Потери полистирола	66,22	0,28
Щелочь	23,7	0,10	Стирол	32,17	0,14
40% -ный р-р			Инициатор	706,06	3,00
Умягченная вода	13245,4	56,33	Потери инициатора	4,94	0,02
			Олеиновая кислота	75,69	0,32
			Щелочь	23,7	0,1
			Умягченная вода	13245,4	56,33
<b>Итого:</b>	<b>23516,79</b>	<b>100</b>	<b>Итого:</b>	<b>23516,79</b>	<b>100</b>

Суточный расход олеиновой кислоты составит  $9461 * \frac{0,8}{100} = 75,69$  кг/сут. Потери олеиновой кислоты при загрузке - 0,2%. С учетом этого суточный расход кислоты составляет  $\frac{75,69}{1 - \frac{0,2}{100}} = 75,84$  кг/сут.

Суточный расход щелочи -  $9461 * \frac{0,1}{100} = 9,46$  кг/сут. Потери щелочи при транспортировке и загрузке – 0,2%, тогда суточный расход щелочи с учетом потерь составляет:  $\frac{9,46}{1 - \frac{0,2}{100}} = 9,48$  кг/сут. Поскольку используется 40%-ный водный раствор щелочи, то расход раствора составит:  $9,46 * \frac{100}{40} = 23,7$  кг/сут.

Суточный расход умягченной воды на стадии полимеризации равен  $9461 * \frac{140}{100} = 13245,4$  кг/сут.

Рецептура загрузки на стадии высаживания полимера: латекс полистирольный – 100 вес. частей; квасцы алюмокалиевые – 0,8 вес. частей; аммиачная вода, 25%-ная – 0,4 вес. частей; умягченная вода – 80 вес. частей.

Суточный расход квасцов без учета потерь  $23450,57 * \frac{0,8}{100} = 187,6046$  кг/сут. Потери квасцов при загрузке – 0,2%. Тогда суточный расход их с учетом потерь составит  $\frac{187,6046}{1 - \frac{0,2}{100}} = 187,98$  кг/сут. Поскольку квасцы применяются в виде 4%-ного водного раствора, то расход его составит  $187,6 * \frac{100}{4} = 4690,11$  кг/сут.

Таблица 5 - Осаждение

Приход	кг/сут	вес. %	Расход	кг/сут	вес. %
Латекс	23450,57	49,9	Суспензия	46966,56	99,94
в том числе:			ПС		
полистирол	9362,61	19,92	в том числе:	9334,23	19,86
Водный	14087,96	29,98	полистирол	28,38	0,06
раствор			Потери ПС	37632,33	80,08
Квасцы	4690,11	9,98	Маточник		
4%-ный р-р					
Аммиачная	93,8	0,2			
вода					
Умягченная	18760,46	39,92			
вода					
<b>Итого:</b>	<b>46994,94</b>	<b>100</b>	<b>Итого:</b>	<b>46994,94</b>	<b>100</b>

Таблица 6 - Промывка и центрифугирование

Приход	кг/сут	вес. %	Расход	кг/сут	вес. %
Полистирол	46966,56	71,56	Полистирол с	13321,1	20,30
Умягченная	18668,46	28,44	влажностью		
вода			30%		
			в том числе:		
			сухого	9324,77	14,21
			полистирола		
			Потери	9,46	0,01
			полистирола		
			Промывные	52304,46	79,69
			воды		
<b>Итого:</b>	<b>65635,02</b>	<b>100</b>	<b>Итого:</b>	<b>65635,02</b>	<b>100</b>

Суточный расход аммиачной воды составит  $23450,57 * \frac{0,4}{100} = 93,8$  кг/сут.

Потери аммиачной воды составляют – 0,1%, то суточный расход ее равен:  $\frac{93,8}{1 - \frac{0,1}{100}} =$

93,89 кг/сут. Суточный расход умягчено воды равен  $23450,57 * \frac{80}{100} = 18760,46$  кг/сут.

Таблица 7 - Сушка

<b>Приход</b>	<b>кг/сут</b>	<b>вес.%</b>	<b>Расход</b>	<b>кг/сут</b>	<b>вес.%</b>
Полистирол с влажностью 30%	13321,1	100	Полистирол с влажностью 0,6%	9393,92	70,52
в том числе: влага	3996,33	30	Потери полистирола	18,92	0,14
			Удаленная вода	3908,26	29,34
<b>Итого:</b>	<b>13321,1</b>	<b>100</b>	<b>Итого:</b>	<b>13321,1</b>	<b>100</b>

Таблица 8 - Просеивание и упаковка

<b>Приход</b>	<b>кг/сут</b>	<b>вес.%</b>	<b>Расход</b>	<b>кг/сут</b>	<b>вес.%</b>
Полистирол с влажностью 0,6% в том числе: влага	9393,92	100	Полистирол с влажностью 0,6% в том числе: абсолютно сухой полистирол влага Потери полистирола	9375   9319,1  55,9  18,92	99,8   99,2  0,6  0,2
<b>Итого:</b>	<b>9393,92</b>	<b>100</b>	<b>Итого:</b>	<b>9393,92</b>	<b>100</b>

Для проведения промывки на 1т. ПС требуется 2 т. воды, тогда суточный расход умягченной воды составит  $9334,23 * 2 = 18668,46$  кг/сут.

После центрифугирования влажность ПС составляет 30%.

Таблица 9 - Расходные коэффициенты сырья на 1 т. готового продукта

<b>Наименование сырья</b>	<b>Расход, кг/сут</b>	<b>Расходный коэффициент, т/т готовой продукции</b>
Стирол	9470,47	1,016
Инициатор	28,44	0,003
Олеиновая кислота	75,84	0,008
Едкий натр	9,48	0,001
Квасцы	187,98	0,02
Аммиачная вода	93,9	0,01
Умягченная вода	50674,32	5,44

## 2.3 Технологический расчет основного аппарата

### 2.3.1 Выбор материала и конструкции основного аппарата

Реактор — аппарат, в котором протекает основной процесс химической технологии — образование нового продукта в результате сложного взаимодействия исходных веществ, должен работать эффективно, т.е. обеспечивать требуемую глубину и избирательность химического превращения. Реактор должен удовлетворять следующим требованиям: иметь необходимый реакционный объем, обеспечивать заданную производительность и определенный гидродинамический режим движения реагентов, создавать требуемую поверхность контакта фаз. Поддерживать необходимый теплообмен в процессе, уровень активности катализатора и т.д. Устройство реактора определяет ряд факторов: агрегатное состояние реагирующих и образующихся веществ и консистенция реакционной массы, интенсивность перемешивания реагентов, температура реакции и давление, тепловой эффект и интенсивность теплообмена, химические свойства перерабатываемых веществ, наличие или отсутствие катализаторов, заданная производительность процесса, удобство монтажа и ремонта аппарата, простоту его изготовления т. д. [8]

Процесс полимеризации стирола эмульсионным методом можно проводить как непрерывным, так и периодическим способом. Учитывая, что потребность в эмульсионном полистироле и заданная производительность установки сравнительно невысоки, получение полистирола непрерывным методом нецелесообразно. Поэтому процесс синтеза проводят в реакторе периодического действия.

На выбор типа реактора также оказывает влияние кинетика химической реакции. Полимеризация стирола эмульсионным методом протекает по радикальному механизму. Следовательно, реакция имеет первый порядок по мономеру. В таблицах 1 и 2 приведены данные, показывающие зависимость

между кинетическими закономерностями протекания процесса и типом реактора.

*Таблица 10 - Влияние кинетики на относительный объем реактора [9]*

Тип реактора	Порядок реакции	Объем реактора при $x_A=90\%$
Реактор вытеснения	1	1
Реактор смешения	1	4
Реактор вытеснения	2	1
Реактор смешения	2	10

*Таблица 11 - Влияние типа реактора на молекулярно-массовое распределение [9]*

Тип реактора	Полимеризация, когда время жизни активного центра велико, нет обрыва цепей	Полимеризация, когда время жизни активного центра мало из-за обрыва цепей
Реактор вытеснения	Относительно широкое ММР	Относительно узкое ММР
Реактор смешения	Относительно узкое ММР	Относительно широкое ММР

На основании данных приведенных в таблицах 1 и 2, с точки зрения кинетики, предпочтительным является реактор вытеснения. Но так как для проведения процесса эмульсионной полимеризации необходимо



тщательное перемешивание, следовательно, проводить полимеризацию в реакторе вытеснения нельзя.

Таким образом, учитывая кинетические закономерности процесса полимеризации полистирола и сведения о производительности и потребности в эмульсионном полистироле, для проведения процесса полимеризации выбираем реактор смешения периодического действия.

Выбор материала, из которого изготавливается реактор, определяется рабочим давлением, температурой стенки аппарата, химическим составом и свойствами среды. Часто выбор того или иного материала зависит не от агрессивности среды, а от влияния материала на перерабатываемые вещества и технологический процесс. При выборе материалов, из которых изготавливается реактор, учитываются их каталитические свойства, вызывающие побочные реакции.

При конструировании необходимо учитывать экономическую целесообразность применения выбранного материала, т.е. его расход и стоимость. Аппаратуру не рекомендуется изготавливать целиком из дорогостоящих и дефицитных материалов. Техничко-экономическая нецелесообразность применения монолитных толстолистовых высоколегированных сталей очевидна. Основным фактором при выборе конструкционного материала является его коррозионная стойкость. Во-первых, коррозия ставит под угрозу прочность аппарата, во-вторых, она вызывает загрязнение перерабатываемого продукта. В первом случае можно согласиться на изготовление аппарата из менее стойких и дефицитных материалов, при этом увеличив толщину стенки реактора. Во втором случае целесообразно применять материалы, исключаяющие возможность коррозии, следовательно, выбираем двухслойную сталь.

На основании вышесказанного, для изготовления реактора полимеризатора используем в качестве защитного коррозионно-стойкого слоя сталь 1X18H9T, а основной слой состоит из стали марки Ст 3. Из

биметалла изготавливаются обечайка, днище и крышка реакционного аппарата, а также штуцера для ввода исходных реагентов и для вывода продукта реакции и перемешивающее устройство.

Для изготовления деталей полимеризатора, не соприкасающихся с агрессивной средой, используем сталь марки Ст 3. Следовательно, из стали марки Ст 3 изготавливают рубашку, штуцера для ввода и выхода хладагента, а также фланцевые соединения. [8]

### 2.3.2 Расчет размеров единичного аппарата

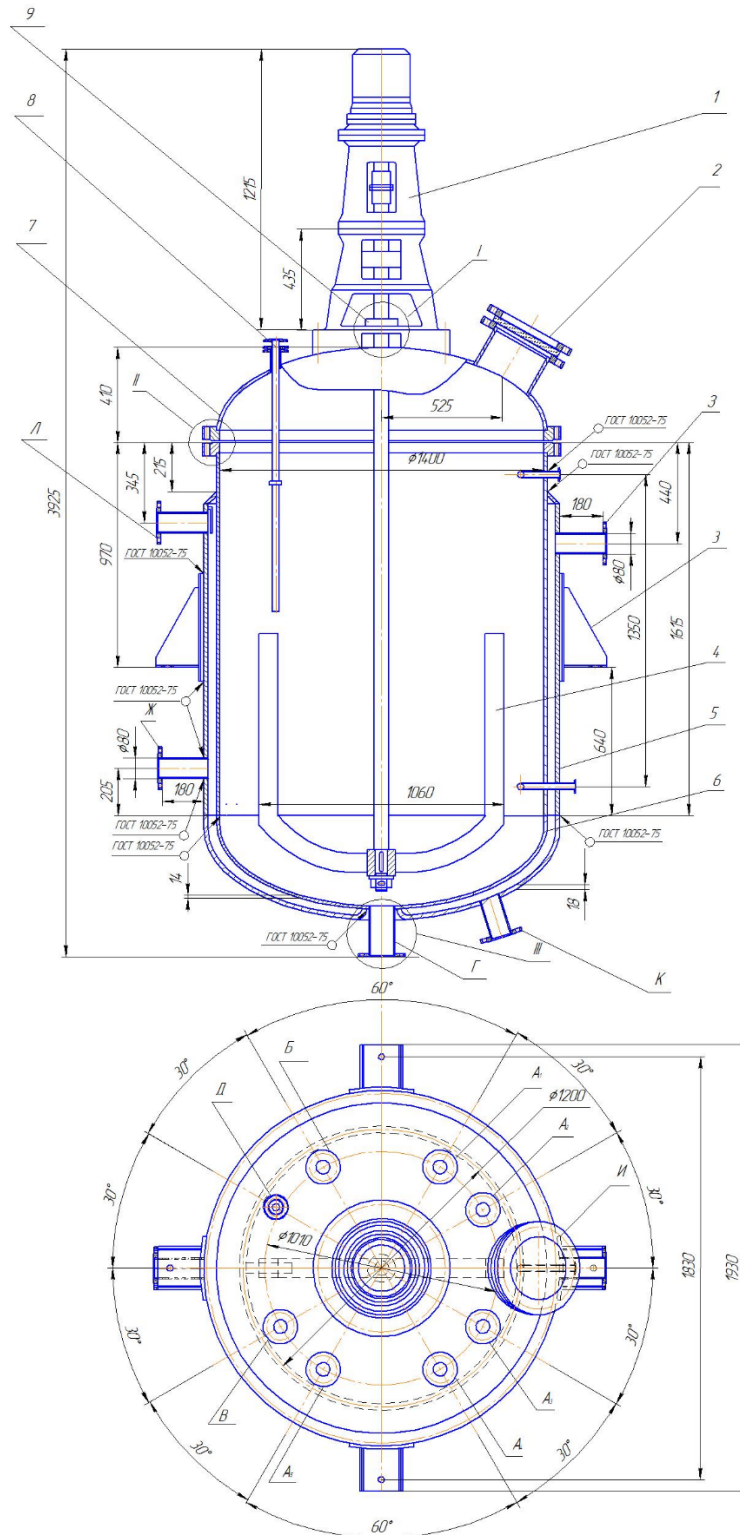


Рисунок 6. Эскиз аппарата емкостного типа периодического действия  
 1 - корпус; 2 - крышка; 3 - мешалка; 4 - рубашка; 5 – привод мешалки;  
 б-сливной штуцер; 7 - лаз; 8 – лапы; 9 – змеевик.

Корпус 1 и крышка 2 аппарата выполняются из двухслойной стали. Для смешения компонентов реакции аппарат снабжен мешалкой 3 якорного типа выполненной из легированной стали. Привод мешалки осуществляется от электродвигателя 6 через редуктор 5. Обогрев или охлаждение реакционной массы осуществляется с помощью приварной, гладкой, односекционной рубашки 4.

Основной задачей технологического расчета является определение размеров аппарата, обеспечивающего заданную производительность.

Объем аппарата определяем по формуле:

$$V_p = \frac{n * G * \tau_{ц}}{24 * \rho * \varphi}$$

где  $G$  – производительность аппарата по загрузке, кг/сут;

$\rho$  – плотность реакционной массы, кг/м<sup>3</sup>;  $\tau_{ц}$

$\varphi$  – коэффициент заполнения реактора ( $\varphi=0,75$ );

$n$  – коэффициент запаса производительности ( $n=1,1$ );

$\tau_{ц}$  – время цикла работы реактора, час.

Время цикла работы реактора определяется по формуле:

$$\tau_{ц} = \tau_1 + \tau_2 + \tau_3 + \tau_4 + \tau_5,$$

где  $\tau_1$  – время загрузки аппарата;

$\tau_2$  – время, затрачиваемое на перемешивание реакционной массы;

$\tau_3$  – время, затрачиваемое на нагрев реакционной массы;

$\tau_4$  – время проведения химического процесса;

$\tau_5$  – время выгрузки готового продукта из реактора.

$$\tau_{ц} = \tau_1 + \tau_2 + \tau_3 + \tau_4 + \tau_5 = 0,75 + 1 + 1,5 + 2 + 1,3 = 6,55 \text{ ч.}$$

Плотность реакционной массы определяем по формуле:

$$\frac{1}{\rho_{см}} = \frac{\chi_1}{\rho_1} + \frac{\chi_2}{\rho_2}$$

где  $\chi_1$  и  $\chi_2$  – массовые доли компонентов в смеси, стирола и водной фазы соответственно;

$\rho_1$  и  $\rho_2$  – плотности компонентов, соответственно стирола и водной фазы;

$$\rho_1 = 906 \text{ кг/м}^3,$$

$$\rho_2 = 997,5 \text{ кг/м}^3. [10]$$

$$\frac{1}{\rho_{\text{см}}} = \frac{\chi_1}{\rho_1} + \frac{\chi_2}{\rho_2} = \frac{0,4023}{906} + \frac{0,5633}{997,5} = 0,0010088 \text{ м}^3/\text{кг}.$$

$$\rho_{\text{см}} = 991,3 \text{ кг/м}^3.$$

$$V_p = \frac{n * G * \tau_{\text{ц}}}{24 * \rho * \varphi} = \frac{1,1 * 23516,79 * 6,55}{24 * 991,3 * 0,75} = 9,5 \text{ м}^3.$$

В производстве полистирола эмульсионным способом синтез полимера проводим в трех параллельных реакторах, тогда объем одного составит:

$$\frac{V_p}{3} = \frac{9,5}{3} = 3,17 \text{ м}^3.$$

По ГОСТ 9931-79 [10. стр.333] объем аппарата принимаем равным 3,2 м<sup>3</sup>.

Внутренний диаметр аппарата  $D = 1400$  мм;

Высота обечайки  $H = 1615$  мм;

Диаметр рубашки  $D_{\text{руб}} = 1500$  мм;

Высота рубашки  $H_{\text{руб}} = 1799$  мм;

Высота рубашки до днища  $H'_{\text{руб}} = 1400$  мм;

Поверхность рубашки  $F_{\text{руб}} = 8,7 \text{ м}^2$

Поверхность крышки  $F_{\text{кр}} = 2,3 \text{ м}^2$ .

## 2.4 Расчет и подбор вспомогательной аппаратуры

Кроме реактора для проведения процесса эмульсионной полимеризации стирола потребуются такие аппараты, как мерники, емкости, сушилка, центрифуга, насос.

- Смеситель вертикальный с плоским дном и плоской крышкой по ГОСТ 9931-85

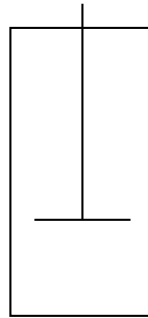


Рисунок 8. Эскиз смесителя

1. Смеситель для инициатора и умягченной воды:

$$V = \frac{G}{\rho * \varphi}$$

где  $G$  - количество смеси 13956,4 кг/сут;

$\rho$  - плотность смеси, кг/м<sup>3</sup>;

$\varphi$  - коэффициент заполнения (0.5-0.8);

$$V = \frac{13956,4}{995 * 0,8} = 17,53 \text{ м}^3,$$

По ГОСТ 9931-85  $V = 20 \text{ м}^3$ ;

- Мерник вертикальный с плоским дном и плоской крышкой по ГОСТ 9931-85

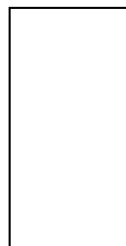


Рисунок 9. Эскиз мерника

1. Мерник для умягченной воды:

$$V = \frac{G}{\rho * \varphi}$$

где  $G$  - количество умягченной воды на стадию промывания 18668,46 кг/сут;

$\rho$  -плотность умягченной воды, кг/м<sup>3</sup>;

$\varphi$  -коэффициент заполнения (0.5-0.8);

$$V = \frac{18668,46}{995 * 0,8} = 23,38 \text{ м}^3,$$

По ГОСТ 9931-85  $V = 25 \text{ м}^3$ .

2.Мерник для 40% раствора щелочи:

$$V = \frac{G}{\rho * \varphi}$$

где  $G$  -количество щелочи 23,7 кг/сут;

$\rho$  -плотность щелочи, кг/м<sup>3</sup>;

$\varphi$  -коэффициент заполнения (0.5-0.8);

$$V = \frac{23,7}{1443 * 0,8} = 0,02 \text{ м}^3.$$

По ГОСТ 9931-85  $V = 0,04 \text{ м}^3$ .

3.Мерник для стирола:

$$V = \frac{G}{\rho * \varphi}$$

где  $G$  - количество стирола 9470,47 кг/сут;

$\rho$  - плотность стирола, кг/м<sup>3</sup>;

$\varphi$  - коэффициент заполнения (0.5-0.8);

$$V = \frac{9470,47}{906,1 * 0,8} = 13,06 \text{ м}^3,$$

По ГОСТ 9931-85  $V = 16 \text{ м}^3$ .

4.Мерник для 25% раствора аммиачной воды:

$$V = \frac{G}{\rho * \varphi}$$

где  $G$  - количество аммиачной воды 93,8 кг/сут;

$\rho$  - плотность аммиачной воды, кг/м<sup>3</sup>;

$\varphi$  - коэффициент заполнения (0.5-0.8);

$$V = \frac{93,8}{918 * 0,8} = 0,13 \text{ м}^3;$$

По ГОСТ 9931-85  $V = 0,16 \text{ м}^3$ .

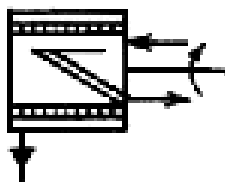


Рисунок 10. Эскиз центрифуги

- Центрифуга автоматизированная фильтрующая и осадительная горизонтальная с ножевой выгрузкой осадка типа ФГН-633К-01. Предназначена для разделения взрывоопасных суспензий со средне- и мелкозернистой растворимой твердой фазой. [12]

Техническая характеристика:

Ротор

Внутренний диаметр, мм	630
Наибольшая частота вращения, об/мин	2390
Наибольший фактор разделения	2000
Рабочий объем, дм <sup>3</sup>	40
Наибольшая загрузка, кг	50

Электродвигатели

Главный:

Тип	B160M4
Мощность, кВт	18,5
Частота вращения вала, об/мин	1455
Масса, кг	250

Маслонасосной станции:

Тип	B71A4
Мощность, кВт	0,55
Частота вращения вала, об/мин	1370
Масса, кг	22,5

Габаритные размеры центрифуги, мм 2415×1840×1570

Масса, кг

Общая	5575
Центрифуги	1330



Таблица 13 - Цикл работы центрифуги

№ операции	Наименование операции	Параметр регулирования	Предел регулирования
1	Загрузка	Толщина слоя осадка	До 70 мм
2	Просушка I	Время	0,5-15 мин
3	Промывка	Время	0,5-15 мин
4	Просушка II	Время	0,5-15 мин
5	Выгрузка	Толщина срезаемого слоя	До 65 мм
6	Регенерация	время	0,5-15 мин



Рисунок 11. Эскиз сушилки

- Сушилка с псевдооживленным слоем ГТЗ-01ПНО, 2-6, ОПК-01, предназначена для сушки мелкозернистых и гранулированных полимеров. [13]

Техническая характеристика:

Производительность по испаренной влаге, кг/ч (не более)	288
Массовая доля влаги, %	
Начальная	20-80
Конечная	1-5
Температура теплоносителя, °С (не более)	
На входе в сушилку	250
На выходе из сушилки	120
Расход теплоносителя, кг/ч (не более)	4320-7320
Установленная мощность электродвигателей, кВт (не более)	91,2

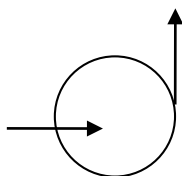


Рисунок 12. Эскиз насоса

- Насос центробежный Н9/1 [14]

Техническая характеристика:

Насос:

Марка	X2/25
Объемный расход, м <sup>3</sup> /с	$4,2 \cdot 10^{-4}$
Н, м столба жидкости	25
n, 1/с	50

Электродвигатель:

Тип	АОЛ-12-2
Мощность, кВт	1,1

- Насос центробежный Н9/2 [14]

Техническая характеристика:

Насос:

Марка	X500/25
Объемный расход, м <sup>3</sup> /с	$1,5 \cdot 10^{-1}$
Н, м столба жидкости	19
n, 1/с	16

КПД 0,8

Электродвигатель:

Тип	АО2-91-6
Мощность, кВт	55
КПД	0,92

## 2.5 Механический расчет

### 2.5.1 Выбор фланцев

Для присоединения трубопроводной арматуры выбираем фланец плоский приварной по ГОСТ 12820-80. [15]

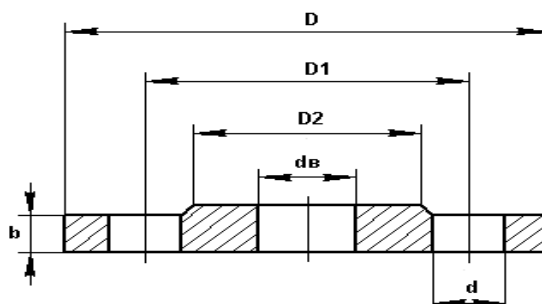


Рисунок 13. Фланец плоский приварной

Таблица 14 - Основные размеры фланцев

$D_y$	$d_a$	$b$	$D$	$D_1$	$D_2$	$d$	$h$	$n$
мм								шт
40	46	10	130	100	80	14	3	14
65	78	11	160	130	110	14	3	14
80	91	11	185	150	128	18	3	18
100	110	11	205	170	148	18	3	18
300	325	18	435	395	365	22	4	22

Для соединения крышки и обечайки выбираем фланец по ГОСТ 28759.2-90. [14]

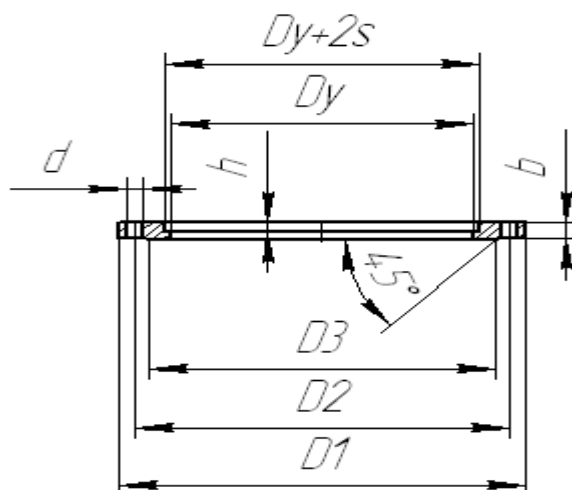


Рисунок 14. Фланец

Таблица 15 - Основные размеры фланца

$D_y$	$D_1$	$D_2$	$D_3$	$b$	$h$	$d$	$d_a$	$s$	$n$
мм									шт
1400	1550	1510	1470	60	14	23	M20	14	68

### 2.5.2 Расчет и выбор опор

Аппарат устанавливается между перекрытиями. [15]

$$\frac{1}{h} = 0,5, \text{ где } 1 - \text{вылет ребра, } h - \text{высота ребра. } \delta = \frac{2,24 * G}{k * n * z * l * \sigma_{сд}} + C_1 - \text{толщина}$$

ребра, где  $k = 0,6$  – коэффициент,  $\sigma_{сд} = 100$  Мпа – допускаемое напряжение на сжатие,  $z = 2$  – число ребер в одной лапе,  $n = 4$  – число лап,  $l = 0,2$  м,  $h = 0,4$  м,  $C_1 = 0,002$  м – прибавка на коррозию;

$G$  - вес аппарата.

Масса корпуса.

$$m_k = H * \pi * D * s * \rho = 4,3 * 3,14 * 1,4 * 0,016 * 7850 = 2077,42 \text{ кг,}$$

$D$  - диаметр аппарата, м;

$H$  - высота аппарата, м;

$s$  - толщина стенки аппарата, м;

$\rho$  - плотность стали, кг/м<sup>3</sup>;

Масса рубашки.

$$m_p = H * D * s * \rho = 1,799 * 1,5 * 0,018 * 7850 = 381,3 \text{ кг,}$$

$D$  - диаметр рубашки, м;

$H$  - высота рубашки, м;

$s$  - толщина стенки рубашки, м;

$\rho$  - плотность стали, кг/м<sup>3</sup>;

Общая масса аппарата:

$$m = m_k + m_p = 2077,42 + 381,3 = 2458,72 \text{ кг} \approx 25 \text{ кН}$$

Нагрузка на одну лапу:

$$Q = \frac{G}{n} = \frac{25}{2} = 12,5 \text{ кН.}$$

Выбираем по ОСТ 26-665-79 в зависимости от нагрузки на одну опору

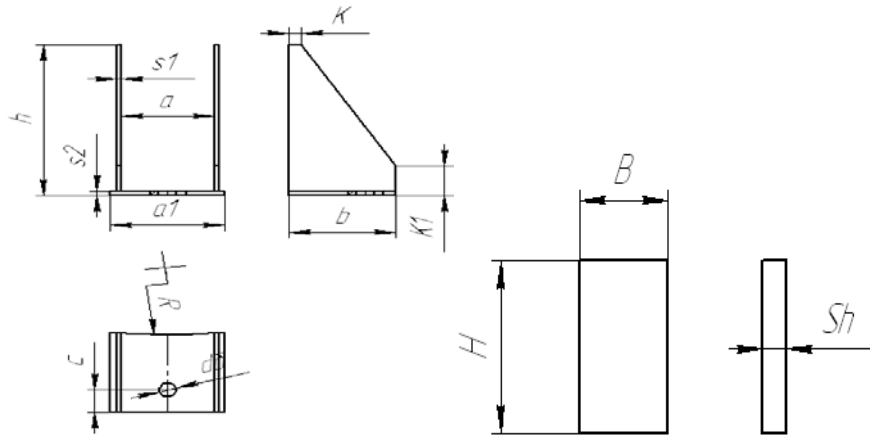


Рисунок 15. Стандартная опора для стальных сварных вертикальных цилиндрических аппаратов

Таблица 16 - Основные размеры опоры и подкладного листа

$a$	$a_1$	$s_1$	$s_2$	$h$	$b$	$K$	$K_1$	$c$	$d_a$	$H$	$B$	$s_h$
мм												
125	155	8	16	230	155	25	40	90	M20	330	200	12

### 2.5.3 Выбор обечайки и патрубков

По ГОСТ 20680-2002 выбираем цилиндрическую обечайку на аппарат и на патрубки.

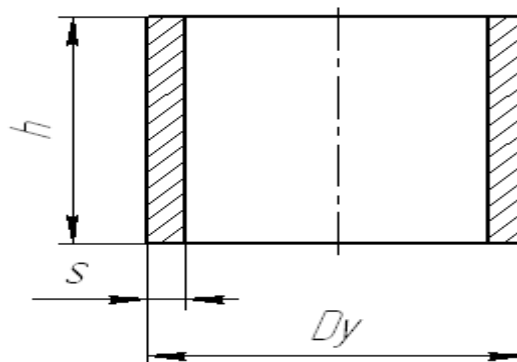


Рисунок 16. Цилиндрическая обечайка

Таблица 17 - Основные размеры обечайки и патрубков

	$D_y$	$h$	$s$
Обечайка аппарата	1428	1615	14
Обечайка рубашки	1536	1799	18
Патрубок входа/выхода хладагента	90	220	5
Патрубок выхода продукта	110	220	5
Патрубок входа реагентов, входа/выхода паров	90	185	5
Патрубок трубы перекачивания	78	240	5
Патрубок гильзы термопары	46	115	4
Патрубок смотрового окна	325	240	12

#### 2.5.4 Выбор днища и крышки

Выбираем размеры эллиптических отбортованных днищ и крышки с внутренними базовыми диаметрами по ГОСТ 6533-78. [15]

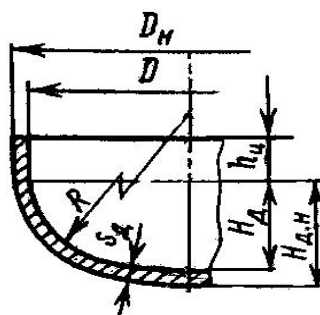


Рисунок 17. Днище для стальных сварных аппаратов эллиптическое отбортованное

Таблица 18 - Основные размеры днищ и крышки

	$D$	$s_d$	$H_d$	$h_{ц}$
мм				
Крышка аппарата	1400	14	350	40
Днище аппарата	1400	14	350	40
Днище рубашки	1500	18	375	40

#### Выбор экструзионной линии

Основой для выбора экструзионной линии является обеспечение производительности в согласованности с линией производства полистирола. Приблизительная производительность полистирола составляет 9375 кг/сут. В следствии этого выбираем экструзионную линию производства ENCE GmbH с характеристиками:

#### Техническая характеристика:

Производительность, кг/ч	800-1500
Температура окружающей среды, °С	+1 ÷ +40
Температура охлаждающей воды на воздухе, °С	+15

#### Установленная мощность:

Общая секция переработки, кВт	710
-------------------------------	-----

Секция нагрева и компаундирования, кВт	170
Сжатый воздух:	
Потребление, л/ч	800
Давление, бар	6
Качество	Сухой
Электродвигатель:	
Мощность, кВт	11
Электропитание, В/Гц/ф	
380/50/3	
Чистота вращения, об/мин	1500
Степень защиты	IP54



### 3.1 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

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

Гомополимеризация стирола различными методами с использованием инициатора приводит к получению термопластичного линейного полимера. Свойства зависят от метода получения. Наиболее чистый и стабильный полистирол, получается методом блочной полимеризации. Который распространен в современной промышленности.

Данная бакалавровская работа рассматривает процесс гомополимеризации стирола методом эмульсионной полимеризации, который приводит к образованию полимерных материалов. Свойства полученного полимера в большей степени зависят от чистоты мономера и отмывки латекса от эмульгатора. Последний, затрудняет процесс получения качественного эмульсионного полистирола. Остатки эмульгатора влияют на прозрачность и светопропускание, но с помощью данного метода можно получить полимер с наибольшей молекулярной массой. Этот метод не получил широкого промышленного распространения. В основном его используют для получения некоторых марок вспенивающегося полистирола.

Эмульсионный полистирол широко применяется в производстве некоторых марок пенополистирола прессовым методом. Пенополистирол используется в качестве теплоизоляционного материала в строительной технике, железнодорожных вагонах и холодильниках.

В настоящее время полистирол применяется в производстве несъемной опалубки для монолитного строения, в сэндвич-панелях в качестве теплоизоляционного материала, для производства полистиролбетона и полистиролбетонных блоков, теплоизоляция труб, звукоизоляции,

изготовления декоративных потолочных плит, элементов технической и пищевой упаковки, так как не является токсичным веществом.

Основное преимущество полистирола состоит в том, что это – один из наиболее дешевых материалов, обладающий хорошими механическими и изоляционными свойствами и значительной конструкционной гибкостью.

Несмотря на такую большую потребность, полистирол, а особенно эмульсионный, находится в дефиците. Поэтому является целесообразным разработка проектов по его получению, один из которых представлен в данной работе.

### 3.1.2 Анализ конкурентных технических решений

При организации собственного производства гомополимера стирола методом эмульсионной полимеризации необходим систематический анализ конкурирующих разработок во избежание потери занимаемой ниши рынка. Периодический анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности позволяет оценить эффективность научной разработки по сравнению с конкурирующими предприятиями и степень завершенности проекта. Основными производителями полистирола в России и СНГ являются «Нижекамскнефтехим» (г. Нижнекамск), «Газпром нефтехим Салават» (г. Салават), АО «СИБУР-ХИМПРОМ» (Пермь), ОАО «Ангарский завод полимеров» (г. Ангарск, Иркутская область), ОАО «Пластик» (г. Узловая), ЗАО «Полистирол» (г. Омск) и украинский концерн «Стирол». В силу того что, Российские производители не удовлетворяют спрос на полистирол, отечественный рынок зависит от импорта. В первую пятерку импортеров полистирола входят BASF (Германия), A.Schulman (Германия), Chevron Phillips (США), Chi Mei (Китай), Dongbu (Китай), Dow (Нидерланды). В таблице 20 приведена оценочная карта, включающая конкурентные технические разработки в области производства полистирола.

Таблица 20 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических разработок: Бф – продукт проведенной исследовательской работы, Бк1 – «Ангарский завод полимеров» (г. Ангарск, Иркутская область), Бк2 – «Полистирол» (г. Омск).

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б <sub>ф</sub>	Б <sub>к1</sub>	Б <sub>к2</sub>	К <sub>ф</sub>	К <sub>к1</sub>	К <sub>к2</sub>
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии обогащаемого материала							
1. Выход продукта	0,3	4	5	5	1,2	1,5	1,5
2. Энергоемкость процессов	0,2	5	3	4	1,0	0,6	0,5
3. Простота эксплуатации	0,1	4	5	5	0,4	0,5	0,5
Экономические критерии оценки эффективности							
4. Цена	0,2	4	3	5	0,8	0,6	1,0
5. Конкурентоспособность продукта	0,1	3	5	5	0,3	0,5	0,5
6. Финансирование научной разработки	0,1	3	5	5	0,3	0,5	0,5
<b>Итого:</b>	<b>1</b>				<b>4,0</b>	<b>4,2</b>	<b>4,5</b>

### 3.1.3 SWOT-анализ

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

Результаты первого этапа SWOT-анализа представлены в таблице 21.

Таблица 21 – Первый этап SWOT-анализа

	<b>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</b> С1. Выполнение индивидуальной готовой продукции С2. Квалифицированный персонал С3. Возможность использования инновационной инфраструктуры ТПУ	<b>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</b> Сл1. Не экологичность технологии Сл2. Большой срок поставок материалов и комплектующий
<b>Возможности:</b> В1. Использование инфраструктуры ОЭЗ ТВТ Томск В2. Появление дополнительного спроса на новый продукт		
<b>Угрозы:</b> У1. Отсутствие спроса на новые технологии производства У2. Развитая конкуренция технологий производства		

Второй этап 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 «+» (означает сильное соответствие сильных сторон возможностям), либо знаком «-» (что означает слабое соответствие); «0» – если есть сомнения в том, что поставить «+» или «-».

Интерактивные матрицы представлены в таблицах 22,23,24 и 25.

Таблица 22 – Интерактивная матрица проекта «Сильные стороны и возможности»

Сильные стороны проекта				
Возможности проекта		C1	C2	C3
	B1	+	+	+
	B2	+	+	0

Таблица 23 – Интерактивная матрица проекта «Слабые стороны и возможности»

Слабые стороны проекта		
Возможности проекта		Сл1
	B1	+
	B2	-

Таблица 24 – Интерактивная матрица проекта «Сильные стороны и угрозы»

Сильные стороны проекта				
Угрозы проекта		C1	C2	C3
	У1	-	0	0
	У2	+	-	+

Таблица 25 – Интерактивная матрица проекта «Слабые стороны и угрозы»

Слабые стороны проекта		
Угрозы проекта		Сл1
	У1	0
	У2	+

Таким образом, в рамках третьего этапа может быть составлена итоговая матрица SWOT-анализа, представленная в таблице 26.

Таблица 26 – Итоговая матрица SWOT-анализа

	<b>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</b> С1. Выполнение индивидуальной готовой продукции С2. Квалифицированный персонал С3. Возможность использования инновационной инфраструктуры ТПУ	<b>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</b> Сл1. Большой срок поставок материалов и комплектующий
<b>Возможности:</b> В1. Использование инфраструктуры ОЭЗ ТВТ Томск В2. Появление дополнительного спроса на новый продукт	Выполнение индивидуальной готовой продукции полимера и использование квалифицированного персонала позволит повысить спрос на продукт и эффективно использовать инфраструктуру ОЭЗ ТВТ г. Томск.	В результате большого срока поставок материалов и комплектующих возможно отставание от конкурентов с последующим падением спроса на продукцию
<b>Угрозы:</b> У1. Отсутствие спроса на новые технологии производства У2. Развитая конкуренция технологий производства	Выполнение индивидуальной продукции и квалифицированный персонал способны подавить высокую конкуренцию.	При задержках в сроках поставок используемых материалов и одновременном развитии конкуренции технологии производства сополимера есть риски потери занятой ниши рынка.

### 3.1.4 Определение возможных альтернатив проведения научных исследований

В таблице 27 представлена морфологическая матрица для способов получения полистирола.

Таблица 27 – Морфологическая матрица для методов получения полистирола

	1	2	3
А. Мономер	Стирол	Стирол	Стирол
Б. Инициатор	Пероксид водорода	Пероксид водорода	Персульфат аммония
В. Эмульгатор	Олеат натрия	Лаурилсульфат	Стеарат натрия
Г. Регулятор молекулярной массы	Додецилмеркаптан	Додецилмеркаптан	Додецилмеркаптан

## Планирование научно-исследовательских работ

### 3.2.1 Структура работ в рамках научного исследования

Для выполнения научных исследований формируется рабочая группа, в чей состав входят: бакалавр, научный руководитель, консультант по части социальной ответственности (СО) и консультант по экономической части (ЭЧ) выпускной квалификационной работы. Составим перечень этапов и работ в рамках проведения научного исследования и проведем распределение исполнителей по видам работ, все данные занесем в таблицу 28.

Таблица 28 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

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

### 3.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ

Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости  $t_{ож\ i}$  будет использоваться следующая формула

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



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

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

$$T_{pi} = \frac{t_{ож i}}{Ч_i},$$

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

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

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

Результаты расчетов занесены в таблицу 29.

Таблица 29 – Временные показатели проведения научного исследования

№	Название работ	Трудоемкость работ									Исполнители	Т <sub>р</sub> , раб. дн.			Т <sub>р</sub> , кал. дн.		
		t <sub>min</sub> , чел-дн.			t <sub>max</sub> , чел-дн.			t <sub>ож</sub> , чел-дн.				Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
		Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3							
1	Составление технического задания	0,3	0,3	0,3	0,9	0,9	0,9	0,6	0,6	0,6	Р	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
		0,3	0,3	0,3	0,9	0,9	0,9	0,6	0,6	0,6	Б	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
		0,3	0,3	0,3	0,9	0,9	0,9	0,6	0,6	0,6	К <sup>1</sup>	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
		0,3	0,3	0,3	0,9	0,9	0,9	0,6	0,6	0,6	К <sup>2</sup>	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
2	Выбор направления исследований	0,9	0,9	0,9	2,1	2,1	2,1	1,4	1,4	1,4	Р	0,7	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8
		0,9	0,9	0,9	2,1	2,1	2,1	1,4	1,4	1,4	Б	0,7	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8
3	Подбор и изучение материалов	7	7	7	12	12	12	9	9	9	Р	4,5	4,5	4,5	5,5	5,5	5,5
		7	7	7	12	12	12	9	9	9	Б	4,5	4,5	4,5	5,5	5,5	5,5
4	Патентный обзор литературы	5	5	5	10	10	10	7	7	7	Б	7	7	7	8	8	8
5	Календарное планирование работ по теме	1	1	1	2	2	2	1,4	1,4	1,4	Р	0,7	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8
		1	1	1	2	2	2	1,4	1,4	1,4	Б	0,7	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8
6	Проведение инженерных расчетов	6	6	6	10	10	10	7,6	7,6	7,6	Б	3,8	3,8	3,8	4,7	4,7	4,7
		6	6	6	10	10	10	7,6	7,6	7,6	Р	3,8	3,8	3,8	4,7	4,7	4,7
7	Оценка эффективности результатов	3	3	3	4	4	4	3,4	3,4	3,4	Р	2,0	2,0	2,0	2,5	2,5	2,5
		5	5	5	6	6	6	5,4	5,4	5,4	Б	2,7	2,7	2,7	3,3	3,3	3,3
8		5	5	5	7	7	7	6,3	6,3	6,3	Р	2,9	2,9	2,9	3,6	3,6	3,6

№	Название работ	Трудоемкость работ									Исполнители	Т <sub>р</sub> , раб. дн.			Т <sub>р</sub> , кал. дн.		
		t <sub>min</sub> , чел-дн.			t <sub>max</sub> , чел-дн.			t <sub>ож</sub> , чел-дн.				Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
		Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3							
	Определение целесообразности проведения ВКР	5	5	5	7	7	7	6,3	6,3	6,3	Б	2,9	2,9	2,9	3,6	3,6	3,6
9	Разработка технологии производства полимера	2	2	2	3	3	3	2,4	2,4	2,4	Б	2,4	2,4	2,4	3	3	3
10	Оценка эффективности производства	5	5	5	10	10	10	8	8	8	Б	3,7	3,7	3,7	4,6	4,6	4,6
		5	5	5	9	9	9	8	8	8	К <sup>1</sup>	3,7	3,7	3,7	4,6	4,6	4,6
11	Разработка СО	7	7	7	8	8	8	7,8	7,8	7,8	Б	4,5	4,5	4,5	5,6	5,6	5,6
		5	5	5	6	6	6	7,8	7,8	7,8	К <sup>2</sup>	4,5	4,5	4,5	5,6	5,6	5,6
12	Составление пояснительной записки	15	15	15	18	18	18	16,2	16,2	16,2	Б	16,2	16,2	16,2	20	20	20

Р – руководитель

Б – бакалавр

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

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

## 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, представленный в таблице 30, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ. Данный график строится на основе таблицы 30.

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

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

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

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

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

Коэффициент календарности определяется по формуле:

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

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

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

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

Таким образом:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} = \frac{121}{121 - 17 - 6} = 1,24.$$

Таблица 30 – Календарный план-график проведения НИОКР

Вид работы	Исполнители	$T_{ki}$ , дней	Продолжительность выполнения работ														
			февраль		март			апрель			май						
			2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3				
Составление технического задания	Руководитель, бакалавр, консультант ЭЧ, СО	0,2	■														
Выбор направления исследований	Руководитель, бакалавр	0,8	■														
Подбор и изучение материалов	Руководитель, бакалавр	5,5	■	■													
Патентный обзор литературы	Бакалавр	8		■	■	■											
Календарное планирование работ	Руководитель, бакалавр	0,8			■	■											
Проведение инженерных расчетов	Руководитель, бакалавр	4,7				■	■										
Оценка эффективности результатов	Руководитель, бакалавр	2,5 3,3					■	■	■								
Определение целесообразности проведения ВКР	Руководитель, бакалавр	3,6							■	■	■						
Разработка технологии	Бакалавр	3									■	■	■				

Вид работы	Исполнители	$T_{ki}$ , дней	Продолжительность выполнения работ											
			февраль		март			апрель			май			
			2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
производства сополимера														
Оценка эффективности производства	Бакалавр, консультант ЭЧ	4,6									▨			
Разработка социальной ответственности	Бакалавр, консультант СО	5,6										▨		
Составление пояснительной записки	Бакалавр	20											▨	

Руководитель	Бакалавр	Консультант ЭЧ	Консультант СО
▨	▨	▨	▨

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

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

- материальные затраты НТИ;
- расчет затрат на оборудование для научно-экспериментальных работ;
- основная заработная плата исполнителей темы;
- дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- накладные расходы.

#### 3.4.1 Расчет материальных затрат НТИ

Для выполнения данной ВКР требуются материальные затраты на:

- приобретаемые со стороны сырье и материалы, необходимые для создания научно-технической продукции;
- покупные материалы, используемые в процессе создания научно-технической продукции для обеспечения нормального технологического процесса и для упаковки продукции или расходуемых на другие производственные и хозяйственные нужды;
- покупные комплектующие изделия и полуфабрикаты, подвергающиеся в дальнейшем монтажу или дополнительной обработке;
- сырье и материалы, покупные комплектующие изделия и полуфабрикаты, используемые в качестве объектов исследований (испытаний) и для эксплуатации, технического обслуживания и ремонта изделий – объектов испытаний (исследований).

Материальные затраты данного НТИ представлены в таблице 31.

Таблица 31 – Материальные затраты

Наименование	Ед. изм.	Количество			Цена за ед., руб.			Затраты на материалы, (З м), руб.		
		Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
Стирол	кг	13895	13895	13895	65,5	65,5	65,5	910122,5	910122,5	910122,5
Перекись водорода (40%)	кг	140	140	0	62,5	62,5	0	8750	8750	0
Персульфат аммония	кг	0	0	150	0	0	600	0	0	90000
Олеиновая кислота	кг	279	0	0	220	0	0	61380	0	0
Гидроксид натрия	кг	696	0	0	20	0	0	13920	0	0
Стеарат натрия	кг	0	0	975	0	0	120	0	117000	117000
<b>Итого:</b>								<b>1001175</b>	<b>1042872</b>	<b>1124122</b>

### 3.4.2 Расчет затрат на оборудование для научно-экспериментальных работ

В таблице 32 приведены затраты на оборудование.

Таблица 32 – Затраты на оборудование для научно-экспериментальных работ

№	Наименование оборудования	Кол-во единиц	Цена за единицу, руб	Сумма амортизационных отчислений, руб
1	Мерник 10 м <sup>3</sup>	3	45000	2250
2	Мерник 8 м <sup>3</sup>	2	40000	2667
3	Мерник 3,2 м <sup>3</sup>	1	25000	1250
4	Емкостной реактор 10 м <sup>3</sup> с мешалкой якорного типа	2	375000	25000
5	Центрифуга HS-325LS	1	186000	12400
6	Сушилка кипящего слоя «Активатор СКС 10	1	140000	9333
7	Промежуточная емкость 12,5 м <sup>3</sup>	1	50000	2500
<b>Итого:</b>				<b>55400</b>

Для оборудования нужно рассчитать величину годовой амортизации по следующей формуле:

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



где  $C_{\text{перв}}$  – первоначальная стоимость, руб;  $T_{\text{пи}}$  – время полезного использования, год.

Результаты расчетов приведены в таблице 32.

### 3.4.3 Основная заработная плата исполнителей темы

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

$$Z_{\text{зп}} = Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}},$$

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

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

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_{\text{р}},$$

где  $Z_{\text{осн}}$  – основная заработная плата одного работника;  $Z_{\text{дн}}$  – среднедневная заработная плата работника, руб;  $T_{\text{р}}$  – продолжительность работ, выполняемых научно – техническим работником, раб. дн. (таблица 29).

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

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

где  $Z_{\text{м}}$  – месячный должностной оклад работника, руб.;  $M$  – количество месяцев работы без отпуска в течение года;  $F_{\text{д}}$  – действительный годовой фонд рабочего времени научно – технического персонала, раб. дн.

В таблице 33 приведен баланс рабочего времени каждого работника НИИ.

Таблица 33 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Бакалавр	Консультант по ЭЧ	Консультант по СО
Календарное число дней	121	121	121	121
Количество выходных дней	17	17	17	17
Количество праздничных дней	6	6	6	6
Потери рабочего времени на отпуск	0	0	0	0
Невыходы по болезни	0	0	0	0
Действительный годовой фонд рабочего времени	98	98	98	98

Месячный должностной оклад работника:

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

где  $Z_{tc}$  – заработная плата по тарифной ставке, руб.;  $k_{пр}$  – премиальный коэффициент, равный 0,3 (т.е. 30% от  $Z_{tc}$ );  $k_d$  – 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 34.

Таблица 34 – Расчет основной заработной платы

Категория	$Z_{tc}$ , руб	$k_d$	$k_p$	$Z_m$ , руб	$Z_{дн}$ , руб	$T_p$ , раб.дн.	$Z_{осн}$ , руб
Руководитель							
ППС3	27500	0,3	1,3	57200	6070,7	18,1	109870,7
Бакалавр							
ППС1	13550	0,3	1,3	28184	2990,9	60,1	179756,4
Консультант по ЭЧ							
ППС3	27500	0,3	1,3	57200	6070,7	4,8	29139,4
Консультант по СО							
ППС3	17500	0,3	1,3	36400	3862,8	5,6	21632

Общая заработная плата исполнителей работы представлена в таблице 35.

Таблица 35 – Общая заработная плата исполнителей

Исполнитель	$Z_{осн}$ , руб	$Z_{доп}$ , руб (15%)	$Z_{зп}$ , руб
Руководитель	109870,7	16480,6	126351,3
Бакалавр	178756,4	26813,4	205569,8
Консультант по ЭЧ	29139,4	4370,9	33510,3
Консультант по СО	21632	3244,8	24876,8

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

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

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

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

На 2014 г. в соответствии с ФЗ 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 таблице 36.

Таблица 36 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата, руб.
Руководитель	109870,7	16480,6
Бакалавр	178756,4	26813,4
Консультант по ЭЧ	29139,4	4370,9
Консультант по ОС	21632	3244,8
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	0,3	
<b>Итого:</b>	<b>117092,4</b>	

### 3.4.5 Накладные расходы

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

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

где  $k_{нр}$  – коэффициент, учитывающий накладные расходы. Величину коэффициента накладных расходов  $k_{нр}$  допускается взять в размере 16%.

Таким образом, накладные расходы на данные НТИ составляют 81184.

### 3.4.6 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы 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 таблице 37.

Таблица 37 – Расчет бюджета НТИ

Наименование статей	Сумма, руб			Примечание
	Исп.1	Исп.2	Исп.2	
1. Материальные затраты	1001175	1042872	1124122	Табл. 12
2. Затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	55400	55400	55400	Табл. 13
3. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	339398,5	339398,5	339398,5	Табл. 15
4. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	50909,7	50909,7	50909,7	Табл. 16
5. Отчисления во внебюджетные фонды	117092,4	117092,4	117092,4	Табл. 17
6. Накладные расходы	81184	81184	81184	16 % от суммы статей 1 - 5
7. Бюджет затрат НТИ	1645159,6	1686856,6	1768106,6	Сумма статей 1- 6

Как видно из таблицы 37 основные затраты НТИ приходятся на материальные затраты.

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

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

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

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

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).

Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта представлена в таблице 38, а сравнительная эффективность разработки в таблице 39.

*Таблица 38 – Сравнительная оценка характеристик вариантов  
исполнения проекта*

Критерии \ Объект исследования	Весовой коэффициент параметра	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1. Способствует росту производительности труда	0,25	5	4	4
2. Удобство в эксплуатации	0,15	4	4	3
3. Надежность	0,25	4	5	4
4. Воспроизводимость	0,2	4	4	4
5. Материалоемкость	0,15	5	3	5
<b>Итого:</b>	1	4,4	4,1	4

*Таблица 39 – Сравнительная эффективность разработки*

№	Показатели	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,93	0,95	1
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,4	4,1	4
3	Интегральный показатель эффективности	4,73	4,31	4
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1	0,91	0,84

Сравнительный анализ интегральных показателей эффективности показывает, что наиболее предпочтительным является способ производства полистирола при использовании в качестве инициатора перекиси водорода, а в качестве эмульгатора смесь олеиновой кислоты и гидроксида натрия.

### Заключение

В данной работе разработан проект узла гомополимеризации стирола эмульсионным способом.

Для обеспечения заданной производительности был использован периодический способ проведения процесса, полимеризация стирола проводится в трех параллельных аппаратах.

Для проведения процесса используется реактор емкостного типа, снабженный перемешивающим устройством, внешней и внутренней поверхностями теплообмена (гладкая рубашка и змеевиком).

Эмульсионный полистирол в кабельной промышленности используется как изоляционный материал, широко применяется в производстве некоторых марок пенополистирола прессовым методом, который в свою очередь используется для защиты кабелей от промерзания.