

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

Институт природных ресурсов
 Направление подготовки (специальность) 18.03.01 «Химическая технология»
 Кафедра Технология органических веществ и полимерных материалов

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
«Проект узла полимеризации стирола эмульсионным способом»

УДК 66.095.26.023:678.746.222

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2ДЗА	Жидкова Е.А.		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ротарь О.В.	к.х.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Рыжакина Т.Г.	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Инженер	Радинов Т.А.			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Зав. Кафедрой ТОВПМ	Юсубов М.С.	д.х.н.		

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

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

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

Институт природных ресурсов
 Направление подготовки (специальность) 21.04.01 «Химическая технология»
 Кафедра Технология органических веществ и полимерных материалов

УТВЕРЖДАЮ:
 Зав. кафедрой

 (Подпись) (Дата) **Юсубов М.С.**
 (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

бакалаврской работы

Студенту:

Группа	ФИО
2ДЗА	Жидковой Екатерине Алексеевне

Тема работы:

«Проект узла полимеризации стирола эмульсионным способом»

Утверждена приказом директора (дата, номер)

27.01.2017 №417/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:

01.06.17

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе

(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).

Проект узла производства эмульсионного полистирола периодическим способом с максимальной производительностью 3200 т/год.

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<p>Произведены расчеты материального баланса, расчеты теплового баланса, технологический расчет единичного реакционного аппарата и вспомогательной аппаратуры, механический расчет. Произведен расчет и выбор деталей основного аппарата, а также проведено экономическое обоснование эффективности проводимого мероприятия.</p>
<p>Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Реактор. Чертеж общего вида 2. Технологическая схема 3. Сборочные единицы
<p>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i></p>	
<p style="text-align: center;">Раздел</p>	<p style="text-align: center;">Консультант</p>
<p>«Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»</p>	<p>Рыжакина Т.Г., доцент</p>
<p>«Социальная ответственность»</p>	<p>Раденков Т.А., инженер</p>
<p>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</p>	
<p>на русском: введение, глава 1, глава 2, глава 3, глава 4, глава 5, заключение.</p>	

<p>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</p>	<p>09.09.2016</p>
--	-------------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
<p>Доцент</p>	<p>Ротарь Ольга Васильевна</p>	<p>к.х.н.</p>		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
<p>2ДЗА</p>	<p>Жидкова Екатерина Алексеевна</p>		

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

Институт	Институт Природных Ресурсов
Направление подготовки (специальность)	Химическая технология
Уровень образования	Бакалавриат
Кафедра	Технология органических веществ и полимерных материалов
Период выполнения	(осенний / весенний семестр 2016/2017 учебного года)

Студенту:

Группа	ФИО
2ДЗА	Жидкова Екатерина Алексеевна

Тема работы:

«Проект узла полимеризации стирола эмульсионным способом»	
Утверждена приказом проректора-директора (директора) (дата, номер)	27.01.2017 №417/с

Форма представления работы:

Бакалаврская работа

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

ЗАДАНИЕ

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:	
1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	1.1 Анализ конкурентных технических решений 1.2 SWOT-анализ
2. Определение возможных альтернатив проведения научных исследований	
3. Планирование и формирование бюджета научных исследований	3.1 Структура работ в рамках научного исследования 3.2 Определение трудоемкости выполнения работ

	3.3 Разработка графика проведения научного исследования 3.4 Бюджет научно – технического исследования (НТИ) 3.4.1 Расчет материальных затрат НТИ 3.4.2 Расчет затрат на оборудование для научных работ 3.4.3 Основная заработная плата исполнителей темы 3.4.4 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления) 3.4.5 Накладные расходы 3.4.6. Формирование бюджета затрат научно – исследовательского проекта
4. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	

Перечень графического материала:

1. Оценка конкурентоспособности технических решений
2. Матрица SWOT
3. Альтернативы проведения НИ
4. График проведения и бюджет НИ
5. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент каф. менеджмента	Рыжакина Т. Г.	к.э.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2ДЗА	Жидкова Екатерина Алексеевна		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
2ДЗА	Жидкова Екатерина Алексеевна

Институт	ИПР	Кафедра	ТОВИМ
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	«Химическая технология»

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

<p>1. Анализ выявленных вредных факторов при проектировании узла полимеризации стирола;</p> <ul style="list-style-type: none"> – физико-химическая природа вредности; – действие фактора на организм человека; – приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ); – средства индивидуальной и коллективной защиты от вредных веществ; – повышенный уровень шума; – повышенный уровень вибрации. 	<ul style="list-style-type: none"> – Стирол является легковоспламеняющейся, пожаровзрывоопасной жидкостью. Пары стирола с воздухом образуют взрывоопасные смеси; – обладает раздражающим, мутагенным, наркотическим и канцерогенным действием; – ПДК паров стирола в воздухе рабочей зоны – 30/10 мг/м³, в атмосферном воздухе населенных мест максимально-разовая – 0,04 мг/м³, среднесуточная – 0,002 мг/м³; – для индивидуальной защиты используют фильтрующий противогаз марки А или БКФ при объемной доле паров стирола в воздухе до 0,5 %, при более высоких концентрациях – шланговый изолирующий противогаз или кислородно-изолирующий прибор типа РКК-1. Для коллективной защиты помещения должны быть снабжены приточно-вытяжной вентиляцией и местными отсосами в местах наибольшего загрязнения воздуха; – источниками шума на производстве является оборудование (центрифуга, насосы); – методы борьбы с шумом: снижение шума в источнике (применение звукоизолирующих средств), средства индивидуальной защиты (СИЗ): наушники, беруши, использование средств автоматики для управления технологическими процессами, соблюдение режима труда и отдыха; – источниками вибрации на производстве является работа аппаратов: реактора, смесителя, центрифуги; – механические повреждения (источники
---	--

	<p>и средства защиты);</p> <ul style="list-style-type: none"> – электробезопасность (источники и средства защиты);
<p>2. Анализ выявленных опасных факторов при проектировании узла полимеризации стирола:</p> <ul style="list-style-type: none"> – механические повреждения (источники и средства защиты); – электробезопасность (источники и средства защиты); 	<ul style="list-style-type: none"> – источниками механических травм на производстве являются движущиеся механизмы и машины, неправильная эксплуатация сосудов, работающих под давлением. – для коллективной защиты от механических повреждений нужно соблюдать все инструкции по эксплуатации оборудования, правила поведения на производственной площадке. Индивидуальные средства защиты: одежда, перчатки, очки, каска во время нахождения в опасной зоне; – для осуществления электробезопасности корпуса отдельных аппаратов присоединяют к заземляющему устройству и установке молниеприемников; – с целью предупреждения рабочих об опасности поражения электрическим током широко используются плакаты и знаки безопасности, инструктаж персонала и аттестация оборудования.
<p>3. Охрана окружающей среды:</p> <ul style="list-style-type: none"> – анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы); – анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы). 	<ul style="list-style-type: none"> – выбросы в атмосферу мономера – стирола, который относится к умеренно-опасным веществам; – для предотвращения выбросов нельзя нарушать процесс полимеризации и проверять работу датчиков автоматического контроля; – сточные воды содержат следы стирола и пероксида водорода. – сточные воды производства подвергаются термическому обезвреживанию методом сжигания.
<p>4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства. 	<ul style="list-style-type: none"> – Положенные льготы работникам, работающим с вредными веществами.
<p>5. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</p> <ul style="list-style-type: none"> – мероприятия по предупреждению и ликвидации ЧС; – разработка мер по предупреждению ЧС; – перечень возможных ЧС, связанных с 	<ul style="list-style-type: none"> – Проведение спасательных работ и неотложных аварийно-восстановительных работ в очаге поражения; – для предотвращения необходимо соблюдать правила безопасности на

<p>эксплуатацией производства;</p> <ul style="list-style-type: none"> – СИЗ при ликвидации ЧС; 	<p>производстве;</p> <ul style="list-style-type: none"> – возникновение чрезвычайных ситуаций на данном производстве может быть связано с прекращением подачи воды электроэнергии, нарушением герметичности соединений трубопроводов, аппаратов или их разрывов, а также с неисправностью средств контроля и автоматизации; – При выполнении ремонтных работ может произойти взрыв или самовоспламенение стирола, разрыв трубопровода, возникновение пожара, отравление вредными для здоровья персонала веществами; – рабочие и инженерно-технический персонал проходят обучение своей специальности и правилам техники безопасности и допускаются к выполнению своих обязанностей только после прохождения ими вводного инструктажа по охране труда и технике безопасности непосредственно на рабочем месте; – для индивидуальной защиты необходимо использовать: изолирующий защитный костюм КИХ-5 в комплекте с изолирующим противогазом ИП-4М или дыхательным аппаратом АСВ-2.
---	--

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Инженер	Раденков Т.А.			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2Д3А	Жидкова Екатерина Алексеевна		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 113 с., 15 рис., 46 табл., 21 источника.

Ключевые слова: стирол, эмульсионный полистирол, радикальная полимеризация, периодический процесс.

Объектом исследования является эмульсионная полимеризация стирола.

Цель работы – проектирование узла полимеризации эмульсионного полистирола и разработка связанных между собой процессов, обеспечивающих получение полистирола требуемого качества при небольших материальных вложениях.

В процессе исследования проводились расчеты материального баланса, расчеты теплового баланса, технологический расчет единичного реакционного аппарата и вспомогательной аппаратуры, механический расчет. Расчет и выбор деталей основного аппарата, а также было проведено экономическое обоснование эффективности проводимого мероприятия.

В результате исследования был разработан проект получения полистирола максимальной мощностью производства 3200 тон/год.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: полистирол обладает рядом полезных свойств: теплоизоляционные, электроизоляционные, прочность, химическая стойкость, малое водопоглощение, звукоизоляционные.

Степень внедрения: научно-исследовательская разработка.

Область применения: использование в качестве диэлектрика, конструкционного материала, изготовление игрушек, посуды, галантереи.

Экономическая эффективность/значимость работы полимерные материалы благодаря наличию уникальных свойств стали неотъемлемым материалом в настоящее время. Изделия из полистирольного пластика используются в различных отраслях промышленности. На сегодняшний день полистирол активно используется в качестве теплоизоляционного материала, не уступая и превосходя по техническим характеристикам остальные теплоизоляционные материалы.

Оглавление

Введение.....	21
Глава 1. Литературный обзор	23
1.1 Общая характеристика производства	23
1.1.1 Техничко – экономические обоснования	23
1.1.2 Производство полистирола в массе (блоке).....	24
1.1.3 Производства полистирола в суспензии	25
1.1.4 Производство полистирола в эмульсии	26
1.2 Кинетика процесса полимеризации.....	28
1.2.1 Закономерности радикальной полимеризации	28
1.2.2 Закономерности эмульсионной полимеризации	31
1.2.3 Термодинамика полимеризационных процессов	36
1.2.4 Химизм процесса эмульсионной полимеризации стирола.....	38
1.2.5 Влияние физических и химических факторов на процесс	40
Глава 2. Объект и методы исследования	43
2.1 Характеристика стирола	43
2.2 Характеристика целевого продукта	45
2.3 Характеристика инициатора.....	46
2.4 Характеристика эмульгатора.....	46
2.5 Описание технологической схемы.....	46
Глава 4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	50
4.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	50
4.2 Анализ конкурентных технических решений.....	51
4.3 SWOT-анализ	52
4.4 Определение возможных альтернатив проведения научных исследований	55
4.5 Планирование научно-исследовательских работ	56
4.5.1 Структура работ в рамках научного исследования.....	56
4.5.2 Определение трудоемкости выполнения работ.....	57
4.6 Разработка графика проведения научного исследования.....	61
4.7 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)	64
4.7.1 Расчет материальных затрат НТИ.....	64
4.7.2 Расчет затрат на оборудование для научно-экспериментальных работ.....	65
4.7.3 Основная заработная плата исполнителей темы	66
4.7.4 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления).....	68
4.7.5 Накладные расходы.....	68
4.7.6 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта	69
4.8 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	70

Введение

Современный мир предрасположен к открытиям, развитию, созданию новых материалов. С каждым днем все больше полимерных материалов модифицируется, в результате получают совершенно новые полимеры с набором уникальных свойств. Синтезируются полимерные материалы с заданными свойствами, что позволяет контролировать процесс эксплуатации изделий из полимеров.

В мире наибольший объем производства составляют пластмассы: полиолефины, поливинилхлорид, полистирол.

В промышленности полистирол начали получать в 1930 г. Процесс синтеза полимера чрезвычайно прост — при нагревании стирола на воздухе в присутствии влаги протекает спонтанная термическая радикальная полимеризация с образованием прозрачного стеклообразного полимера.

Развитие изделий из полистирола началось в начале 20 века, в это же время активное развитие зафиксировано и в нефтехимии. Активнее всего прогрессировало производство пластических масс. Изделия из полистирола получили широкую известность. Объяснения этому может служить то, что изделия из полистирола обладают комплексом ценных свойств, что позволяет использовать их как пластические массы общего назначения.

По объему производства полистирольные пластики занимают 5 – е место, уступая в этом отношении полиэтилену, полипропилену, поливинилхлориду и полиэтилентерефталату. Высокие теплоизоляционные, электроизоляционные, прочность, химическая стойкость, малое водопоглощение, высокие показатели звукоизоляции и шумопоглощения, прозрачность и бесцветность, способность перерабатываться методом литья под давлением обеспечило ему широкое применение в различных областях промышленности.

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, также применяется для производства изделий бытового назначения: посуды, галантереи, игрушек, тары. Основными потребителями полистирола как диэлектрика являются приборостроительная и кабельная промышленность.

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

Материалы, которые содержат более 50% стирола относятся к полистирольным пластикам. Это прежде всего так называемые ударопрочные пластики. Поскольку полистирол хрупок, его смешивают с эластомерами. Марочный ассортимент этих материалов оказался весьма широк.

За первое полугодие 2016 г. объем производства полистирола составил 259,4 тыс. тонн. Структура производства практически не изменилась: 73% приходится на полистирол общего назначения и ударопрочный, 24% — на вспененный полистирол, 3% — на АБС.

Вследствие специфических свойств эмульсионного полистирола в настоящее время возникает необходимость в производстве полистирола эмульсионным способом. Поэтому является целесообразным разработка проектов по его получению, один из которых представлен в данной работе.

Глава 1. Литературный обзор

1.1 Общая характеристика производства

1.1.1 Техничко – экономические обоснования

В последние годы в связи с развитием синтетических материалов рынок стал заполняться новыми изделиями. Синтез полимерных материалов стал играть важную роль в промышленности всего мира. Такие материалы могут объединять в себе наилучшие свойства в зависимости от применения – легкость, прочность, пластичность, легкость и другие. Также они имеют существенные экономические преимущества перед другими материалами – быстрота и качество получения. В настоящее время набирает динамику процесс замещения металлических изделий на более легкие, коррозионно-устойчивые, инертны к многим едким веществам полимерные материалы.

На данный момент объем производства полимеров составляет 235 млн. тонн в год и по статистике с каждым годом это число увеличивается.

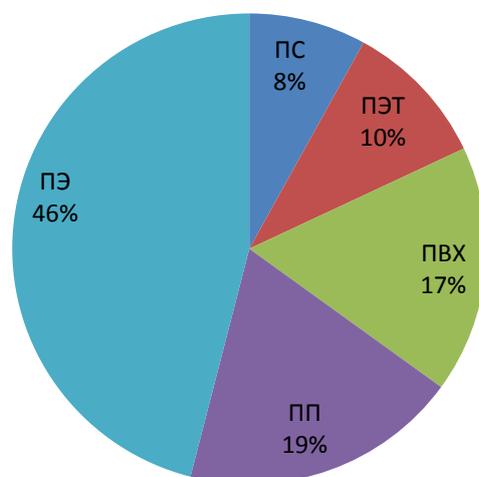


Рисунок 1 – Объемы производства полимеров на Российском рынке

ПЭ – полиэтилен; ПП – полипропилен; ПВХ – поливинилхлорид; ПЭТ – полиэтилентерефталат; ПС – полистирол.

К наиболее массовым полимерам относится полистирол. Доля производства полистирола на Российском рынке составляет 8% от всех полимеров (рисунок 1) . В последнее время доля полистирола уменьшается из-за увеличения стоимости мономера и развития изделий из полиэтилентерефталата и полипропилена. На экономику процесса и на свойства получаемого продукта влияет метод проведения полимеризации.

Полимеризация стирола в промышленности осуществляют в блоке или массе, суспензии, эмульсии и в растворе. Полимеризация в растворе имеет ряд существенных недостатков: во-первых, он имеет невысокую молекулярную массу, что создает трудности при его переработке. Во-вторых, выделение из раствора представляет значительные затруднения, поэтому этот метод не нашел широко применения.

1.1.2 Производство полистирола в массе (блоке)

Существует два способа полимеризации стирола в массе. Первый – непрерывными методами в аппаратах колонного типа с полной конверсией. Реактор – полимеризатор представляет собой аппарат «идеального вытеснения». Процесс работы реактора полностью автоматизирован. Системы регулирования поддерживают реакционную температуру по всей длине реактора, дозируют подачу мономера стирола. Можно контролировать все параметры процесса, что позволяет получать различные марки хорошо перерабатываемого полимера. Выбирать те или иные параметры для определенных видов изделий. Проводят термическое иницирование. В результате чего полистирол получают за несколько часов. Химическое иницирование крайне негативно влияет на величину молекулярной массы и приводит к понижению физико-механических свойств, например ударной нагрузки. При увеличении степени полимеризации стирола скорость реакции практически останавливается. Это происходит примерно при конверсии 90%. В результате одного цикла нельзя получить чистый продукт, не загрязненный

мономером. Что бы отчистить полистирол от токсичного стирола, расплав полимера переводят в вакуум. В результате полимеризации получается прозрачный, термопластичный, имеющий широкое молекулярно-массовое распределение полимер.

К недостаткам метода можно отнести высокую вязкость, которая вызывает ряд неудобств: длительность процесса, небольшую производительность, трудности с отводом тепла и отчистка от не прореагировавших веществ.

К преимуществам стоит отнести экологичность производства вследствие отсутствия сточных вод, возможность создания непрерывных, с высокой производительностью и с полным регулированием свойств полимера.

Второй способ производства – полимеризацию стирола в массе непрерывным методом в каскадах реакторов (с неполной конверсией). Конверсия составляет 90 – 97 %. Каскад реакторов позволяет добавлять в реакционную массу до 10 % растворителя. Это небольшое допущение значительно облегчает процесс полимеризации, улучшается теплоотвод в результате испарения растворителя, уменьшается вязкость реакционной среды.

К преимуществам данного метода следует отнести достаточно большую производительность с одного агрегата, повсеместное регулирование свойств полимера, однородность физико-механических показателей и ММР.

1.1.3 Производства полистирола в суспензии

Полимеризация стирола в суспензии проводят периодическим методом в реакторах с мешалкой. Полимеризацию проводят в водной фазе, то есть образование высокомолекулярного вещества происходит в каплях мономера, суспензированного в воде. Для предотвращения слипания капель мономера

используют стабилизаторы. В качестве стабилизатора выступает поливиниловый спирт, желатин, крахмал, к неорганическим стоит отнести – фосфат и карбонат кальция, тальк, гидроксиды магния и алюминия.

Перемешивание реакционной среды поддерживает образование капель стирола, однако интенсивное перемешивание способно разрушить образовавшуюся суспензию.

Инициаторами являются пероксиды, в частности бензоила или ацетилбензоила и азосоединения, такие как динитрил азобисизомасляной кислоты (ДАК), которые должны быть растворимы в стироле, но не растворимы в воде. После выбора инициатора, устанавливают температурный режим процесса, так как он на прямую зависит от температуры разложения инициатора. Но по мере конверсии мономера в полимер температуру увеличивают для предотвращения разрушения суспензии. Температура реакционной среды не должна превышать на более чем 15 °С температуру размягчения полимера.

К недостаткам данного метода следует отнести периодичность и многостадийность, небольшая производительность, загрязнение готового продукта следами стабилизатора, наличие сточных вод.

К преимуществам можно отнести получение широкого марочного ассортимента продуктов, отсутствие следов мономера в готовом продукте, узкое молекулярно-массовое распределение (ММР), что способствует таким свойствам полистирола, как большая ударная вязкость и термостойкость.

1.1.4 Производство полистирола в эмульсии

Полимеризация стирола в эмульсии проводят периодическим методом в реакторах с мешалкой. Реакция производится в водной фазе в присутствии эмульгаторов и водорастворимых инициаторов.

В качестве эмульгаторов используют поверхностно-активные вещества (ПАВы), такие как натриевые или калиевые соли жирных кислот –

стеариновой, олеиновой, соли алифатических и ароматических сульфокислот. Количество эмульгатора определяет нормы ведения процесса. К примеру, увеличение количества эмульгатора ведет к увеличению скорости реакции, уменьшению молекулярной массы эмульсионного полистирола, уменьшению размеров частиц полимера.

В роли инициатора выступают водорастворимые пероксиды и гидропероксиды. Регуляторы молекулярной массы – додецилмеркаптан или диизопропилксантогетатдисульфид.

В таблице 1 приведены физико-механические свойства полистирола. [1]

Таблица 1 – Физико-механические свойства ЭПС

Показатель	Значение
Молекулярная масса	До 1000000
Плотность, кг/м ³	От 1050 до 1070
Разрушающее напряжение при разрыве, МПа	От 39 до 44
Ударная вязкость, кДж/ м ²	От 21 до 22
Теплостойкость по Вика, С	От 100 до 105
Диэлектрическая проницаемость при 10 ⁵ Гц	От 2,5 до 2,6
Содержание остаточного мономера, %	От 0,15 до 0,2

На основании данных таблицы можно сделать вывод, что эмульсионный полистирол имеет низкое содержание остаточного мономера и значительную молекулярную массу.

Недостатки это метода являются загрязнение готового продукта следами эмульгатора – ухудшается прозрачность и диэлектрические свойства. Необходимость выделения готового продукта из реакционной смеси приводит к образованию большого количества сточных вод.

К достоинствам метода следует отнести облегченный теплоотвод, автоматическое регулирование параметрами процесса, достаточно низкие температуры полимеризации, высокую молекулярную массу и не большие размеры частиц.

Из всего вышперечисленного следует, что эмульсионный метод полимеризации полистирола характеризуется отличительными

особенностями и в настоящее время широко применяется для получения АБС-пластиков.

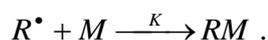
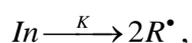
1.2 Кинетика процесса полимеризации

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

1.2.1 Закономерности радикальной полимеризации

Цепной процесс, проходящий через образование свободных макрорадикалов, называется радикальная полимеризация. Обычно радикальная полимеризация включает три стадии: иницирование, рост цепи и обрыв цепи.

Иницирование радикальной полимеризации – это процесс образование свободных радикалов, приводящий к образованию активного центра. Процесс иницирования проходит в два этапа. Первый этап иницирования – это разложение инициатора In , которое приводит к образованию свободных радикалов R . Второй этап иницирования заключается во взаимодействии свободного радикала R с молекулой мономера M , который приводит к образованию активного центра свободно-радикального типа.



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

$$V_{ин} = K_{ин} \cdot [In], \quad (1.2.1.1)$$

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

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

Инициирование радикальной полимеризации вполне вероятно разными способами.

Способы инициирования делятся на термическое инициирование, фотоинициирование, радиационное инициирование и химическое инициирование с добавлением специальных веществ – инициаторов.

Термическое инициирование – это образование свободных радикалов из мономеров под влиянием тепла.

Фотоинициирование – это образование свободных радикалов из мономеров под влиянием кванта света.

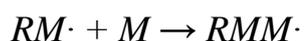
Радиационное инициирование – это образование свободных радикалов из мономеров под влиянием ионизирующего излучения.

Химическое инициирование – это образование свободных радикалов из мономеров под влиянием специальных веществ – инициаторов или при окислительно-восстановительных реакциях.

Инициаторами называются вещества, которые легко образуют свободные радикалы в результате гомолитического разрыва лабильных связей.

Основной стадией радикальной полимеризации является стадия роста цепи, которая является ответственной за размер макромалекул. 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:



Присоединение молекул мономера к активным центрам может происходить несколькими способами:

- «Голова к хвосту», когда к концу одного звена («хвосту») присоединяется начало («голова») другого;
- «Хвост к хвосту», когда к концу одного звена («хвосту») присоединяется конец другого («хвост»).
- «Голова к голове», когда к началу одного мономерного звена («голове») присоединяется начало («голова») другого.

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

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

$$V_p = K_p \cdot [M\cdot] \cdot [M], \quad (1.2.1.2)$$

где K_p – константа скорости реакции роста цепи,

$[M\cdot]$ – концентрация растущих радикалов,

$[M]$ – концентрация мономера.

Обрыв цепи – это реакция гибели активных центров. Истинный обрыв цепи приводит к обрыву материальной и кинетической цепи. Данная реакция имеет возможность произойти на любой стадии полимеризации, что приводит к получению макромолекул различной длины.

Существует два способа обрыва цепи: рекомбинация и диспропорционирование .

Рекомбинация – это соединение двух 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:

$$V_{об}^p = \kappa_{об}^p \cdot [M\cdot]^2 \quad (1.2.1.3)$$

Диспропорционирование – образование двух макромолекул, одна из которых в конечном звене имеет двойную связь в результате отщепления атома водорода от конечного звена одного макрорадикала и перевод его к другому с насыщением его свободной валентности .

Если $K_{об}^P$ – константа скорости реакции обрыва диспропорционированием, а $[M]$ – концентрация растущих макрорадикалов, то скорость реакции обрыва подчиняется уравнению:

$$V_{об}^D = K_{об}^D \cdot [M \cdot]^2. \quad (1.2.1.4)$$

Оба механизма возможны при реакции полимеризации.

В общем случае:

$$K_{об} = K_{об}^P + K_{об}^D, \text{ тогда } V_{об} = K_{об} \cdot [M \cdot]^2$$

Уравнение для скорости полимеризации выглядит следующим образом:

$$V = k_p \frac{(k_{ин} \cdot f)^2}{k_{об}^{0.5}} \cdot [J]^{0.5} \cdot [M] \quad (1.2.1.5)$$

1.2.2 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: мономера, 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. Природа эмульгатора, температура и другие факторы влияют на критическую концентрацию мицеллообразования (ККМ). Частицы эмульгатора в растворе и мицеллах находится в динамическом равновесии. Каждая мицелла состоит от 50 до 100 молекул эмульгатора. Мицеллы могут иметь сферическую (рисунок 2) или пластинчатую (рисунок 3) формы:

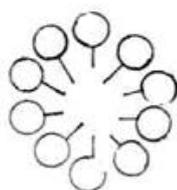


Рисунок 2 – Сферическая форма мицелл

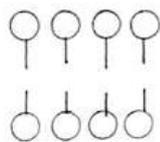


Рисунок 3 – Пластинчатая форма мицелл

В обоих случаях полярные группы эмульгатора располагаются во внешней части мицеллы и обращены к воде, а углеводородные радикалы – во внутренней. Длина пластинчатых мицелл равна от 0,1 до 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 наличии мономеров, нерастворимых или плохо растворимых в воде, только незначительная часть растворяется и переходит в раствор. Большая часть мономеров диспергирована в виде капель, размер которых зависит от скорости перемешивания. Размер в диаметре таких капель не менее 1 мкм, то есть намного 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.

Однако, несмотря на наличие в реакционной системе значительного количества мицелл, суммарное количество мицеллярно-растворённых мономеров относительно невелико. Остаток мономеров существует в виде

капель эмульсии, на внешней поверхности которых происходит адсорбция молекулы эмульгатора гидрофобной группой в воде, а гидрофильной - к углеводороду.

Эмульсионная полимеризация инициируется водорастворимыми веществами.

При использовании такого инициатора свободные радикалы образуются в водном растворе и могут встречаться с каплями мономеров и мицеллами, содержащими солюбилизированный 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 солюбилизированных 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 от 2 до 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. Количество полимерных частиц не изменяется в процессе полимеризации. С увеличением размера полимерных частиц величина капелек мономера уменьшается. При конверсии от 50 до 80% капли низкомолекулярного вещества исчезают, а полимерные частицы содержат весь остаточный мономер. В результате падения концентрации мономера в частицах полимера скорость процесса полимеризации необратимо и постоянно уменьшается.

Полимер представляет собой частицы размером в диаметре от 0,05 до 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, K₂SO₄, (NH₄)₂SO₄ и другие). [6]

1.2.3 Термодинамика полимеризационных процессов

Возможность образования высокомолекулярного вещества из низкомолекулярных веществ определяется термодинамическими и кинетическими факторами.

Поскольку процесс полимеризации проходит в основном при постоянном давлении, поэтому для описания процесса используем уравнение изменения изобарно-изотермического потенциала (энергии Гиббса) системы (ΔG):

$$\Delta G = \Delta H - T \cdot \Delta S \quad (1.2.3.1)$$

где ΔH - изменение энтальпии системы;

T - абсолютная температура;

ΔS - изменение энтропии системы.

Процесс полимеризации становится термодинамически возможен тогда, когда термодинамический потенциал системы уменьшается. Но это не значит, что в данных конкретных условиях процесс будет протекать с ощутимой скоростью или приведёт к образованию продукта с высокой молекулярной массой. Это все определяется кинетическими факторами. [2]

Используя уравнение (1.2.3.1), 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 ΔH и фазовым состоянием компонентов системы.

Для перехода жидкий стирол - жидкий (конденсированный) полистирол предельная температура полимеризации равна примерно 427 °С. 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 ΔS при переходе из газообразного состояния в жидкое $T_{пр}$ понижается до 250 °С. 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:

$$T_p = \frac{\Delta\tilde{H}'}{\Delta\tilde{S}' + R \cdot \ln[M]} \quad (1.2.3.2)$$

$$\ln[M]_p = \frac{\Delta\tilde{H}'}{R \cdot T} - \frac{\Delta\tilde{S}'}{R}, \quad (1.2.3.3)$$

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 увеличения температур. На данном этапе проблема сдвига равновесия становится очень необходимой. Ниже рассмотрено влияние давления на равновесную температуру полимеризации. Зависимость $T_{пр}$ от давления описывается уравнением Клаузиуса – Клапейрона:

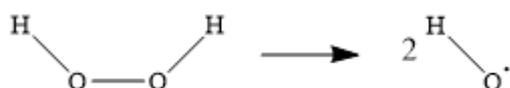
$$\frac{dT_{np}}{dP} = \frac{\Delta V}{\Delta S} = \frac{\Delta V}{\Delta H} \cdot T_{np} \quad (1.2.3.4)$$

Определяющим, таким образом, становится изменение объема системы.

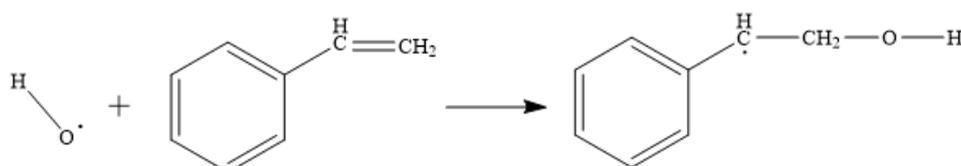
1.2.4 Химизм процесса эмульсионной полимеризации стирола

Для проведения процесса полимеризации стирола в полистирол в качестве эмульгатора используется олеат натрия, а в качестве инициатора применяется пероксид водорода.

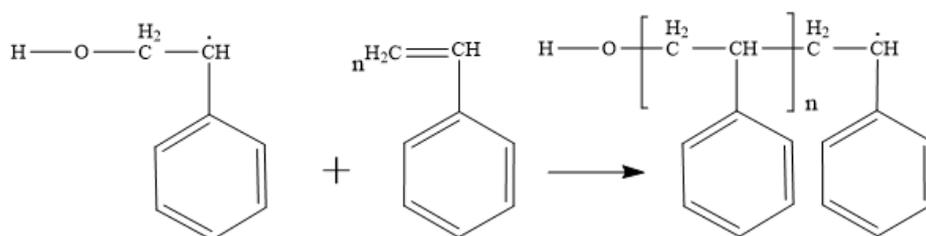
1. Распад пероксида водорода на два радикала



2. Иницирование



3. Рост цепи.

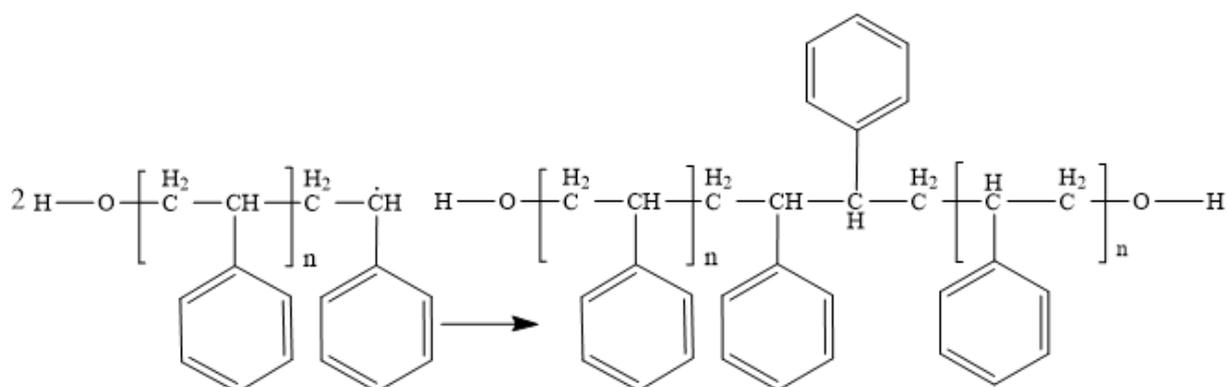


4. Обрыв цепи.

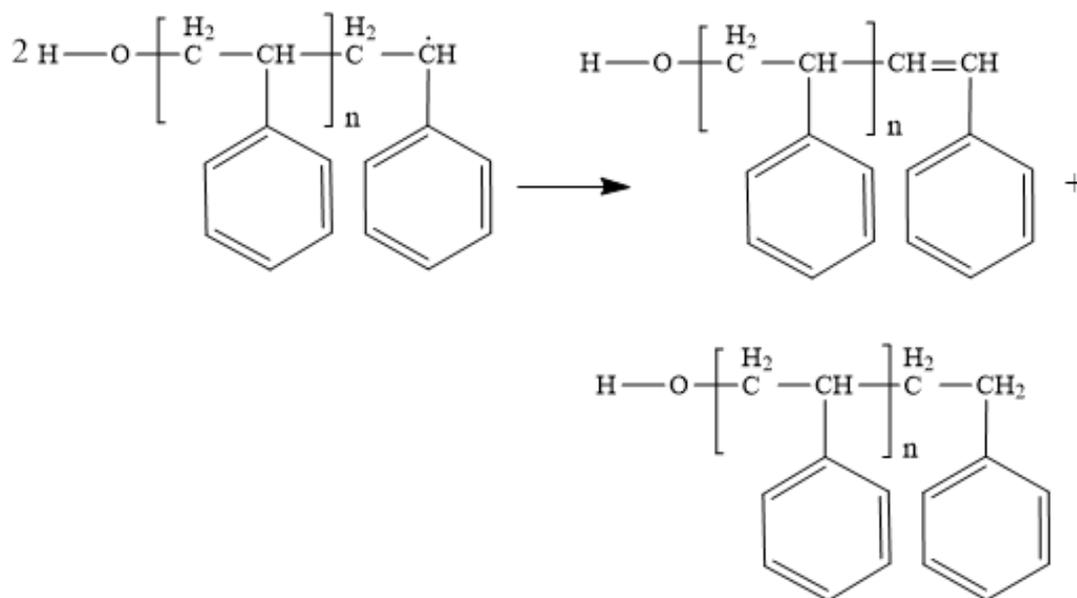
Для радикального процесса полимеризации стирола характерна реакция обрыва цепи путем взаимодействия двух полимерных радикалов друг с другом. Так же характерна и другая реакция, приводящая к обрыву полимерных цепей. Это спонтанная реакция передачи цепи на мономер.

а) Обрыв цепи путем взаимодействия двух полимерных радикалов.

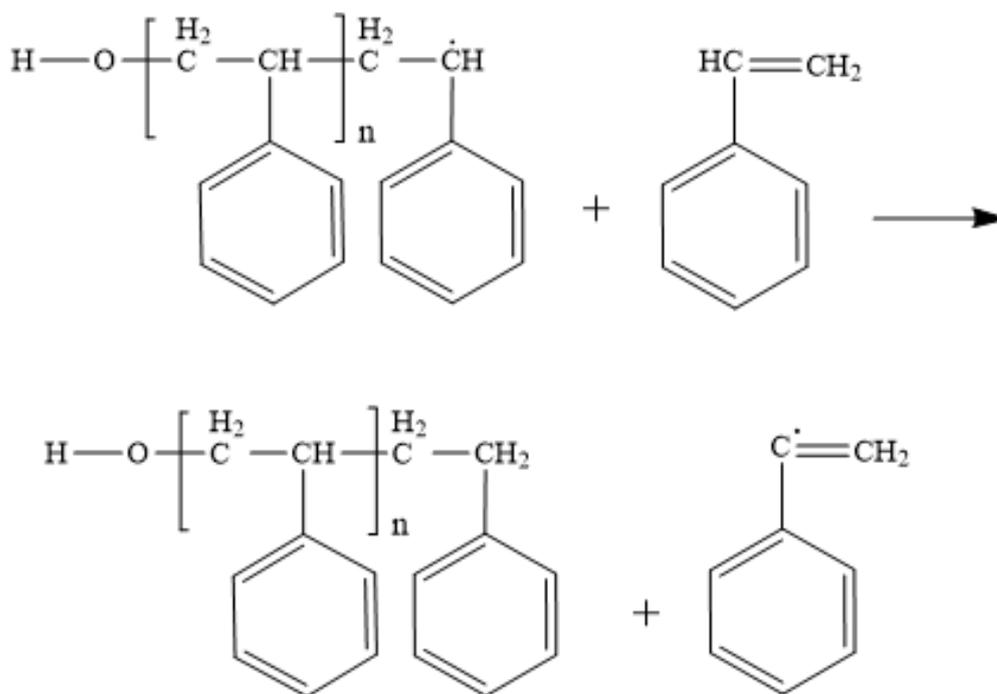
1) рекомбиция



2) диспропорционирование



б) Спонтанная реакция передачи цепи на мономер.



1.2.5 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.

1. Влияние температуры

Повышение температуры приводит к увеличению констант скоростей всех элементарных стадий процесса полимеризации. Наиболее чувствительной к изменению температуры является стадия иницирования.

Повышение скорости инициирования приводит к увеличению числа активных центров и, следовательно, к увеличению роста цепи:

$$V_p = K_p \cdot [M \cdot] \cdot [M] \quad (1.2.5.1)$$

Одновременно растёт и скорость обрыва цепи:

$$V_{об} = \kappa_{об} \cdot [M \cdot]^2 \quad (1.2.5.2)$$

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.

2. Влияние давления

Обычно с повышением давления увеличивается скорость и молекулярная масса полимера.

3. Влияние концентрации мономера

При увеличении концентрации мономера повышается скорость полимеризации и увеличивается средняя степень полимеризации.

4. Влияние концентрации инициатора

При увеличении концентрации инициатора увеличивается скорость полимеризации, но уменьшается молекулярная масса полимера.

5. Зависимость скорости полимеризации от времени

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

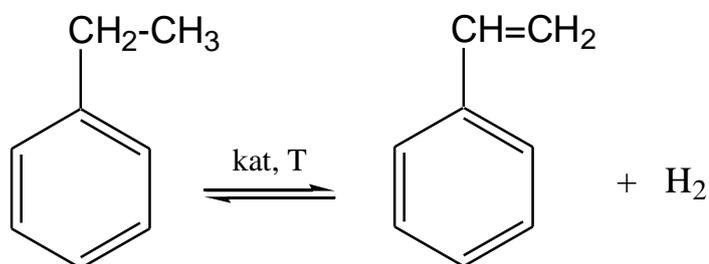
На скорость эмульсионной полимеризации стирола также оказывает влияние и концентрация эмульгатора. При увеличении концентрации эмульгатора скорость полимеризации увеличивается. [7]

Глава 2. Объект и методы исследования

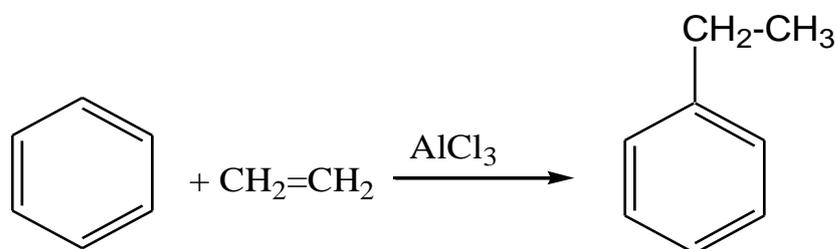
2.1 Характеристика стирола

Основным продуктом в производстве полистирола является стирол, который можно получить несколькими способами. Стирол находится в легких и оросительных маслах, а также в других фракциях, получаемых при пиролизе нефти и сухой перегонке угля. В промышленности основной способ получения стирола.

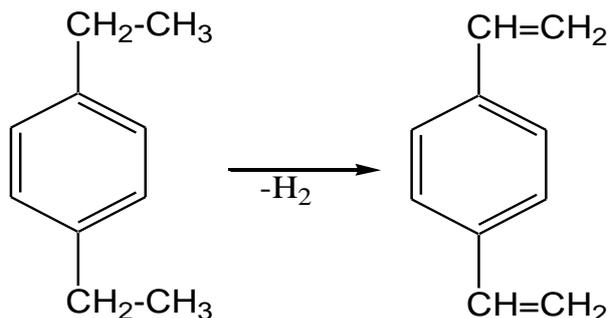
1. Дегидрирование этилбензола в присутствии окисных катализаторов при температуре 560 – 600 °С



2. Алкилирование жидкофазным методом в присутствии катализатора AlCl_3 при температуре 75 – 95 °С



В результате реакции образуется полиалкилбензола. Этилбензол отчищают от вредных примесей с помощью ректификации.



Особо тщательно необходимо удалять *n*-диэтилбензол. Это соединение при реакции дегидрировании образует *n*-дивинилбензол, который в свою очередь благоприятствует сшивке макромолекул полистирола. Полимер будет обладать нежелательными свойствами: плохую растворимость в растворителях, остаточное выделение этилбензола уже из готового полистирола приводит к потускнению и растрескиванию материала.

При длительном хранении стирол полимеризуется в прозрачный, аморфный полимер. Для предотвращения полимеризации добавляют ингибиторы такие как гидрохинон, резорцин и *p*-третбутил пирокатехин. 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 промывки и последующей отмывки водой мономер не сушат. В таблице 2 приведены физико-химические свойства стирола. [1]

Таблица 2 – Физико-химические свойства стирола

Свойство	Значение
Молярная масса, г/моль	104,15
Плотность, г/см ³	0,909
Вязкость при 25 °С, спз	0,730
Температура	
Кипения, °С	145,2
Плавления, °С	Минус 30,63
Температура вспышки, °С	31,0
Температура воспламенения, °С	34,0
Теплота испарения, кал/г	86,9
Плавления	25,4
Горения	10,04
Полимеризации	168
Удельная теплоемкость при 25 °С, кал/(г·град)	0,407

2.2 Характеристика целевого продукта

Полистирол относится к группе весьма инертных пластмасс. Полистирол представляет собой твердый, аморфный, прозрачный высокомолекулярный продукт без цвета и запаха. Полистирол растворяется в стироле, тетрахлориде углерода, бензоле, простых и сложных эфирах, ароматических и алифатических углеводородах, но не растворяется в низших спиртах, этиловом эфире и воде. Полистирол горюч, горит коптящим пламенем.

Достоинства полистирола – высокая водостойкость и химическая стойкость, высокие диэлектрические показатели, хорошая окрашиваемость, обладает хорошими механическими и изоляционными свойствами, значительной конструкционной гибкостью, имеет хорошие оптические свойства, легок в переработке различными способами.

Недостатки полистирола – не стоек к ударным нагрузкам, невысокая рабочая температура, склонность к старению.

Таблица 3 – Физико-химические свойства полистирола полученного эмульсионным методом [1]

Свойства	Значение
Плотность, кг/м ³	От 1050 до 1070
Разрушающее напряжение при растяжении, МПа	От 39,2 до 44
Ударная вязкость, кДж/м ²	21,6
Относительное удлинение при разрыве, %	2,0
Твердость по Бринеллю, МПа	От 137 до 196
Теплостойкость по Вика, °С	От 100 до 105
Диэлектрическая проницаемость при 10 ⁶ Гц	2,6
Содержание остаточного мономера, %	От 0,15 до 0,2
Водопоглощение за 24ч. %	0,07

2.3 Характеристика инициатора

В качестве катализатора применяется пероксид водорода. Пероксид водорода – это бесцветная жидкость с «металлическим вкусом», которая неограниченно растворяется в воде, спирте и эфире. Является хорошим растворителем. Некоторые физико-химические свойства приведены в таблице 4.

Таблица 4 – физико-химические свойства катализатора

Свойства	Значения
Молярная масса, г/моль	34,01
Плотность, кг/м ³	1400
Кинематическая вязкость, см ² /с	1,245
Температура плавления, °С	– 0,432
Температура кипения, °С	150,2

2.4 Характеристика эмульгатора

В качестве эмульгатора используют олеат натрия. Олеат натрия – это мелкокристаллический порошок, растворимый в воде. Некоторые физико-химические свойства приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Физико-химические свойства эмульгатора

Свойства	Значение
Молярная масса, г/моль	304,44
Плотность, кг/м ³	1100
Температура плавления, °С	От 232 до 235

2.5 Описание технологической схемы

В настоящее время существует множество различных полимерных материалов и множество технологических схем их получения. Но в промышленности используют в основном типовые химические и физические процессы.

Химические и физические процессы подразделяются на:

- Процессы массообмена (растворение, экстракция и т. п.);
- Процессы теплообмена (подогрев, охлаждение);

— Процессы химические (полимеризация, поликонденсация, реакции в цепях полимеров).

— Процессы гидромеханические (отстаивание, центрифугирование, фильтрование и др.);

— Процессы механические (измельчение, рассев, транспортирование и др.).

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

— массообмена (растворение инициатора, эмульгатора);

— химические (полимеризация стирола);

— гидромеханические (коагуляция полимера).

— теплообмена (сушка полимера);

— механические (просев и грануляция полистирола);

Эмульсионный полистирол можно получить как периодическим, так и непрерывным способом. Однако, в промышленности получил распространение периодический способ получения. Перевод производства на непрерывный способ имеет ряд недостатков. Во-первых, наличие большого количества сточных вод, загрязненных химическими веществами. Во-вторых, на стадии сушки полимера, происходит значительное выделение пылевидного полистирола.

Технологический процесс получения полистирола эмульсионным способом состоит из следующих стадий [2]:

1. подготовка сырья (растворение инициатора, эмульгатора и электролита для коагуляции полимера);

2. полимеризация стирола;

3. коагуляция (осаждение) полимера;

4. промывка и центрифугирование;

5. сушка полимера;

б. просев и грануляция полистирола.

Использование деминерализованной воды для получения полистирола, повышает устойчивость эмульсии и улучшает его диэлектрические свойства.

Полимеризации стирола проводится в реакторе (6). На стадию полимеризации поступают только жидкие реагенты, поэтому предпочтительней выбрать реактор емкостного типа.

Получение полистирола проводят при температуре 80 °С. Для создания и поддержания заданной температуры реакционный аппарат (6) снабжают рубашкой. Реакционная смесь представляет собой эмульсию, которую необходимо интенсивно перемешивать. Для этой цели применяются различные виды перемешивающих устройств. На данном этапе выбираем якорную мешалку. Данный тип мешалки осуществляет хорошее перемешивание реакционной массы и позволяет интенсифицировать процесс теплообмена.

Процесса полимеризации во времени в среднем составляет около 4 часов.

Полученную эмульсию сливают в промежуточную емкость (7). Из этой емкости эмульсию насосом подают на стадию коагуляции (9). Эта стадия необходима для того, чтобы выделить полимер в твердом виде. С целью выделения полимера в твердом виде к латексу полистирола прибавляют раствор электролита. Процесс проводят в аппарате емкостного типа, снабженном мешалкой.

Стадию промывки и центрифугирования проводят в двух различных аппаратах (10). Промывка осуществляется в аппарате емкостного типа с механическим перемешивающим устройством. Проведение этой стадии необходимо для удаления остатков электролита. Необходим подвод большого количества деминерализованной воды. Дальнейшее удаление водной фазы проходит в центрифуге.

Последняя стадия получения полистирола эмульсионным способом – сушка (11). В процессе сушки из полимера удаляются остатки влаги. Конечная влажность готового продукта должна составлять 0,5%. Для

осуществления этого процесса используется сушильный аппарат с кипящим слоем. [2]

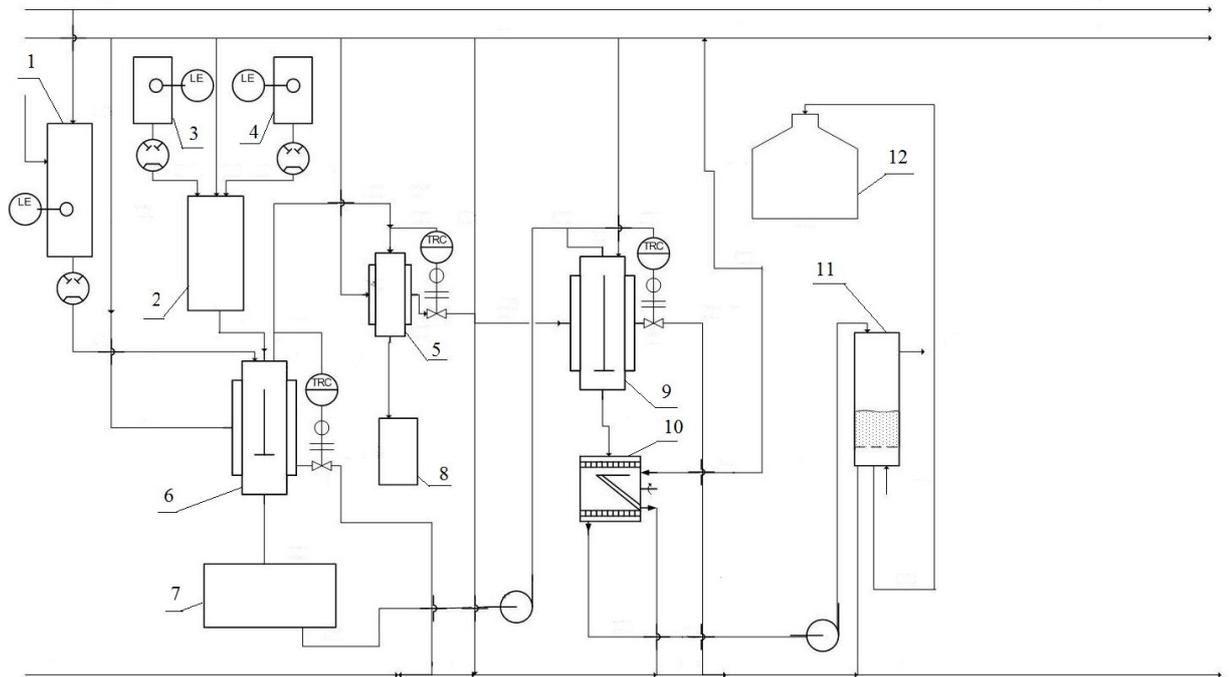


Рисунок 4 – Технологическая схема производства ЭПС

1 – мерник для смеси мономер и раствор инициатора; 2 – мерник для раствора эмульгатора; 3 – мерник олеиновой кислоты; 4 – мерник гидроксида натрия; 5 – теплообменник; 6 – реактор; 7 – сборник латекса; 8 – сборник стирола; 9 – осадитель; 10 – центрифуга; 11 – сушилка; 12 – бункер.

Глава 4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

4.1 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.

4.2 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 1 приведена оценочная карта, включающая конкурентные технические разработки в области производства полистирола.

Таблица 25 – 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 _ф	Б _{к1}	Б _{к2}	К _ф	К _{к1}	К _{к2}
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
Итого:	1				4,0	4,2	4,5

4.3 SWOT-анализ

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

Результаты первого этапа SWOT-анализа представлены в таблице 2.

Таблица 26 – Первый этап SWOT-анализа

	Сильные стороны научно-исследовательского проекта: С1. Выполнение индивидуальной готовой продукции С2. Квалифицированный персонал С3. Возможность использования инновационной инфраструктуры ТПУ	Слабые стороны научно-исследовательского проекта: Сл1. Не экологичность технологии Сл2. Большой срок поставок материалов и комплектующий
Возможности: В1. Использование инфраструктуры ОЭЗ ТВТ Томск В2. Появление дополнительного спроса на новый продукт		
Угрозы: 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 3,4,5 и 6.

Таблица 27 – Интерактивная матрица проекта «Сильные стороны и возможности»

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

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

Слабые стороны проекта		
Возможности проекта		Сл1
	B1	+
	B2	-

Таблица 29 – Интерактивная матрица проекта «Сильные стороны и угрозы»

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

Таблица 30 – 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 7.

Таблица 31 – Итоговая матрица SWOT-анализа

	Сильные стороны научно-исследовательского проекта: С1. Выполнение индивидуальной готовой продукции С2. Квалифицированный персонал С3. Возможность использования инновационной инфраструктуры ТПУ	Слабые стороны научно-исследовательского проекта: Сл1. Большой срок поставок материалов и комплектующий
Возможности: 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
Угрозы: 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.

4.4 Определение возможных альтернатив проведения научных исследований

В таблице 32 представлена морфологическая матрица для способов получения полистирола.

Таблица 32 – 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

4.5 Планирование научно-исследовательских работ

4.5.1 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 9.

Таблица 33 – 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

4.5.2 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_{pi} , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями:

$$T_{pi} = \frac{t_{ож\ i}}{q_i},$$

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 34.

Таблица 34 – Временные показатели проведения научного исследования

№	Название работ	Трудоемкость работ									Исполнители	Т _р , раб. дн.			Т _р , кал. дн.		
		t _{min} , чел-дн.			t _{max} , чел-дн.			t _{ож} , чел-дн.				Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
		Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3							
1	Составление технического задания	0,3	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 ¹	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 ²	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	Определение	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 _р , раб. дн.			Т _р , кал. дн.		
		t _{min} , чел-дн.			t _{max} , чел-дн.			t _{ож} , чел-дн.				Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
		Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3							
	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 ¹	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 ²	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

К¹ – консультант по экономической части

К² – консультант по социальной ответственности

4.6 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 35, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ. Данный график строится на основе таблицы 10.

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 35 – 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 производства	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			
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

4.7 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.

4.7.1 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 36.

Таблица 36 – Материальные затраты

Наименование	Ед. из м.	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
Итого:								1001175	1042872	1124122

4.7.2 Расчет затрат на оборудование для научно-экспериментальных работ

В таблице 37 приведены затраты на оборудование.

Таблица 37 – Затраты на оборудование для научно-экспериментальных работ

№	Наименование оборудования	Кол-во единиц	Цена за единицу, руб	Сумма амортизационных отчислений, руб
1	Мерник 10 м ³	3	45000	2250
2	Мерник 8 м ³	2	40000	2667
3	Мерник 3,2 м ³	1	25000	1250
4	Емкостной реактор 10 м ³ 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 ³	1	50000	2500
Итого:				55400

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 37.

4.7.3 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 34).

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 38 приведен баланс рабочего времени каждого работника НИИ.

Таблица 38 – 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:

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

где $Z_{тс}$ – заработная плата по тарифной ставке, руб.; $k_{пр}$ – премиальный коэффициент, равный 0,3 (т.е. 30% от $Z_{тс}$); k_d – коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,2 – 0,5; k_p – районный коэффициент, для Томска равный 1,3.

Расчет основной заработной платы приведен в таблице 39.

Таблица 39 – Расчет основной заработной платы

Категория	$Z_{тс}$, 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 40.

Таблица 40 – 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

4.7.4 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 41.

Таблица 41 – 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	
Итого:	117092,4	

4.7.5 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 НИИ составляют 81184.

4.7.6 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 42.

Таблица 42 – Расчет бюджета НИИ

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 НИИ	1645159,6	1686856,6	1768106,6	Сумма статей 1- 6

Как видно из таблицы 42 основные затраты НИИ приходится на материальные затраты.

4.8 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;

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

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

Полученная величина интегрального финансового показателя разработки отражает соответствующее численное увеличение бюджета затрат разработки в 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 43, а сравнительная эффективность разработки в таблице 44.

Таблица 43 – 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
Итого:	1	4,4	4,1	4

Таблица 44 – 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.