

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

---

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

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

Тема работы
<b>Проект узла полимеризации винилацетата эмульсионным способом</b>
УДК <u>66.095.26.023:678.744.422</u>

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2Д3А	Логунова Анастасия Николаевна		

Руководитель

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

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

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

По разделу «Социальная ответственность»

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

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Заведующий кафедрой ТОВПМ	Юсубов Мехман Сулейман оглы	Доктор химических наук, профессор		

Томск – 2017 г.

## ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

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



<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b></p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой наук техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<p>В ходе работы были разработаны следующие разделы:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– теоретическая часть;</li> <li>– объект и методы исследования;</li> <li>– инженерные расчеты, включающие материальный, тепловой, механический расчеты, расчет вспомогательного оборудования;</li> <li>– контроль производства;</li> <li>– финансовый менеджмент ресурсоэффективность и ресурсосбережение;</li> <li>– социальная ответственность.</li> </ul> <p>Заключение по работе.</p>
<p><b>Перечень графического материала</b></p> <p>(с указанием обязательных чертежей)</p>	
<p><b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b></p> <p>(с указанием раздела)</p>	
<b>Раздел</b>	<b>Консультант</b>
<p>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</p>	<p>Рыжакина Татьяна Гавриловна (к.э.н.)</p>
<p>Социальная ответственность</p>	<p>Раденков Тимофей Александрович</p>

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

**Задание выдал руководитель:**

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

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
<p>2Д3А</p>	<p>Логунова Анастасия Николаевна</p>		

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

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
2Д3А	Логунова Анастасия Николаевна

<b>Институт</b>	<b>ИПР</b>	<b>Кафедра</b>	<b>ТОВПМ</b>
<b>Уровень образования</b>	Бакалавриат	<b>Направление/специальность</b>	Химическая технология

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

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	<i>Работа с информацией, представленной в российских и иностранных научных публикациях, аналитических материалах, статических бюллетенях и изданиях, нормативно-правовых документах; анкетирование; опрос.</i>
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	

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

1. <i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	<i>1. Потенциальные потребители результатов исследования 2. Анализ конкурентных технических решений 3. SWOT-анализ</i>
2. <i>Определение возможных альтернатив проведения научных исследований</i>	<i>Определение целей и ожиданий, требований проекта. Определение заинтересованных сторон и их ожиданий.</i>
3. <i>Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	<i>Составление календарного плана проекта. Определение бюджета НИИ</i>
4. <i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	<i>Проведение оценки экономической эффективности исследования получения поливинилацетата эмульсионным способом</i>

**Перечень графического материала:**

<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Оценка конкурентоспособности технических решений</li> <li>2. Матрица SWOT</li> <li>3. Альтернативы проведения НИ</li> <li>4. График проведения и бюджет НИ</li> <li>5. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ</li> </ol>
---

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

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Доцент кафедры менеджмента	Рыжакина Татьяна Гавриловна	Кандидат экономических наук		

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
2Д3А	Логунова А.Н.		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
2ДЗА	Логунова Анастасия Николаевна

<b>Институт</b>	<b>ИПР</b>	<b>Кафедра</b>	<b>ТОВПМ</b>
<b>Уровень образования</b>	Бакалавриат	<b>Направление/специальность</b>	Химическая технология

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

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

*Объектом исследования является технология получения поливинилацетата методом эмульсионной полимеризации винилацетата в реакторе с якорной мешалкой и тепловой рубашкой. Основной сферой применения поливинилацетата является производство поливинилацетатного клея (клей ПВА), водоземлюльсионных и акриловых красок, а также дальнейшая переработка в поливиниловый спирт и поливинилацетали.*

**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).

*Основным вредным фактором производства является нежелательный контакт с веществами участвующими в синтезе или их парами.*

*Для уменьшения времени непосредственного контакта с вредными веществами или с целью полного его исключения принимаются следующие меры: надежная герметизация трубопровода, оснащение производства приточно-вытяжной вентиляцией, для каждого работника применяются изолирующие противогазы.*

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

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

*На производстве присутствует ряд опасных факторов. Термическая опасность из-за соприкосновения предметами, имеющими высокую температуру. Решить эту проблему можно средствами индивидуальной защиты. Пожаровзрывоопасность в случае непредвиденного возгорания. Электробезопасность, которая регламентируется применением заземления и зануления, а так же узлов защитного отключения.*

<p><b>2. Экологическая безопасность</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы);</li> <li>– анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы);</li> <li>– анализ воздействия объекта на литосферу (отходы);</li> </ul> <p>разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды.</p>	<p>Процесс производства максимально автоматизирован, что сводит до минимума возможные выбросы в атмосферу. Уменьшение количества выбросов достигается путем правильного ведения технологического процесса, герметичности емкостного оборудования и трубопроводов, применения герметичных электронасосов и пневмонасосов.</p>
<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>	<p>К наиболее частым авариям относятся пожары, взрывы емкостей с горючими газами и жидкостями, разрушение и взрывы оборудования, прорывы трубопроводов с газами. Для предотвращения ЧС проводятся профилактические мероприятия.</p>
<p><b>4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;</li> <li>– организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</li> </ul>	<p>Безопасность работы регламентируется правовыми нормами трудового законодательства, регулирующими соблюдение безопасности при работе в производственных помещениях, локальными актами и инструкциями, а так же трудовой кодексом РФ.</p>

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

**Задание выдал консультант:**

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

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2ДЗА	Логунова Анастасия Николаевна		

## Реферат

Выпускная квалификационная работа \_\_\_\_\_ 80 \_\_\_\_\_ с., \_\_\_\_\_ 10 \_\_\_\_\_ рис.,  
\_\_\_\_\_ 26 \_\_\_\_\_ табл., \_\_\_\_\_ 17 \_\_\_\_\_ источников.

Ключевые слова: Эмульсионная полимеризация, эмульсия, дисперсия, винилацетат, поливинилацетат, радикальная полимеризация, реактор.

Объектом исследования является узел полимеризации винилацетата эмульсионным способом.

Цель работы – Спроектировать узел полимеризации винилацетата эмульсионным способом.

В процессе исследования проводились изучение теоретических основ эмульсионной полимеризации винилацетата, инженерные расчеты, проектирование узла полимеризации винилацетата

В результате исследования был спроектирован реактор-полимеризатор для производства поливинилацетата эмульсионным способом.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: полимеризация проводится в реакторе периодического действия емкостного типа объемом 12,5 м<sup>3</sup> с перемешивающим устройством.

Область применения: производство поливинилацетатного клея (клей ПВА), водоэмульсионных и акриловых красок, а также дальнейшая переработка в поливиниловый спирт и поливинилацетали.

Экономическая эффективность/значимость работы данный проект значим, ввиду универсальности и незаменимости готового продукта.



Оглавление	
Введение .....	10
1. Химия процесса .....	11
1.1. Реакция полимеризации винилацетата .....	12
1.2. Свойства реагентов .....	16
1.3. Свойства готового продукта.....	20
2. Технологическая схема производства ПВА в эмульсии .....	22
3. Аналитический контроль .....	23
3.1. Определение массовой доли остаточного мономера .....	23
3.2. Определение условной вязкости полимера .....	24
3.3. Определение динамической вязкости.....	24
3.4. Определение совместимости дисперсии с пластификатором .....	24
3.5. Определение морозостойкости .....	24
4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение .....	25
4.1. Анализ конкурентных технических решений .....	26
4.2. SWOT-анализ .....	27
4.3. Планирование научно-исследовательских работ .....	30
4.3.1. Структура работ в рамках научного исследования .....	30
4.3.2. Определение возможных альтернатив проведения научных исследований .....	31
4.3.3. Определение трудоемкости выполнения работ .....	32
4.3.4. Разработка графика проведения научного исследования .....	34
4.4. Бюджет научно-технического исследования (НТИ).....	36
4.4.1. Расчет материальных затрат НТИ .....	36
4.4.2. Расчет затрат на оборудование для научно-экспериментальных работ	38
4.4.3. Основная заработная плата исполнителей темы.....	38
4.4.4. Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления) ...	41
4.4.5. Накладные расходы.....	42
4.4.6. Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта.....	42

4.5. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.. 43

## **Введение**

Поливинилацетат (ПВА) - один важнейших продуктов в химической промышленности. Это единственный полимер, который можно получить из винилацетата (ВА) с помощью процесса полимеризации, и в дальнейшем использоваться в качестве сырья для группы клеевых поливинилацетатных пластмасс. В состав этой группы входят помимо поливинилацетата - поливиниловый спирт и поливинилацетали, эти полимеры можно получить методом полимераналогичных превращений.

Целью данной работы было проектирование установки полимеризации винилацетата в эмульсии. Производительность 3600 т/год чистого полимера; процесс – периодический; эмульгатор – поливиниловый спирт (ПВС), инициатор – пероксид водорода (ПВ).

Эмульсии выпускают двух типов: мелкодисперсные (латексные) с частицами размером от 0,05 до 0,5 мкм и крупнодисперсные (дисперсные) с частицами размером от 0,5 до 10 мкм.

В зависимости от назначения и состава продукта выпускают следующие марки дисперсии [7]:

- непластифицированная - Д 50Н, Д 51С, Д 51В;
- пластифицированная - ДФ 50/5Н; ДФ 51/10С; ДФ 51/15С; ДФ 51/15В; ДФ 51/15ВП; ДФ 47/50В.

Дисперсию марок ДФ 51/10С; ДФ 51/15С, ДФ 51/15В и ДФ 47/50В выпускают высшего и первого сортов. Содержание мономера не более 0,5%.

### **1. Химия процесса**

Поливинилацетат можно получить различными методами полимеризации в зависимости от назначения: блочным, суспензионным и эмульсионным.

При полимеризации винилацетата в эмульсии как эмульгирующий агент используют различные мыла, соли жирных сульфакислот и водорастворимые полимеры, такие как поливиниловый спирт с содержанием

ацетатных групп не более 25 %, метилцеллюлозу и гидроксиэтилцеллюлозу. В качестве инициатора используют пероксид водорода, персульфат аммония или калия.

Процесс осуществляется периодическим и непрерывным способами.

ПВА применяется в производстве лаков, где он ценен благодаря высоким свойствам прилипания (адгезии), пластичности, светостойкости и бесцветности.

Так же при добавлении ПВА в строительные растворы он повышает их адгезию, придает пластичность, увеличивает прочность конечного изделия.

Эмульсия поливинилацетата в воде – клеи ПВА.

Высокие клеящие свойства позволяют склеивать различные материалы, такие как бумага, картон, дерево, кожу, стекло, фарфор.

Поливинилацетат был впервые получен в США в 1914 году. На данный момент мировое производство ПВА превышает 2,5 млн. тонн в год и продолжает расти [8].

Основной товарной формой поливинилацетата является его водная дисперсия. Из всех стран СНГ ее выпуском занимаются четыре: Россия, Украина, Беларусь и Казахстан. Общая мощность по производству этого продукта составляет 77,5 тыс. тонн в год [9].

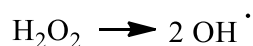
### **1.1. Реакция полимеризации винилацетата**

Поливинилацетат является продуктом радикальной полимеризации винилацетата. Инициатор в данном процессе является пероксид водорода (ПВ) или персульфаты калия и натрия.

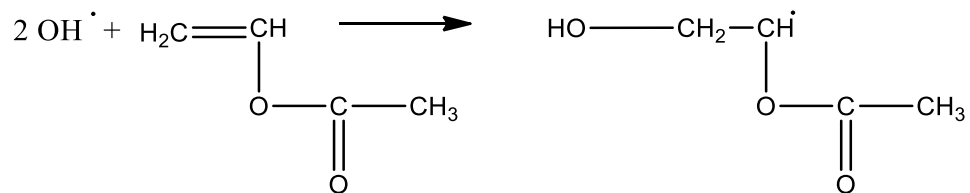
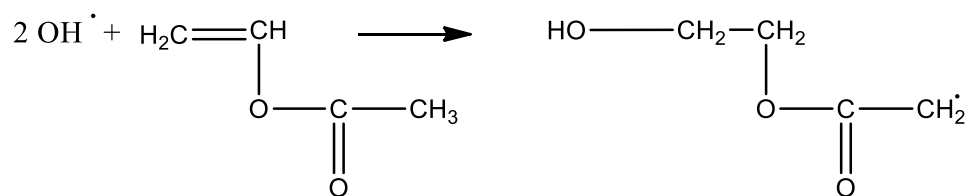
Радикальная полимеризация проходит в три стадии:

#### **1. Инициирование**

Пероксид водорода распадается на два свободных радикала:

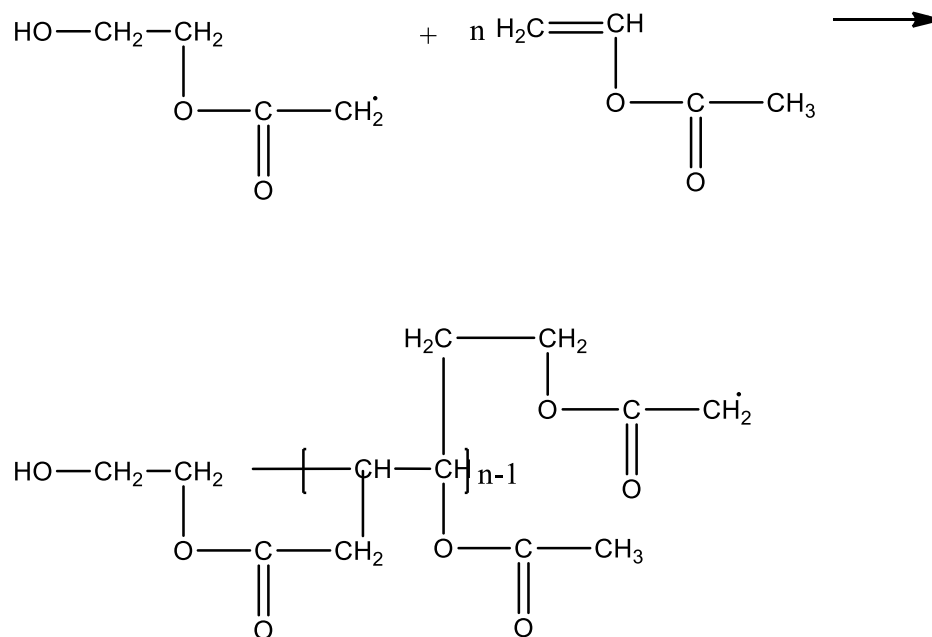


Происходит инициирование молекул винилацетата:

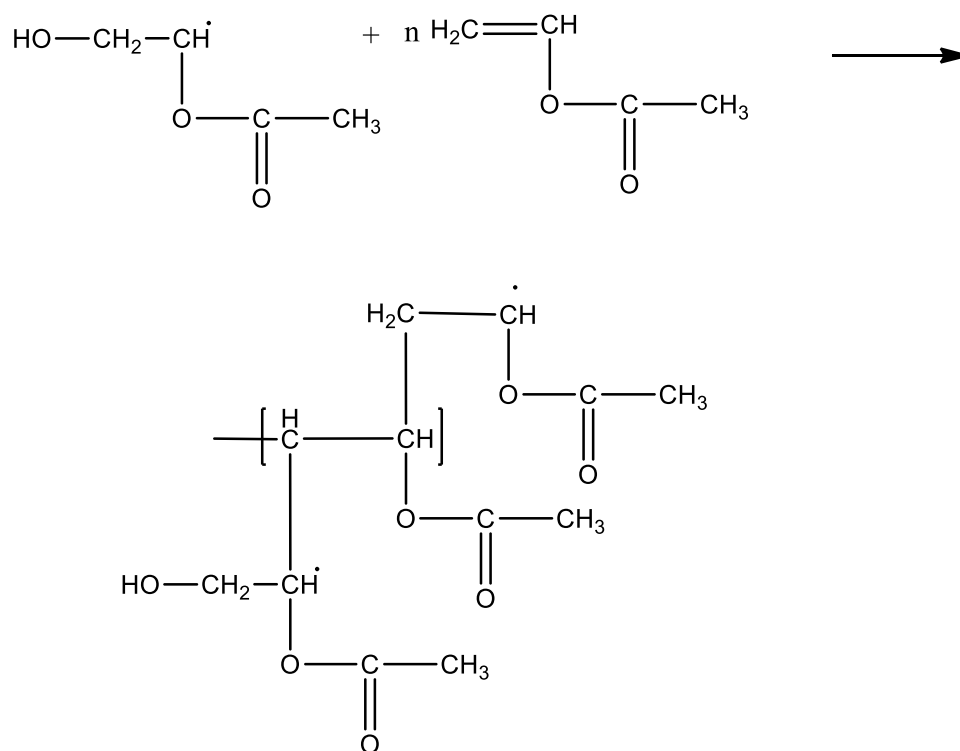


## 2. Рост цепи

К иницированной молекуле присоединяются молекулы ВА, в результате чего образуется полимерная цепь линейного строения:



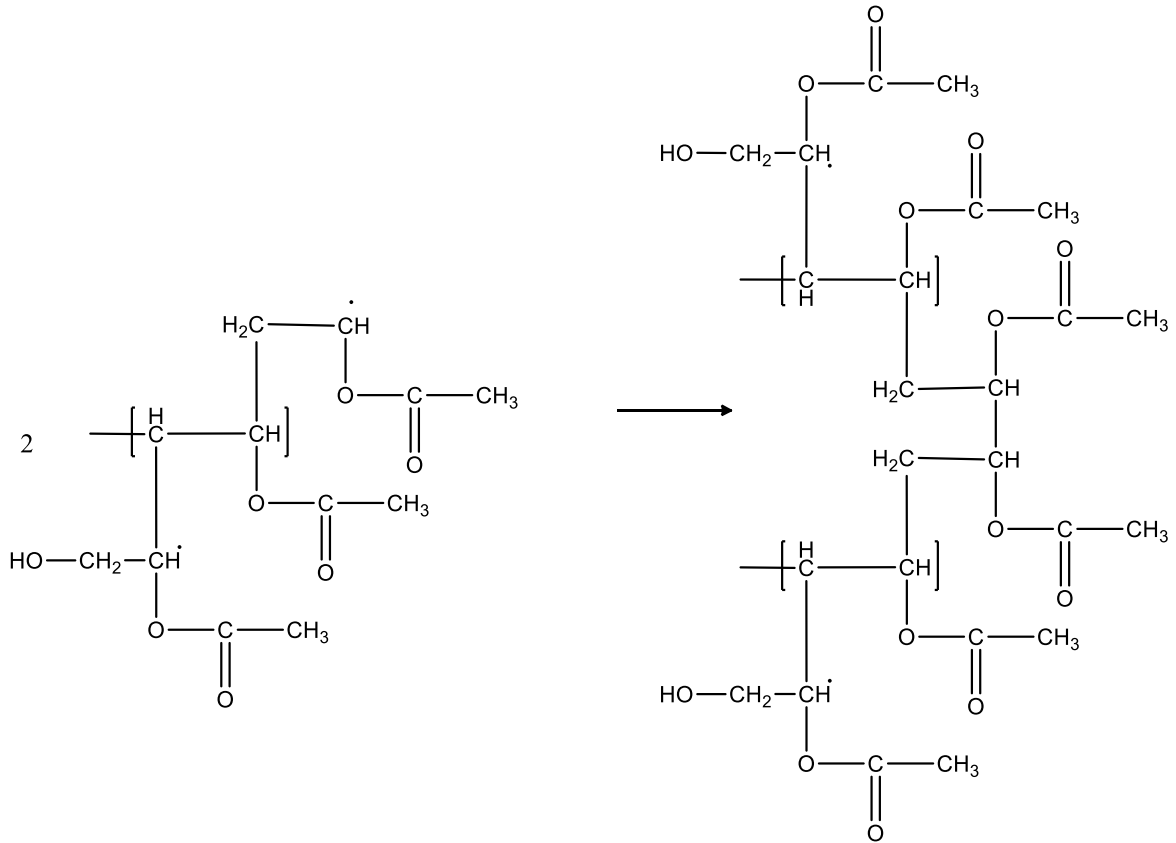
Также могут образоваться разветвленные макромолекулы за счет переноса цепи на метильную группу полимера и третичный атом углерода:



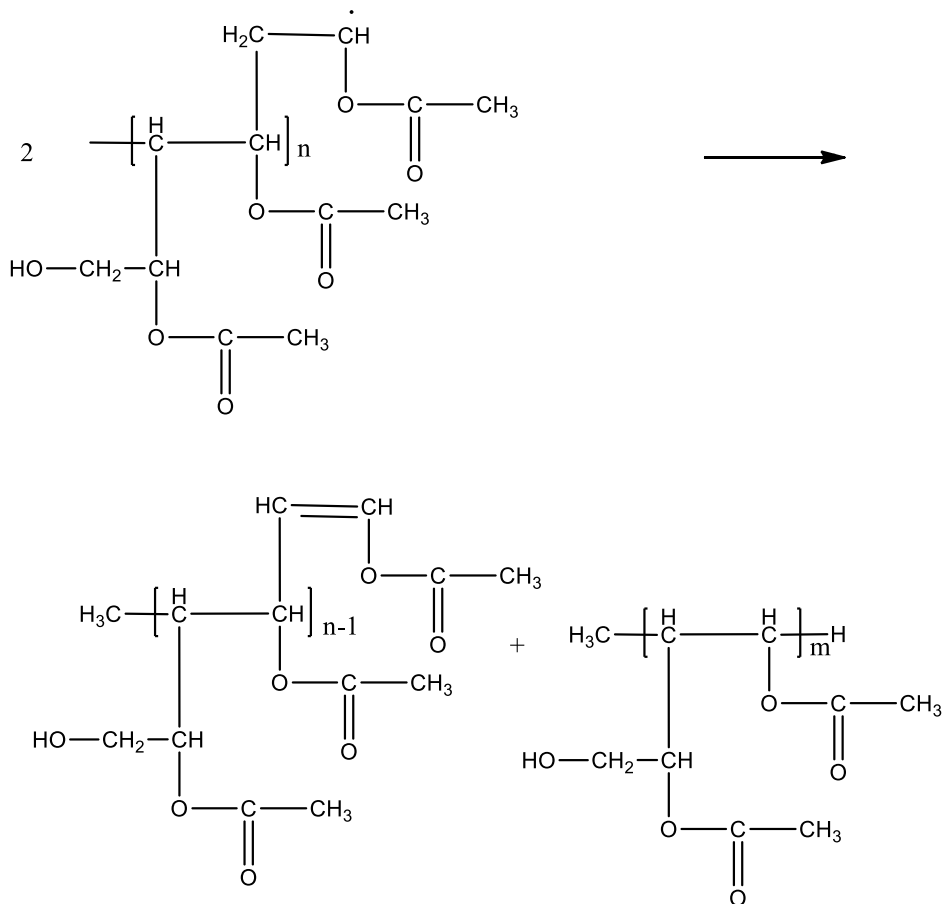
### 3. Обрыв цепи

Радикальный процесс полимеризации винилацетата может происходить двумя способами: реакцией обрыва цепи через взаимодействие 2-х полимерных радикалов друг с другом – рекомбинацией; реакцией , приводящей к обрыву цепей - диспропорционированием.

### Рекомбинация:



### Диспропорционирование:



## 1.2. Свойства реагентов

Для получения ПВА используются следующие вещества: основное сырье – винилацетат, пероксид водорода, поливиниловый спирт, уксусная кислота, сульфат железа (II).

### Винилацетат

Винилацетат (виниловый эфир уксусной кислоты)  $\text{CH}_2=\text{CH}-\text{OCO}-\text{CH}_3$  – прозрачная бесцветная жидкость с характерным запахом. Хорошо растворим в обычных органических растворителях. ВА образует азеотропные смеси с такими веществами как вода, спирты и углеводороды.

Основные физико-химические свойства ВА приведены в таблице 1:

Таблица 1 – Физико-химические свойства винилацетата

Свойство	Значение
Молекулярная масса, кг/кмоль	86,09
Физическое состояние	жидкость
Температура кипения, °С	72,7 °
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	934

По химическим свойствам винилацетат ведет себя как типичный представитель виниловых эфиров:

- в растворах кислот и щелочей гидролизует образуя уксусную кислоту и ацетальдегид;
- взаимодействует с карбоновыми кислотами в присутствии солей Hg, образуя новые виниловые эфиры;
- под действием света, радикальных инициаторов полимеризуется с образованием поливинилацетата, сополимеризуется с виниловыми мономерами.
- по двойной связи присоединяет галогены, HCl, HBr, H<sub>2</sub>, уксусную кислоту и др.



Основной способ получения винилацетата в промышленности является окислительное присоединение уксусной кислоты к этилену в присутствии солей Pd:



Винилацетат обладает наркотическим, общетоксическим и раздражающим действием, его пары могут вызвать ожог роговой оболочки глаз. ПДК = 10 мг/м<sup>3</sup>.

### Пероксид водорода

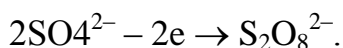
Пероксид водорода (ПВ) H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> - бесцветная жидкость обладающая «металлическим» вкусом, неограниченно растворяется в воде, спиртах, эфирах. Пероксид водорода - хороший растворитель, однако его концентрированные водные растворы взрывоопасны.

Основные физико-химические свойства ПВ приведены в таблице 2:

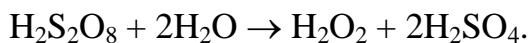
Таблица 2 – Физико-химические свойства пероксида водорода

Свойство	Значение
Молекулярная масса, кг/кмоль	34,01
Физическое состояние	жидкость
Температура кипения, °С	150,2
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	1400

Один из наиболее современных методов получения ПВ - это электролиз растворов серной кислоты. В процессе на аноде сульфат-ионы окисляются до надсульфат-ионов:



Затем надсерная кислота (H<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>8</sub>) гидролизуется:



На катоде выделяется водород, поэтому суммарная реакция описывается уравнением:  $2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{O}_2 + \text{H}_2$ .

Однако основным современным способом (более 80% мирового производства пероксида водорода) является окисление таких органических соединений как, например, этилантрагидрохинон кислородом воздуха в органическом растворителе. В процессе окисления из антрагидрохинона образуются  $\text{H}_2\text{O}_2$  и соответствующий антрахинон, который потом снова восстанавливают водородом в антрагидрохинон на катализаторе. Пероксид водорода водой извлекают из смеси и концентрируют перегонкой. Аналогичная реакция протекает при использовании изопропилового спирта, с тем лишь отличием, что присутствует промежуточное образование гидропероксида [11]:



#### Поливиниловый спирт

Поливиниловый спирт  $[\text{C}_2\text{H}_4\text{O}]_n$  - искусственный, водорастворимый, термопластичный полимер, не имеет запаха и нетоксичен. Обладает рядом свойств, таких как пленкообразующие, эмульгирующие и склеивающие. Эти свойства позволяют использовать ПВС в различных отраслях и сферах.

Поливиниловый спирт устойчив к воздействию масел, жиров и растворителей. Некоторые свойства, а именно, прочность на растяжение и гибкость, находятся в прямой зависимости от влажности, при повышении которой ПВС впитывает воду (вода уменьшает прочность поливинилового спирта).

Основные физико-химические свойства поливинилового спирта приведены в таблице 3:

Таблица 3 – Физико-химические свойства поливинилового спирта

Свойство	Значение
Физическое состояние	твёрдое

Температура плавления, °С	200
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	1190-1310

В настоящее время промышленный способ получения поливинилового спирта происходит с помощью полимераналогичных превращений, в которых в качестве исходных полимеров используются простые и сложные поливиниловые эфиры, в том числе ПВА. Основными способами получения ПВС являются различные варианты омыления ПВА в среде спиртов или в воде в присутствии оснований и кислот.

#### Уксусная кислота

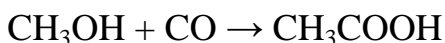
Уксусная кислота (этановая кислота)  $\text{CH}_3\text{COOH}$  - бесцветная жидкость с характерным резким запахом, имеет кислый вкус. Неограниченно растворима в воде. Смешивается со многими растворителями; является хорошим растворителем для неорганических соединений и газов ( $\text{HF}$ ,  $\text{HCl}$ ,  $\text{HBr}$ ,  $\text{HI}$  и другие).

Основные физико-химические свойства уксусной кислоты приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Физико-химические свойства уксусной кислоты.

Свойство	Значение
Молекулярная масса, кг/кмоль	60,05
Физическое состояние	жидкость
Температура кипения, °С	118,1
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	1049

Одним из способов промышленного синтеза уксусной кислоты является каталитическое карбонилирование метанола монооксидом углерода по уравнению:



Катализатором превращения служат соли родия. Метод заключался в барботаже монооксида углерода через смесь реагентов при температуре около 180°C и давлении от 200 до 700 атм. Важными особенностями метода являются высокая селективность (99 % по метанолу и 90 % по СО) и большая скорость процесса.

### Сульфат железа (II)

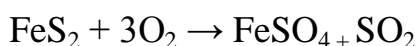
Сульфат железа (II) FeSO<sub>4</sub> - нелетучее, не имеющее запаха безводное вещество, бесцветное, непрозрачное, очень гигроскопичное.

Основные физико-химические свойства уксусной кислоты приведены в таблице 5:

Таблица 5 – Физико-химические свойства уксусной кислоты

Свойство	Значение
Молекулярная масса, кг/кмоль	151,932 (безв.)
Физическое состояние	кристаллическое
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	1898

Одним из известных способов получения сульфата железа является окислительный обжиг пирита:



Однако в промышленности FeSO<sub>4</sub> получают как побочный продукт производства оксида титана из ильменита.

### 1.3. Свойства готового продукта

Конечным продуктом является поливинилацетат, карбоцепной полимер, в каждом звене макромолекулы содержит ацетатную группировку: [-CH<sub>2</sub>-CH(OCOCH<sub>3</sub>)-]<sub>n</sub>. Прозрачный и бесцветный, не имеет запаха и вкуса, нетоксичен. Основной сферой применения поливинилацетата является производство поливинилацетатного клея (клей ПВА), также красок -

водоэмульсионных и акриловых. Важную роль играет дальнейшая переработка поливинилацетата в поливинилацетали и поливиниловый спирт, который часто используется в качестве эмульгатора для производства ПВА.

Основные физико-механические свойства данного материала приведены в таблице 6:

Таблица 6 – Свойства поливинилацетата:

Свойство	Значение
Молекулярная масса, а.е.м.	10 - 1600*10 <sup>3</sup>
Температура размягчения, °С	30-500
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	~1190

Поливинилацетат устойчив к старению и износу в условиях атмосферы, имеет высокую адгезией к различным поверхностям, хорошие оптические свойства, хладотекучесть.

Химические свойства:

- хорошо растворяется в кетонах, сложных эфирах, хлорированных и ароматических углеводородах и метаноле; не растворяется в воде, минеральных маслах, гликолях, алифатических углеводородах;

- омыляется водными растворами кислот или щелочей; подвергается алкоголизу под действием каталитических количеств кислот и алкоголятов щелочных металлов в безводных средах с образованием ПВС;

- окисляется концентрированной азотной кислотой до щавелевой кислоты;

- подвергается деструкции при нагреве до 200°С, выделяет уксусную кислоту и образует одиночные и сопряженные двойные связи в основной цепи полимера.

В промышленности ПВА получают радикальной полимеризацией винилацетата в растворе, эмульсии или суспензии.

## 2. Технологическая схема производства ПВА в эмульсии

Полимеризацию винилацетата в эмульсии периодическим методом проводят в реакторе из хромоникелевой стали объемом от 4 до 16 м<sup>3</sup>. Реактор оборудован якорной или якорно-рамной мешалкой, рубашкой для подвода или отвода тепла и холодильником. Водную фазу готовят в отдельном аппарате, также оборудованном мешалкой и рубашкой. Водная фаза состоит воды, ПВС, уксусной кислоты и сульфата железа (II). В реактор загружается водная фаза, ВА и пероксид водорода в качестве инициатора. Отвод теплоты также происходит за счет испарения азеотропной смеси «ВА – вода», которая концентрируется в обратном холодильнике. 20 % теплоты отводится через рубашку реактора. Чтобы облегчить съем тепла пероксид водорода и ВА можно загружать в аппарат в 3÷5 приемов.

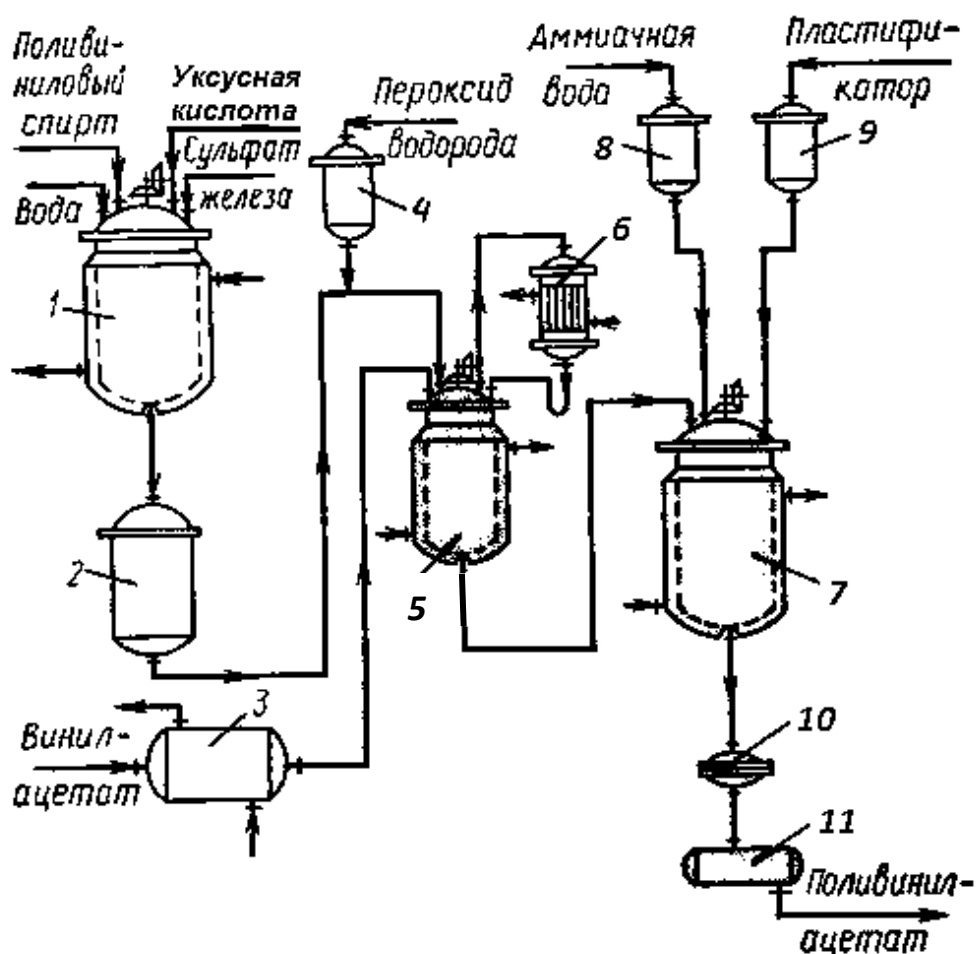


Рисунок 1 – Схема процесса полимеризации ВА в эмульсии

1 – аппарат для приготовления водной фазы; 2,3 – емкости; 4,8,9 – мерники; 5 – полимеризатор; 6 – холодильник; 7 – стандартизатор; 10 – фильтр; 11 – сборник дисперсии.

Вначале полимеризации температура процесса определяется температурой кипения азеотропа (ВА-вода)  $t = 65-68$  °С. Температуру повышают до  $70-75$  °С по мере расходования ВА. Процесс идет  $1,5-3$  ч при непрерывном перемешивании до остаточного содержания винилацетата  $0,5-1,5$  %, температура процесса  $65-75$  °С. Остатки ВА удаляют в аппарате объемом  $6-40$  м<sup>3</sup> (стандартизаторе), при  $75-85$  °С и давлении от  $200-270$  кПа. В стандартизаторе дисперсию нейтрализуют аммиачной водой до рН  $4,5\div 6$  чтобы избежать коррозию оборудования при последующей переработке дисперсии. Необходимо нейтрализовать ПВА-эмульсию порошкообразным оксидом или гидроксидом кальция. Чтобы снизить температуру стеклования продукта полимер пластифицируют дибутилфталатом (ДФБ). Введение пластификатора снижает морозостойкость, поэтому ПВА-эмульсии пластифицируют перед употреблением.

### **3. Аналитический контроль**

#### **3.1. Определение массовой доли остаточного мономера**

В стакан наливают  $10-15$  см<sup>3</sup> дистиллированной воды, вносят  $2-3$  г дисперсии и взвешивают. Доливают дистиллированную воду до объема  $100$  см<sup>3</sup> и добавляют  $5$  см<sup>3</sup> ледяной уксусной кислоты. В стакан вставляют измерительный платиновый электрод и вспомогательный хлорсеребряный электрод, присоединенные к рН-метру. Стакан помещают на магнитную мешалку. Титрование ведут до тех пор, пока стрелка прибора, отклонившись от одной капли вправо, не установится на определенном делении шкалы и не останется в таком положении в течение  $30-40$  с. Потенциал системы в конце титрования должен находиться в пределах  $800-850$  мВ. После испытания электроды ополаскивают водой или этиловым спиртом.

### **3.2. Определение условной вязкости полимера**

Дисперсию перемешивают и наблюдают за ее уровнем в кружке при 20 °С. Когда уровень дисперсии в кружке понизится включают секундомер. Секундомер останавливают в тот момент, когда уровень дисперсии достигает нижнего бокового отверстия.

За показатель вязкости принимают время истечения дисперсии от верхнего до нижнего отверстия кружки, выраженное в секундах.

### **3.3. Определение динамической вязкости**

Испытание проводят по ГОСТ 25276-82. Дисперсию объемом 50 см<sup>3</sup> перемешивают стеклянной палочкой и помещают в измерительное устройство, выдерживая 15 минут при 25 °С. После этого внутренний цилиндр вращают в течение 10 минут и снимают значение, установившееся на шкале.

За результат анализа принимают среднее арифметическое результатов двух параллельных испытаний.

### **3.4. Определение совместимости дисперсии с пластификатором**

Дисперсия ПВА массой 200 г перемешивают в стакане в течение 2-3 минут мешалкой и постепенно добавляют в течение 20-25 минут требуемое количество пластификатора (в зависимости от марки). Совместимость пластификатора с дисперсией проверяют каждые 30 минут нанесением дисперсии стеклянной палочкой тонким слоем на стеклянную пластину. Отсутствие жирных пятен пластификатора указывают на полную совместимость дисперсии с пластификатором. Испытание проводят до полного совмещения дисперсии с пластификатором.

### **3.5. Определение морозостойкости**

Полиэтиленовый стакан или металлический цилиндр заполняют 100 см<sup>3</sup> непластифицированной дисперсии, помещают в холодильник, где



устанавливают температуру 40-45 °С и выдерживают в таких условиях в течение 2 часов, после этого проводят оттаивание дисперсии при температуре не ниже 20 °С в течение 2 часов.

Замораживание и оттаивание проводят не менее 4 раз, затем перемешивают дисперсию и визуально определяют устойчивость к коагуляции: дисперсия не должна содержать творожистого осадка (допускаются отдельные комочки).

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

##### **Введение**

Поливинилацетатная эмульсия или дисперсия ПВА (ПВАД) изготавливается путем полимеризации винилацетата в воде при участии защитного коллоида. ПВАД представляет из себя густую белую жидкость однородной консистенции и служит, в первую очередь, основой для производства клея ПВА.

Существует два типа поливинилацетатной эмульсии: латексные (мелкодисперсные или тонкодисперсный) с частицами размером от 0,05 до 0,5 мкм и дисперсные (крупнодисперсные или грубодисперсные) с частицами размером от 0,5 до 10 мкм. Наиболее широкое применение в технике нашли крупнодисперсные эмульсии ПВА. Они обладают значительно большей стойкостью к введению различных наполнителей, коагулирующих агентов, электролитов, пластификаторов, также к многократному замораживанию и оттаиванию, нагреву до высоких температур (около 100 °С).

В зависимости от состава и назначения выпускают следующие марки ПВАД:

- непластифицированная - Д 50Н, Д 51С, Д 51В;
- пластифицированная - ДФ 50/5Н; ДФ 51/10С; ДФ 51/15С; ДФ 51/15В; ДФ 51/15ВП; ДФ 47/50В.

Пластифицированная эмульсия не обладает морозоустойчивостью, при температуре 0 °С замерзает, после оттаивания теряет свои первоначальные свойства. Непластифицированная эмульсия может выдержать четыре цикла заморозки и оттаивания.

Дисперсию марок ДФ 51/10С; ДФ 51/15С, ДФ 51/15В и ДФ 47/50В выпускают высшего и первого сортов. Содержание мономера не более 0,5%.

Общая годовая мощность таких стран как, Россия, Украина, Беларусь и Казахстан, по производству ПВАД составляет 80-85 тыс. тонн.

#### **4.1. Анализ конкурентных технических решений**

При ведении собственного производства 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.

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

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

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

где  $K$  – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

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

$B_i$  – балл  $i$ -го показателя.

В таблице 7 приведена оценочная карта, включающая конкурентные технические разработки в области производства поливинилацетата

Таблица 7 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических разработок

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	4	1,2	1,5	1,2
2. Энергоемкость процессов	0,3	4	4	4	1,2	1,2	1,2
Экономические критерии оценки эффективности							
3. Цена	0,2	5	2	3	1,0	0,4	0,6
4. Конкурентоспособность продукта	0,1	4	5	5	0,4	0,5	0,5
5. Финансирование научной разработки	0,1	4	5	4	0,4	0,5	0,4
<b>Итого:</b>	<b>1</b>				<b>4,2</b>	<b>4,1</b>	<b>3,9</b>

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

Б<sub>к1</sub> – ООО «Полимер Экспорт»;

Б<sub>к2</sub> – «ОО Рикол» .

#### 4.2. 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 8.

Таблица 8 – Первый этап SWOT-анализа

	<p><b>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</b>                  С1. Экологичность технологии                  С2. Более низкая стоимость производства по сравнению с другими технологиями                  С3. Частичное использование отходов производств в качестве сырья и повторное использование очищенной обратной воды (ресурсоэффективность технологии)</p>	<p><b>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</b>                  Сл1. Отсутствие необходимого оборудования для проведения испытания опытного образца</p>
<p><b>Возможности:</b>                  В1. Повышение стоимости конкурентных разработок</p>		
<p><b>Угрозы:</b>                  У1. Отсутствие спроса на новые технологии производства                  У2. Развитая конкуренция технологий производства</p>		

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 9,10,11 и 12.

Таблица 9 – Интерактивная матрица проекта «Сильные стороны и возможности»

Сильные стороны проекта				
Возможности проекта		С1	С2	С3
		В1	+	+

Таблица 10 – Интерактивная матрица проекта «Слабые стороны и возможности»

Слабые стороны проекта		
Возможности проекта		Сл1
		В1

Таблица 11 – Интерактивная матрица проекта «Сильные стороны и угрозы»

Сильные стороны проекта					
Угрозы		С1	С2	С3	
		У1	+	–	+
		У2	+	–	+

Таблица 12 – Интерактивная матрица проекта «Слабые стороны и угрозы»

Слабые стороны проекта			
Угрозы		Сл1	
		У1	+
		У2	–

Таким образом, в рамках третьего этапа может быть составлена итоговая матрица SWOT-анализа (табл. 13).

Таблица 13 – Итоговая матрица SWOT-анализа

	<p><b>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</b>                  С1. Экологичность технологии                  С2. Более низкая стоимость производства по сравнению с другими технологиями                  С3. Использование отходов производств в качестве сырья (ресурсоэффективность технологии)</p>	<p><b>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</b>                  Сл1. Отсутствие необходимого оборудования для проведения испытания опытного образца</p>
<p><b>Возможности:</b>                  В1. Повышение стоимости конкурентных разработок</p>	<p>Разработка технологии полимеризации винилацетата в растворе</p>	<p>Из-за большого срока поставок необходимых для исследований материалов возможно отставание от конкурентов с последующим падением спроса на продукцию</p>
<p><b>Угрозы:</b>                  У1. Отсутствие спроса на новые технологии производства                  У2. Развитая конкуренция технологий производства</p>	<p>Высокая экологичность выбранной технологии, использование отходов в качестве сырья и повторное использование очищенной обратной воды в процессе, вполне способны ослабить влияние перечисленных угроз.</p>	<p>В связи с развитием конкуренции технологий и отсутствием возможности найти альтернативные методы производства есть большой риск потери занятой ниши рынка.</p>

### 4.3. Планирование научно-исследовательских работ

#### 4.3.1. 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 14.

Таблица 14 – 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	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 сополимера стирола и акрилонитрила	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

#### 4.3.2. Определение возможных альтернатив проведения научных исследований

В таблице 15 представлена морфологическая матрица для методов получения поливинилацетата в эмульсии.

Таблица 15 – Морфологическая матрица для методов получения поливинилацетата эмульсионным способом

	1	2	3
А. Мономер	Винилацетат	Винилацетат	Винилацетат
Б. Инициатор	Перекись водорода (30%-я)	Перекись водорода (30%-я)	Перекись водорода (30%-я)
В. Эмульгатор	Поливиниловый спирт	ПВС	Водный раствор ПВС (5–9 % масс.)
Г. Стабилизатор	Уксусная кислота	Муравьиная кислота (90%-я)	Муравьиная кислота
Д. Пластификатор	ДБФ	1,1,3-триметил-3-фенилindан	1,1,3-триметил-3-фенилindан

### 4.3.3. 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:

$$T_{pi} = \frac{t_{ож\ i}}{C_i},$$



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 16.

Таблица 16 – 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	0,8	0,8	0,8	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	0,8	0,8	0,8	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	0,8	0,8	0,8	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	0,8	0,8	0,8	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	0,5	0,5	0,5	2	2	2	1	1	1	Р	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6
		0,5	0,5	0,5	2	2	2	1	1	1	Б	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6
3	Подбор и изучение материалов	5	5	5	10	10	10	7	7	7	Р	3,5	3,5	3,5	4,2	4,2	4,2
		5	5	5	10	10	10	7	7	7	Б	3,5	3,5	3,5	4,2	4,2	4,2
4	Патентный обзор литературы	7	7	7	10	10	10	8,2	8,2	8,2	Б	8,1	8,1	8,1	9,8	9,8	9,8
5	Календарное планирование работ по теме	1	1	1	2	2	2	1,4	1,4	1,4	Р	0,9	0,9	0,9	1	1	1
		1	1	1	2	2	2	1,4	1,4	1,4	Б	0,9	0,9	0,9	1	1	1
6	Проведение инженерных расчетов	4	4	4	4,5	4,5	4,5	5,2	5,2	5,2	Б	1,9	1,9	1,9	2,3	2,3	2,3
7	Оценка эффективности результатов	3	3	3	4	4	4	3,4	3,4	3,4	Р	2,0	2,0	2,0	2,2	2,2	2,2
		5	5	5	6	6	6	5,4	5,4	5,4	Б	2,7	2,7	2,7	3,2	3,2	3,2
8	Определение целесообразности проведения ВКР	5	5	5	7	7	7	6,3	6,3	6,3	Р	2,9	2,9	2,9	3,5	3,5	3,5
		5	5	5	7	7	7	6,3	6,3	6,3	Б	2,9	2,9	2,9	3,5	3,5	3,5
9	Разработка технологии производства сополимера стирола и акрилонитрила	2	2	2	3	3	3	2,8	2,8	2,8	Б	2,5	2,5	2,5	3,0	3,0	3,0
10	Оценка эффективности производства	5	5	5	10	10	10	8	8	8	Б	3,7	3,7	3,7	4,0	4,0	4,0
		5	5	5	9	9	9	8	8	8	К <sup>1</sup>	3,7	3,7	3,7	4,0	4,0	4,0
11	Разработка СО	7	7	7	8	8	8	7,8	7,8	7,8	Б	4,5	4,5	4,5	5,2	5,2	5,2
		5	5	5	6	6	6	7,8	7,8	7,8	К <sup>2</sup>	4,5	4,5	4,5	5,2	5,2	5,2
12	Составление пояснительной записки	12	12	12	13	13	13	13,5	13,5	13,5	Б	13	13	13	15	15	15

Р – руководитель

Б – бакалавр

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

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

#### 4.3.4. 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 17, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ. Данный график строится на основе таблицы 16.

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:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} = \frac{142}{142 - 18 - 6} = 1,2.$$

Таблица 17 – 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	0,24	■																		
Выбор направления исследований	Руководитель, бакалавр	0,72	■																		
Подбор и изучение материалов	Руководитель, бакалавр	5	■	■																	
Патентный обзор литературы	Бакалавр	11,8		■	■	■	■	■	■	■											
Календарное планирование работ	Руководитель, бакалавр	1,2				■	■														
Проведение теоретических расчетов и обоснований	Бакалавр	2,8				■	■	■	■												
Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель, бакалавр	2,6 3,8					■	■	■												
Определение целесообразности проведения ВКР	Руководитель, бакалавр	4,2						■	■	■											
Разработка технологии полимеризации метилметакрилата	Бакалавр	3,6								■	■	■									
Оценка эффективности и применения разработки	Бакалавр, консультант ЭЧ	4,8									■	■	■	■	■						



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 18.

Таблица 18 – Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество			Цена за ед., руб.			Затраты на материалы, (З <sub>м</sub> ), руб.		
		Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
Винилацетат	кг	1000 0	1000 0	1000 0	50	50	50	500000	500000	500000
ПВС	кг	500	700	1000	325	325	325	162500	227500	325000
Пероксид водорода	кг	150	100	200	60	60	60	9000	6000	12000
Уксусная кислота	кг	150	0	0	160	0	0	24000	0	0
Муравьиная кислота	кг	0	15	20	0	100	100	520	1500	2000
ДБФ	кг	100	0	0	130	0	0	13000	0	0
1,1,3-триметил-3-фенилиндан	кг	0	75	50	0	275	275	0	20625	13750
<b>Итого:</b>								709020	755625	852750

#### 4.4.2. Расчет затрат на оборудование для научно-экспериментальных работ

В таблице 19 приведены затраты на оборудование.

Для оборудования нужно рассчитать величину годовой амортизации по следующей формуле:

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

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

Результаты расчетов также приведены в таблице 19.

Таблица 19 – Затраты на оборудование для научно-экспериментальных работ

№ п/п	Наименование оборудования	Кол-во единиц оборудования	Цена единицы оборудования, руб.	Сумма амортизационных отчислений, руб.
1.	Мерник	3	25000	1250
2.	Реактор	1	800000	53333
3.	Стандартизатор	1	900000	12940
4.	Фильтр	1	80000	5333
Итого			1855000	75356

#### 4.4.3. 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:

$$З_{зн} = З_{осн} + З_{доп},$$

где  $Z_{осн}$  – основная заработная плата;

$Z_{доп}$  – дополнительная заработная плата (12 – 20 % от  $Z_{осн}$ ).

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

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p,$$

где  $Z_{осн}$  – основная заработная плата одного работника;

$Z_{дн}$  – среднедневная заработная плата работника, руб;

$T_p$  – продолжительность работ, выполняемых научно – техническим работником, раб. дн. (таблица 16).

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d},$$

где  $Z_m$  – месячный должностной оклад работника, руб.;  $M$  – количество месяцев работы без отпуска в течение года;  $F_d$  – действительный годовой фонд рабочего времени научно – технического персонала, раб. дн.

В таблице 20 приведен баланс рабочего времени каждого работника НТИ.

Таблица 20 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Бакалавр	Консультант ЭЧ	Консультант СО
Календарное число дней	142	142	142	142
Количество нерабочих дней				
выходные дни:	18	18	18	18
праздничные дни:	6	6	6	6
Потери рабочего времени				
отпуск:	0	0	0	0
невыходы по болезни:	0	0	0	0
Действительный годовой фонд рабочего времени	118	118	118	118

Месячный должностной оклад работника:

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

где  $Z_{mc}$  – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

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

$k_d$  – 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 21.

Таблица 21 – Расчет основной заработной платы

Категория	$Z_{mc}$ , руб.	$k_d$	$k_p$	$Z_m$ , руб	$Z_{дн}$ , руб.	$T_p$ , раб. дн.	$Z_{осн}$ , руб.
Руководитель							
ППСЗ	12070	0,4	1,3	26674,7	1206,73	10	14239,4
Бакалавр							
ППС1	8600	0,4	1,3	19006	860,035	62,4	50053,5
Консультант ЭЧ							
ППСЗ	20080	0,4	1,3	44376,8	2008,09	5	10040,5
Консультант СО							
ППСЗ	20080	0,4	1,3	44376,8	2008,09	5	10040,5

Общая заработная исполнителей работы представлена в таблице 22.

Таблица 22 – Общая заработная плата исполнителей

Исполнитель	$Z_{осн}$ , руб.	$Z_{дон}$ , руб.	$Z_{зн}$ , руб.
Руководитель	12067,25	2135,9	14203,15
Бакалавр	50053,45	7508	57561,47
Консультант ЭЧ	10040,45	1506,1	11546,52
Консультант СО	10040,45	1506,1	11546,52



#### 4.4.4. 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 2017 г. в соответствии с Федеральным законом от 24.07.2009 № 212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30%. Однако на основании пункта 1 ст.58 закона №212-ФЗ для учреждений осуществляющих образовательную и научную деятельность в 2017 году водится пониженная ставка – 30%.

Отчисления во внебюджетные фонды представлены в таблице 23.

Таблица 23 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата, руб.
Руководитель проекта	14239,35	2135,9
Бакалавр	50053,45	7508,02
Консультант ЭЧ	10040,45	1506,07
Консультант СО	10040,45	1506,07
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	0,30	
<b>Итого:</b>	<b>29594,08</b>	

#### 4.4.5. 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:

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

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

Величину коэффициента накладных расходов  $k_{\text{нр}}$  допускается взять в размере 16%. Таким образом, накладные расходы на данные НТИ составляют 164306,5 руб.

#### 4.4.6. 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 24.

Таблица 24 – Расчет бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб.			Примечание
	Исп.1	Исп.2	Исп.3	
1. Материальные затраты НТИ	709020	755625	852750	табл. 12
2. Затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	75356	75356	75356	табл. 13

3. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	82201,6	82201,6	82201,6	табл.15
4. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	12656,06	12656,06	12656,06	табл.15
5. Отчисления во внебюджетные фонды	29594,08	29594,08	29594,08	Табл.16
6. Накладные расходы	164306,5	164306,5	164306,5	16 % от суммы ст. 1-5
7. Бюджет затрат НТИ	996488,3	997532,3	1001302,3	Сумма ст. 1-6

Как видно из таблицы 24 основные затраты НТИ приходятся на материальные затраты.

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

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

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

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

где  $I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i}$  – интегральный финансовый показатель разработки;  $\Phi_{pi}$  – стоимость  $i$ -го варианта исполнения;  $\Phi_{\text{max}}$  – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

Полученная величина интегрального финансового показателя разработки отражает соответствующее численное увеличение бюджета затрат разработки в размах (значение больше единицы), либо соответствующее

численное удешевление стоимости разработки в разгах (значение меньше единицы, но больше нуля).

Таблица 25 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Объект исследования Критерии	Весовой коэффициент параметра	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1. Способствует росту производительности труда	0,25	5	4	4
2. Удобство в эксплуатации	0,15	4	4	4
3. Надежность	0,20	5	5	4
4. Воспроизводимость	0,25	4	4	4
5. Материалоемкость	0,15	5	4	3
ИТОГО	1	4,6	4,2	3,85

Таблица 26 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,995	0,996	1
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,6	4,2	3,85
3	Интегральный показатель эффективности	4,623	3,812	3,85
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1	0,912	0,832

Вывод: Сравнительный анализ интегральных показателей эффективности показывает, что наиболее предпочтительным является способ производства поливинилацетата в эмульсии в первом исполнении при использовании в качестве инициатора пероксида водорода, в качестве эмульгатора поливинилового спирта и пластификатора – дибутилфталата.