

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
Проект узла полимеризации акрилонитрила эмульсионным способом

УДК 678.745.32:66.0950226-911.48.001.6

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2Д2Б	Тарновская Оксана Дмитриевна		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры ТОВПМ	Бондалетова Л.И.	к.т.н., доцент		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

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

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры ЭБЖ	Чулков Н.А.	к.т.н., доцент		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
зав. кафедрой ТОВПМ	Юсубов М.С.	д.х.н., профессор		

Томск – 2016 г.

Планируемые результаты обучения по ООП

Код результата	Результат обучения
<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 <i>новые</i> технологические процессы, проектировать и использовать новое оборудование химической технологии, <i>проектировать объекты химической технологии в контексте предприятия, общества и окружающей среды</i>
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>Общекультурные 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>иностранным языком</i> на уровне, позволяющем разрабатывать документацию, презентовать результаты профессиональной деятельности.
P10	Эффективно работать индивидуально и в коллективе, <i>демонстрировать лидерство в инженерной деятельности и инженерном предпринимательстве</i> , ответственность за результаты работы и готовность следовать корпоративной культуре организации.

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



Институт природных ресурсов

Направление подготовки: Химическая технология

Кафедра технологии органических веществ и полимерных материалов

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой

_____ Юсубов М.С. _
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы

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

Студенту:

Группа	ФИО
2Д2Б	Тарновской Оксана Дмитриевне

Тема работы:

Проект узла полимеризации акрилонитрила эмульсионным способом	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	

Срок сдачи студентом выполненной работы:	09.06.16г.
--	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i>	Объектом исследования является узел полимеризации акрилонитрила эмульсионным способом при периодическом режиме работы, производительностью 2500 т/год.
---	---

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i>	В ходе работы были разработаны следующие разделы: теоретическая часть; объект и методы исследования; инженерные расчеты, включающие материальный, тепловой, механический расчеты, расчет вспомогательного оборудования; контроль производства; финансовый менеджмент ресурсоэффективность и ресурсосбережение; социальная ответственность. Заключение по работе.			
Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	1) Реактор. Чертеж общего вида; 2) Технологическая схема; 3) Сборочные единицы.			
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы<i>(с указанием разделов)</i>				
Раздел	Консультант			
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	к.э.н. Рыжакина Т.Г.			
Социальная ответственность	к.т.н., доцент Чулков Н.А.			
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:				
На русском: Реферат				
На немецком: Referat				
Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику				1.09.2015
Задание выдал руководитель:				
Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Бондалетова Л.И.	к.х.н, доцент		
Задание принял к исполнению студент:				
Группа	ФИО		Подпись	Дата
2Д2Б	Тарновская О.Д.			

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
2Д2Б	Тарновская Оксана Дмитриевна

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

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:	
1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Работа с информацией, представленной в российских и иностранных научных публикациях, аналитических материалах, статических бюллетенях и изданиях, нормативно-правовых документах; анкетирование; опрос.
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	Проведение предпроектного анализа. Определение целевого рынка и проведение его сегментирования. Выполнение SWOT-анализа проекта
2. Определение возможных альтернатив проведения научных исследований	Определение целей и ожиданий, требований проекта. Определение заинтересованных сторон и их ожиданий.
3. Планирование процесса управления НИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок	Составление календарного плана проекта. Определение бюджета НИ
4. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности	Проведение оценки экономической эффективности исследования производства полиакрилонитрила.

Перечень графического материала(с точным указанием обязательных чертежей):
1. Оценка конкурентоспособности технических решений
2. Матрица SWOT
3. График проведения и бюджет НИ
4. Расчёт денежного потока
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	Рыжакина Татьяна Гавриловна	к.э.н		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2Д2Б	Тарновская Оксана Дмитриевна		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
2Д2Б	Тарновская Оксана Дмитриевна

Институт	ИПР	Кафедра	ТОВПМ
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	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 узел полимеризации акрилонитрила эмульсионным способом. Области применения: производство полиакрилонитрильных волокон.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Производственная безопасность	1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения – 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). 1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения – механические опасности (источники, средства защиты); – электробезопасность (источники, средства защиты); – пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения).
2. Экологическая безопасность	– анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы); – анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы);
3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	– перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения; – выбор наиболее типичной ЧС;

	– разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; – разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий.
4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:	– специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Чулков Николай Александрович	Кандидат технических наук, доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2Д2Б	Тарновская Оксана Дмитриевна		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа _____ 100 _____ с., _____ 7 _____ рис., 42 _____ табл., 30 источников, _____ 0 _____ прил.

Ключевые слова: Эмульсионная полимеризация, акрилонитрил, полиакрилонитрил, иницирующая система, радикальная полимеризация, проектирование.

Объектом исследования является узел полимеризации акрилонитрила эмульсионным способом.

Цель работы – Спроектировать узел полимеризации акрилонитрила эмульсионным способом.

В процессе работы проводились изучение теоретических основ эмульсионной полимеризации акрилонитрила, инженерные расчеты, проектирование узла полимеризации акрилонитрила

В результате был спроектирован реактор-полимеризатор для производства полиакрилонитрила эмульсионным способом

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: полимеризация проводится в реакторе периодического действия емкостного типа с перемешивающим устройством

Область применения: получение полиакрилонитрильных и углеродных волокон

REFERAT

Auspuff arbeiten Qualifikation 100 s., 7 Abb., 42 Tab.,
30 Link, 0 Anwendung.

Die Stichworte: das Emulsionspolymerisation, Acrylnitril, Polyacrylnitril, der
initiierende System, die Radikale Polymerisation, das Projektierung.

Gegenstand der Studie ist die Website Polymerisation von Acrylnitril
Emulsion Weg.

das Ziel der Arbeit – Entwerfen Knoten Polymerisation von Acrylnitril
Emulsion Weg..

In dem Prozess eine Studie über die theoretischen Grundlagen der
Emulsionspolymerisation von Acrylnitril der Durchführung, technische
Berechnungen, Projektierung des Knoten Acrylnitril Polymerisation

Ergebend es wurde Reaktor Polymerisationsvorrichtung zur Herstellung
von Polyacrylnitril-Emulsionsverfahren entworfen

Die grundlegenden konstruktiven, technologischen und technischen und
betrieblichen Merkmale: die Polymerisation wird in einem Chargenreaktor mit
dem kapazitiven Typ Rührer durchgeführt

Anwendungsgebiet: Erhalt von Polyacrylnitril und Kohlefasern

Нормативные ссылки

В настоящей работе использованы следующие стандарты:

- 1.ГОСТ 11097-86. Нитрил акриловой кислоты технический. Технические условия. – М.: Издательство стандартов, 1987. – 34 с.
- 2.ГОСТ 18995.2-73. Продукты химические жидкие. Метод определения показателя преломления. М.: ИПК Издательство стандартов, 1998. – 4 с.
- 3.ГОСТ 18995.7-73. Продукты химические органические. Методы определения температурных пределов перегонки. М.: ИПК Издательство стандартов, 1998. – 18 с.
- 4.ГОСТ 18995.1-73. Продукты химические жидкие. Методы определения плотности. – М.: ИПК Издательство стандартов, 1998. – 4 с.
- 5.ГОСТ 9931–85. Корпусы цилиндрические стальных сварных сосудов и аппаратов. Типы, основные параметры и размеры. – М.: Издательство стандартов, 1986. – 23 с.
- 6.ГОСТ Р 12.1.019-2009 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты. – М.: Стандартиформ, 2010. – 32 с.
7. ГОСТ 12.1.003 – 2014 «Система стандартов безопасности труда. Шум. Общие требования безопасности». – М.: Стандартиформ, 2015. – 27 с.
- 8.ГН 2.2.5.1313–03. Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны. – М.: «Нефтяник», 2003. – 34 с.
- 9.Федеральный закон от 22.07.2013 г. №123 – ФЗ. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности. – 88 с.
- 10.СП 52.13330.2011 Естественное и искусственное освещение. – М: Минрегион России, 2011. – 69 с.
11. ГОСТ 2.747-68 ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах. Размеры условных графических обозначений. – М.: Стандартиформ, 2007. – 3 с.

12. ГОСТ 2.721-74 ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах. Обозначения общего применения. – М.: Стандартиформ, 2008. – 34 с.

Оглавление

Введение	15
1 Теоретическая часть	16
1.1 Физико-химические основы процесса	16
1.1.1 Химизм процесса	16
1.1.2 Кинетика и особенности эмульсионной полимеризации акрилонитрила	17
1.1.3 Термодинамика процесса полимеризации	20
1.1.4 Влияние физических и химических факторов на процесс	21
2 Объект и методы исследования	23
2.1 Техничко-экономическое обоснование проекта	23
2.2 Характеристика продукта, исходного сырья, материалов и полупродуктов	26
2.2.1 Характеристика исходного сырья	26
2.2.2 Характеристика продукта	29
2.2.3 Выбор инициатора	30
3 Инженерные расчеты	32
3.1 Описание технологической схемы	32
3.2 Материальные расчеты	33
3.3 Технологические расчеты основного аппарата	43
3.3.1 Выбор материала и конструкции основного аппарата	43
3.3.2 Расчет размеров единичного аппарата	45
3.4 Тепловые расчеты	47
3.5 Механический расчет основного аппарата	52
3.5.1 Выбор штуцеров	52
3.5.2 Выбор фланцев	54
3.5.3 Расчет толщины обечайки	55
3.5.4 Расчет толщины днищ аппарата	56
3.5.5 Расчет и выбор опор	57

3.5.6	Подбор рубашки	59
3.5.7	Выбор мешалки	59
3.5.8	Расчет и подбор вспомогательного оборудования	60
3.6	Контроль производства	61
3.6.1	Аналитический контроль	61
3.6.2	Автоматический контроль	64
4	Финансовый менеджмент, ресурсосбережение и ресурсоэффективность	66
4.1	Анализ конкурентных технических решений	66
4.2	SWOT-анализ	67
4.3	Планирование научно-исследовательских работ	69
4.3.1	Структура работ в рамках научного исследования	69
4.3.2.	Определение возможных альтернатив проведения научных исследований	70
4.3.3	Определение трудоемкости проведения работ	71
4.3.4	Разработка графика проведения научного исследования	73
4.4	Бюджет научно-технического исследования (НТИ)	76
4.4.1	Расчет материальных затрат НТИ	76
4.4.2	Расчет затрат на оборудование для научно-экспериментальных работ	77
4.4.3	Основная заработная плата исполнителей темы	78
4.4.4	Отчисления во внебюджетные фонды	80
4.4.5	Накладные расходы	81
4.4.6	Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта	81
4.5	Определение ресурсной, финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	82
5	Социальная ответственность	84
5.1	Производственная безопасность	84

5.5.1 Анализ вредных факторов производства	85
5.5.2 Анализ опасных факторов производства	89
5.2 Экологическая безопасность	90
5.3 Безопасность чрезвычайных ситуаций	91
5.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	93
Заключение	96
Список литературы	97
Графический материал:	
ФЮРА. 180301.338.ТС Технологическая схема.	На отдельном листе.
ФЮРА. 180301.338.ВО Реактор. Общий вид.	На отдельном листе.
ФЮРА. 180301.338.СБ Сборочные единицы.	На отдельном листе.

Введение

В мировой экономике одной из наиболее динамично развивающихся сфер является рынок полимеров. Россия старается найти свое место на мировом рынке полимеров и не отставать от ведущих стран – ежегодно в нашей стране увеличиваются производственные мощности, открываются новые производства, расширяется ассортимент продукции, география поставок.

Основные виды полимерных материалов в настоящее время: пластмассы, волокна, каучуки и лакокрасочные покрытия. Из них некоторые синтетические волокна занимают первое место по масштабу производства.

Главным источником сырья для синтеза полимерных синтетических материалов служат нефтепродукты и природные газы. В газах крекинга нефтепродуктов содержатся этилен и пропилен. Из пропилена в дальнейшем получают акрилонитрил — исходный продукт для производства полиакрилонитрила.

В настоящее время единственным производителем ПАН в России является ООО «Композит-Волокно», производство которого расположено на территории завода «Саратоворгсинтез». В целом Россия по производству полимерных материалов отстает от развитых стран, поэтому для производства ПАН требуются новые мощности.

Нехватка полимерных материалов приводит к снижению эффективности экономики страны, поэтому главной задачей является ускоренный рост производства современных полимерных материалов.

Целью данной работы является проектирование узла полимеризации акрилонитрила эмульсионным способом.

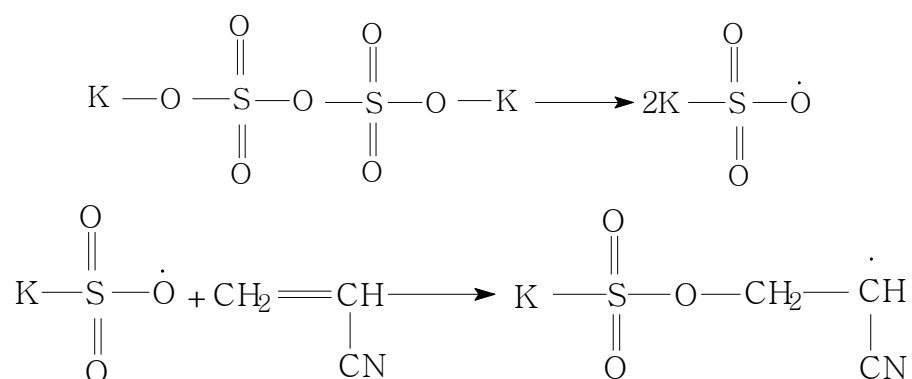
1 Теоретическая часть

1.1 Физико-химические основы процесса

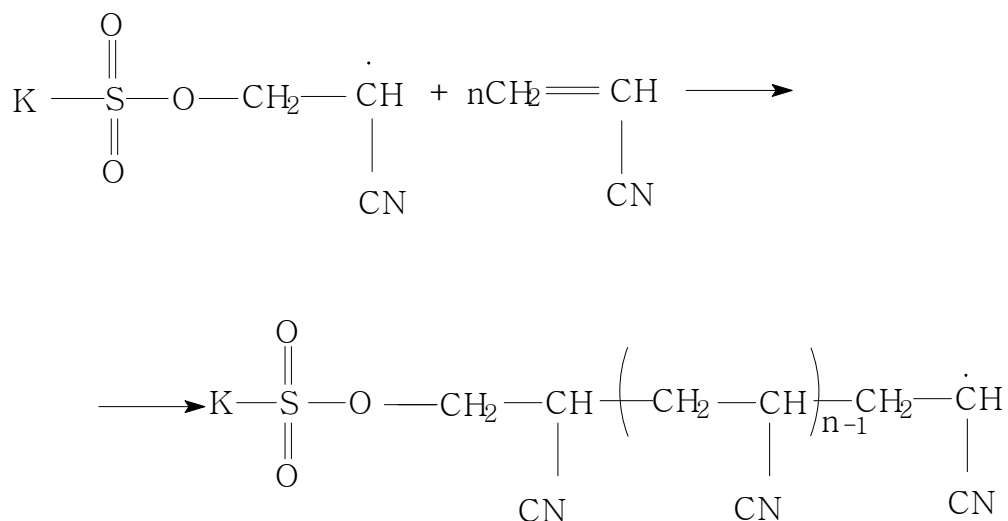
1.1.1 Химизм процесса полимеризации

Полимеризация акрилонитрила эмульсионным способом осуществляется по радикальному механизму и содержит следующие стадии:

1) Инициирование

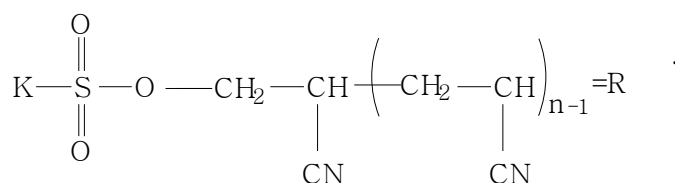


2) Рост цепи

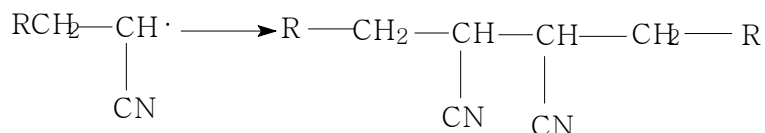


3) Обрыв цепи

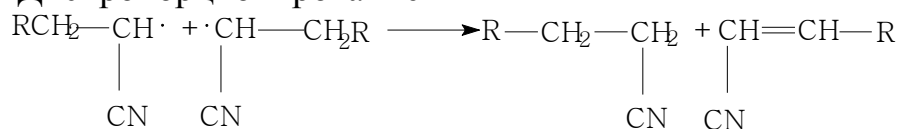
Радикальный процесс полимеризации акрилонитрила характеризуется реакцией обрыва цепи через взаимодействие 2-х полимерных радикалов друг с другом – рекомбинация. Так же характерна и другая реакция, приводящая к обрыву полимерных цепей – диспропорционирование.



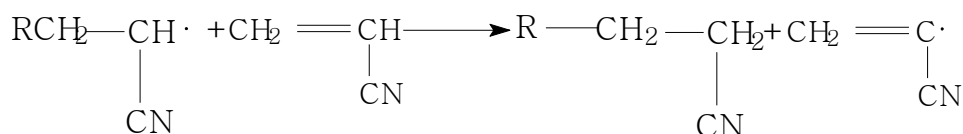
- Рекомбинация



- Диспропорционирование



Также возможна реакция передачи цепи на мономер:



1.2.2 Кинетика и особенности эмульсионной полимеризации акрилонитрила

Полимеризация в водной дисперсии – самый распространенный способ проведения полимеризации для получения ПАН.

АН способен образовывать 7 %-ные водные растворы при температуре 20 °С, на чем основывается процесс эмульсионной полимеризации данного мономера. Вначале процесс полимеризации протекает в гомогенной среде, затем в отдельную фазу выделяются образующиеся олигомеры, и реакция продолжается в гетерогенной среде. Таким образом, особенностью полимеризации акрилонитрила в эмульсии является протекание процесса сначала в растворе, а затем в выпадающих из раствора агрегатах макромолекул. Данное явление объясняется достаточно хорошей растворимостью акрилонитрила в воде [5].

При использовании в качестве инициатора неорганических соединений (персульфатов, пероксидов) возникновение и первые стадии роста радикалов происходят в водной фазе. Однако, рост цепей в водной фазе ограничен низкой концентрацией мономера и ограниченной растворимостью полимера. При достижении пороговой молекулярной массы растущая цепь образует плотную, набухшую в растворе мономера частицу. При низких конверсиях,

когда концентрация мономера в водном растворе сравнительно велика, а количество частиц мало, преимущественным механизмом этого процесса является самонуклеация (коллапс растущей полимерной цепи).

При высоких конверсиях, которые обычно достигаются в промышленных процессах, наоборот, концентрация мономера в водной фазе мала, а количество частиц полимера велико. Полимеризация в водной фазе протекает медленно, присутствующие в ней растущие радикалы обратимо сорбируются на поверхности частиц. Вблизи поверхности частицы концентрация мономера обычно выше, чем в водном растворе, и полимеризация продолжается в обогащенном мономером слое, при этом по мере роста радикала он может «врастать» в полимерную частицу, и его сорбция станет необратимой.

В случае акрилонитрила растворимость мономера в воде достаточно высокая, а частицы полимера почти не набухают в растворе акрилонитрила. Поэтому в таком случае стремление к захвату растущих цепей по механизму сорбции выражено довольно слабо, вследствие чего приоритетным механизмом роста полимерной частицы является агломерация растущих цепей. Таким образом, частицы полиакрилонитрила, полученные эмульсионной полимеризацией, представляют собой массивные агломераты первичных частиц диаметром порядка 1000.

Полимеризация акрилонитрила в гетерогенной фазе характеризуется самоускорением (степень превращения около 20 % при 60 °C), обусловленное захватом макрорадикалов полимером, выпадающим в осадок. Эффективные скорости роста захваченных макрорадикалов зависят от температуры и степени экранирования активного центра свернутыми цепями, препятствующими диффузии акрилонитрила и других реагентов в твердую фазу [6].

Важнейшей особенностью полимеризации акрилонитрила в гетерогенной среде является нарастание молекулярной массы полимера с увеличением степени превращения. Это обусловлено захватом

макрорадикалов твердой фазой, т.к. при температуре ниже 60 °С эти макрорадикалы не гибнут.

Полимеризация акрилонитрила в эмульсии чувствительна к перемешиванию и центрифугированию, т.к. при таких условиях увеличивается число столкновений глобул и, соответственно, скорость обрыва цепи. В небольшом количестве кислород содействует возрастанию скорости полимеризации путем дополнительного образования пероксидов и гидропероксидов акрилонитрила, которые служат инициаторами. При добавлении большого количества кислорода процесс полимеризации ингибируется и в определенный момент может прекратиться. Поэтому полимеризацию акрилонитрила ведут с перемешиванием в атмосфере азота при охлаждении реактора в изотермических условиях.

Скорость эмульсионной полимеризации акрилонитрила определяется как сумма скоростей R_s (в водном растворе акрилонитрила) и R_g (на глобулах полиакрилонитрила) [5]:

$$v = R_s + R_g = k_p[M][M_r] + k'_p[M]_{адс}[p]$$

где k_p и k'_p – константы скоростей роста соответственно в водном растворе акрилонитрила и на глобулах полиакрилонитрила; $[M]$ – концентрация акрилонитрила в водном растворе; $[M]_{адс}$ – эффективная концентрация акрилонитрила, адсорбированного на глобулах; $[M'_r]$ – концентрация свободных радикалов в растворе; $[p]$ – концентрация глобул в реакционной смеси.

1.1.3 Термодинамика процесса полимеризации

Возможность образования ПАН из мономера определяется термодинамическими и кинетическими факторами.

Полагая, что в большинстве случаев полимеризация протекает при постоянном давлении, используем уравнение изменения изобарного изотермического потенциала (энергии Гиббса) системы (ΔG) для описания процесса:

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S,$$

где ΔG - энергия Гиббса;

ΔH - изменение энтальпии системы;

T - абсолютная температура;

ΔS - изменение энтропии системы.

Полимеризация становится термодинамически возможной, когда термодинамический потенциал системы уменьшается ($\Delta G < 0$). Это еще не означает, что в данных конкретных условиях процесс будет протекать с ощутимой скоростью или приведет к образованию продукта с высокой молекулярной массой. И то и другое определяется кинетическими факторами.

При $\Delta G = 0$ в полимеризационной системе должно установиться динамическое равновесие. Установление равновесия означает, что $\Delta H = T\Delta S$. Температура, соответствующая этому условию, называется предельной температурой полимеризации ($T_{пр}$) [9]:

$$T_{пр} = \frac{\Delta H}{\Delta S}.$$

Используя уравнение, рассмотренное выше, можно рассчитать, при каких температурах произойдет образование высокомолекулярного полимера. Для этого попытки максимально интенсифицировать технологические процессы, протекающие по радикальному механизму, приводят к необходимости значительного повышения температур, необходимой для распада инициатора и образования свободных радикалов. Вот здесь проблема сдвига равновесия становится весьма важной. Поэтому ниже рассмотрено влияние давления на равновесную температуру полимеризации. Зависимость $T_{пр}$ от давления описывается уравнением Клаузиуса - Клапейрона:

$$\frac{dT_{пр}}{dP} = \frac{\Delta V}{\Delta S} = \frac{\Delta V}{\Delta H} \times T_{пр}$$

Определяющим, таким образом, становится изменение объема системы.

1.1.4 Влияние физических и химических факторов на процесс

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

1. температура;
2. давление;
3. концентрация мономера;
4. концентрация инициатора;
5. продолжительность процесса полимеризации.

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

$$\omega_p = k_p [M^{\bullet}] \cdot [M],$$

Одновременно растет и скорость обрыва цепи:

$$\omega_{обр} = k_{обр} [M^{\bullet}]^2$$

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 увеличением температуры скорость полимеризации также увеличивается, а молекулярная масса полимера уменьшится [8].

Обычно с повышением давления повышается скорость и молекулярная масса полимера.

С повышением концентрации мономера увеличивается скорость полимеризации и, следовательно, средняя степень полимеризации.

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

Из основного кинетического уравнения полимеризации следует, что скорость процесса должна уменьшаться с течением времени, поскольку уменьшается концентрация мономера, а скорость линейного зависит от нее. Но в реальности для большинства полимеров характерно автоускорение, т.е. увеличение скорости полимеризации по мере образования полимера.

2 Объект и методы исследования

2.1 Техничко-экономическое обоснование проекта

Полимеризация акрилонитрила проводится с целью получения линейного синтетического полимера – полиакрилонитрила, представляющий собой твердое аморфное труднокристаллизующееся вещество белого цвета.

Полиакрилонитрил является сырьем для получения термоустойчивых материалов. В основном, данный полимер используется для формования волокон, нитей и полиакрилонитрильного жгутика.

Широким народным потреблением пользуются полиакрилонитрильные волокна, которые применяются для изготовления искусственного меха, спецодежды, теплоизоляционных прокладок, и др. Технический полиакрилонитрильный жгут является основным сырьем для производства углеродных волокон, армирования пластиков, также данная продукция используется в производстве брезентов, гардин, палаточных тканей, парусины.

Полиакрилонитрил нашел широкое применение в мире ввиду своих ценных свойств. Волокна из полиакрилонитрила характеризуются легкостью, повышенной износостойкостью, низкой гигроскопичностью, легкой окрашиваемостью. Изделия из полиакрилонитрила хорошо держат форму и относительно хорошо растягиваются.

Также полимер широко применяется в качестве сополимера в производстве дивинилнитрильного каучука.

Таким образом, необходимо повышать производство полиакрилонитрила путем строительства новых предприятий, расширения производства, модернизации техники, реконструкции предприятий.

Конкурентоспособность полиакрилонитрила, в первую очередь, определяется его качеством, зависящим, главным образом, от чистоты полимера, а, следовательно, и от чистоты исходных компонентов. Получение мономеров высокой чистоты позволяет повысить стабильность полимера и изделия с повышенными механическими, диэлектрическими и химическими

показателями.

Способ проведения полимеризации существенно влияет на экономику процесса полимеризации акрилонитрила.

Полимеризацию акрилонитрила проводят в растворе, в суспензии или эмульсии, реже – в блоке. Полимеризация акрилонитрила имеет важную особенность: нерастворимость полимеров в мономере. Известно, что уже при степени полимеризации около 10 полиакрилонитрил высаживается из раствора [5]. Таким образом, в гомогенной среде протекает только полимеризация акрилонитрила в растворе, а в блоке, суспензии и в эмульсии – гетерогенных условиях.

Полимеризация акрилонитрила в блоке характеризуется высокой теплотой полимеризации, а вследствие этого – сложностью теплообмена, что приводит к взрывному характеру данного способа. Несмотря на то, что полимеризация акрилонитрила в массе кажется адаптируемым процессом, она практически не используется в промышленности. Автокаталитический характер процесса в сочетании с высоким тепловыделением делает практически невозможным контроль процесса полимеризации и разработку оборудования для него.

Полимеризация акрилонитрила в суспензии характеризуется тем, что в полимеризационную систему добавляется вещество, не растворяющее полимер и частично растворяющее мономер. Это главное отличие полимеризации в суспензии от блочной.

Недостатками данного способа получения являются: полимер загрязнен стабилизатором; трудно провести полимеризацию до полного исчерпания мономера; коркообразование; необходимость операций по выделению полимера из среды полимеризации, а также операций по созданию условий экологичности процесса. Подготовка и очистка больших количеств воды. Полимеризация акрилонитрила в растворе протекает в гомогенных условиях. Главным преимуществом данного метода является то,

что полученный раствор полимера можно прямо перерабатывать в прядильный раствор удалением непрореагировавшего мономера. Однако при полимеризации акрилонитрила в растворе сложно достичь высокой степени полимеризации полимера. Также к недостаткам данного способа можно отнести то, что в ходе процесса полимеризации может произойти передача цепи на растворитель.

Полимеризация в эмульсии (эмульсионная полимеризация) – широко распространенный способ получения полимеров, который осуществляется в среде с развитой поверхностью раздела между несмешивающимися фазами; одна из фаз содержит мономер.

Эмульсионный вариант синтеза полимера имеет ряд несомненных преимуществ по сравнению с другими способами, из которых следует отметить:

- 1) продукты синтеза - синтетические латексы - находят во многих случаях непосредственное применение, что исключает необходимость стадий выделения полимера из реакционной массы;
- 2) эмульсионная полимеризация протекает с высокой скоростью и обеспечивает получение полимера высокой молекулярной массы;
- 3) скорости инициирования, обрыва и передачи цепи легко регулировать, поэтому процессы протекают с высокими скоростями при относительно низких температурах от 0 до 50 °С;
- 4) возможность реализации непрерывных процессов;
- 5) возможность получения высококонцентрированных латексов с малой вязкостью, что облегчает перемешивание и транспортировку.

К недостаткам можно отнести:

- 1) необходимость в ряде случаев выделения полимера из латекса;
- 2) загрязнение полимера остатками эмульгатора и коагулянта;
- 3) подготовка и очистка больших количеств воды.

Рассмотрев все изложенные выше достоинства и недостатки различных способов полимеризации акрилонитрила, можно сделать вывод о том, что наиболее целесообразно получать полиакрилонитрил эмульсионным способом. Этот метод имеет ряд преимуществ необходимых для данного проекта: процесс - периодический, удовлетворяет требованиям мощности производства – 2500 т/год; выгоден по энерго- и капиталовложениям; дает выпуск чистого продукта с высокими техническими показателями и др.

2.2 Характеристика продукта, исходного сырья, материалов и полупродуктов

2.2.1 Характеристика исходного сырья

Акрилонитрил представляет собой бесцветную жидкость, кипящую при 78,5 °С, обладает резким запахом. Акрилонитрил в любом соотношении легко смешивается со многими органическими растворителями. В воде данный мономер растворим ограниченно. Пары акрилонитрила являются токсичными, могут воспламеняться и образовывать с воздухом в широком интервале концентраций взрывоопасную смесь, поэтому данное вещество относится ко 2 классу опасности. Основные свойства акрилонитрила приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Физико-химические свойства акрилонитрила [2]:

Физико-химические свойства	Обозначение	Единица измерения	Значение
Молекулярная масса	М	—	53,06
Температура затвердевания	$T_{затв}$	°С	-83,55
Температура кипения	$T_{кип}$	°С	77,3
Температура воспламенения	$T_{в}$	°С	2
Температура самовоспламенения	$T_{св}$	°С	370
Концентрационный предел взрываемости в смеси с воздухом	КПВ	%	3-17
Предельно-допустимая концентрация в воздухе	ПДК	мг/м ³	0,5
Плотность при 20 °С	d_{4}^{20}	г/см ³	0,8064

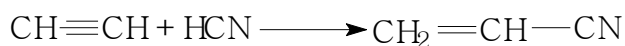
Физико-химические свойства	Обозначение	Единица измерения	Значение
Вязкость при 20 °С	η	мПа-с	0,40
Вязкость при 60 °С	η	мПа-с	0,25
Давление пара при 20 °С	$P_{\text{п}}$	кПа	11,3
Давление пара при 40 °С	$P_{\text{п}}$	кПа	26,67
Давление пара при 80 °С	$P_{\text{п}}$	кПа	108,7
Дипольный момент (пар)	μ	Кл-м	$1,29 \cdot 10^{-29}$
Критическое давление	$P_{\text{к р и т}}$	МПа	3,54
Критическая температура	$T_{\text{к р и т}}$	°С	246
Теплоемкость	C_p^0	кДж/(кг-К)	$2,09 \pm 0,12$
Энтальпия образования (газ)	$\Delta H^0_{\text{обр}}$	кДж/моль	-190
Энтальпия образования (жидк.)	$\Delta H^0_{\text{обр}}$	кДж/моль	-152
Энтальпия испарения (0-80 °С)	$\Delta H^0_{\text{исп}}$	кДж/моль	32,6
Энтальпия сгорания	$\Delta H^0_{\text{сгор}}$	кДж/моль	1,76
Энтропия (пар)	ΔS^0	Дж/(моль-К)	274,1
Растворимость в воде при 20 °С	PH_2O	%	7,3

Акрилонитрил склонен к самопроизвольной полимеризации, которая имеет взрывной характер, поэтому, для предотвращения данного процесса обычно его стабилизируют добавлением небольшого количества гидрохинона или аммиака.

Существует несколько промышленных методов получения акрилонитрила. Наиболее важные из них [2]:

- синтез из пропилена
- синтез из ацетилен
- синтез из ацетальдегида

Синтез акрилонитрила из ацетилен характеризуется взаимодействием ацетилен с синильной кислотой в водной среде в присутствии каталитических количеств хлорида меди (II) [2]. Реакция проводится при 80-90 °С под давлением 1-2 атм [2]:



Акрилонитрил выделяется перегонкой полученного 1–3 %-го раствора. После окончательной очистки акрилонитрил содержит 99,85–99,9 % основного вещества. Выход составляет около 80 % от теоретического (из расчета на синильную кислоту).

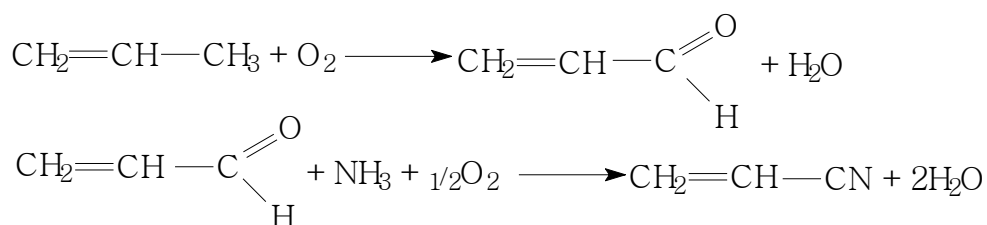
Основной недостаток этого метода – большое количество протекающих побочных реакций (в основном, это реакции гидратации, такие как гидролиз катализатора, который влечет за собой снижение его активности).

Акрилонитрил можно также получать из ацетальдегида и синильной кислоты.

Сначала образуется нитрил молочной кислоты. Затем он нагревается до 600–700 °С в присутствии каталитических количеств фосфористой кислоты. Смесь затем быстро вымораживается до 50 °С в 30 %-м растворе фосфористой кислоты [2].

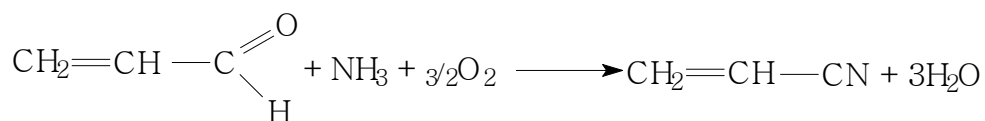
Самый популярный способ синтеза акрилонитрила на сегодняшний день – окислительное аммонирование пропилена, который имеет 3 вариации: Distillers, Sohio и DuPont [2].

Процесс фирмы Distillers двухстадийный. Вначале происходит окисление пропилена на воздухе до акролеина, а затем акролеин реагирует с аммиаком на воздухе в присутствии катализатора – оксида молибдена, что приводит к образованию неочищенного акрилонитрила, из которого затем получают чистый продукт серией азеотропных перегонок [2].



Альтернатива вышеуказанному способу – Sohio-процесс. Данный процесс одностадийный. Он заключается в окислительном аммонировании при давлении 2–3 атм и 425–510 °С в присутствии фосфомолибдата висмута

или других оксидов молибдена и кобальта. Выход акрилонитрила составляет около 50 % всего за 15 секунд [2].



Процесс DuPont также одностадийный. Он заключается в окислении пропилена оксидом азота (II) при 500 °С над серебряным или кремниевым катализатором [2].

2.2.2 Характеристика продукта

По характеристике применяемых продуктов производство полиакрилонитрила в соответствии с законом ФЗ №116 «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» относится к опасным.

Готовая продукция – полиакрилонитрил – порошок белого цвета или аморфная масса, которая легко растирается в порошок.

Основные физические свойства ПАН представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Свойства полиакрилонитрила [4]:

Свойство	Значение
Плотность, г/см ³	1,14–1,15
Показатель преломления, n_D^{20}	1,49–1,52
Температура размягчения (с одновременной деструкцией), °С	220–230
Удельная теплоемкость, кДж/(кг·К) [кал/(г·°С)]	1,51
Прочность при растяжении (для волокна), Мн/м ² (кгс/мм ²)	600 (60)
Относительное удлинение, %	10–35
Влагопоглощение отпрессованного образца, %	1–2
Дипольный момент, к·м (D)	1,13–10 ⁻⁴
Удельное объемное электрическое сопротивление, Том*м (Ом·см)	1 (10 ¹⁴)
Тангенс угла диэлектрических потерь при:	
50 гц	0,11
1 Мгц	0,03

Особенностью и отличием полиакрилонитрила от акриловых полимеров является его нерастворимость в обычных растворителях. Он растворим в диметилформамиде и концентрированных растворах некоторых неорганических солей, таких как хлорид цинка, бромид лития, роданиды

натрия и кальция, и др.

Свойства полиакрилонитрила при нагревании в атмосфере азота до 200 °С остаются неизменными. При 220-230 °С он начинает размягчаться и одновременно разлагаться с выделением аммиака, а при 270 °С – с выделением цианистого водорода [4]. Продолжительное нагревание при температурах до 100 °С приводит к изменению окраски продукта и уменьшению его растворимости.

Варьирование условий проведения процесса полимеризации позволяет получать полимеры различной молекулярной массы – от 20000 до 350000 [4]. Для производства полиакрилонитрильных волокон применяют полимеры с молекулярной массой от 30000 до 100000.

Полиакрилонитрил характеризуется почти такими же прочностными показателями, как и полиамиды (капрон и нейлон): влагопоглощение 0,9–1,0 % при 20 °С и 65 %-ной относительной влажности, относительное удлинение – 10-35 % [4].

2.2.3 Выбор инициатора

В присутствии инициаторов акрилонитрил легко вступает в реакцию полимеризации, которая сопровождается выделением 73,3 кДж/моль тепла [2]. Инициаторами процесса полимеризации могут быть азо- и диазосоединения, пероксиды, а также элементоорганические соединения. Кислород является ингибитором полимеризации акрилонитрила, поэтому процесс проводят в среде азота.

В процессе полимеризации акрилонитрила часто используются окислительно-восстановительные системы. Обычно в качестве такой системы применяют персульфат аммония (инициатор) с тиосульфатом или гидросульфитом натрия (промотор). Использование данной иницирующей системы позволяет проводить процесс при значительно низких температурах и получать готовый продукт с достаточно высокой молекулярной массой. Также в таком процессе наличие побочных реакций сводится к минимуму.

В данной работе в качестве окислительно-восстановительной системы был выбран персульфат калия и тиосульфат натрия. Свойства инициатора и промотора приведены, соответственно, в таблицах 3,4.

Таблица 3 – Свойства персульфата калия [3]:

Свойства	Значение
Молярная масса, г/моль	270,32
Плотность, г/см ³	2,477
Температура плавления, °С	Разлагается при <100 °С
Мольная теплоемкость, Дж/(моль·К)	213,1
Энтальпия образования, кДж/моль	-1920,4
Растворимость в воде, г/100 мл	1,65 ⁰ ; 4,68 ²⁰ ; 10,95 ⁴⁰
Показатель преломления	1,461; 1,467; 1,566

Таблица 4 – Свойства тиосульфата натрия [3]:

Свойства	Значение
Молярная масса, г/моль	158,11
Плотность, г/см ³	1,667
Температура плавления, °С	150
Температура вспышки, °С	негорюч
Растворимость в воде, г/100 мл	хорошо растворим в воде 70,1(20 °С), 229 (80 °С)

4 Финансовый менеджмент, ресурсосбережение и ресурсоэффективность

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. В настоящее время единственным производителем ПАН волокна в России является ООО «Композит-Волокно», производство которого расположено на территории завода «Саратоворгсинтез». Также влиятельным предприятием-конкурентом является «Тогау», Япония.

В таблице 22 приведена оценочная карта, включающая конкурентные технические разработки в области производства полиакрилонитрила.

Таблица 22 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических разработок

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	5	3	4	1,5	0,9	1,2
2. Энергоемкость процессов	0,3	4	3	4	1,2	0,9	1,2
Экономические критерии оценки эффективности							
3. Цена	0,2	5	4	3	1,0	0,8	0,6
4. Конкурентоспособность продукта	0,1	4	5	5	0,4	0,5	0,5
5. Финансирование научной разработки	0,1	2	5	5	0,2	0,5	0,5
Итого:	1				4,3	3,6	4

Б_ф – продукт проведенной работы;

Б_{к1} – «Саратоворгсинтез»;

Б_{к2} – «Toray».

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 23.

Таблица 23 – Первый этап SWOT-анализа

	Сильные стороны научно-исследовательского проекта: С1. Экологичность технологии С2. Более низкая стоимость производства по сравнению с другими технологиями С3. Использование отходов производств в качестве сырья (ресурсоэффективность технологии)	Слабые стороны научно-исследовательского проекта: Сл1.Отсутствие необходимого оборудования для проведения испытания опытного образца
Возможности: В1. Повышение стоимости конкурентных разработок		
Угрозы: У1. Отсутствие спроса на новые технологии производства У2. Несвоевременное финансовое обеспечение научного исследования У3. Развитая конкуренция технологий производства		

Интерактивные матрицы представлены в таблицах 24, 25, 26, 27.

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

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

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

Слабые стороны проекта		
Возможности проекта		Сл1
	B1	-

Таблица 26 – Интерактивная матрица проекта «Сильные стороны
и угрозы»

Сильные стороны проекта				
Угрозы		C1	C2	C3
	У1	+	-	+
	У2	-	-	+
	У3	+	-	+

Таблица 27 – Интерактивная матрица проекта «Слабые стороны и
угрозы»

Слабые стороны проекта		
Угрозы		Сл1
	У1	+
	У2	+
	У3	-

Таким образом, в рамках третьего этапа может быть составлена итоговая матрица SWOT-анализа (таблица 28).

Таблица 28 – Итоговая матрица SWOT-анализа

	Сильные стороны научно-исследовательского проекта: С1. Экологичность технологии С2. Более низкая стоимость производства по сравнению с другими технологиями С3. Использование отходов производств в качестве сырья (ресурсоэффективность технологии)	Слабые стороны научно-исследовательского проекта: Сл1. Отсутствие необходимого оборудования для проведения испытания опытного образца
Возможности: В1. Повышение стоимости конкурентных разработок	Разработка технологии полиакрилонитрила эмульсионным способом	По причине отсутствия необходимого оборудования для проведения испытания опытного образца возможно отставание от конкурентов с последующим падением спроса на продукцию
Угрозы: У1. Отсутствие спроса на новые технологии производства У2. Несвоевременное финансовое обеспечение научного исследования У3. Развитая конкуренция технологий производства	Экологичность выбранной технологии, а также использование отходов в качестве сырья вполне способны ослабить влияние перечисленных угроз.	При задержках в поставках необходимого оборудования и одновременном развитии конкуренции технологии обогащения есть риски потери занятой ниши рынка. При добавлении к этому несвоевременного финансового обеспечения угроза потери рынка значительно возрастает.

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 (таблица 29).

Таблица 29 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№раб	Содержание работ	Должность исполнителя
1	2	3	4
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Научный 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 теоретических расчетов и обоснований	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 полимеризации 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 30 приведены возможные альтернативы производства эмульсионного ПАН.

Таблица 30 – Морфологическая матрица для методов получения
полиакрилонитрила

	1	2	3
А. Мономер	Акрилонитрил	Акрилонитрил	Акрилонитрил
Б. Инициатор	Персульфат калия	Персульфат аммония	Перборат натрия
В. Промотор	Тиосульфат натрия	Метабисульфит натрия	Без промотора

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 используется формула (4):

$$t_{ож\ i} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5}, \quad (4)$$

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

$t_{\min i}$ – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i – ой работы, чел. – дн.;

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

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

$$T_{pi} = \frac{t_{ож\ i}}{Ч_i}, \quad (5)$$

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 31.

Таблица 31 – Временные показатели проведения научного исследования

№	Название работ	Трудоёмкость работ									Испол нители	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	1	1	1	0, 6	0, 6	0, 6	Р	0, 15	0, 15	0, 15	0, 2	0, 2	0, 2
		0, 3	0, 3	0, 3	1	1	1	0, 6	0, 6	0, 6	Б	0, 15	0, 15	0, 15	0, 2	0, 2	0, 2
		0, 3	0, 3	0, 3	1	1	1	0, 6	0, 6	0, 6	К ¹	0, 15	0, 15	0, 15	0, 2	0, 2	0, 2
		0, 3	0, 3	0, 3	1	1	1	0, 6	0, 6	0, 6	К ²	0, 15	0, 15	0, 15	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	6	6	6	12	12	12	8, 4	8, 4	8, 4	Р	4, 2	4, 2	4, 2	5	5	5
		6	6	6	12	12	12	8, 4	8, 4	8, 4	Б	4, 2	4, 2	4, 2	5	5	5
4	Литературный обзор	7	7	7	10	10	10	8, 2	8, 2	8, 2	Б	8, 2	8, 2	8, 2	9, 7	9, 7	9, 7
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 теоретических расчетов и обоснований	5	5	5	10	10	10	7	7	7	Б	7	7	7	8, 3	8, 3	8, 3
7	Оценка эффективности результатов	2	2	2	3	3	3	2, 4	2, 4	2, 4	Р	1, 2	1, 2	1, 2	1, 4	1, 4	1, 4
		5	5	5	7	7	7	5, 8	5, 8	5, 8	Б	2, 9	2, 9	2, 9	3, 4	3, 4	3, 4
8	Определение целесообразности проведения ВКР	6	6	6	7	7	7	6, 4	6, 4	6, 4	Р	3, 2	3, 2	3, 2	3, 8	3, 8	3, 8
		6	6	6	7	7	7	6, 4	6, 4	6, 4	Б	3, 2	3, 2	3, 2	3, 8	3, 8	3, 8
9	Разработка технологии полимеризацииакр илонитрила	2	2	2	3	3	3	2, 4	2, 4	2, 4	Б	2, 4	2, 4	2, 4	2, 8	2, 8	2, 8
10	Оценка эффективности производства	7	7	7	10	10	10	7, 6	7, 6	7, 6	Б	4, 1	4, 1	4, 1	4, 8	4, 8	4, 8
		7	7	7	10	10	10	7, 6	7, 6	7, 6	К ¹	4, 1	4, 1	4, 1	4, 8	4, 8	4, 8
11	Разработка СО	7	7	7	10	10	10	8, 2	8, 2	8, 2	Б	4, 1	4, 1	4, 1	4, 8	4, 8	4, 8
		7	7	7	10	10	10	8, 2	8, 2	8, 2	К ²	4, 1	4, 1	4, 1	4, 8	4, 8	4, 8
12	Составление пояснительной записки	10	10	10	15	15	15	12	12	12	Б	12	12	12	14 ,2	14 ,2	14 ,2

Р – руководитель

Б – бакалавр

К¹ – консультант по экономической части

К² – консультант по социальной ответственности

4.3.4 Разработка графика проведения научного исследования

Диаграмма Ганта – это горизонтальный ленточный график (таблица 32), на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ. Данный график строится на основе таблицы 27.

Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться формулой (6):

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}}, \quad (6)$$

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 (7):

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}}, \quad (7)$$

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

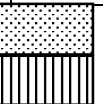
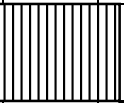
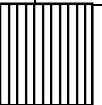
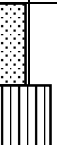
$T_{\text{вых}}$ – количество выходных дней в году;

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

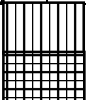
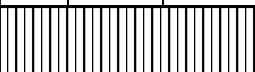
Таким образом:

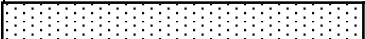
$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} = \frac{142}{142 - 18 - 4} = 1,18.$$

Таблица 32 – 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	0,6											
Подбор и изучение материалов	Руководитель, бакалавр	5											
Патентный обзор литературы	Бакалавр	9,7											
Календарное планирование работ	Руководитель, бакалавр	0,8											
Проведение теоретических расчетов и обоснований	Бакалавр	8,3											
Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель, бакалавр	1,4 3,4											

Продолжение таблицы 32

Вид работы	Исполнители	T_{ki} , дней	Продолжительность выполнения работ										
			февраль		март			апрель			май		
			2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Определение целесообразности проведения ВКР	Руководитель, бакалавр	3,8											
Разработка технологии полимеризации акрилонитрила	Бакалавр	2,8											
Оценка эффективности производства и применения разработки	Бакалавр, консультант ЭЧ	4,8											
Разработка социальной ответственности	Бакалавр, консультант СО	4,8											
Составление пояснительной записки	Бакалавр	14											

Руководитель	Бакалавр	Консультант ЭЧ	Консультант СО
			

4.4 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

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

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

4.4.1 Расчет материальных затрат НТИ

Для выполнения данной ВКР требуются материальные затраты на:

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

Материальные затраты данного НТИ представлены в таблице 33.

Таблица 33 – Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	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
Акрилонитрил	кг	588	588	588	120	120	120	70560	70560	70560
Персульфат калия	кг	14	0	0	190	0	0	2660	0	0
Персульфат аммония	кг	0	14	0	0	190	0	0	2660	0
Перборат натрия	кг	0	0	14	0	0	70	0	0	980
Тиосульфат натрия	кг	5	0	0	200	0	0	1000	0	0
Метабисульфит натрия	кг	0	5	0	0	180	0	0	1000	0
Итого:								74220	74220	71540

4.4.2 Расчет затрат на оборудование для научно-экспериментальных работ

Таблица 34

№ п/п	Наименование оборудования	Кол-во единиц оборудования	Цена единицы оборудования, руб.	Сумма амортизационных отчислений, руб.
1.	Аппарат для растворения инициатора	1	10000	3333
2.	Реактор	1	85000	4250
3.	Центрифуга	1	35000	4375
4.	Сушилка	1	350000	35000
5.	Сборник	1	5000	1000
6.	Колонна	1	34000	6800
Итого				54758

Для оборудования нужно рассчитать величину годовой амортизации по следующей формуле:

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

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

$T_{ни}$ – время полезного использования, год.

Результаты расчетов приведены в таблице 27.

4.4.3 Основная заработная плата исполнителей темы

Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением НТИ, (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:

$$З_{зн} = З_{осн} + З_{дон} , \quad (13)$$

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

$З_{дон}$ – дополнительная заработная плата (12 – 20 % от $З_{осн}$).

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

$$З_{осн} = З_{дн} \cdot T_p , \quad (14)$$

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

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

T_p – продолжительность работ, выполняемых научно – техническим работником, раб. дн. (таблица 28).

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$З_{дн} = \frac{З_{м} \cdot M}{F_{\partial}} , \quad (15)$$

где $З_{м}$ – месячный должностной оклад работника, руб.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года;

F_{∂} – действительный годовой фонд рабочего времени научно – технического персонала, раб. дн.

В таблице 35 приведен баланс рабочего времени каждого работника НТИ.

Таблица 35 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Бакалавр	Консультант ЭЧ	Консультант СО
Календарное число дней	142	142	142	142
Количество нерабочих дней	18	18	18	18
выходные дни:	4	4	4	4
праздничные дни:				
Потери рабочего времени				
отпуск:	0	0	0	0
невыходы по болезни:	0	0	0	0
Действительный годовой фонд рабочего времени	120	120	120	120

Месячный должностной оклад работника:

$$З_m = З_{мс} \cdot (1 + k_{np} + k_d) \cdot k_p, \quad (16)$$

где $З_{мс}$ – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

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

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 36.

Таблица 36 – Расчет основной заработной платы

Категория	$З_{мс}$, руб.	k_d	k_p	$З_m$, руб.	$З_{дн}$, руб.	T_p , раб. дн.	$З_{осн}$, руб.
Руководитель							
ППСЗ	22806	0,3	1,3	47436,48	1857,9	11,8	21923,56
Бакалавр							
ППС1	13624,5	0,3	1,3	28338,96	1109,9	58,2	64598,66
Консультант ЭЧ							
ППСЗ	19180	0,3	1,3	39894,4	1404,7	5	7023,5
Консультант СО							
ППСЗ	19180	0,3	1,3	39894,4	1404,7	5	7023,5

Общая заработная исполнителей работы представлена в таблице 37.

Таблица 37 – Общая заработная плата исполнителей

Исполнитель	$Z_{осн}$, руб.	$Z_{доп}$, руб.	$Z_{зн}$, руб.
Руководитель	21923,56	2630,83	24554,39
Бакалавр	64598,66	7751,84	72350,5
Консультант ЭЧ	7023,5	842,82	7866,32
Консультант СО	7023,5	842,82	7866,32

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 (17):

$$Z_{внеб} = k_{внеб} \cdot (Z_{осн} + Z_{доп}), \quad (17)$$

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

Отчисления во внебюджетные фонды представлены в таблице 38.

Таблица 38 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата, руб.
Руководитель проекта	21923,56	2630,83
Бакалавр	64598,66	7751,84
Консультант ЭЧ	7023,5	842,82
Консультант СО	7023,5	842,82
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	0,30	
Итого:	34354,45	

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, электроэнергия, транспортные расходы и т.д. Их величина определяется по следующей формуле:

$$З_{накл} = k_{нр} \cdot (\text{сумма статей } 1 \div 4), \quad (18)$$

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

Величину коэффициента накладных расходов $k_{нр}$ допускается взять в размере 16%. Таким образом, накладные расходы на данные НТИ составляют 44155,2руб.

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 39.

Таблица 39 – Расчет бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб.			Примечание
	Исп.1	Исп.2	Исп.3	
1. Материальные затраты НТИ	74220	74220	71540	Таблица 31
2. Затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	54758	54758	54758	Таблица 32

Наименование статьи	Сумма, руб.			Примечание
3. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	100929,22	100929,22	100929,22	Таблица 33
4. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	12068,31	12068,31	12068,31	Таблица 34
5. Отчисления во внебюджетные фонды	34354,45	34354,45	34354,45	-
6. Накладные расходы	44212,79	44212,79	41532,79	16 % от суммы ст. 1-5
7. Бюджет затрат НТИ	320542,77	320542,77	317862,77	Сумма ст. 1-6

Как видно из таблицы 39 основные затраты НТИ приходятся на основную заработную плату исполнителей темы.

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;

Φ_{pi} – 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).

Таблица 40 - 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	5	3
2. Удобство в эксплуатации		0,15	4	4	3
3. Надежность		0,20	4	4	4
4. Воспроизводимость		0,25	5	4	3
5. Материалоемкость		0,15	5	4	4
ИТОГО		1	4,7	4,3	3,4

Таблица 41 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1	Интегральный финансовый показатель разработки	1	1	0,993
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,7	4,3	3,4
3	Интегральный показатель эффективности	4,7	4,3	3,42
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1	0,915	0,723

Вывод: Сравнительный анализ интегральных показателей эффективности показывает, что более эффективным вариантом для получения полиакрилонитрила является первый вариант, который заявлен в данной бакалаврской работе. Этот вариант удобен как с позиции финансовой, так и ресурсной эффективности.

5 Социальная ответственность

5.1 Производственная безопасность

Идентификация потенциально вредных и (или) опасных производственных факторов на рабочих местах осуществляется экспертом предприятия, проводящим специальную оценку условий труда. Результаты идентификации потенциально вредных и (или) опасных производственных факторов утверждаются комиссией, формируемой в порядке, установленном статьей 9 Федерального закона [28].

Таблица 42 – Опасные и вредные факторы при производстве
полиакрилонитрила

Источник фактора	Факторы (по ГОСТ 12.0.003-74)		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
1. Утечки паров вредных веществ через неплотности оборудования; 2. Незащищенные подвижные элементы производственного оборудования; 3. Неправильная эксплуатация оборудования; 4. Использование насосов, центрифуг, двигателей.	1. Наличие в воздухе химических вредных веществ, имеющих токсическую, канцерогенную и мутагенную природу; 2. Повышенная загазованность и запыленность воздуха рабочей среды; 3. Превышение уровней шума и вибрации; 4. Недостаточная освещенность.	1. Движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования; 2. Электрический ток; 3. Пожар.	1. ГН 2.2.5.1313–03. Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны. 2. ГОСТ Р 12.1.019-2009 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты 3. Федеральный закон от 22.07.2013 г. №123 – ФЗ, Технический регламент о требованиях пожарной безопасности. 4. СП 52.13330.2011 <i>Естественное и искусственное освещение.</i> 5. ГОСТ 12.1.003 – 2014 «Система стандартов безопасности труда. Шум. Общие требования безопасности»

5.1.1 Анализ вредных факторов производства

В качестве источников света при искусственном освещении применяется преимущественно люминесцентные лампы типа ЛБ и компактные люминесцентные лампы (КЛЛ). В светильниках местного освещения разрешается, но не приветствуется применение ламп накаливания, в том числе галогенных.

Естественное и искусственное освещение соответствует требованиям действующей нормативной документации. Рекомендуется искусственное освещение в помещениях операторной ЦПУ реализовывать с помощью системы общего равномерного освещения.

Для работ на производстве, не требующих высокого зрительного напряжения, а лишь общего наблюдения, освещенность составляет 20...50 лк. Для работ в лаборатории потребуется 150...200 лк. Рекомендуемая освещенность на поверхности стола в зоне размещения рабочего документа 300 – 500 лк. При недостаточности общего освещения допускается установка светильников местного освещения для подсвета документов.

Источники шума в производстве полиакрилонитрила – это оборудование, установленное в помещениях и на наружных установках, в которых отсутствуют постоянные рабочие места. Кроме этого, центрифуги создают сильную вибрацию.

Для ослабления вибрации от работающего оборудования, передаваемой по строительным конструкциям, в проекте предусматриваются следующие мероприятия: самостоятельные фундаменты, не связанные с конструкцией здания; трубопроводы, примыкающие к машинам, создающим вибрацию, не имеют жесткого крепления к конструкциям здания; виброизолирующие прокладки во фланцах на трубопроводах для вентиляционного оборудования; специальная конфигурация трубопроводов; применение гасителей пульсаций и вибраций.

Работа с оборудованием, создающим шум, производится с

использованием средств индивидуальной защиты, которые снижают уровень шума на 10÷20 дБ.

Индивидуальные средства защиты: противозумные наушники, вкладыши, шлемы и каски, противозумные костюмы, антифоны, “беруши”.

Используются: звукопоглощающие материалы, звукоизолирующие кожухи и экраны, звукоизолированные кабины.

Допустимые шумовые характеристики для рабочих мест регламентируются – ГОСТ 12.1.003 – 2014 «Система стандартов безопасности труда. Шум. Общие требования безопасности».

Допустимый уровень вибрации нормируется ГОСТ 12.1.012-90 "Система стандартов безопасности труда. Вибрационная безопасность. Общие требования".

Независимо от проводимых работ в воздухе содержится доля вредных веществ, которая не должна превышать допустимые концентрации.

Основные химические вещества, используемые и получаемые на производстве: акрилонитрил, персульфат калия, тиосульфат натрия, серная кислота, азот, полиакрилонитрил.

Акрилонитрил — легковоспламеняющаяся и токсичная жидкость. Акрилонитрил относится к сильнодействующим ядовитым веществам (2-ой класс опасности). Он может вызвать отравление при попадании в организм через дыхательные пути, кожу и желудочно-кишечный тракт.

Признаки отравления: головная боль, слабость, тошнота, рвота, головокружение, одышка, потливость. Первая помощь: надеть противогаз или ватно-марлевую повязку, смоченную 2% раствором пищевой соды; обработка лица водой, мыльным раствором перед надеванием противогаза; обработка открытых участков кожи мыльным раствором, водой.

Средства защиты: изолирующий или фильтрующий противогаз, респиратор, защитный костюм, резиновые сапоги, перчатки. ПДК паров в воздухе рабочей зоны 0,5 мг/м³, в воздухе населенных мест — 0,01 мг/м³; в воде — 0,02 мг/л [16].

Персульфат калия — сильный окислитель. В присутствии влаги и

кислот при повышении температуры сверх 60°C разлагается. Вдыхание персульфатной пыли вызывает раздражение дыхательных путей, при длительном воздействии на кожу персульфат калия вызывает экзему и дерматиты. ПДК пыли персульфата калия в воздухе производственных помещений составляет 10 мг/м³ [16].

Средства защиты органов дыхания от пыли - фильтрующие респираторы, от продуктов разложения - изолирующие.

Тиосульфат натрия пожаро- и взрывобезопасен. Токсичной является пыль тиосульфата натрия. При попадании внутрь организма человека она может вызывать рвоту, вялость, расстройство кровообращения, сердцебиение. ПДК пыли в рабочей зоне 10 мг/м³ [16].

Средства защиты органов дыхания от пыли - фильтрующие респираторы, от продуктов разложения - изолирующие.

Серная кислота - H₂SO₄ - 2-й класс опасности, бесцветная, маслянистая, тяжелая жидкость, воспламеняет органические растворители и масла, обугливает дерево. Пары раздражают верхние дыхательные пути, вызывают воспалительные процессы в бронхах и легких. Кислота вызывает тяжелые термохимические ожоги.

Признаки отравления - першение в горле, затрудненное дыхание, чувство удушья, сухой кашель, раздражение слизистой оболочки глаз, носа, одышка. Покраснение и зуд кожи, резкие боли за грудиной, мучительная рвота с кровью, охриплость голоса, возможен спазм и отек гортани. Первая помощь: свежий воздух, чистая одежда. Стереть с кожи ватным тампоном, а затем смыть большим количеством воды, 2% р-ром питьевой соды. При попадании в глаза промыть струей воды. ПДК - 1 мг/м³. Средства защиты органов дыхания - фильтрующий противогаз с коробками марок «В», «БКФ».

Азот - N₂ - бесцветный газ, не горит, физиологически безвреден. Содержание в атмосферном воздухе - 78,09% об. Действует удушающе при повышенных концентрациях, вследствие уменьшения содержания кислорода. Соприкосновение с жидким азотом вызывает обморожение.

Признаки удушья - сонливость, расстройство координации движения, потеря сознания. Первая помощь: вынести на свежий воздух.

Средства защиты органов дыхания - при содержании кислорода менее 18 % об. - изолирующие: шланговые противогазы, самоспасатели, кислородно-изолирующие и воздушные аппараты - для аварийно-спасательных служб.

Полиакрилонитрил — горючее порошкообразное вещество. На организм человека пыль полиакрилонитрила действует, как любая механическая пыль. ПДК пыли полимера в воздухе рабочей зоны 10 мг/м³ [16]. Средства защиты органов дыхания от пыли - фильтрующие респираторы, от продуктов разложения - изолирующие.

При работе во вредных условиях труда требуется выдача работникам молока.

- молоко выдается по 0,5 литра за смену независимо от ее продолжительности в дни фактической занятости работника на работах, связанных с производством или применением химических веществ, предусмотренных в «Перечне химических веществ, при работе с которыми в профилактических целях рекомендуется употребление молока или других равноценных пищевых продуктов»;

- выдача и употребление молока осуществляются в буфетах, столовых или в специально оборудованных в соответствии с санитарно-гигиеническими требованиями помещениях;

Также в проекте предусматривается ряд мероприятий, направленных на уменьшение контакта обслуживающего персонала с вредными веществами, а именно:

- все оборудование и трубопроводы надежно герметизированы;
- управление процессом ведется с пульта операторных КИП и из ЦПУ;
- для промывки кожи работающих от контакта с химическими веществами устанавливаются аварийный душ и раковина самопомощи.

- с целью защиты работающих от воздействия паров вредных химических веществ все производственные помещения оснащаются приточно-вытяжной вентиляцией.

- для защиты работающих от неблагоприятных климатических факторов в корпусах имеются системы отопления и кондиционирования.

- для удаления паров, газов вредных веществ и дыма во время аварии в помещениях устанавливается аварийная вентиляция.

- для защиты головы от травм все работники имеют каски.

- для защиты органов слуха применяются звукоизолирующие кабины и экраны, акустические подвесные потолки.

- для защиты органов дыхания от вредного воздействия веществ применяется изолирующий противогаз. При работе в емкостных аппаратах применяются шланговые противогазы типа ПШ-1, ПШ-2.

5.1.2 Анализ опасных факторов

Опасными факторами на производстве являются пожары, электрический ток, механические травмы.

Все производственные помещения обеспечиваются первичными средствами пожаротушения (огнетушители, асбестовые полотнища, песок) в соответствии с «Правилами пожарной безопасности при эксплуатации предприятий химической промышленности». Во всех производственных и вспомогательных помещениях предусматривается тушение пожара с помощью пожарных кранов.

Корпус центрального пульта управления оборудуется установкой газового пожаротушения оснащенной: системой обнаружения, сигнализацией и тушения пожара в защищаемом помещении методом создания огнетушащей концентрации паров хладона по объему. Обеспечение систем пожаротушения пеной и водой производится из насосной пожаротушения и запас воды в резервуарах.

Все трубопроводы и аппараты, по которым транспортируются продукты, изготавливаются из углеродистой и легированной стали. Предусмотрена защита зданий, сооружений, оборудования, трубопроводов:

-от прямых ударов молнии, осуществляется путем присоединения корпусов отдельных аппаратов к заземляющему устройству и установкой молниеприемников;

-от статической индукции и статического электричества осуществляется путем его присоединения к контуру заземления [23].

Для защиты от механического травмирования применяют следующие способы:

- недоступность для человека опасных объектов;
- применение устройств, защищающих человека от опасного объекта;
- применение средств индивидуальной защиты.

Наибольшее применение для защиты от механического травмирования машинами, механизмами, инструментами находят оградительные, предохранительные, тормозные устройства, устройства автоматического контроля и сигнализации, дистанционного управления.

Средствами индивидуальной защиты от механического травмирования являются защитные очки и щитки, специальная рабочая одежда [24].

5.2 Экологическая безопасность

Чаще всего выбросы в атмосферу представляют собой непредельные соединения, особенно значительные выбросы производных акриловой кислоты (3 тыс. т/г), винилхлорида (10 тыс. т/г), стирола, акрилонитрила (3 тыс. т/г) и др.

Процесс производства полиакрилонитрила является максимально автоматизированным, что сводит до минимума количество аварийных ситуаций, при которых возможны выбросы в атмосферу. Как правило, в производстве полиакрилонитрила могут происходить утечки паров акрилонитрила через неплотности соединений.

Утечки паров акрилонитрила могут происходить, непосредственно из реактора процесса полимеризации, а также из колонны отгонки мономера.

Также возможны вентиляционные утечки – загрязненный углеводородами воздух производственных помещений, удаляемый посредством общеобменной вентиляции.

Уменьшение количества выбросов достигается путем правильного ведения технологического процесса, герметичности емкостного оборудования и трубопроводов, применения герметичных электронасосов; использования системы азотного дыхания для емкостного оборудования с направлением выбросов на свечи через гидрозатвор.

Наиболее загрязненными сточными водами являются маточный раствор и вода промывки полимера. Для обезвреживания загрязненных сточных вод используют разнообразные методы, в том числе: фильтрование (например, на ленточных вакуум-фильтрах), очистку в аэротенках разнообразных конструкций, адсорбцию на активных углях, электро- и напорную флотацию и электро- и щелочную коагуляцию, различные пенные методы.

На установке полимеризации акрилонитрила для отвода сточных вод предусмотрена сеть хим. загрязненной канализации, аварийные сбросы сточных вод не предусмотрены.

5.3 Безопасность чрезвычайных ситуаций

На территории предприятия могут возникнуть следующие чрезвычайные ситуации (ЧС): авария на промышленном объекте, повлекшая за собой смерть людей, пожар, наводнение, выброс газообразных продуктов. Самые распространённые и типичные ЧС в современном индивидуальном обществе наиболее часто встречающиеся и, как правило, с тяжёлыми социальными, экономическими последствиями – пожары.

Важнейшими профилактическими мероприятиями являются:

- правильный выбор электрооборудования и способов его монтажа с учетом пожароопасности окружающей среды, систематический контроль исправности защитных устройств и аппаратов на электрооборудовании, постоянный надзор за эксплуатацией электроустановок и электросетей силами электротехнического персонала;

- предупреждение перегрева трущихся деталей и механизмов благодаря своевременной и качественной смазке, контролю за их температурой;

- оборудование эффективной вентиляции, исключающей возможность образования в помещении взрывоопасной смеси, и обеспечение нормальной работы вентиляции в окрасочных и сушильных камерах и других аппаратах;

- создание условий, обеспечивающих пожарную безопасность при работе с нагретыми до высокой температуры изделиями;

- надежная герметизация производственного оборудования и трубопроводов с огнеопасными веществами и немедленное устранение неисправностей при выявлении их утечек в окружающую среду;

- запрещение хранения, транспортировки и содержания на рабочих местах огнеопасных жидкостей и растворов в открытых ведрах, банках, баках и т. п. и в количествах, превышающих сменную потребность;

- изоляция самовозгорающихся веществ от других материалов и веществ, соблюдение правил безопасного их хранения и систематическое контролирование состояния этих веществ;

- разъяснительная работа среди работающих по соблюдению правил и норм пожарной безопасности;

- запрещение курения и разведения огня в пожароопасных и взрывоопасных помещениях.

В случае возникновения пожара на территории предприятия действия всех работников направляются на немедленное сообщение о нем в пожарную охрану, обеспечение безопасности людей и их эвакуации, а также тушение возникшего пожара. Для оповещения людей о пожаре используются тревожные или звуковые сигналы.

Каждый работник, обнаруживший пожар обязан:

- немедленно сообщить об этом по телефону «01» в пожарную охрану;
- дать сигнал тревоги добровольной пожарной дружине, сообщить руководителю (генеральному директору, начальнику цеха) или его заместителю о пожаре;
- принять меры по организации эвакуации людей (эвакуацию начинать из помещения, где возник пожар, а также из помещений, которым угрожает опасность распространения огня и дыма;
- одновременно с эвакуацией людей, приступить к тушению пожара своими силами и имеющимися средствами пожаротушения (огнетушители, вода, песок и т.п.).
- при необходимости отключить электроэнергию, остановить работу транспортирующих устройств и агрегатов, выполнить другие мероприятия, способствующие предотвращению развития пожара и задымления помещений здания;
- прекратить все работы в здании, кроме работ, связанных с мероприятиями по ликвидации пожара;
- обеспечить соблюдение требований безопасности работниками, участвующими в тушении пожара, от возможных обрушений конструкций, поражения электрическим током, отравления дымом, ожогов;

5.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Работодатель несет ответственность по обеспечению безопасности работников в процессе их трудовой деятельности, соответствующие государственным нормативным требованиям охраны труда.

В соответствии с федеральным законом [28] работодатель обязан:

- обеспечить проведение специальной оценки условий труда, в том числе внеплановой специальной оценки условий труда;

- предоставить организации, проводящей специальную оценку условий труда, необходимые сведения, документы и информацию, которые предусмотрены гражданско-правовым договором, указанным в части 2 статьи 8 Федерального закона, и которые характеризуют условия труда на рабочих местах, а также разъяснения по вопросам проведения специальной оценки условий труда;

- ознакомить в письменной форме работника с результатами проведения специальной оценки условий труда на его рабочем месте;

- давать работнику необходимые разъяснения по вопросам проведения специальной оценки условий труда на его рабочем месте;

- реализовывать мероприятия, направленные на улучшение условий труда работников, с учетом результатов проведения специальной оценки условий труда.

В права и обязанности работника входит:

- присутствовать при проведении специальной оценки условий труда на его рабочем месте;

- обжаловать результаты проведения специальной оценки условий труда на его рабочем месте в соответствии со статьей 26 настоящего Федерального закона;

- работник обязан ознакомиться с результатами проведенной на его рабочем месте специальной оценки условий труда.

В соответствии с [29] каждый сотрудник получает заработную плату в соответствии с квалификацией и сложностью работы, а также каждый работник имеет право на оплачиваемый отпуск (2 раза в год), прохождение медицинского осмотра, оплату больничного листа, отчисление в пенсионный фонд, добровольное медицинское страхование, оплату части стоимости билета на санитарно-курортную базу отдыха.

В производственных помещениях, где находится ПЭВМ (диспетчерские, операторские, расчетные, кабины и посты управления, залы

вычислительной техники и др) и копировально-множительная техника (КМТ) размещение и работа с ПЭВМ и КМТ соблюдается согласно с [38].

Исходя из этих нормативных документов рабочее место сотрудника соответствует всем нормам и требованиям. Расстояние между рабочими столами с видеомониторами (в направлении тыла поверхности одного видеомонитора и экрана другого видеомонитора) имеет не меньше 2,0 м, а расстояние между боковыми поверхностями видеомониторов – не меньше 1,2 м. Рабочие места с ПЭВМ в помещениях с источниками вредных производственных факторов размещаются в изолированных кабинах с организованным воздухообменом.

Конструкция рабочего стола обеспечивает оптимальное размещение на рабочей поверхности используемого оборудования с учетом его количества и конструктивных особенностей, характера выполняемой работы. При этом допускается использование рабочих столов различных конструкций, отвечающих современным требованиям эргономики.

Конструкция рабочего стула (кресла) обеспечивает поддержание рациональной рабочей позы при работе на ПЭВМ, позволяет изменять позу с целью снижения статического напряжения мышц шейно-плечевой области и спины для предупреждения развития утомления.

Рабочий стол имеет пространство для ног высотой 600 мм, шириной – не менее 500 мм, глубиной на уровне колен – 450 мм и на уровне вытянутых ног – 650 мм.

Конструкция рабочего стула обеспечивает:

- ширину и глубину поверхности сиденья 400 мм;
- поверхность сиденья с закругленным передним краем;
- регулировку высоты поверхности сиденья в пределах 400-550 мм и углам наклона вперед до 15 градусов и назад до 5 градусов;
- высоту опорной поверхности спинки $300^{+/-}20$ мм, ширину – не менее 380 мм и радиус кривизны горизонтальной плоскости – 400 мм.