

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

Институт природных ресурсов

Направление подготовки: 18.04.01 «Химическая технология»

Кафедра: Технологии органических веществ и полимерных материалов

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Исследование влияния состава композиционного материала на основе полидидециклопентадиена и параметров эксплуатации на его износостойкость в парах трения полимер-металл

УДК: 678.767.22:620.178.16

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2ДМ5А	Герман Дмитрий Юрьевич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Бондалетов В.Г.	д.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Криницына З.В.	к.т.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

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

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

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

Томск – 2017 г.

Планируемые результаты обучения по ООП

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
<i>Профессиональные компетенции</i>	
P1	Применять <i>глубокие</i> естественнонаучные, математические и инженерные <i>знания</i> для создания <i>новых</i> материалов
P2	Применять <i>глубокие знания</i> в области современных технологий химического производства для решения <i>междисциплинарных</i> инженерных задач
P3	Ставить и решать <i>инновационные задачи инженерного анализа</i> , связанные с созданием материалов и изделий, с использованием системного анализа и моделирования объектов и процессов химической технологии
P4	Разрабатывать химико-технологические процессы, <i>проектировать</i> и использовать <i>новое</i> оборудование для создания материалов, конкурентоспособных на <i>мировом</i> рынке
P5	Проводить теоретические и экспериментальные <i>исследования</i> в области создания <i>новых</i> материалов, современных химических технологий, нанотехнологий
P6	Внедрять, <i>эксплуатировать</i> современные высокотехнологичные линии автоматизированного производства, обеспечивать их <i>высокую эффективность</i> , соблюдать правила охраны здоровья и безопасности труда на химическом производстве, выполнять требования по защите окружающей среды
<i>Универсальные компетенции</i>	
P7	Использовать <i>глубокие знания</i> по <i>проектному менеджменту</i> для ведения <i>инновационной</i> инженерной деятельности с учетом юридических аспектов защиты интеллектуальной собственности
P8	<i>Активно</i> владеть <i>иностранным языком</i> на уровне, позволяющем работать в иноязычной среде, разрабатывать документацию, презентовать и защищать результаты инновационной инженерной деятельности
P9	Эффективно работать индивидуально, в качестве <i>члена и руководителя группы</i> , состоящей из специалистов различных направлений и квалификаций, демонстрировать ответственность за результаты работы и готовность <i>следовать корпоративной культуре</i> организации
P10	Демонстрировать <i>глубокие знания социальных, этических и культурных аспектов</i> инновационной инженерной деятельности, компетентность в вопросах <i>устойчивого развития</i>
P11	<i>Самостоятельно учиться</i> и непрерывно <i>повышать квалификацию</i> в течение всего периода профессиональной деятельности

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

Институт природных ресурсов

Направление подготовки: 18.04.01 «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:

Магистерской диссертации

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

Студенту:

Группа	ФИО
2ДМ5А	Герман Дмитрию Юрьевичу

Тема работы:

Исследование влияния состава композиционного материала на основе полидициклопентадиена и параметров эксплуатации на его износостойкость в парах трения полимер-металл	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№ 1860/С от 09.03.2016

Срок сдачи студентом выполненной работы:	06.06.2017
--	------------

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>	Объекты исследования – полимерные композиционные материалы на основе полидициклопентадиена, полученные метатезисной полимеризацией с раскрытием цикла
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i>	Литературный обзор Объекты и методы исследования Результаты проведенных исследований и их обсуждение Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и

	ресурсосбережение Социальная ответственность Заключение по работе
Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)	Презентация
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы (с указанием разделов)	
Раздел	Консультант
Исследование влияния состава композиционного материала на основе полидициклопентадиена и параметров эксплуатации на его износостойкость в парах трения полимер-металл	д.т.н., профессор Бондалетов В.Г.
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	к.т.н., доцент Криницына З.В.
Социальная ответственность	ассистент Раденков Т.А.
Investigation of the influence of the composition of a composite material based on polydiclopentadiene and the operating parameters on its wear resistance in polymer-metal friction vapor	ст. преподаватель Рыманова И.Е.
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
На русском: Введение, Литературный обзор, Объекты и методы исследования	
На английском: Introduction, Literary Review, Objects and Methods of Research	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	1.09.2015
---	-----------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень	Подпись	Дата
Профессор кафедры ТОВПМ	Бондалетов В.Г.	д.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2ДМ5А	Герман Дмитрий Юрьевич		

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

Студенту:

Группа	ФИО
2ДМ5А	Герман Дмитрию Юрьевичу

Институт	Природных ресурсов	Кафедра	ТОВПМ
Уровень образования	Магистрант	Направление/специальность	18.04.01 «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>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	1. <i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>
	2. <i>Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>
	3. <i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>
Перечень графического материала:	
1. <i>Оценка конкурентоспособности технических решений</i> 2. <i>Диаграмма Исикавы</i> 3. <i>График проведения и бюджет НИ</i> 4. <i>Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ</i>	

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Криницына З.В.	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2ДМ5А	Герман Дмитрий Юрьевич		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
2ДМ5А	Герман Дмитрию Юрьевичу

Институт	ИПР	Кафедра	ТОВПМ
Уровень образования	Магистрант	Направление/специальность	18.04.01 «Химическая технология»

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Описание рабочего места (рабочей зоны, технологического процесса, механического оборудования) на предмет возникновения: – вредных проявлений факторов производственной среды (метеоусловия, вредные вещества, освещение, шумы, вибрации, электромагнитные поля, ионизирующие излучения) – опасных проявлений факторов производственной среды (механической природы, термического характера, электрической, пожарной и взрывной природы) – негативного воздействия на окружающую природную среду (атмосферу, гидросферу, литосферу) – чрезвычайных ситуаций (техногенного, стихийного, экологического и социального характера)	Работа выполнялась в лаборатории ИПР на кафедре ТОВПМ. Рабочей зоной являлось помещение учебной лаборатории. На производительность труда студента, находящегося на рабочем месте, могут влиять следующие вредные производственные факторы: отклонение температуры и влажности воздуха от нормы, недостаточная освещенность рабочего места. Кроме того, студент может подвергаться действию опасных факторов: отравлению химическими парами, возникновение химических ожогов. Наиболее вероятно возникновение чрезвычайных ситуаций техногенного характера в результате производственных аварий и пожаров.
2. Знакомство и отбор законодательных и нормативных документов по теме	Федеральный закон № 426-ФЗ от 28 декабря 2013 года «О специальной оценке условий труда» Федеральный закон №184-ФЗ «о техническом регулировании от 27 декабря 2002 года. Федеральный закон № 123-ФЗ от 22.07.2008 г (ред от 10.07 2012г) «Технический регламент о требованиях к пожарной безопасности»

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды 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)	1. Отклонения температуры и влажности воздуха от нормы могут возникнуть при неблагоприятных метеоусловиях. Оптимальные и допустимые метеорологические условия температуры и влажности устанавливаются согласно ГОСТ 12.1.005-88. Недостаточная освещенность способствует возрастанию нагрузки на органы зрения и приводит к утомляемости организма. В соответствии с характером выполняемых работ освещенность рабочего места по СНиП П-4-79 должна быть 200 Лк – общая освещенность и 300 лк — комбинированное освещение.
2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности – механические опасности (источники, средства защиты); – термические опасности (источники, средства защиты); – электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты);	Для того, что избежать получения ожога мягких тканей, ожога слизистой, отравления необходимо соблюдать следующие меры индивидуальной защиты согласно ПНД Ф 12.13.1-03; 1. При работе в хим. лаборатории необходимо надевать халат из хлопчатобумажной ткани. 2. При выполнении работ, связанных с выделением ядовитых газов и пыли, для

– пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения)	защиты органов дыхания следует применять респираторы. 3. При работе с едкими и ядовитыми веществами дополнительно применяют фартуки, средства индивидуальной защиты глаз и рук. 4. Для защиты рук от действия кислот, щелочей, солей, растворителей применяют резиновые перчатки. 5. Для защиты глаз применяют очки различных типов, щитки, маски.
3. Охрана окружающей среды: – анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы); – анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы); – анализ воздействия объекта на литосферу (отходы); – разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды.	В лабораториях кафедры ТОВПМ используются вредные вещества, по этой причине применяются следующие меры по охране окружающей среды: – в канализацию сливаются только нейтральные вещества; – жидкости, которые в обычных условиях нельзя нейтрализовать собираются в специальных емкостях – «слив»; – твердые вещества собираются в специальные емкости и затем отправляются на утилизацию; – отчистка воздуха в помещениях осуществляется с помощью вентиляции.
4. Защита в чрезвычайных ситуациях: – перечень возможных ЧС на объекте; – выбор наиболее типичной ЧС; – разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; – разработка мер по повышению устойчивости объекта к данной ЧС; – разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий	Наиболее типичной ЧС являются производственные аварии и пожары. В целях предотвращения возгорания необходимо соблюдать правила техники безопасности при работе с электрооборудованием, а легковоспламеняемые материалы хранить по возможности в подземных складах. Предусмотренные средства пожаротушения (согласно требованиям противопожарной безопасности СНиП 2.01.02-85): огнетушитель ручной углекислотный ОУ-5, пожарный кран с рукавом и ящик с песком (в коридоре). Кроме того, каждое помещение оборудовано системой противопожарной сигнализации.
5. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: – специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны	В системе обеспечения безопасности жизни и здоровья работников в процессе их трудовой деятельности основная роль принадлежит нормативным правовым актам по охране труда.
Перечень графического материала:	
При необходимости представить эскизные графические материалы к расчётному заданию (обязательно для специалистов и магистров)	

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

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2ДМ5А	Герман Дмитрий Юрьевич		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа изложена на 114 страницах, содержит 47 рисунков, 31 таблиц, 61 источник, два приложения.

Ключевые слова: полидициклопентадиен, композиционные материалы, метатезисная полимеризация, коэффициент трения, износостойкость.

Объектами исследования являются полимерные композиционные материалы на основе полидициклопентадиена.

Цель работы – исследовать влияние состава композиционного материала на основе полидициклопентадиена и параметров эксплуатации на его износостойкость в парах трения полимер-металл.

В процессе исследования проводились: модификация полидициклопентадиена; исследование трибологических характеристик полученных композитов.

В результате исследования разработан способ получения композитов ПДЦПД-СКЭПТ-30, исследованы их трибологические характеристики.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: процесс полимеризации протекает в герметичной форме.

Область применения: полученные результаты имеют практическую и теоретическую значимость, разработанные технологии могут быть востребованы, главным образом, в машиностроении.

Экономическая значимость работы: проект эффективен и конкурентоспособен, срок окупаемости составляет 18 месяцев.

ГОСТ

ГОСТ 12.4.021 – 75. Системы вентиляционные. Общие требования.

ГОСТ 12.1.003 - 88. Шум. Общие требования безопасности.

ГОСТ 12.1.029 – 80. Средства и методы защиты от шума.

ГОСТ 12.1.012 – 98. Вибрация. Общие требования безопасности.

ГОСТ 12.1.012 –90. ССБТ Вибрационная болезнь. Общие требования.

ГОСТ 12.1.019-79. ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.

ГОСТ 12.1.004-91. Система стандартов безопасности труда. Пожарная безопасность. Общие требования.

ГОСТ 12.4.009-83. Система стандартов безопасности труда. Пожарная техника для защиты объектов. Основные виды. Размещение и обслуживание.

Обозначения и сокращения

ДЦПД – дициклопентадиен

ПДЦПД – полидициклопентадиен

СКЭП – синтетический каучук этилен-пропиленовый

СКЭПТ – синтетический каучук этилен-пропиленовый тройной

Содержание

Введение.....	14
1. Литературный обзор.....	16
1.1 Полидициклопентадиен.....	16
1.2 Способы получения полидициклопентадиена по реакции метатезисной полимеризации.....	18
1.3 Модификация полимеров.....	23
1.3.1 Модификация полидициклопентадиена каучуками.....	23
1.4 Стабилизаторы процесса полимеризации.....	25
1.4.1 Окисление антиоксидантов.....	25
1.5 Основные представления о контактировании и трении соприкасающихся поверхностей.....	29
1.6 Особенности работы материалов при трении и износе.....	30
1.7 Износостойкость полимерных материалов.....	31
1.8 Природа и механизм трения твердых полимеров.....	34
1.8.1 Влияние нормальной нагрузки.....	37
1.8.2 Влияние скорости скольжения.....	38
1.8.3 Влияние температуры.....	42
2 Объект и методы исследования.....	44
2.1 Материалы и реактивы.....	44
2.1.1 Дициклопентадиен.....	44
2.1.2 Синтетические каучуки этилен-пропиленовые тройные.....	44
2.1.3 Антиоксиданты.....	45
2.1.4 Катализатор Ховейды-Граббса.....	46
2.1.5 Подготовка мономера.....	47
2.1.6 Полимеризация.....	48
2.2 Оборудование.....	48
2.2.1. Высокотемпературный трибометр - ТНТ-S-AX0000.....	48
2.2.2. Профилометр - MicroXAM-100.....	51

2.2.3 Шлифовально-полировальный станок - ATM SAPHIR 520.....	53
2.2.4 Роторный испаритель - IKA RV 10.....	54
2.2.5 Хромато-масс спектрометр – МАЭСТРО 7820/5975.....	55
2.3 Методы испытаний.....	56
2.3.1 Испытание износостойкости полимера.....	56
3. Результаты проведенных исследований и их обсуждение.....	57
3.1 Влияние скорости вращения диска на коэффициент трения.....	57
3.2 Влияние концентрации СКЭПТ-30 в композите на коэффициент трения.....	65
3.3 Анализ частиц износа.....	69
3.4 Выводы.....	70
4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение..	71
4.1 Предпроектный анализ.....	71
4.1.1 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....	72
4.1.2 Диаграмма Исикавы.....	73
4.1.3 Оценка готовности проекта к коммерциализации.....	74
4.1.4 Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования.....	75
4.2 Инициация проекта.....	76
4.2.1 Цели и результат проекта.....	76
4.2.2 Организационная структура проекта.....	77
4.2.3 Ограничения и допущения проекта.....	78
4.3 Планирование управления научно-техническим проектом.....	79
4.3.1 Контрольные события проекта.....	79
4.3.2 План проекта.....	80
4.4 Бюджет научного исследования.....	82
4.4.1 Сырье и материалы.....	82
4.4.2 Расчёт амортизационных отчислений.....	83
4.4.3 Основная заработная плата.....	84
4.4.4 Дополнительная заработная плата исполнителей темы.....	86

4.4.5 Отчисления во внебюджетные фонды.....	86
4.4.6 Контрагентные расходы.....	87
4.4.7 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта...	87
4.5 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.....	88
4.5.1 Оценка сравнительной эффективности исследования.....	88
5. Социальная ответственность.....	92
5.1 Анализ вредных веществ и производственных факторов.....	93
5.2 Метеорологические условия рабочей среды.....	95
5.3 Вентиляция.....	96
5.4 Освещение лаборатории.....	97
5.5 Шумы и вибрации.....	98
5.6 Охрана окружающей среды.....	99
5.7 Производственная безопасность.....	101
5.7.1 Электробезопасность.....	101
5.7.2 Пожарная безопасность	102
5.7.3. Экологическая безопасность.....	102
5.7.4 Чрезвычайные ситуации.....	103
5.8 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.....	104
5.8.1 Особенности законодательного регулирования проектных решений..	104
5.8.2 Организационные мероприятия обеспечения безопасности.....	105
Список публикаций.....	107
Список использованных источников.....	108
Заключение.....	114
Приложение А.....	115
Приложение Б.....	136

Введение

Актуальность исследования. На данный момент в нефтехимической промышленности самыми крупнотоннажными мономерами являются низшие олефины, такие как пропилен и этилен. Пиролиз углеводородов является основным процессом для их получения. При этом целесообразно использование и переработка побочных продуктов пиролиза (ароматические, алифатические и циклические углеводороды), так как они являются основным источником изопрена, ксилолов, нефтеполимерных смол, бензола, цикlopентена и цикlopентадиена. Побочные продукты пиролиза можно использовать для получения каучуков, пластических масс, синтетических волокон [1].

Рост потребления таких мономеров, как пропилен и этилен, привело к неизбежному увеличению образования одного из множества побочных продуктов их производства – дициклопентадиена. Пиролизные фракции C_5 и C_9 содержат в себе от 20 до 50 % дициклопентадиена. В последнее время, преимущественно за рубежом, дициклопентадиен весьма востребован для производства синтетически каучуков, термореактивных полимеров, а также как сырье для тонкого органического синтеза. В отечественном производстве дициклопентадиен используют в меньшей степени, лишь несколько крупных компаний изготавливают конструкционные материалы из полидициклопентадиена. Получаемый из дициклопентадиена сшитый термореактивный полимер имеет хорошие свойства, такие, как низкая плотность, устойчивость к воздействию кислот и щелочей, высокая прочность, а также широкий диапазон рабочих температур.

Комплекс высоких прочностных характеристик предполагает возможность использования полидициклопентадиена в механизмах, как материал для производства изделий в парах трения «металл-полимер», «полимер-полимер». Исследованиями механических свойств материалов в

данной области занимается трибология. Это направление в материаловедении, как наука, сформировалось в начале шестидесятых годов и сегодня бурно развивается. Недостаток нового понимания в вопросах трения и трибологических знаний привели к быстрому отставанию триботехники от достигнутого уровня трибологии, вне зависимости от того, что большее количество открытий было совершено опытным путем. В большинстве случаев под эти явления подводилась научное понимание данного явления, объяснения и научная база [2].

Целью работы является получение полимерных композиционных материалов полидициклопентадиен-СКЭПТ-30 путем проведения метатезисной полимеризации дициклопентадиена в присутствии катализатора Граббса второго поколения и антиоксидантов, а также исследование трибологических характеристик полученных композиций методом «индентор-диск».

Для достижения цели решались следующие **задачи**:

1. Получить композиционный материал
2. Исследовать зависимость коэффициента трения от:
 - влияния скорости вращения диска;
 - концентрации наполнителя в композите;

Объектом исследования являются композиции полидициклопентадиен-СКЭПТ-30, его трибологические характеристики.

Предметом исследования является процесс изнашивания композитов полидициклопентадиен-СКЭПТ-30.

Научная и практическая новизна.

1. Изучен механизм изнашивания композитов полидициклопентадиен-СКЭПТ-30.

2. Исследована зависимость коэффициента трения от влияния скорости вращения, концентрации наполнителя в композите.

1. Литературный обзор

1.1 Полидициклопентадиен

Разработка последнего времени – полимерные материалы на основе полидициклопентадиена.

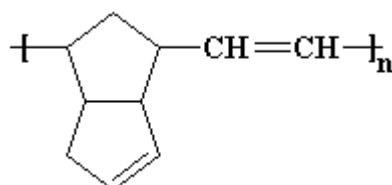


Рисунок 1 – Структурная формула ПДЦПД

Такие полимерные материалы получают в результате протекания реакции метатезисной полимеризации с раскрытием цикла из мономера эндо-дициклопентадиена.

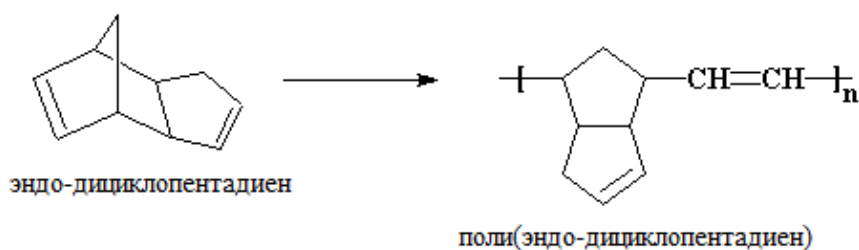


Рисунок 2 – Метатезисная полимеризация с раскрытием цикла из мономера эндо-дициклопентадиена.

Двойная связь в циклопентеновом кольце еще присутствует. Эта двойная связь участвует в реакции полимеризации, после чего получают сшитый термореактивный полимерный материал.

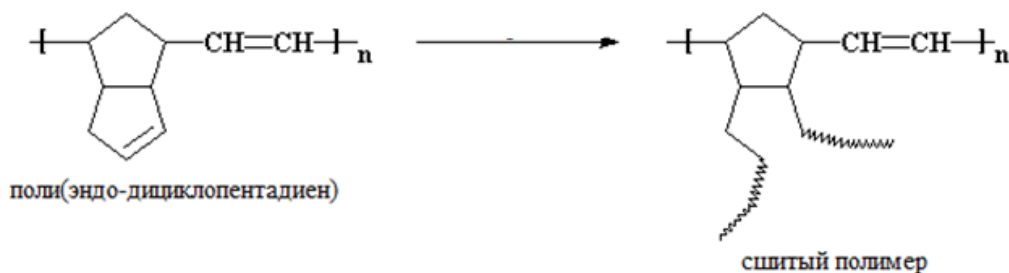


Рисунок 3 – Получение сшитого термореактивного материала

Полидициклопентадиен (ПДЦПД) – это очень перспективный материал, который способен заменить стеклопластик и множество других полимеров благодаря уникальным свойствам, которыми он обладает. ПДЦПД имеет низкую плотность ($1,03 \text{ г/см}^3$), высокую ударопрочность, сохраняемую при низких температурах (до -60°C), высокую термическую стабильность в широком диапазоне рабочих температур и высокую устойчивость к воздействию агрессивных сред, стойкость к ультрафиолету, воде, бензо-, маслостойкость. Высокая ударопрочность позволяет применять ПДЦПД для производства различных деталей кузовов автомобилей. За последние годы ПДЦПД в основном применялся для производства крыльев строительной техники, капотов и бамперов для тракторов и грузовых автомобилей. Другие, не менее известные сферы использования ПДЦПД – это производство емкостей для хранения и транспортировки, лопасти небольших ветрогенераторов, пункты для связи при чрезвычайной ситуации на шоссе и системы очистки воды. ПДЦПД легко обрабатывается, склеивается и окрашивается.

Преимущества переработки ПДЦПД:

- простота схемы смешения компонентов, нет необходимости использовать термопластавтоматы, как при переработке полипропилена и полиэтилена;
- упрощенное изготовление пресс-оснастки изделий, для переработки композиций поддерживают давление 2-3 атм.

Применяется:

- в химической и электрохимической промышленности (тара);
- в сельскохозяйственной технике (крылья, бампера);
- в грузовом транспорте (дефлекторы, накладки, емкости для давления);
- в пассажирском транспорте (армирование сидений, облицовочные панели);
- а так же в строительстве, микроэлектронике, оптике, медицине.

Экологические преимущества: мономеры и полимерные материалы – низкотоксичные углеводородные продукты.

Экономические аспекты: низкая себестоимость мономеров ДЦПД, низкие энергозатраты для ПДЦПД – материалов, однако высокая стоимость катализатора [3].

1.2 Способы получения полидициклопентадиена по реакции метатезисной полимеризации

Существуют способы получения ПДЦПД по реакции метатезисной полимеризации с раскрытием цикла в присутствии различных металлокомплексных катализаторов или каталитических систем на основе соединений рутения, молибдена и вольфрама. Катализаторы на основе соединений молибдена и вольфрама схожи по свойствам, имеют темный цвет, неприятный запах, поэтому их используют только для производства технических изделий.

В настоящее время для проведения полимеризации цикло- и бициклоолефтов по механизму метатезисной полимеризации с раскрытием цикла (ROMP) широко используются комплексные рутениевые катализаторы на основе карбеновых соединений [4]. Уже известны способы получения ПДЦПД с использованием рутениевых катализаторов, а именно карбеновых комплексов разветвленной структуры, содержащие в своем составе фосфиновые лиганды – так называемый катализатор Граббса I поколения, который обладает большой эффективностью и устойчивостью превосходящий в 5 раз используемые ранее каталитические комплексы на основе вольфрама. Использование разработанного Граббсом катализатора позволяет использовать мольные соотношения катализатор:мономер до 1:15000. На рис.4 представлена общая схема протекания полимеризации ДЦПД по механизму ROMP с использованием рутениевых катализаторов. Однако у рутениевого катализатора 1-го поколения есть и недостатки, одним из которых является низкая каталитическая активность, из-за чего появляется

необходимость большего использования катализатора в мольном соотношении от 1:8000 до 1:15000 катализатор:мономер, соответственно.

В этой работе для проведения метатезисной полимеризации с раскрытием цикла был использован следующий рутениевый комплекс: (1,3-бис-(2,4,6-триметилфенил)-2-имидазолидинилиден) дихлоро (о-N, N-диметиламино-метилфенилметилен) рутений (рис. 5) [5].

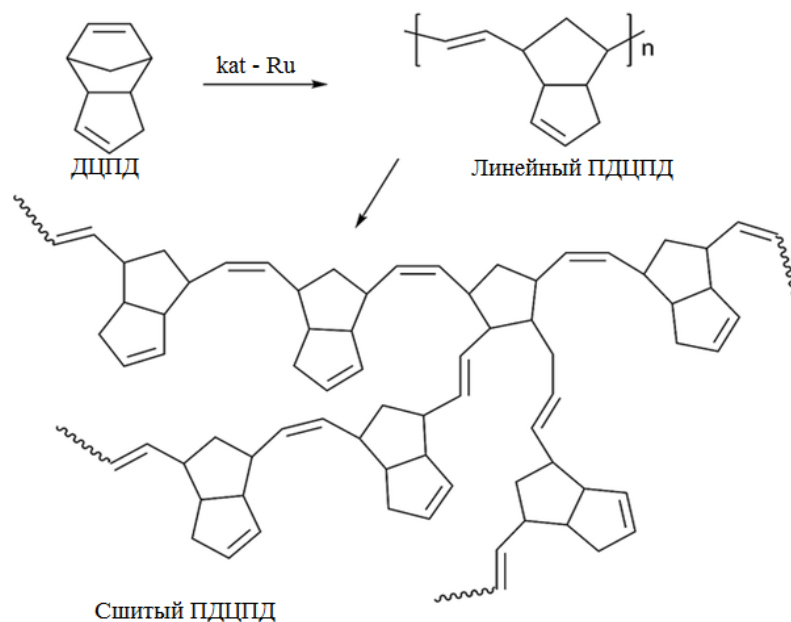


Рисунок 4 – Схема реакции метатезисной полимеризации с раскрытием цикла под действием рутениевых катализаторов

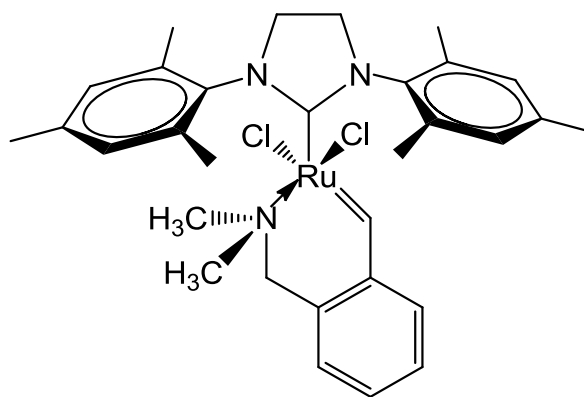


Рисунок 5 – (1,3-бис- (2,4,6-триметилфенил)-2-имидазолидинилиден) дихлоро (о-N, N-диметиламино-метилфенилметилен) рутений

Активность рутениевых катализаторов 2-го поколения в 5 и более раз превосходит активность катализаторов 1-го поколения, но плохая

растворимость и слишком высокая скорость полимеризации затрудняет их использование для получения ПДЦПД. Катализатор не успевает раствориться в мономере и покрывается слоем полимера, образуя капсулы, вследствие чего теряется его активность. Это приводит к необходимости существенного увеличения расхода катализатора. Помимо этого, при производстве изделий из ПДЦПД литьевым формованием, возникают технологические проблемы, так как отсутствует возможность управления временем начала полимеризации и образующийся слишком рано полимер может забивать узлы подачи смеси мономера и катализатора.

Главным недостатком этого способа является значительный расход катализатора – мольное соотношение мономера к катализатору, при котором получают ПДЦПД с хорошими физико-механическими показателями, составляет 35000:1. Также недостатком является то, что данный способ не позволяет управлять временем начала полимеризации, в результате возможны сбои технологического цикла и получение некачественного продукта [6].

В процессе получения полидицклопентадиена в мономер целенаправленно вводят различные модифицирующие добавки, изменяющие свойства конечного продукта.

Известен способ получения полимерных материалов на основе ПДЦПД, включающий введение в мономер катализатор и модифицирующие добавки: красители, наполнители, антиоксиданты [7].

К недостаткам данного способа следует отнести незначительное ухудшение свойств конечного продукта и условий реакции вследствие добавления недостаточного количества катализатора.

В технологии получения полимерных материалов на основе ПДЦПД самым оптимальным техническим решением служит способ, который включает в себя растворение катализатора в мономере, введение в полученный раствор модификаторов с последующей полимеризацией реакционной массы.

Главным недостатком известных технологий получения ПДЦПД и полимеров на его основе выступает использование устаревших катализаторов, которые имеют низкую каталитическую активность и не позволяют управлять временем начала полимеризации, а также вовлекать в реакцию модифицирующие добавки.

На данный момент, ДЦПД привлекает к себе все больше внимания как мономер для проведения получения полимера по механизму ROMP. Его уникальные потребительские свойства, а также низкая стоимость, высокая реакционная способность и склонность к образованию жесткого, высоко перекрестно-связанного материала обусловили его выбор в качестве материала для получения твердого и прочного конструкционного полимера.

Разложение ДЦПД происходит при температурах порядка 150 °С и выше с образованием цикlopentадиена (ЦПД). При температуре 0-130 °С протекает процесс димеризации ЦПД с образованием эндо-изомера ДЦПД (рис.7). ДЦПД наиболее подвержен реакциям присоединения галогенидов, воды, водорода, карбоновых кислот и т.п. по норборненовой связи (C_8-C_9), которая является наиболее активной.

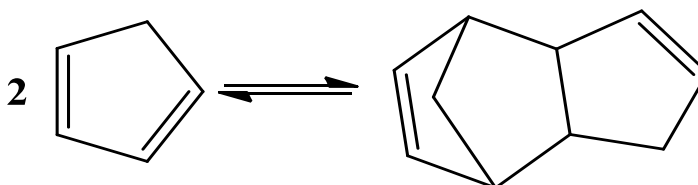


Рисунок 6 – Реакция Дильса-Альдера

ДЦПД может существовать как эндо (рис. 6) или экзо (рис. 7) изомер [8].



Рисунок 7 – Эндо-изомер ДЦПД



Рисунок 8 – Экзо-изомер ДЦПД

Исследования показали, что метатезисная полимеризация протекает более активно в случае использования в качестве сырья экзо-изомеров, нежели в случаях использования соответствующих эндо-изомеров. Однако эндо-изомер значительно дешевле, в сравнении с экзо-изомером, в связи с этим наиболее распространенным материалом для получения ПДЦПД является использование эндо-изомера. При введении в мономер рутениевого катализатора происходит реакция полимеризации, показанная на рис.9 [6]. В зависимости же от концентрации каталитического комплекса реакция ROMP может протекать и при комнатной температуре.

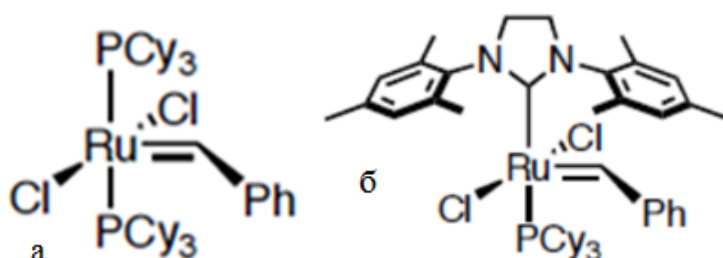


Рисунок 8 – Катализаторы первого (а) и второго (б) поколений

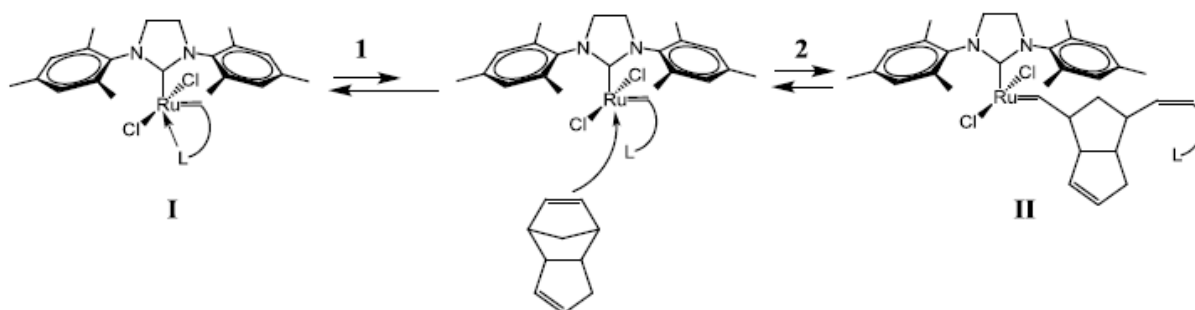


Рисунок 9 – Механизм метатезисной полимеризации

Ранние коммерческие использования метатезиса олефинов проводили на сырье, в состав которого входили напряженные ненасыщенные кольца. Проведение по данному механизму полимеризации ДЦПД – наиболее известный пример данного способа. ДЦПД показал себя наиболее привлекательным мономером для получения описанным выше способом полимеров, которые в свою очередь нашли широкое промышленное применение [8].

1.3 Модификация полимеров

В последние годы все более широкое применение в различных областях техники приобретают наполненные полимерные композиции. Введение в полимерную фазу твердых дисперсных или волокнистых веществ неорганической или органической природы позволяет не только существенно снизить стоимость полимерных материалов за счет использования доступных и дешевых наполнителей; часто путем введения наполнителей достигается усиление материалов, то есть улучшение их физико-химических, механических, термических, электрических, фрикционных и прочих свойств. При этом появляется возможность замены дорогих конструкционных пластмасс (полиамидов, полиэфиров) менее дорогими наполненными полимерами [9].

Метод полимеризационного наполнения открывает широкие возможности для синтеза на поверхности наполнителей различных полимеров (гомо и сополимеров, блок-сополимеров, двух разных полимеров и т. д.) [10].

1.3.1 Модификация полидициклопентадиена каучуками

При получении ПДЦПД в мономер вводят различного рода модифицирующие добавки, которые, за счёт изменения молекулярной структуры полимера, влияют на его конечные свойства.

Введение в ПДЦПД различных эластомеров позволяет получать материал с набором оптимальных физико-механических характеристик. Такие материалы, в силу своих уникальных свойств, могут использоваться в различных областях промышленности, таких как машиностроение, приборостроение, производство спортивного инвентаря и так далее. В данной работе в качестве наполнителя был выбран СКЭПТ-30.

Макромолекула этилен-пропиленового каучука содержит от 30 до 70 мол. % этиленовых звеньев, сополимеры с большим количеством этих звеньев в молекуле являются термопластами.

Основные цепи сополимера и терполимера не содержат двойных связей, поэтому этилен-пропиленовые каучуки превосходят другие типы СК по озono-, свето- и атмосферостойкости; обладают длительной теплостойкостью при температурах до 150 °С и кратковременной при 200 °С; стойки к воздействию окислительных и агрессивных сред. Насыщенность основной цепи придает сополимерам этилена и пропилена повышенную устойчивость ко всем видам старения.

Этиленпропиленовые каучуки являются достаточно легким материалом, имеют плотность 850-870 кг/м³. Свойства зависят от содержания и вариации этиленовых звеньев в сополимерных звеньях. Этиленпропиленовый каучук не содержит двойных связей в молекуле, бесцветный, имеет отличную стойкость к воздействию тепла, света, кислорода и озона [11].

Выбор этого каучука объясняется тем, что в его структуре содержатся дициклопентадиеновые звенья, которые содержат ненасыщенные двойные связи и, возможно, вступают в реакцию сополимеризации с дициклопентадиеном.

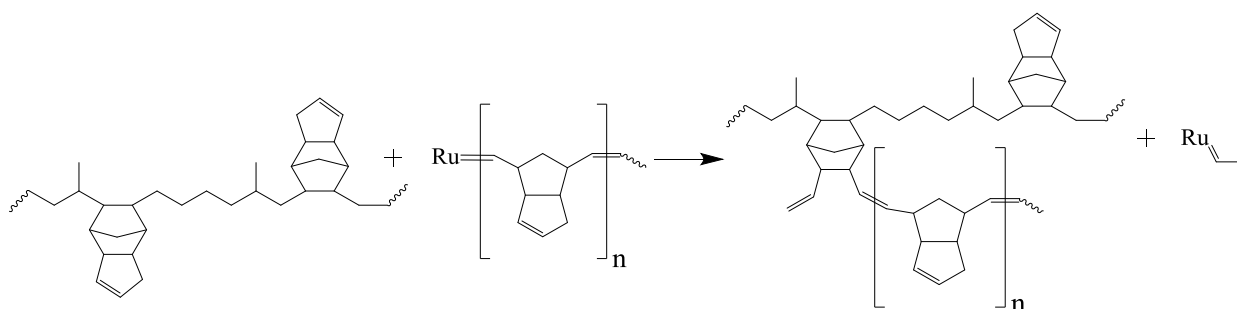


Рисунок 10 – Возможный механизм образования сополимера ПДЦПД-СКЭПТ в процессе полимеризации дициклопентадиена.

1.4 Стабилизаторы процесса полимеризации

Подвергаясь воздействию внешних факторов, таких как действие кислорода, озона, облучением УФ, радиацией и т.п.) происходит деградация полимеров, что приводит к потере эксплуатационных свойств изделий. Процесс деградации структуры полимеров называют «старением». Наиболее распространенным методом для защиты полимеров и полимерных материалов от старения используют метод введения в состав полимеров особых добавок - антиоксидантов [7].

1.4.1 Окисление антиоксидантов.

Органические полимеры очень чувствительны к окислительной деструкции, в связи с этим, для обеспечения защиты полимеров во время обработки и конечного пользования требуется введение стабилизаторов в структуру полимеров. Известно, что суммарный стабилизирующий эффект выше у комбинаций различных стабилизаторов, чем у используемых независимо друг от друга отдельных стабилизаторов. Это свойство определяется как синергизм.

Существует два типа синергизма:

- гомосинергизм – с участием двух стабилизаторов, действующих по схожему механизму;
- гетеросинергизм – вытекает из совместного эффекта антиоксидантов, работающих по различным механизмам.

Наиболее широкое применение для стабилизации полимеров находит гетеросинергизм, за счет совместного действия различных комбинаций цепных антиоксидантов и антиоксидантов профилактического типа.

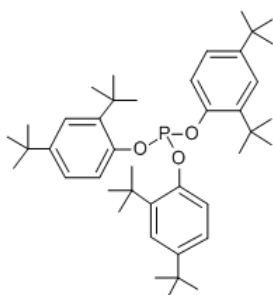


Рисунок 11 – Структурная формула Иргифос 168

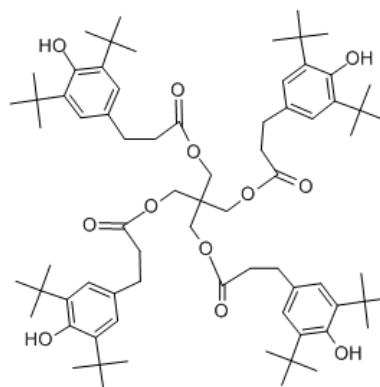


Рисунок 12 – Структурная формула Ирганокс 1010

Сочетание двух типов различных антиоксидантов (гомосинергизм) наиболее подходящий метод для разрыва цепи, при котором отщепляется водород перекисных радикалов. Этот механизм синергизма является наиболее вероятным и включает в себя переход водорода от ингибитора к радикалу, образованному в реакции. Обычными примерами являются сочетание пространственно-затрудненных фенола с аскорбиновой кислотой, ароматическими аминами, диалкилфосфитом, и с другими фенолами. Приятно считать, что в этих случаях наиболее сильный ингибитор способен регенерироваться из своего радикала при помощи наименее сильного ингибитора, который используется в качестве источника водорода для регенерации наиболее эффективного стабилизатора для разрыва цепи. Было доказано, что количество наиболее мощного антиоксиданта остается неизменным во время протекания окисления, пока слабый ингибитор полностью не израсходуется (рис. 13). Однако, в коммерческой стабилизации олефинов использование гомосинергических систем применяется не так широко.

Объяснить механизм синергизма можно рассмотрев некоторые способы, в которых используются различные виды стабилизаторов, которые замедляют процесс окисления.

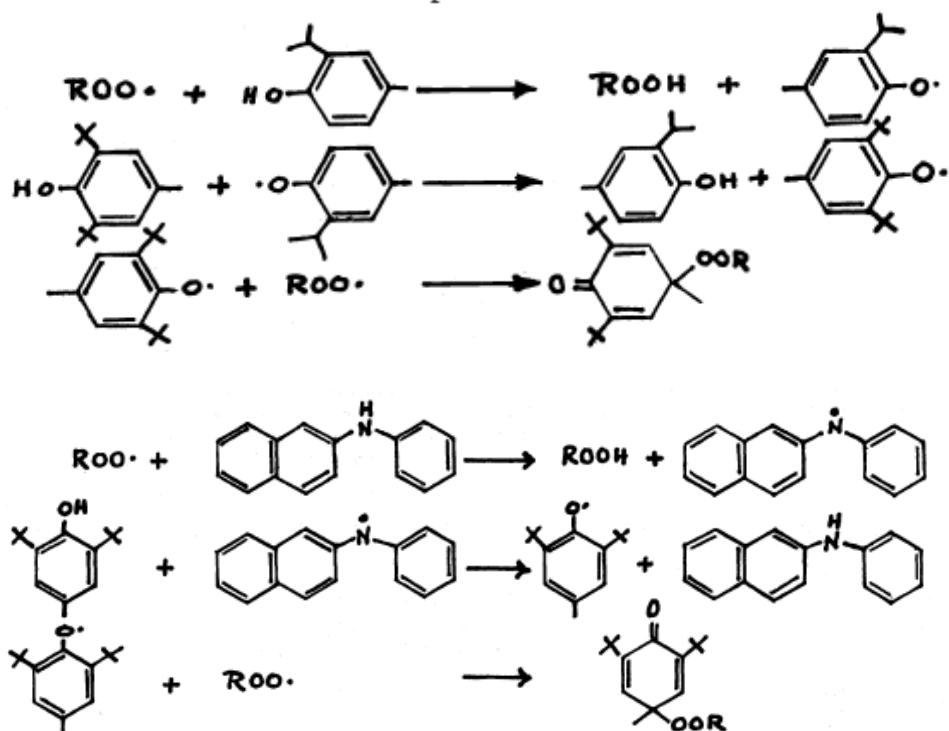


Рисунок 13 – Схема гомосинергизма

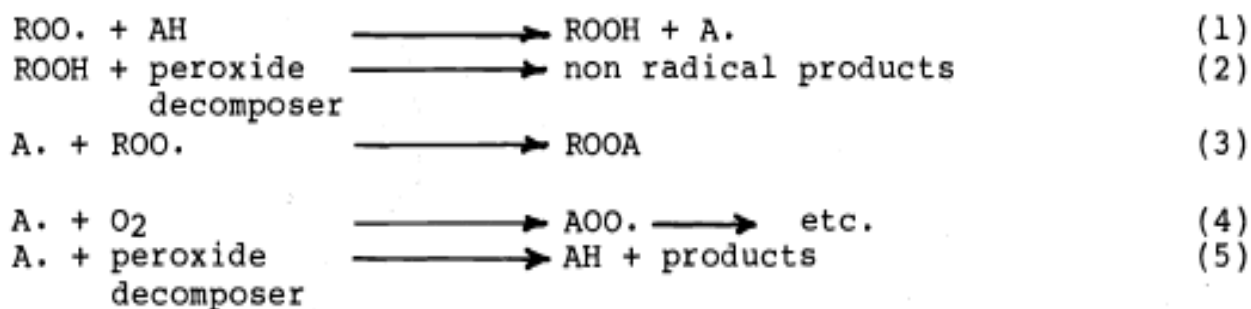


Рисунок 14 – Схема гетеросинергизма

Свободный радикал антиоксиданта (амин или фенол) замедляет образование пероксидов, прекращая кинетическую цепь. Но даже одна молекула гидропероксида способна образовываться при передаче водорода перекисному радикалу. Но как только образовавшийся гидропероксид преобразуется превентивной антиоксидантной формой не радикальных продуктов, а не разлагается под действием температуры, с последующим формированием цепи инициирования свободных радикалов, что приводит к снижению скорости окисления. На рисунке 9 показано, что для эффективного

протекания реакций гетеросинергизма (3) и (4) нежелательными факторами являются побочные реакции, которые образуют радикал чтобы разорвать цепи антиоксиданта. Данный процесс приводит к увеличенному расходу первичного антиоксиданта и он перестает участвовать в стабилизации системы.

В связи с этим очень важно, чтобы цепь в реакции (1) была разорвана антиоксидантом обладающим возможностью образовывать радикал, обладающий высокой реакционной способностью по отношению к перекиси водорода и другим антиоксидантам, существующим в молекуле. В этом случае значительный уровень синергического действия достигается, когда в качестве ингибитора окисления выступает не только предварительное разложение гидропероксида, но и наличие резервуара водородного пожертвования в необходимые радикальные разрывы в цепях антиоксиданта. Однако применение антиоксидантов и различных синергических комбинаций может регулироваться не только благоприятными химическими взаимодействиями, но и может быть ограничено благодаря испарению, экстракции и несовместимости с защищенным основанием.

Также известны способы для защиты от подобных физических потерь, примером чего служит увеличение молекулярной массы антиоксиданта до такого состояния, что даже при наиболее жестких условиях эксперимента потери сводятся к минимальному значению или даже отсутствуют полностью. Для предотвращения физических потерь в используется методом химического связывания антиоксиданта с привязкой к полимерной цепи. В этом случае, для достижения необходимого синергизма сочетаний антиоксидантов, комбинация антиоксидантов должна показывать взаимную регенерацию некоторых отдельных соединений или активных производных. Помимо этого, антиоксиданты должны обладать низкой летучестью и высокой совместимостью с веществом, особенно для условий продолжительного срока службы. В коммерческих целях для использования антиоксидантов существуют некоторые ограничения, так антиоксидант не

должен извлекаться, например, горячей водой, а индивидуальные компоненты не должны быть токсичными [12,13].

1.5 Основные представления о контактировании и трении соприкасающихся поверхностей

Основное развитие получило изучение внешнего трения как отношение силы сопротивления к относительному движению соприкасающихся тел при движении с места, качении, скольжении, верчении, при смазке в гидродинамическом режиме.

Внутреннее трение в различных средах (твердых, жидких, и газообразных), связано с необратимым рассеянием механической энергии.

Трение в технике является инициатором деформационных, тепловых, акустических, адгезионных, динамических, электрических и других процессов, определяющих эффективность и энергетику работоспособности узлов трения машин [14].

Одной из первых проблем, с которой столкнулись исследователи при изучении трения, оказалась проблема контактирования соприкасающихся поверхностей. Контактирование – это взаимодействие поверхностей, относящихся к твердым телам, под действием относительного смещения и сжимающих сил.

Отклонениями от идеальной формы оказались извернутость, волнистость, не плоскостность и т.п. Имеющие масштаб, измеряемый в диапазоне $10^{-3} \div 10^{-4}$ м. Эти микронеровности имеют субшероховатость порядка молекулярных размеров.

В основе учения о фрикционном взаимодействии шероховатых поверхностей лежит понятие о площади соприкосновения трущихся тел.

Для анализа шероховатости используются различные методы, а именно: щуповые, электронно-микроскопические и оптические методы. В

промышленности хорошо себя нашел щуповой метод. Суть метода заключается в следующем: по поверхности исследуемого образца скользит игла с радиусом закругления 2-10 мкм. Радиус закругления иглы значительно мал, по сравнению с радиусом закругления вершин микронеровностей. Возникающие в игле колебания в вертикальном направлении преобразовываются, превращаясь в электрические сигналы, которые в свою очередь поступают в микропроцессор [15].

1.6 Особенности работы материалов при трении и износе

Износостойкость в первую очередь определяется приповерхностными слоями на микро- и мезомасштабных уровнях. При разработке материалов с большой надежностью и высоким ресурсом работы следует уделять максимальное внимание исследованию и формированию именно этих приповерхностных слоев [16].

Независимо от вида материала и условий работы трибологических пар в приповерхностных слоях соприкасающихся материалов происходит самоорганизация структуры и изменение элементного состава. Даже если материал изначально был однородным, впоследствии он наверняка становится градиентным. Процессы (полная деструкция материала, смещение с вращением, превращение его из кристаллического состояния в аморфное), происходящие при деформации, практически все образуются при трении. Самый верхний слой (называемый третье тело), который создается на поверхности материала принципиально отличается по своим основным свойствам от исходного состояния материала.

Чтобы создать материал, устойчивый при трении к износу, необходимо учитывать, в первую очередь, все эти три выше перечисленные особенности. Опираясь на этом, можно выделить характеристики, для получения материала, устойчивого к износу при трении. Для этого, во-первых, материал

должен быть градиентным. Во-вторых, структура верхнего слоя должна иметь мелкозернистую структуру. Этот слой должен быть похож на «твердую жидкость» по своим свойствам и иметь низкий предел ползучести. В-третьих, структура и свойства материала должны быть такими, чтобы он мог без образования трещин осуществлять смещения по типу «сдвиг+поворот» и демпфировать возникающие локальные нагрузки. Эти принципы вряд ли возможно реализовать в полной мере, однако они играют важную роль в образовании приповерхностных слоев материалов, работающих на трение. Если удастся предварительно изменить структуру верхнего слоя материала, и сделать ее, например, более мелкодисперсной, то изменится характер износа. В случае же твердого сплава, прикладываемая термомеханическая обработка материала изменяет структуру поверхности образца на глубину до 1 мм, при других способах имплантации эта глубина составляет не более тысячи ангстрем.

Но было обнаружено, что изменения в структуре и свойствах подвергшихся имплантированию материалов в процессе трения происходят на гораздо большую глубину. Проведенные Кукареко В.А. исследования по влиянию ионной имплантации на износостойкость материалов. [17], показало, что уменьшение износа ионно-имплантированных образцов материалов связано с формированием в приповерхностном слое исследуемого образца модифицированного структурно-фазового состояния в процессе ионного легирования. Это приводит к тому, что происходит подавление формирования фрагментированной структуры на мезоуровне, а также к изменению вихревого движения мезофрагментов в приповерхностном слое, к уменьшению интенсивности образования частиц износа. Отсюда следует что, верхний приповерхностный слой модифицированного материала может определять интенсивность происходящих под ним процессов [17].

1.7 Износостойкость полимерных материалов

В процессе трения происходит разрушение некоторых поверхностных слоев трущихся материалов, которое со временем проявляется в возникновении своеобразных частиц характерных формы, размеров и химического состава. Эти частицы называются частицами износа, состав и размер которых зависят от механизма изнашивания и условий трения. Износ измеряется объемом ΔV изношенного материала или его массой. Эти характеристики связываются между собой через плотность разрушенного материала:

$$\rho_{\phi} = \Delta m / \Delta V \quad (1)$$

и являются интегральными характеристиками изнашивания.

Вместе с этим широко используются и дифференциальные характеристики данного процесса. К ним можно отнести и интенсивность изнашивания:

$$I_h = \frac{\Delta V / \Delta t}{Aa (\Delta s / \Delta t)} = \frac{\Delta h / \Delta t}{\Delta s / \Delta t} = \frac{\Delta h}{\Delta s} \quad (2)$$

где $\Delta s / \Delta t$ v = скорость скольжения. Значения I_h представляют собой меру долговечности пар трения. Поэтому имеет смысл во всех случаях при исследовании процессов трения и изнашивания не останавливаться определением величин F_T , ΔV или Δh , и определять значения коэффициента трения $\mu = F_T / F_N$, а также линейную интенсивность изнашивания $I_h = \Delta h / \Delta s$.

В случае ударного нагружения деталей (клапанов двигателя внутреннего сгорания или компрессора) обычно используют другую характеристику (безразмерную) – интенсивность изнашивания при ударе [18]:

$$I_{h \text{ уд}} = \frac{\Delta m / t_{\text{уд}}}{W_{\text{уд}} Aa} \quad (3)$$

где Δm – масса изношенного материала; $t_{\text{уд}}$ – время между двумя последовательными соударениями ($t_{\text{уд}} = 1/v^*$); $I_{h \text{ уд}}$ – интенсивность изнашивания при ударе; $W_{\text{уд}}$ – суммарная энергия соударений, в процессе

которых износ составляет величину по массе Δm . Использование характеристики $I_{h\text{ уд}}$ подразумевает следующее.

1. Условия всегда должны быть стационарными (20 и более соударений). Далее следует, что для грубой оценки изнашивания можно использовать линейную временную зависимость износа.

2. Вся кинетическая энергия тел, взаимодействующих друг с другом, расходуется только на разрушение материала. Это можно показать и на магма-плазменной модели Тиссена в том случае, если бы энергия концентрировалась только в местах контакта [19].

При постоянном качении скорость изнашивания тоже можно измерить выражением (2). В этом случае, при колебании шара стоит учитывать пластическую деформацию образцов. Коэффициент взаимного перекрытия в таком случае будет меньше единицы, площадь контакта тел – переменная, условия нагружения – динамические.

Необходимый путь качения s_R вычисляют по скорости качения v_R и времени t_R . Так как изнашивание при качении имеет усталостный характер, то некоторые величины такие, как долговечность $t_{пр}$, число перекатываний и т.п. являются более показательными, чем интенсивность изнашивания I_h , а также абсолютный износ ΔV за время t_R .

При необходимости нужно сравнить изнашивание пар трения при качении и скольжении, то необходимо это делать по долговечности $t_{пр}$. Если же известна характеристика I_h и величина предельного износа $\Delta h_{пр}$, то долговечность при этом скольжении:

$$t_{пр} = (\Delta h_{пр})/vI_h \quad (4)$$

где v – скорость скольжения.

Нередко в процессе использования некоторых сопряжений, таких как поршневые кольца, канаты, и т.п. следует изменение номинальных площадей контакта [20].

Параметр I_h используют для оценки износостойкости широкого диапазона автомобильных деталей, что представляет собой эффективное

средство для оценки долговечности деталей, иначе, в общем случае долговечность машины измеряется ее долговечностью самой надежной детали.

Однако интенсивность изнашивания зависит и от условий нагружения, и механизм изнашивания может изменяться на 10 порядков и более. Обычно, чем выше коэффициент трения, тем выше интенсивность изнашивания. В таком случае, диапазон изменения коэффициента трения гораздо меньше, чем интенсивность изнашивания (не выше 2-3 порядков). Для пояснения этого несоответствия необходимо изучать химический состав, размеры и форму частиц износа, а также среднее значение в отношении диаметра к длине частицы.

1.8 Природа и механизм трения твердых полимеров

В случае, когда сила трения прямо пропорциональна площади фактического контакта:

$$F = cS \quad (5)$$

Эту формулу можно использовать и при анализе трения твердых полимеров. Но относительно коэффициента пропорциональности, который является определяющим в природе трения, нет единого мнения.

Например, некоторые зарубежные исследователи считают, что под силой σ_c следует понимать прочность адгезионных «мостиков схватывания» по принципу с такими же мостиками у металлов. Отсюда следует, что коэффициент трения может быть выражен следующим уравнением $\mu = \sigma_c / HB$. Где твердость HB можно заменить пределом вынужденной эластичности σ_b или же пределом текучести σ_t . Часто для оценки μ используют значение твердости. Тейбор и его коллеги [21] изучали связь между коэффициентом трения и отношением σ_c/σ_t для ПЭ, плексигласа, полиэфирной смолы и фторопласта-4. Они обнаружили, что все изучаемые

полимеры, кроме фторопласта-4, показали значения коэффициента трения выше, чем описано в теории. Авторы предположили, что высокие значения μ зависят от увеличения сопротивления адгезионных связей из-за действия в зоне контакта с большими локальными напряжениями. Что приводит к повышению сопротивления на сдвиг связей по отношению к сопротивлению на сдвиг в объеме пластика. Отклонение в профиле фторопласта-4 предположительно объясняется довольно низкой адгезией к металлу и смещением процесса сдвигообразования к границе материала «пластик – твердое тело» [21].

Айнбиндер и его коллеги [22] показали, что эти полимеры в зоне контакта зачастую ведут себя как упрочняющиеся упруго-деформируемые материалы. Модуль Юнга (E) этих полимерных материалов зависит от гидростатического давления. Таким образом, с ростом давления до 2000 кг/см² модуль упругости стеклообразных полимеров увеличивается в 2-3 раза [23]. Значительно возрастают пределы вынужденной эластичности и прочности. Довольно малым изменениям подвергается коэффициент Пуанссона (в 1,1 раза). Согласно Айнбиндеру [22], увеличение механических характеристик полимеров с увеличением давления зависит от уменьшения удельного объема полимера и возрастанием энергии взаимодействия его молекул.

При трении двух материалов с разной твердостью коэффициент трения определяется усилием на срез более мягкого материала.

Отсюда следует, что так называемая адгезионная теория Боундена [21] для применения к пластикам требует некоторого уточнения. Адгезионные связи служат только для локализации процесса при сдвигообразовании в объеме материала. Таким образом, в суммарной силе трения основную роль выполняет деформационная составляющая.

Более подробно вопрос о соотношении адгезионной и деформационной составляющих сил трения рассмотрен в работах Курицыной и Истомина [24]. В их работе исследовано трение сферического ползунка по гладкой

плоскости. В качестве ползунка был использован шарик из закаленной хромистой стали диаметром 6 мм. По ширине дорожки трения b замерялась площадь фактического контакта $S = b^3/12R$, где R – радиус шарика. Адгезионная составляющая силы трения была определена по уменьшению суммарной силы трения при помощи смазки поверхности. При одинаковой нагрузке ширина была постоянна как при трении со смазкой, так и без смазки. Деформационная составляющая F_d прямо пропорциональна b^3 , так как оттесняемый образец пропорционален b^3 . При повышении температуры уменьшалась деформационная составляющая силы трения. Разность $F - F_d$ определяет адгезионную составляющую силы трения.

Опыты Истомина и Курицыной отнесены к условиям, при которых дорожка трения образовывалась в результате развития медленной вынужденноэластичной деформации. В такой области довольно высокие механические потери. Такие потери на гистерезис при упругой деформации представляют собой отличительную особенность трения полимеров в стеклообразном состоянии. У металлов такие потери пренебрежительно малы. Деформационные потери при трении ровных поверхностей незначительны по сравнению с потерями на разрушение адгезионных связей.

Танака и другие [25] методом полусферического индентора показал, – что трение твердых полимеров зависит от их деформационных свойств в зоне контакта. Однако силы трения в этом случае пропорциональны площади контакта. Приложенная тангенциальная сила на полимер вызывает увеличение волны перед индентером. При использовании модели Кельвина (простых модельных представлений) для описания зависимости деформации – напряжение, ученый получил такие соотношения между временем релаксации τ , скоростью скольжения v и геометрией контакта:

$$tv = \frac{r_1^2 - r_2^2}{2r_2} \quad (6)$$

где r_1 – радиус поверхности волны перед индентером; r_2 – радиус поверхности волны после индентора по ходу его движения. Порядок

полученных значений t находится в допустимых пределах. Деформационная составляющая по этим данным больше адгезионной.

1.8.1 Влияние нормальной нагрузки

При изучении твердых полимеров учеными нет единого мнения касающихся коэффициента трения от нагрузки или вида зависимости силы. Нет и четких значений для коэффициентов трения. Это связано с некоторыми обстоятельствами:

1. при использовании разных методов исследования (скорости скольжения, режимы нагружения, внешние условия и т. п.);
2. с ощутимыми различиями между исходными физико-механическими показателями у исследуемых полимеров.

В качестве примера можно рассмотреть хорошо исследованный фторопласт-4. Это полимер, степень кристалличности у которого колеблется в зависимости от процесса его изготовления от 0,45 до 0,80 [24]. Температура плавления данного материала равна 327 °С, а температура стеклования аморфной части – 120 °С, отсюда можно сделать вывод, в несколько широком диапазоне могут меняться физические показатели в исходном состоянии. Фторопласт-4 обладает различными модификациями кристаллической фазы.

Крагельский [26] провел исследование зависимости силы трения и площади фактического контакта от нагрузки. Фиксировалось трение покоя плексигласа, модуль упругости которого составляет $2 \cdot 10^4$ кГ/см². Было показано, что между давлением и силой трения существует линейная зависимость, доказывающая так называемый элементный закон Крагельского. Стоит отметить, что рост нагрузки приводит к увеличению фактического давления, что, по мнению автора, говорит о способности плексигласа к упрочнению. Дерягиным [27] было отмечено, что при испытании полиэтилена при удельной нормальной нагрузке 140 кГ/см²

происходит изменение относительной площади фактического контакта ϕ и сила трения нелинейно растет с увеличением давления. Выше 140 кг/см^2 (предел холодной текучести фторопласта-4) наблюдается линейная зависимость $f(p)$ восстановленная (при $S = \text{const}$) первым слагаемым в уравнение Дерягина. Для трения полимера наблюдается аналогичная зависимость. Полиэтилен ведет себя иначе. Для него зависимость $f(p)$ нелинейная. Судя по всему, у полиэтилена площадь контакта формируется при высоких значениях нагрузки. Вероятно, в данных условиях происходит изменение кристаллической структуры полиэтилена. Однако, возможно, имеет значение связь между улучшением упругих свойств материала (повышением модуля упругости) и его упрочнением.

1.8.2 Влияние скорости скольжения

Крагельским и Щедровым [28] было рассмотрено трение скольжения при условиях, что деформация выступов зависит от времени. Тогда процесс деформирования материала можно представить следующим уравнением:

$$\tau + r\tau = E\dot{y} + E\lambda y \quad (7)$$

где τ – элементарная тангенциальная сила; r – скорость релаксации; E – модуль упругости; λ – скорость последействия, относящаяся к материалу поверхностного слоя; y – деформация. Окончательное уравнение выглядит следующим образом:

$$F = f + (\alpha + \beta v) \exp(-nv) \quad (8)$$

где α и β – постоянные.

При $v = 0$ сила трения равна F_0 . Функция (8) экстремальные данные при скорости скольжения:

$$v_{\text{макс}} = \frac{\beta - \alpha n}{\beta n} \quad (9)$$

Обобщенный:

$$F_{\text{макс}} = f + \frac{\beta}{n} \exp\left(\frac{\alpha n}{\beta} - 1\right) \quad (10)$$

Величина f соответствует силе трения при безразмерном увеличении скорости скольжения, а параметр α почти не зависит от давления и существенно зависит от природы материала, на параметр β влияет скользкость материала, параметр n - произведение эксперимента затухания на коэффициент вязкости. Чтобы определить параметры, входящих в уравнение (8), нужно определить такие величины: скорость последствия, модуль упругости, скорость релаксации и провести анализ, возникающих при скольжении, упругих колебаний [28].

При высоких скоростях скольжения (по отношению к скоростям релаксации) деформация твердого тела представляется практически упругой, а наличие шероховатости способствует возникновению упругих волн в зоне контакта при скольжении. Такой случай рассмотрен в работе Адировича и Блохинцева [29], где показано, что при таком механизме трения появляются диссипативные силы, имеющие падающую характеристику от скорости скольжения.

Анализируя эту теорию, Ахматовым [30] было замечено, что полученные в результате исследования данные указывают на существование нескольких причин трения, помимо генерации упругих волн; необходимо учитывать, что при трении имеют место и другие виды взаимодействия, удельный вес которых подчас значителен.

Теория трения Адировича и Блохинцева позволяет охарактеризовать процесс трения полимеров о твердую поверхность в диапазоне больших скоростей, при которых скорость релаксации микрошероховатостей гораздо меньше скорости их взаимодействия. Экспериментально наблюдается максимум зависимости силы трения от скорости скольжения. Результаты эксперимента дают различные зависимости силы трения от скорости скольжения. Причиной такого свойства может выступать высокая чувствительность функции $F(v)$ к физико-механическому состоянию поверхности скольжения [29].

В наше время довольно хорошо исследована зависимость силы трения в области малых скоростей скольжения. Кунин и Ломакин [31] в своей работе показали, что зависимость силы трения от скорости скольжения может как падать, так и возрастать, при чем большее значение имеют колебательные процессы, сопровождающие внешнее трение.

Зависимость силы трения от скорости скольжения, имеющую максимальное значение, получили Ахматов [30], Костецкий [32] и др. Левицкий [33] показал теоретическое обоснование данной зависимости, принимая, что образование мостиков схватывания зависит от закона мономолекулярной реакции и теории абсолютных скоростей реакций Эйринга.

Кузнецов [34] предположил, что зависимость силы трения от скорости скольжения может быть объяснена влиянием наростов, образующихся при трении. Определяющим фактором является степень устойчивости наростов: если устойчивость наростов увеличивается, то сила трения возрастает с возрастанием скорости скольжения и, наоборот, уменьшается с падением устойчивости наростов.

По результатам работы [30], на характер скоростной зависимости силы скольжения влияет нормальная нагрузка, при увеличенном давлении которой наблюдается падающая зависимость, а при малых увеличивающаяся.

Доказано, что при всех условиях $\delta F / \delta h < 0$ и $dh / dv > 0$, где h – амплитуда относительного нормального перемещения поверхностей трения. Эти неравенства показывают, что с увеличением амплитуды сила трения уменьшается, а само значение h возрастает с увеличением скорости скольжения. Отсюда следует, что возрастающая ветвь кривой $F(v)$ характеризуется выражением:

$$\frac{dF}{dv} = \frac{\delta F}{\delta v} * \frac{dh}{dv} + \frac{\delta F}{\delta v} > 0 \quad (11)$$

или, если принять $F = f_{\phi} S$, то:

$$f_{\phi} (\delta S / \delta h) (dh / dv) + S (\delta f_{\phi} / dv) > 0$$

Всегда $\delta S/\delta h < 0$, $\delta F/dv > 0$ и $\delta f_\phi/dv > 0$

При $h = \text{const}$ движение устойчиво и $dF/dv > 0$ во всех случаях.

Условие максимума

$$f_\phi \frac{dS}{\delta h} * \frac{dh}{dv} + S \frac{\delta f_\phi}{\delta v} = 0 \quad (12)$$

указывает на то, что уменьшение площади контакта с возрастанием скорости скольжения компенсируется до точки максимума увеличением удельной фактической силы трения f_ϕ с ростом скорости.

В случае $dF/dv < 0$ уменьшающаяся зависимость силы трения обусловлена снижающейся площадью контакта.

Толстой обнаружил, что при низких скоростях скольжения:

$$v = \frac{\mu \sigma_r \lambda^2}{2\eta z} \quad (13)$$

где σ – шаг неровностей; η – вязкость; z – повторяющаяся высота неровностей. Считая в первом приближении $S = N/\sigma_r$ и $\lambda^2/z = \text{постоянными}$ величинами, получим:

$$v < \sigma/2a\eta \quad (14)$$

где a – истинное напряжение сдвига.

Отсюда следует, что пока внешнее трение определяется механизмом внутреннего, «реологического» трения, образуется возрастающая зависимость силы трения от скорости скольжения.

Из вышеописанного можно сделать вывод, что подход к обоснованию зависимости силы трения от скорости скольжения справедлив при трении любых материалов ограничен трением шероховатых поверхностей. При более тщательном изучении необходимо учитывать, что площадь фактического контакта зависит от скорости скольжения в результате фиксирования не только расстояния между поверхностями, но и физико-механических параметров материала. В частности, это обстоятельство имеет важное значение при трении полимеров.

Если рассматривать скоростную зависимость $F(v)$ как итог фактического взаимодействия поверхностей, то для упруго-пластического

контакта она может объясняться таким образом: во-первых, с увеличением скорости (в области низких значений v) увеличивается и сопротивление на контакте, а при высоких удельных нагрузках образуется аномальное вязкое течение, приводящее к большему увеличению коэффициента вязкости от скорости; во-вторых, при низких скоростях скольжения наблюдается некоторое изменение площади фактического контакта за счет эффекта «раздваивания» и некоторого сминания шероховатостей; что особенно заметно при больших давлениях. Таким образом, в области низких скоростей скольжения сила трения должна увеличиваться со скоростью [35].

В области высоких скоростей скольжения упруго-пластичное ведет себя как упругое, а для упругого контакта сила трения не зависит от увеличения скорости скольжения либо падает. С ростом упругости происходит значительное падение площади фактического контакта что в свою очередь приводит к уменьшению силы скольжения. Таким образом, при высоких скоростях скольжения низкое время контакта. Это приводит к дополнительному снижению силы трения. Стоит добавить, что при высоких скоростях нельзя пренебрегать температурным разогревом, который может пристать как к увеличению, так и к уменьшению силы трения в зависимости от природы контакта. В промежуточных областях скоростей конкуренция перечисленных фактов приводит к образованию максимума на кривой.

1.8.3 Влияние температуры

Зависимость силы трения от температуры имеет важный характер при исследовании природы и механизма трения твердых тел. Но данная зависимость является малоизученной. В основном, это связано с тем, что в статических условиях температура показывает кинетику формирования площади фактического контакта и силу трения в покое, а в динамических условиях на температуру на контакте влияет еще и скорость скольжения.

В настоящее время довольно интенсивно проводятся работы по изучению измерения температуры разогрева при трении. Эти исследования имеют большое практическое значение и подробно описаны в монографии Чичинадзе [36].

Трояновской было показано изучение температурного градиента при трении и влияние его на коэффициент трения. Согласно ее данным, коэффициент трения зависит от скорости скольжения:

$$\mu = \frac{\lambda I \alpha_0}{pv} \left(\frac{dT}{dz} \right) \quad (15)$$

где λ – коэффициент теплопроводности; dT/dz – градиент температуры; α_0 – коэффициент распределения тепловых потоков; p – давление; I – тепловая мощность трения; v – скорость скольжения.

Кроме того, зависимости внешнего трения твердых тел характеризуются зависимостью от шероховатости, влиянием поверхностно-активных сред, внешней среды (например, пленок, и граничных слоев на поверхности трения), и т. п.

Механизм внешнего трения крепко связан с природой внутреннего трения, и полностью зависит от вязкого сопротивления контакта. Отсюда следует, что внешнее трение может характеризоваться динамическим модулем, временем релаксации, энергией активации трения и др. вязкое сопротивление контакта, зависящее от пластической деформации монокристаллических и поликристаллических твердых тел, связано с дислокационными процессами. Таким образом, дефекты структуры, образующиеся в процессе деформации в точках контакта, затормаживают дислокацию. Показатель трения покоя монокристаллов и поликристаллов связан с пределом ползучести. Хотя релаксационные процессы и аналогичные проявления несовершенств твердых тел изучены довольно хорошо, многие работ в области внешнего трения не связаны с этими кривыми. Все же представления о качественном различии внешнего и внутреннего трения несостоятельны. Внешнее трение отличается от

внутреннего главным образом наличия поверхности раздела, а в первом приближении учитывается площадью фактического контакта.

2 Объект и методы исследования

2.1 Материалы и реактивы

2.1.1 Дициклопентадиен

Дициклопентадиен (трицикло[5.2.1.0^{2,6}]дека-3,8-диен) – является бесцветным кристаллическим веществом с резким запахом. Молекулярная масса ДЦПД – 132,20. Существует в виде эндо- и экзо-изомеров. Эндо-изомер является промежуточным веществом, это бесцветные кристаллы с резким запахом; температура плавления 32,5 °С, температура кипения 172,8 °С, $DH^0_{пл}$ 15,835 кДж/кг, $DH^0_{исп}$ 321,8 кДж/кг (при 172,8 °С), $DH^0_{сгор}$ – 44170 кДж/кг; растворим в органических растворителях; растворимость в воде 2,5 % [37].

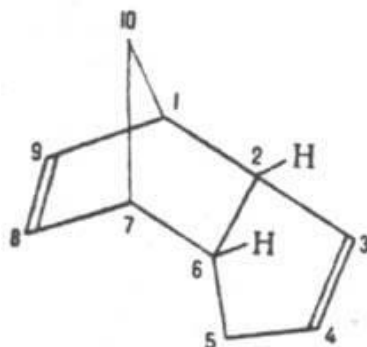


Рисунок 15 – Структурная формула дициклопентадиена

2.1.2 Синтетические каучуки этилен-пропиленовые тройные

Этилен-пропиленовые каучуки представляют собой сополимеры этилена с пропиленом или терполимеры этих двух мономеров с несопряженным диеном [38].

В качестве третьего компонента выступает дициклопентадиен.

В данной работе использовался каучук марки СКЭПТ-30 производства ОАО «Уфаоргсинтез».

Таблица 1 – Характеристики СКЭПТ-30

Вязкость по Муни, МБ (1+4 (100°C))	26 - 35
Потеря массы при сушке, %, не более	0,7
Разброс по вязкости внутри партии, не более	8
Массовая доля непредельных соединений в пересчете на ДЦПД звенья, %, в пределах	5,8-7,2
Массовая доля спиртотолуольного экстракта, %, не более	5
Массовая доля ванадия %, не более	0,008
Массовая доля золы, %, не более	0,2
Массовая доля стабилизатора, (Агидол-2), %	0,15
Массовая доля стабилизатора, (Ирганокс-1010 или Ирганокс 1520L)	0,1
Массовая доля звеньев пропилена, %, в пределах	38-45
Массовая доля звеньев этилена, %	30

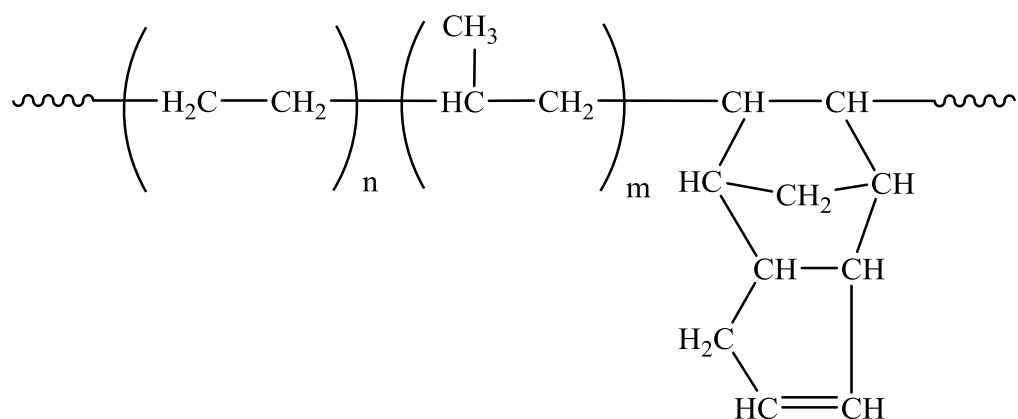


Рисунок 16 – Структура СКЭПТа с содержанием дициклопентадиена

2.1.3 Антиоксиданты

Ирганокс-1010 (пентаэритрит тетраокси (3 - (3,5-ди-трет-бутил-4-гидроксифенил) пропионат)) (рис. 17)- пространственно затрудненный фенольный антиоксидант - является весьма эффективным, не обесцвечивающий стабилизатор для органических субстратов, таких как пластмассы, синтетические волокна, эластомеры, клеи, воски, масла и жиры[39].

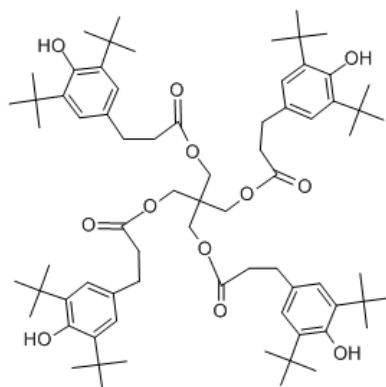


Рисунок 17 – Структура Ирганокс-1010

Иргафос-168 (Три (2,4-ди-тетрабутилфенил) фосфит эфир) (рис. 18) является гидролитически стабильным фосфитом, $M_w=647,45$. Используется в качестве вторичного антиоксиданта, реагирует в процессе обработки с гидроперекисью, образующихся окислителей. Предотвращает процесс деструкции и расширяет производительность первичных антиоксидантов. Диапазон применения иргафос-168 в сочетании с другими антиоксидантами включает полиолефины и сополимеры олефина, такие как полиэтилен, полипропилен, полибутен и этилен-винилацетата сополимеры, а также поликарбонаты и полиамиды [40].

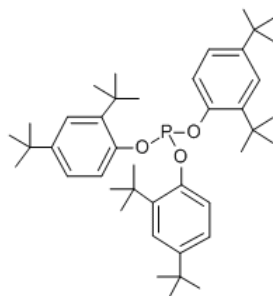


Рисунок 18 – Структура Иргафос-168

2.1.4 Катализатор Ховейды-Граббса.

Катализаторы Граббса – это рутениевые катализаторы, которые проявляют высокую реакционную активность во многих процессах, а также обладают высокой толерантностью к функциональным группам. У них

низкая чувствительность к воздуху, влаге и незначительным примесям в растворителях [41].

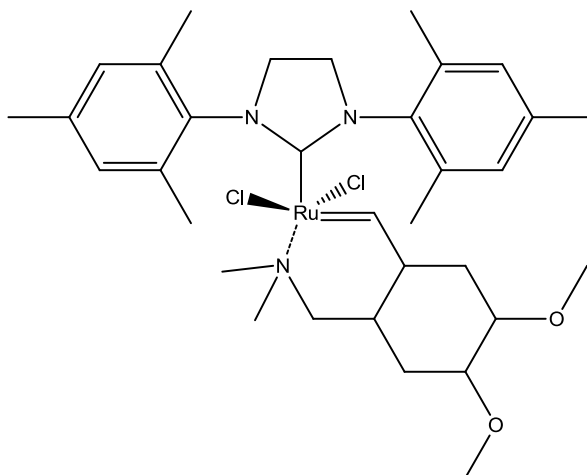


Рисунок 19 – [1,3бис-(2,4,6-триметилфенил-2-имидазолидинилен) дихлоро(2- (N, N-диметиламинометил)-4, 5-диметоксибензилиден) рутений

2.1.5 Подготовка мономера

ДЦПД помещали в двухлитровую колбу, нагревали до 40-50 °С для перевода в жидкое состояние, добавляли 1г натрия на 1кг ДЦПД, продували всю систему азотом, и в масляной бане с магнитной мешалкой при 130 °С и перемешивании со скоростью вращения 200 об/мин очищали мономер от продуктов окисления в течении 2,5-3 часов. По окончании процесса с помощью вакуумного насоса понижали давление до 300 mbar и получали предгон (смесь непрореагировавших с натрием кислородсодержащих соединений и небольшого количества ДЦПД), приблизительно 10 % от загрузки. Затем в систему подавали азот, предгон удаляли, понижали давление до 100 mbar и начинали перегонку чистого ДЦПД. Процесс очистки и перегонки чистого ДЦПД занимает около 7 часов, при этом выход составляет 85-95 % от загрузки. Качество мономера контролировалось методом ГХ-МС.

Параллельно растворяли каучук в бензоле при температуре 75 °С и атмосферном давлении. После получения раствора СКЭПТа, добавляли в

него чистый дициклопентадиен, антиоксиданты, после чего растворитель отгоняли. По окончании процесса раствор охлаждали до комнатной температуры естественным путём.

2.1.6 Полимеризация

Полимеризацию проводили в металлической форме. Для этого в мономер добавляли катализатор в количестве 10000:1, затем раствор заливали в форму и помещали в печь, предварительно нагретую до 80 °С на 30 минут. По истечении 30 минут повышали температуру печи до 120 °С и выдерживали в течении 60 минут. После нагрев увеличивали до 180 °С и оставляли форму ещё на 60 минут. Полимерная пластина извлекалась при температуре не ниже 60 °С.



Рисунок 20 – Форма для полимеризации

2.2 Оборудование

2.2.1. Высокотемпературный трибометр - ТНТ-S-AX0000

Высокотемпературный трибометр PC-Operated High Temperature Tribometer THT-S-AX0000 – прибор, основанный на принципе трения индентора о поверхность. Индентор упирается в откалиброванный тензодатчик. Тензодатчик – прибор основан на преобразовании прикладываемой нагрузки в электрический ток. С тензодатчика информация поступает на компьютер, отображение на мониторе выводится с помощью специальной программы.

Прибор измеряет коэффициент трения в больших температурных интервалах, смазывающих жидкостях и газовой среде. Контроль высокотемпературного трибометра ведется персональной вычислительной машиной (рис.21). При этом обеспечивается управление работой прибора, измеряемые величины отображаются в режиме реального времени. Программное обеспечение производит расчет износа образца [42].



Рисунок 21 – Высокотемпературный трибометр PC-Operated High Temperature Tribometer THT-S-AX0000

1. Персонально вычислительная машина.
2. Системный блок.
3. Высокотемпературный трибометр

Методика измерения

Высокотемпературный трибометр ТНТ разработан для изучения коэффициента трения в системах “шар-диск”, “штифт-диск”, “плоскость-

диск” и исследования износа твердых материалов и покрытий в зависимости от времени, скорости вращения, при повышенной температуре

Исследуемый образец закрепляется на вращающемся диске (рис. 22), далее фиксируют нагревающий элемент, позволяющий вращающемуся диску нагреваться до температуры 800 °С.

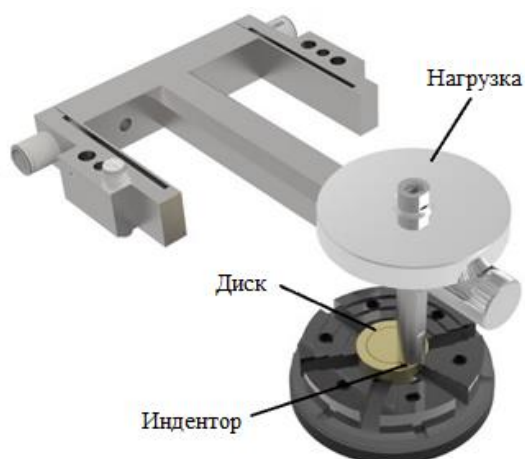


Рисунок 22 – Измерительная методика «Шар-по-диску»

Коэффициент трения определяется во время теста путем измерения прогиба эластичного рычага. Износ исследуемого образца определяется путем измерения трека образованного в результате действия неподвижного индентора на вращающийся образец [43].

Таблица 2 – Технические характеристики трибометра

Характеристики	Значения
Максимальная температура образца	до 800 °С
Нагрузка на индентор	(1-60) Н
Разрешение по нагрузке	10 мН
Сила трения	до 10 Н
Частота вращения	1-1500 об/мин
Диаметр и высота диска	r=55 мм, h=10 мм
Программное обеспечение	Microsoft Windows

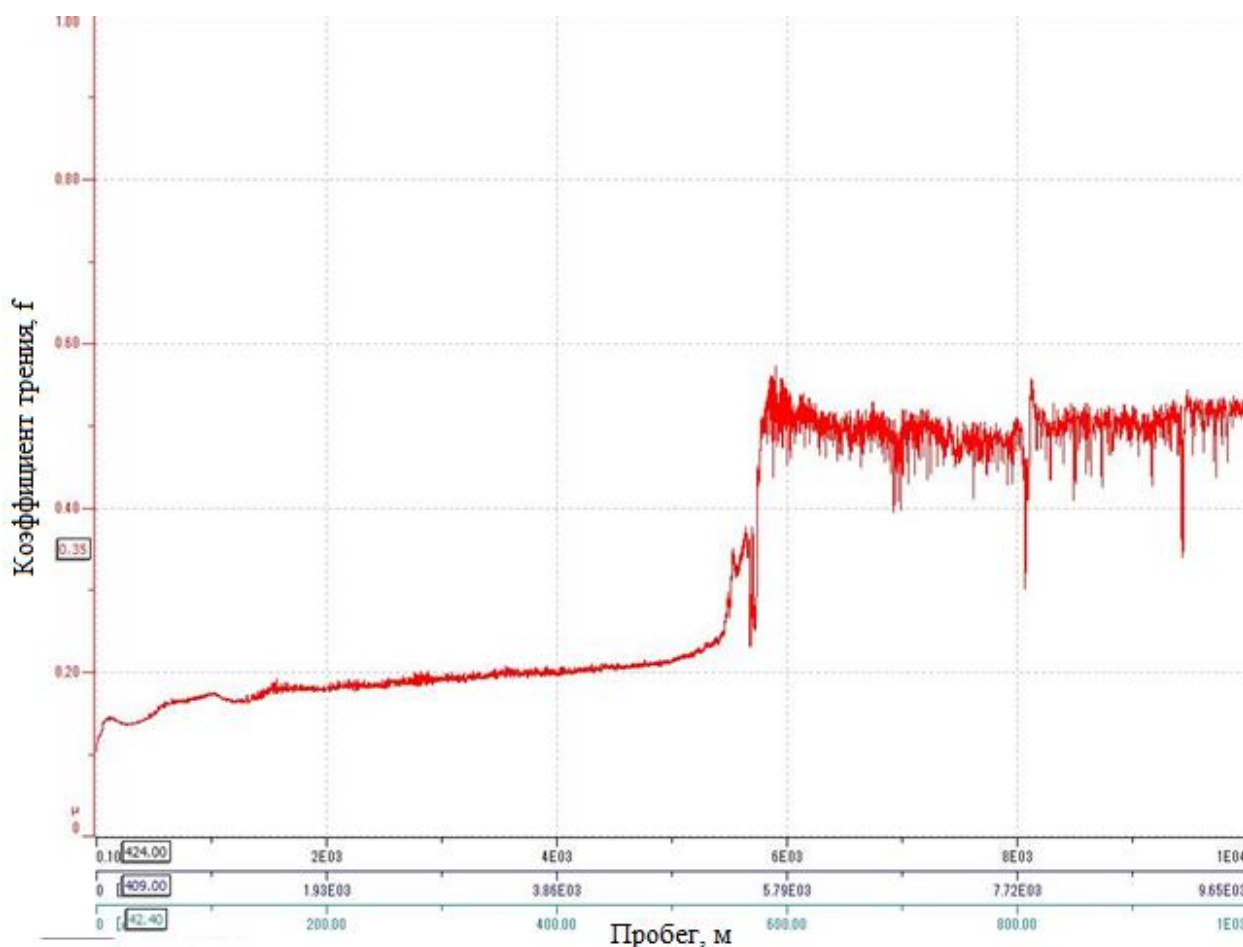


Рисунок 23 – Пример трибограммы

2.2.2. Профилометр - MicroXAM-100

Исследование поверхности образцов после испытаний проводятся с помощью оптического профилометра MicroXAM-100.

Принцип действия оптического профилометра (интерферометра) заключается в том, что свет, излучаемый с источника, отражаясь от исследуемой и опорной поверхностей, образует интерференционную картину, которая затем регистрируется видеокамерой. Затем данные обрабатываются и набор интерференционных картин преобразуется в карту уровней поверхности высокого разрешения.



Рисунок 24 – Оптический профилометр MicroXAM-100

MicroXAM-100 объединяет фазосмещающую технологию интерферометра и оптический микроскоп, что позволяет проводить бесконтактные 3D измерения поверхностной шероховатости с субнанометровым разрешением. Сочетая в себе множество функций, прибор предоставляет пользователю обширные возможности для исследования поверхности. Одной из них является возможность получать трехмерные изображения поверхности высокой четкости для широкого диапазона высот рельефа - как для относительно гладких поверхностей, так и для шероховатых [44].

Таблица 3 – Технические характеристики профилометра

Характеристики	Значения
Воспроизводимость измерения вертикальной ступеньки	1 нм (1σ)
Погрешность измерений	<0,1%
Вертикальный диапазон сканирования	250 мкм (10 мм опционально)
Скорость вертикального сканирования	До 7,2 мкм/с
Площадь обзора	101x101 мкм – 1,0x1,0 мм

2.2.3 Шлифовально-полировальный станок - АТМ SAPHIR 520

Реализует весь процесс шлифовки, начиная с грубой шлифовки, заканчивая мягкой полировкой для подготовки образца. Обрабатывается от 1 до 6 образцов за 1 цикл. Эта машина легка в эксплуатации и является экономичным вариантом при работе с образцами. Она является идеальным инструментом для использования на заводах, в научных исследовательских институтах и лабораториях.



Рисунок 25 – Шлифовально-полировальный станок АТМ SAPHIR 520

Автоматический шлифовально-полировальный станок оснащен одним полировочным диском. Скорость вращения диска регулируется от 50 до 600 об/мин.

Таблица 2 – Технические характеристики шлифовально-полировального станка

Характеристики	Значения
Питание	220V, 50 Hz
Диаметр шлифовальных дисков	250 мм
Скорости вращения	50-600 об/мин
Диаметр диска полировки	200 мм
Размеры	470 × 475 × 620 мм

2.2.4 Роторный испаритель - IKA RV 10

Роторные испарители IKA- это лабораторные приборы, которые применяются для отгонки и перегонки растворителей из круглодонных колб различного объема. Отгонка растворителя осуществляется за счет вращения нагреваемой колбы при постоянном перемешивании. За счет этого достигается равномерное кипение и равномерное образование конденсата, который улавливается холодильником.



Рисунок 26 – Роторный испаритель IKA RV 10

К преимуществам данных устройств относятся следующие особенности: все роторные испарители IKA RV имеют подъемник с электроприводом, который выводит колбу испарителя из бани в случае сбоя питания. Таким образом, предотвращаются нежелательные последствия, например задержка кипения. Работа по заданным интервалам для лучшего перемешивания, плавный старт для безопасного увеличения скорости, задание конечной точки для защиты от поломки стекла, и наличие таймера дополняют пакет систем обеспечения безопасности [45].

Таблица 3 – Технические характеристики роторного испарителя

Характеристики	Значения
Диапазон вращающего момента, rpm	20 - 280
Подъем лифта, мм	140
Диапазон рабочих температур, °C	20 - 180
Полезный максимальный объем бани, л	3
Диапазон регулировки вакуума, mbar	1050 - 1
Размеры, мм	500 x 430 x 410
Потребляемая мощность, Вт	1400

2.2.5 Хромато-масс спектрометр – МАЭСТРО 7820/5975

Аналитическая система на базе отечественного газового хроматографа МАЭСТРО 7820 и масс-спектрометра Agilent 5975.



Рисунок 27 – Хромато-масс спектрометр МАЭСТРО 7820/5975

Первоначально проба вводится в газовый хроматограф, который разделяет компоненты пробы по времени. Сепаратор может соединять газовый хроматограф и масс-спектрометр и отделять исследуемое соединение от газа-носителя. Компоненты пробы ионизируется в ионном источнике масс-спектрометра и ионизированные фрагменты анализируются по массам магнитными или электромагнитными полями в анализаторе масс. Проанализированные по массам ионы взаимодействует с детектором,

который выдает сигналы, по которым может определяться масс-спектр соединения. Этот спектр с помощью системы обработки данных сравнивается с известными спектрами различных соединений. Этот процесс сравнения позволяет идентифицировать анализируемое соединение [46].

2.3 Методы испытаний

2.3.1 Испытание износостойкости полимера

Исследование трибологических характеристик композитов ПДЦПД-СКЭПТ-30 проводились по схеме «шар-по-диску» при постоянной нагрузке в условиях сухого трения. Диски изготавливались из полученного композиционного материала с последующей обработкой поверхности на шлифовальном станке. После полировки диски имели шероховатость 100 ± 10 нм.

Испытания проводились при нагрузке - 10 Н, радиусе трека - 11 мм, пробег составлял 690 м, скорость вращения диска – 10, 20, 30, 40, 50 и 58 см/с.

4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

4.1 Предпроектный анализ

Продукт: полимерный композиционный материал на основе полидициклопентадиена.

Целевой рынок: научно-исследовательские лаборатории, предприятия нефтехимической промышленности.

Размер компании	Вид продукта		
	Дициклопентадиен	СКЭПТ-30	Композиционный материал
Малые			
Средние			
Крупные			

 Нефтехимическая промышленность

 Научно-исследовательские лаборатории

Рисунок 45 – Сегментирование рынка

При анализе рынка можно видеть, что реализуемый продукт может широко использоваться в нефтехимической промышленности. Выделяя конкретные сегменты данной отрасли, то наиболее заинтересованными в конечном продукте являются предприятия нефтехимической промышленности, работающие в области производства полимеров, а в дальнейшем и приборостроительные предприятия. В настоящее время существует несколько примеров коммерчески доступных материалов на основе полидициклопентадиена, однако, данные соединения обладают существенными недостатками.

4.1.1 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

Детальный анализ конкурирующих разработок необходимо проводить систематически, поскольку рынки пребывают в постоянном движении. Данный анализ помогает вносить коррективы в научное исследование, чтобы разработка соответствовала требованиям рынка. Важно верно оценивать сильные и слабые стороны конкурирующих разработок. Данный анализ удобно проводить с использованием оценочной карты (таблиц 14).

Таблица 14 – Оценочная карта для сравнения конкурентных реагентов

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б _ф	Б _{к1}	Б _{к2}	К _ф	К _{к1}	К _{к2}
1	2	3	4	5	7	8	9
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Внутреннее давление	0,22	5	4	4	1,1	0,88	0,88
2. Температура максимума плавления	0,09	5	5	5	0,45	0,45	0,45
3. Достаточная дозировка	0,05	5	5	4	0,25	0,25	0,2
4. Температура эксплуатации	0,11	4	4	3	0,44	0,44	0,33
5. Совместимость с антиоксидантом	0,18	4	4	3	0,72	0,72	0,54
6. Насыщенность цвета	0,04	5	4	5	0,2	0,16	0,2
7. Стабильность при хранении, переработки и эксплуатации	0,16	4	5	5	0,64	0,8	0,8
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Конкурентоспособность продукта	0,08	5	4	4	0,24	0,22	0,22

2. Уровень проникновения на рынок	0,07	4	5	3	0,28	0,34	0,34
Итого	1	41	40	36	4,32	4,26	3,96

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 [48].

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum B_i \cdot B_i$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

B_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – балл i -го показателя.

Получением полидициклопентадиена в России занимаются компании «Отис Тарда» (г. Днепропетровск), НПК «Полимер-комплекс» (г. Москва). ОАО Химпром (г. Новочебоксарск) производит антиоксиданты для резин, НПО Лакокраспокрытие (г. Москва) применяет стабилизаторы полимеров от УФ-излучения.

На данный момент в России нет предприятий, которые бы в полной мере занимались производством полидициклопентадиена. Поэтому при коммерциализации данного проекта на российском рынке появится качественный полимер. А положительными характеристиками использования стабилизаторов является чистота конечного продукта, безопасность и хорошая совместимость с мономером. Также для достижения положительного эффекта от добавления стабилизатора, необходимо меньшее количество стабилизатора.

4.1.2 Диаграмма Исикавы

Диаграмма причины-следствия Исикавы – это графический метод анализа и формирования причинно-следственных связей, инструментальное средство для систематического определения причин проблемы и последующего графического представления (рисунок 46).



Рисунок 46 – Диаграмма Исикавы

4.1.3 Оценка готовности проекта к коммерциализации

На данном этапе проводим оценку степени готовности проекта к коммерциализации с помощью таблицы 15.

Таблица 15 – Бланк оценки степени готовности научного проекта к коммерциализации

Наименование	Степень проработанности научного проекта	Уровень имеющихся знаний у разработчика
Определен имеющийся научно-технический задел	4	4
Определены перспективные направления коммерциализации научно-технического задела	4	3
Определены отрасли и технологии (товары, услуги) для предложения на	5	5

рынке		
Определена товарная форма научно-технического задела для представления на рынок	5	5
Определены авторы и осуществлена охрана их прав	4	3
Проведена оценка стоимости интеллектуальной собственности	2	2
Проведены маркетинговые исследования рынков сбыта	2	4
Разработан бизнес-план коммерциализации научной разработки	1	3
Определены пути продвижения научной разработки на рынок	2	3
Проработаны вопросы финансирования коммерциализации научной разработки	2	4
Имеется команда для коммерциализации научной разработки	5	5
Проработан механизм реализации научного проекта	5	5
ИТОГО БАЛЛОВ	41	46

Для характеристики готовности проекта к коммерциализации рассчитывается суммарное количество баллов по формуле:

$$B_{\text{сум}} = \sum B_i ,$$

где $B_{\text{сум}}$ – суммарное количество баллов по каждому направлению, B_i – балл по i -му показателю.

Оценка готовности научной разработки к коммерциализации показал, что проект является средне перспективным с точки зрения инвестирования и нуждается в более детальной проработке.

4.1.4 Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования

Для данного продукта существуют два метода коммерциализации научной разработки: торговля патентными лицензиями либо реализация готового продукта, как коммерчески доступного реагента.

Первый метод по продаже патента на технологию получения композиционного материала на основе полидицклопентадиена является наименее рискованным с точки зрения капиталовложений, однако это может оказаться нерентабельным бизнес-проектом из-за низкого спроса на данный продукт.

Второй метод является более сложным, поскольку реализация конечного продукта влечет за собой собственно его производство, сертификацию, вывод на рынок, и т.п. Но стоит отметить, что в настоящее время данная готовая продукция может пользоваться относительно высоким спросом даже при условии узкой специализации, а, значит, предложенный метод может оказаться наиболее перспективным.

4.2 Инициация проекта

В рамках процессов инициации определяются изначальные цели и содержание проекта и фиксируются изначальные финансовые ресурсы. На первом этапе определяются внутренние и внешние заинтересованные стороны.

4.2.1 Цели и результат проекта

Под целями и результатами проекта подразумевается информация о заинтересованных сторонах проекта, иерархии целей проекта и критериях достижения целей, представленных в таблицах 16 и 17 соответственно.

Таблица 16 – Заинтересованные стороны проекта

Заинтересованные стороны проекта	Ожидание заинтересованных сторон
Руководитель и исполнитель проекта	Создание патента на основе разработки
Научно-исследовательская лаборатория	Использование запатентованного метода получения композиционного материала

Таблица 17 – Цели и результат проекта

Цели проекта:	Разработка нового полимерного композиционного материала
Ожидаемые результаты проекта:	Создание патента на основе разработки, сертификация
Критерии приемки результата проекта:	Наличие патента на метод получения полимера
Требования к результату проекта:	Безопасность технологии
	Экономичное использование исходных соединений
	Простота оформления процесса

4.2.2 Организационная структура проекта

Организационная структура проекта представлена в таблице 18, которая предоставляет информацию о научной группе проекта, роли каждого и функциях его в проекте. А также указаны трудозатраты каждого члена группы в проекте.

Таблица 18 – Рабочая группа проекта

№ п/п	ФИО, основное место работы, должность	Роль в проекте	Функции	Трудозатраты, час.
1	Бондалетов В.Г., ТПУ, каф. ТОВПМ, доцент, д.т.н.	Руководитель проекта	Реализация проекта в пределах заданных ограничений по ресурсам, координация деятельности участников проекта.	100
3	Раденков.Т.А., ТПУ, каф. ЭБЖ, ассистент	Эксперт проекта	Консультирование по выполнению раздела «Социальная ответственность»	3
4	Криницына З.В., каф. МЕН, к.т.н.	Эксперт проекта	Консультирование по выполнению раздела «Финансовый менеджмент, и ресурсоэффективность» ресурсосбережение»	3

5	Рыманова И.Е., ТПУ, каф. ИЯПР, ст. преп	Эксперт проекта	Консультирование по выполнению английской части	3
6	Герман Д.Ю., ТПУ, каф. ТОВПМ, магистрант	Исполнитель по проекту	Получение полимерного композиционного материала на основе полидициклопентадиена с добавлением СКЭПТ-30	800
ИТОГО				909

В ходе реализации научного проекта, помимо магистранта, задействован ряд специалистов:

– Руководитель проекта – ответственен за реализацию проекта в пределах заданных ограничений по ресурсам, координирует деятельность участников проекта. В большинстве случаев эту роль выполняет руководитель магистерской диссертации или его помощник.

– Исполнитель по проекту – специалист, выполняющий отдельные работы по проекту. В случае если магистерская работа является законченным научным исследованием – исполнителем проекта является магистрант. В случае если магистерская работа является частью научного проекта, исполнителей может быть несколько.

4.2.3 Ограничения и допущения проекта

Ограничения проекта – это все факторы, которые могут послужить ограничением степени свободы участников команды проекта, а также «границы проекта» - параметры проекта или его продукта, которые не будут реализованных в рамках данного проекта.

Таблица 19 – Ограничения проекта

Фактор	Ограничения/ допущения
3.1. Бюджет проекта	

3.1.1. Источник финансирования	НИ ТПУ
3.2. Сроки проекта:	
3.2.1. Дата утверждения плана управления проектом	01.09.2015
3.2.2. Дата завершения проекта	30.05.2017
3.3. Прочие ограничения и допущения*	Ограничения по времени использования научного оборудования, времени работы участников проекта

4.3 Планирование управления научно-техническим проектом

Группа процессов планирования состоит из процессов, осуществляемых для определения общего содержания работ, уточнения целей и разработки последовательности действий, требуемых для достижения данных целей.

4.3.1 Контрольные события проекта

Календарный план-график – это графическое изображение взаимосвязи событий и работ, имеющих место в процессе проведения исследований (Таблица 20).

Календарный план-график составляется с целью правильной организации и контроля выполнения работы, а также для рационального использования времени, отводимого на выполнение магистерской диссертационной работы.

Таблица 20 – Контрольные события проекта

№	Контрольные события	Дата	Результат (подтверждающий документ)
1	Разработка технического задания	01.09.2014	Техническое задание
2	Выбор направления исследований	01.12.2014	Литературный обзор
3	Теоретические и экспериментальные исследования	01.02.2016	Результаты исследования

4	Обобщение и оценка результатов	01.04.2016	Написание исследовательской части магистерской диссертации
5	Разработка технической документации и проектирование	01.05.2016	Магистерская диссертация
6	Оформление магистерской диссертации	13.06.2016	Диплом магистра

4.3.2 План проекта

В рамках планирования научного проекта необходимо построить календарный и сетевой графики проекта.

Таблица 21 – Календарный план проекта

Код работ ы (из ИСП)	Название	Количество во дней	Дата начала работ	Дата окончания работ	Состав участников
1	Разработка технического задания	30	01.09.2015	01.10.2015	Бондалетов В.Г.
2	Выбор направления исследований	20	10.09.2015	30.09.2015	Бондалетов В.Г. Герман Д.Ю.
3	Теоретические и экспериментальные исследования	526	01.10.2015	30.03.2017	Бондалетов В.Г. Герман Д.Ю.
4	Обобщение и оценка результатов	40	01.03.2017	10.04.2017	Бондалетов В.Г. Герман Д.Ю.
5	Разработка технической документации и проектирование	50	01.04.2016	20.05.2016	Бондалетов В.Г. Герман Д.Ю.
6	Оформление магистерской диссертации	40	01.05.2016	10.06.2016	Бондалетов В.Г. Герман Д.Ю.

Итого	706	01.09.201 5	13.06.201 7	
-------	-----	----------------	----------------	--

Диаграмма Ганта – это тип столбчатых диаграмм (гистограмм), который используется для иллюстрации календарного плана проекта (рисунок 47), на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

Ко д раб от ы	Вид работы	Испол нител и	Т к	Продолжительность выполнения работ																							
				Сен. 15			Окт. 15			...			Фев. 17			Мар 17			Апр. 17			Май 17			Июн 17		
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	Разработ ка техничес кого задания	Руково дитель 1	1 5																								
2	Выбор направле ния исследов аний	Руково дитель 1, исполн итель	1 5																								
3	Теоретич еские и эксперим ентальны е исследов ания	Руково дитель 1, исполн итель	5 1 6																								
4	Обобщен ие и оценка результ атов	Руково дитель 1, исполн итель	3 1																								
5	Разработ ка техничес кой документ ации и проектир ование	Руково дитель 1, исполн итель	3 0																								
6	Оформле ние магистер ской диссериа	Руково дитель 1, исполн итель	5 0																								

Аллонж 14/29	1 шт	115	115
Переходник 14/29	1 шт	165	165
Термометр ртутный 250°C	2 шт	620	1240
Штатив	2 шт	2000	4000
Мерный цилиндр на 100 мл	1 шт	34	34
Трехгорлая колба на 250 мл	1 шт	344	344
Металлический реактор	1 шт	2500	2500
Воронка	4 шт	100	400
Пипетка на 10 мл	2 шт	85	170
Стакан химический на 100 мл	4	135	540
Дозатор на 100 мкл	1 шт	2440	2440
Электроплита	1 шт	700	700
Скальпель	2 шт	80	160
Груша	2 шт	20	40
Пробирка	4 шт	12	48
Алюминиевая кастрюля	1 шт	570	570
Пипетка на 5 мл	2 шт	60	120
Пипетка на 2 мл	2 шт	35	70
Пипетка на 1 мл	2 шт	15	30
Стеклянная палочка	20 шт	3	60
Терморегулятор	1 шт	1430	1430
Перчатки	10 шт	28	280
Халат	1 шт	800	800
Всего за материалы			20687
Транспортно-заготовительные расходы (3-5%)			715
Итого по статье C_m			21402

4.4.2 Расчёт амортизационных отчислений

Сумма амортизационных отчислений определяются по формуле:

$$E_{\text{ам}} = (\sum K_{\text{обі}} * H_{\text{амі}} * T_{\text{обі}}) / (365 * 100),$$

где $K_{\text{обі}}$ –стоимость единицы прибора или оборудования, руб.; $H_{\text{амі}}$ – норма амортизации прибора или оборудования, %; $T_{\text{обі}}$ – время использования оборудования, дни.

Расчет суммы затрат на электроэнергию определяется по формуле:

$$E_9 = \sum N_i * T_9 * C_9,$$

где N_i - мощность электроприборов по паспорту, кВт; T_9 - время использования электрооборудования, час; C_9 - цена одного кВт*ч, руб. $C_9 = 2,17$ руб/ кВт*ч.

Таблица 23 – Расчет затрат на спецоборудование

п/п	Наименование оборудования	Цена единицы оборудования, руб.	Время использования, Г.	Амортизация, руб.
1	Трибометр ТНТ-S-AX0000	3810000	15	254000
2	Профилометр STIL	3690000	15	246000
3	Микрометр	11500	6	1916,67
4	Шлифовально-полировальный станок ATM SAPHIR 520	23300	3	7766,7
	Итого	4 шт.		509683,37

4.4.3 Основная заработная плата

Величина расходов по заработной плате определяется, исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок в Томском политехническом университете.

Таблица 24 - Расчет основной заработной платы

Показатели рабочего времени	Руководитель 1	Исполнитель
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней		
- выходные дни	58	58
- праздничные дни	14	14
Потери рабочего времени		
- отпуск	48	48

- невыходы по болезни	0	0
- прочая работа	195	0
Действительный годовой фонд рабочего времени	50	245

Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением проекта, (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату.

$$C_{ап} = З_{осн} + З_{доп},$$

где $З_{осн}$ – основная заработная плата; $З_{доп}$ – дополнительная заработная плата.

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

$$З_{осн} = З_{дн} \times T_{раб},$$

где $З_{осн}$ – основная заработная плата одного работника; $T_{раб}$ – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн.; $З_{дн}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$З_{дн} = \frac{З_{м} \times M}{F_{д}},$$

где $З_{м}$ – месячный должностной оклад работника, руб.; M – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

- при отпуске в 24 раб. дня $M = 11,2$ месяца, 5-дневная неделя;
- при отпуске в 48 раб. дней $M = 10,4$ месяца, 6-дневная неделя;

$F_{д}$ – действительный годовой фонд рабочего времени научно- технического персонала, раб. дн. (табл. 25).

Месячный должностной оклад работника:

$$З_{м} = З_{б} \times (1 + k_{np} + k_{д}) \times k_{р},$$

где $З_{б}$ – базовый оклад, руб.; k_{np} – премиальный коэффициент, (определяется Положением об оплате труда); $k_{д}$ – коэффициент доплат и надбавок (в НИИ и на промышленных предприятиях – за расширение сфер

обслуживания, за профессиональное мастерство, за вредные условия: определяется Положением об оплате труда); k_p – районный коэффициент, равный 1,3 (для г. Томска).

Таблица 25 – Заработная плата исполнителей НТИ

Исполнитель	Категория	$Z_{б, \text{руб.}}$	$k_{п, p}$	$k_{д, d}$	k_p	$Z_{м, \text{руб}}$	$Z_{дн, \text{руб}}$	$T_{р, \text{раб. дн.}}$	$Z_{осн, \text{руб.}}$
Руководитель 1 (Бондалетов В.Г.)	Профессор	33162,87	0,3	0,2	1,3	64667,6	2745,07	10	27167,2
Итого									27167,2

4.4.4 Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы учитывают величину предусмотренных Трудовым кодексом РФ доплат за отклонение от нормальных условий труда, а также выплат, связанных с обеспечением гарантий и компенсаций.

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$Z_{доп} = k_{доп} \times Z_{осн}$$

где $k_{доп}$ – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,12).

Таблица 26– Дополнительная заработная плата исполнителей НТИ

Заработная плата	Руководитель 1 (Бондалетов В.Г.)
Основная зарплата	27167,2
Дополнительная зарплата	3261,14
По статье $C_{ап}$	30423,34
Итого	30423,34

4.4.5 Отчисления во внебюджетные фонды

В данной статье расходов отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования, пенсионного фонда и медицинского страхования от затрат на оплату труда работников.

Статья включает в себя отчисления во внебюджетные фонды.

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

где $k_{внеб}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.; $k_{внеб} = 0,3$).

Таблица 27 – Отчисления во внебюджетные фонды

Налогоплательщик	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата, руб	Отчисления во внебюджетные фонды, руб.
Руководитель1 (Бондалетов В.Г.)	27167,2	3261,14	9127
ИТОГО	9127		

4.4.6 Контрагентные расходы

Контрагентные расходы включают затраты, связанные с выполнением каких-либо работ по теме сторонними организациями (контрагентами, субподрядчиками). В данной работе отсутствуют контрагентные расходы.

4.4.7 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.

Таблица 28 – Расчет бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб.	Примечание
1. Сырье и материалы для проведения процесса	21402	Таблица 4.9
2. Расчет затрат на спецоборудование	509683,37	Таблица 4.10
3. Заработная плата исполнителей НТИ	27167,2	Таблица 4.12
4. Дополнительная заработная плата исполнителей НТИ	92234,35	Таблица 4.13
5. Отчисления во внебюджетные фонды	27670,31	Таблица 4.14
6. Контрагентские расходы	0	
7. Накладные расходы	108505,15	16 % от суммы ст. 1-6
8. Бюджет затрат НТИ	786542,38	Сумма ст. 1-7

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

Эффективность научного ресурсосберегающего проекта включает в себя социальную эффективность, экономическую и бюджетную эффективность. Показатели общественной эффективности учитывают социально-экономические последствия осуществления инвестиционного проекта как для общества в целом, в том числе непосредственные результаты и затраты проекта, так и затраты и результаты в смежных секторах экономики, экологические, социальные и иные внеэкономические эффекты.

4.5.1 Оценка сравнительной эффективности исследования

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

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получают в ходе оценки бюджета затрат трех (или более) вариантов исполнения научного исследования. Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принимается за базу расчета (как знаменатель), с которым соотносятся финансовые значения по всем вариантам исполнения [48].

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

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

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).

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом:

$$I_{\text{pi}} = \sum a_i \cdot b_i,$$

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности для i -го варианта исполнения разработки;

a_i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки;

b_i^a, b_i^p – бальная оценка i -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

n – число параметров сравнения.

В таблице 29 приведен расчет интегрального показателя ресурсоэффективности.

Таблица 29 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект	Аналог 1	Аналог 2
1. Чистота продукта	0,19	4	3	4
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителям)	0,11	4	2	4
3. Безопасность	0,14	5	4	3
4. Энергосбережение	0,19	5	3	2
5. Надежность	0,20	5	5	5
6. Температура эксплуатации	0,17	3	2	3
ИТОГО	1	26	19	21

$$I_m^p = 5 \times 0,1 + 4 \times 0,15 + 5 \times 0,15 + 5 \times 0,20 + 5 \times 0,25 + 1 \times 0,15 = 4,25$$

$$I_1^A = 4 \times 0,1 + 3 \times 0,15 + 4 \times 0,15 + 4 \times 0,20 + 5 \times 0,25 + 2 \times 0,15 = 3,8$$

$$I_2^A = 3 \times 0,1 + 4 \times 0,15 + 3 \times 0,15 + 2 \times 0,20 + 5 \times 0,25 + 3 \times 0,15 = 3,45$$

Интегральный показатель эффективности разработки ($I_{финр.}^p$) и аналога ($I_{финр.}^a$) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{финр.}^p = \frac{I_m^p}{I_{\phi}^p}, \quad I_{финр.}^a = \frac{I_m^a}{I_{\phi}^a} \text{ и т.д.}$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных.

Сравнительная эффективность проекта ($\mathcal{E}_{cp}$):

$$\mathcal{E}_{cp} = \frac{I_{финр}^p}{I_{финр}^a}$$

где $\mathcal{E}_{cp}$ – сравнительная эффективность проекта; $I_{финр}^p$ – интегральный показатель разработки; $I_{финр}^a$ – интегральный технико-экономический показатель аналога [48].

Таблица 30 – Сравнительная эффективность разработки

п/п	Показатели	Аналог 1	Разработка
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,2	0,2
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	2,9	3,6
3	Интегральный показатель эффективности	16,2	18,0
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1,2	1,2
	Итого	20,5	23

Вывод: Сравнение значений интегральных показателей эффективности позволяет понять, что разработанный вариант проведения проекта является наиболее эффективным при решении поставленной в магистерской диссертации технической задачи с позиции финансовой и ресурсной эффективности.

Список публикаций

1. **Герман Д.Ю.**, Куцук В.И., Заманова М.К. Физико-механические свойства сополимеров ДЦПД с ТЦПД, полученных РОМР-полимеризацией// Химия и химическая технология в ХХІІ веке: Материалы ХVІ Международной научно-практической конференции имени профессора Л.П. Кулева студентов и молодых ученых, - Томск: Изд-во ТПУ, с 25 по 29 мая 2016 г.
2. **Герман Д.Ю.**, Куцук В.И., Заманова М.К. изнашивание полидициклопентадиена в условиях сухого трения // Химия и химическая технология в ХХІ веке: Материалы ХVІІ Международной научно-практической конференции имени профессора Л.П. Кулева студентов и молодых ученых, - Томск: Изд-во ТПУ, с 25 по 29 мая 2016 г.
3. **Герман Д.Ю.** Трибологические характеристики композиций полидициклопентадиен-СКЭПТ-30 // Сборник научных трудов ХVІІІ Международной научно-практической конференции имени профессора Л.П. Кулева студентов и молодых ученых «Химия и химическая технология в ХХІ веке», Томск: Изд-во ТПУ, с 29 мая по 1 июня 2017 г.
4. Прокудина Н.М., **Герман Д.Ю.**, Боженкова Г.С. Физико-механические свойства сополимеров дициклопентадиена и диметилowych эфиров норборнен-дикарбоновой кислоты // Сборник научных трудов ХVІІІ Международной научно-практической конференции имени профессора Л.П. Кулева студентов и молодых ученых «Химия и химическая технология в ХХІ веке», Томск: Изд-во ТПУ, с 29 мая по 1 июня 2017 г.