

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

Инженерная школа неразрушающего контроля и безопасности
Направление подготовки 20.04.01 Техносферная безопасность
Отделение контроля и диагностики

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Исследование влияния нанодисперсных порошков железа на термическую стойкость и горючесть эпоксидных композитов

УДК 678.686:536.468

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1EM91	Смирнова Ирина Николаевна		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Назаренко О.Б.	д.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Гасанов М.А.	д.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Федорчук Ю.М.	д.т.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП 20.04.01 Техносферная безопасность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Анищенко Ю.В.	к.т.н.		

Планируемые результаты освоения ООП «Управление комплексной техносферной безопасностью»

Код компетенции	Наименование компетенции
Общекультурные (универсальные) компетенции	
УК(У)-1	Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, выработать стратегию действий
УК(У)-2	Способен управлять проектом на всех этапах его жизненного цикла
УК(У)-3	Способен организовывать и руководить работой команды, выработать командную стратегию для достижения поставленной цели
УК(У)-4	Способен применять современные коммуникативные технологии, в том числе на иностранном (-ых) языках (-ах), для академического и профессионального взаимодействия
УК(У)-5	Способен анализировать и учитывать разнообразие культур в процессе межкультурного взаимодействия
УК(У)-6	Способен определить и реализовывать приоритеты собственной деятельности и способы ее совершенствования на основе самооценки
Общепрофессиональные компетенции	
ОПК(У)-1	Способность структурировать знания, готов к решению сложных и проблемных вопросов
ОПК(У)-2	Способность генерировать новые идеи, их отстаивать и целенаправленно реализовывать
ОПК(У)-3	Способность акцентированно формулировать мысль в устной и письменной форме на государственном языке Российской Федерации и на иностранном языке
ОПК(У)-4	Способность организовывать работу творческого коллектива в обстановке коллективизма и взаимопомощи
ОПК(У)-5	Способность моделировать, упрощать, адекватно представлять, сравнивать, использовать известные решения в новом приложении, качественно оценивать количественные результаты, их математически формулировать
Профессиональные компетенции выпускников	
ПК(У)-8	Способность ориентироваться в полном спектре научных проблем профессиональной области
ПК(У)-9	Способность создавать модели новых систем защиты человека и среды обитания
ПК(У)-10	Способность анализировать, оптимизировать и применять современные информационные технологии при решении научных задач
ПК(У)-11	Способность идентифицировать процессы и разрабатывать их рабочие модели, интерпретировать математические модели в нематематическое содержание, определять допущения и границы применимости модели, математически описывать экспериментальные данные и определять их физическую сущность, делать качественные выводы из количественных данных, осуществлять машинное моделирование изучаемых процессов
ПК(У)-12	Способность использовать современную измерительную технику, современные методы измерения
ПК(У)-13	Способность применять методы анализа и оценки надежности и техногенного риска
ПК(У)-14	Способность организовывать и руководить деятельностью подразделений по защите среды обитания на уровне предприятия, территориально-производственных комплексов и регионов, а также деятельность предприятия в режиме чрезвычайной ситуации
ПК(У)-15	Способность осуществлять взаимодействие с государственными службами в области экологической, производственной, пожарной безопасности, защиты в чрезвычайных ситуациях
ПК(У)-16	Способность участвовать в разработке нормативно-правовых актов по вопросам техносферной безопасности
ПК(У)-17	Способность к рациональному решению вопросов безопасного размещения и применения технических средств в регионах
ПК(У)-18	Способность применять на практике теории принятия управленческих решений и методы экспертных оценок
ДПК(У)-1	Способность осуществлять педагогическую деятельность в области профессиональной подготовки

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

Инженерная школа неразрушающего контроля и безопасности
Направление подготовки 20.04.01 Техносферная безопасность
Отделение контроля и диагностики

УТВЕРЖДАЮ:
Руководитель ООП
20.04.01 Техносферная безопасность
_____ Ю.В. Анищенко
15.03.2021 г.

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

магистерской диссертации

Студенту:

Группа	ФИО
1EM91	Смирновой Ирине Николаевне

Тема работы:

Исследование влияния нанодисперсных порошков железа на термическую стойкость и горючесть эпоксидных композитов

Утверждена приказом директора (дата, номер)

№ 51-53/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:

7.06.2021 г.

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Объект исследования – эпоксидные композиты. Литературные данные, методические рекомендации по изготовлению образцов эпоксидных композитов и по исследованию показателей горючести.
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	1) провести аналитический обзор по литературным источникам в области пожароопасности полимерных материалов; 2) исследовать влияние наполнителей на термическую стойкость и горючесть образцов эпоксидных композитов; 3) проанализировать полученные результаты; 4) разработать разделы «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»,

	«Социальная ответственность», раздел на английском языке.
Перечень графического материала	Рисунки, таблицы исследуемых образцов эпоксидных композитов, графики полученных зависимостей температур воспламенения от потери масс и концентрации образцов.

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы

Раздел	Консультант
Социальная ответственность	Федорчук Ю.М., профессор
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Гасанов М.А., профессор
Раздел ВКР на иностранном языке	Коротченко Т.В., доцент

Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:

1. Литературный обзор

2. Экспериментальная часть

3. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

4. Социальная ответственность

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	15.03.2021 г
---	--------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Назаренко О.Б.	д.т.н.		15.03.2021 г

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1ЕМ91	Смирнова И.Н.		15.03.2021 г

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

Инженерная школа неразрушающего контроля и безопасности
Направление подготовки 20.04.01 Техносферная безопасность
Уровень образования магистратура
Отделение контроля и диагностики
Период выполнения весенний семестр 2020/2021 учебного года

Форма представления работы:

магистерская диссертация

**КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН
выполнения выпускной квалификационной работы**

Срок сдачи студентом выполненной работы: 7.06.2020 г.

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
22.03.2021 г.	Разработка раздела «Введение»	10
05.04.2021 г.	Разработка раздела «Литературный обзор»	10
19.04.2021 г.	Разработка раздела «Экспериментальная часть»	20
24.05.2021 г.	Разработка разделов «Социальная ответственность», «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение», раздел на английском языке	10
04.06.2021 г.	Оформление ВКР	10
11.06.2021 г.	Представление ВКР	40

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Назаренко О.Б.	д.т.н.		15.03.2020

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП 20.04.01 Техносферная безопасность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Анищенко Ю.В.	к.т.н.		15.03.2020

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

Группа	ФИО
1ЕМ91	Смирнова Ирина Николаевна

Школа	ИШНКБ	Отделение школы (НОЦ)	Отделение контроля и диагностики
Уровень образования	Магистр	Направление/специальность	Техносферная безопасность

Тема дипломной работы: «Исследование влияния нанодисперсных порошков железа на термическую стойкость и горючесть эпоксидных композитов»

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Объект исследования: рабочее место лаборанта. Область применения: исследование термостойкости и горючести эпоксидных композитов. Работы проводились на базе ФГБУ СЭУ ФПС ИПЛ по Томской области.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Производственная безопасность 1.1. Анализ выявленных вредных факторов <ul style="list-style-type: none"> • Природа воздействия • Действие на организм человека • Нормы воздействия и нормативные документы (для вредных факторов) • СИЗ коллективные и индивидуальные 1.2. Анализ выявленных опасных факторов : <ul style="list-style-type: none"> • Термические источники опасности • Электробезопасность • Пожаробезопасности 	Вредные факторы: <ul style="list-style-type: none"> • Недостаточная освещенность; • Нарушения микроклимата, оптимальные и допустимые параметры; • Шум, ПДУ, СКЗ, СИЗ. Опасные факторы: <ul style="list-style-type: none"> • Электроопасность; класс электроопасности помещения, СКЗ, СИЗ; Проведен расчет освещения рабочего места; представлен рисунок размещения светильников на потолке с размерами в системе СИ; • Пожароопасность, категория пожароопасности помещения, марки огнетушителей, их назначение и ограничение применения; Приведена схема эвакуации.
2. Экологическая безопасность: <ul style="list-style-type: none"> • Выбросы в окружающую среду • Решения по обеспечению экологической безопасности 	Наличие промышленных отходов (бумага-черновики, пластмасса, перегоревшие люминесцентные лампы, оргтехника) и способы их утилизации.

<p>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</p> <ul style="list-style-type: none"> • перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения; • разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; • разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий. 	<p>Рассмотрены 2 ситуации ЧС:</p> <p>1) природная – сильные морозы зимой, (аварии на электро-, тепло-коммуникациях, водоканале, транспорте);</p> <p>2) техногенная – несанкционированное проникновение посторонних на рабочее место (возможны проявления вандализма, диверсии, промышленного шпионажа), представлены мероприятия по обеспечению устойчивой работы производства в том и другом случае.</p>
<p>4. Перечень нормативно-технической документации.</p>	<p>– ГОСТы, СанПиНы, СНиПы</p>

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	26.02.2021 г.
--	---------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	
Профессор ТПУ	Федорчук Ю.М.	д.т.н.		17.05.21 г.

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1ЕМ91	Смирнова И.Н.		17.05.21 г.

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

Студенту:

Группа	ФИО
1EM91	Смирновой Ирине Николаевне

Школа	ИШНКБ	Отделение школы (НОЦ)	Отделение контроля и диагностики
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	20.04.01 Техносферная безопасность

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

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

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Проведение предпроектного анализа. Определение целевого рынка и проведение его сегментирования. Выполнение SWOT-анализа проекта
2. Определение возможных альтернатив проведения научных исследований	Определение целей и ожиданий, требований проекта. Определение заинтересованных сторон и их ожиданий.
3. Планирование процесса управления НИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок	Составление календарного плана проекта. Определение бюджета НИ
4. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности	Проведение оценки экономической эффективности определения отношений между пользователями социальной сети Twitter на основе анализа текста сообщений.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

<ol style="list-style-type: none"> Оценка конкурентоспособности технических решений Матрица SWOT График проведения и бюджет НИ Расчёт денежного потока Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ Потенциальные риски
--

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Гасанов М.А.	д. экон. наук		27.02.2021

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1EM91	Смирнова И.Н.		27.02.2021

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 114 с., 30 рис., 54 табл., 45 источников, 1 прил.

Ключевые слова: горючесть, термическая стойкость, эпоксидные композиты, антипирены, нанопорошки металлов.

Объектом исследования являются эпоксидные композиты.

Цель работы – исследовать влияние концентраций наполнителей-антипиренов и их комбинации с нанопорошком железа на показатели горючести и термической стабильности эпоксидных композитов

В процессе исследования проводились: аналитический обзор литературных источников, содержащих сведения о пожарной безопасности полимеров и методах снижения их горючести, а также термический анализ подготовленных образцов эпоксидных композитов с последующим анализом полученных результатов.

В результате исследования получены значения температур воспламенения образцов эпоксидных композитов.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики:

Степень внедрения: полученные в работе результаты будут использованы для разработки эпоксидных композитов с пониженной горючестью.

Область применения: исследования в сфере пожаробезопасности.

Экономическая значимость работы: исследованы потенциальные потребители результатов научного исследования и построена карта сегментирования рынка в области пожаробезопасности.

В будущем планируется продолжить научно-исследовательскую работу для более детального изучения, установления механизма горения, разработки комбинированных наполнителей, исследования функциональных характеристик антипиренов.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	13
1. ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР	14
1.1. Термический анализ.....	14
1.2. Термические характеристики материалов.....	22
1.2.1. Температура.....	22
1.2.2. Тепловые эффекты превращений	24
1.3. Методы термического анализа	24
1.3.1. Визуальный метод.....	24
1.3.2. Метод кривых нагрева и охлаждения	24
1.3.3. Дифференциальный термический анализ (ДТА).....	25
1.3.4. Дифференциальная сканирующая калориметрия (ДСК).....	27
1.3.5. Термогравиметрический анализ (ТГА).....	28
1.3.6. Синхронный термический анализ (СТА)	28
1.4. Пожарная опасность полимеров и их классификация по горючести.....	28
1.4.1. Поражающие факторы при горении полимерных материалов	29
1.5. Введение наполнителей.....	31
1.6. Применение антипиренов	34
2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ.....	38
2.1. Материалы и методики исследования	38
2.1.1. Характеристика исходных веществ	38
2.1.2. Получение эпоксидных композитов	43
2.2. Определение температуры воспламенения.....	45
2.3. Термический анализ.....	45
2.4. Результаты исследований и их обсуждение	46
2.4.1. Температура воспламенения эпоксидных композитов	46
2.4.2. Результаты термического анализа.....	47
3. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ.....	55
3.1. Предпроектный анализ	56
3.1.1. Потенциальные потребители результатов исследования	56
3.1.2. Анализ конкурентных технических решений.....	56
3.1.3. SWOT-анализ.....	58
3.1.4. Оценка готовности проекта к коммерциализации.....	61

3.1.5. Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования.....	62
3.2. Инициация проекта.....	63
3.3. Планирование управления научно-техническим проектом	64
3.3.1. Иерархическая структура работ проекта.....	64
3.3.2. План проекта.....	65
3.3.3. Бюджет научного исследования.....	68
3.3.4. Расчёт материальных затрат научного исследования	68
3.3.5. Основная заработная плата научно-производственного персонала	69
3.3.6. Дополнительная заработная плата научно-производственного персонала.....	71
3.3.7. Отчисления на социальные нужды (во внебюджетные фонды)	72
3.3.8. Накладные расходы	72
3.3.9. Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта.....	72
3.4. Организационная структура проекта.....	73
3.5. План управления коммуникациями проекта.....	74
3.6. Реестр рисков проекта	74
3.7. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	75
3.8. Оценка абсолютной эффективности исследования.....	75
3.8.1. Чистая текущая стоимость (NPV)	75
3.8.2. Оценка сравнительной эффективности исследования.....	80
4. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ.....	85
4.1. Производственная безопасность	85
4.1.1. Анализ выявленных вредных факторов на рабочем месте лаборанта.....	86
4.1.1.1. Недостаточная освещенность рабочей зоны.....	87
4.1.1.1.1. Расчёт искусственного освещения.....	87
4.1.1.2. Отклонение показателей микроклимата в помещении	91
4.1.1.3. Превышение уровней шума	92
4.1.2. Анализ выявленных опасных факторов на рабочем месте лаборанта.....	93
4.1.2.1. Поражение электрическим током.....	93

4.1.2.2. Пожарная опасность	94
4.2. Экологическая безопасность.....	95
4.3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях	97
4.4. Перечень нормативно-технической документации.....	98
Заключение	99
Список публикаций.....	100
Список литературы	101
Приложение II.....	105

ВВЕДЕНИЕ

В современном мире наряду с натуральными материалами, используемыми в быту и строительстве, применяются полимерные материалы. Поэтому так важно проводить исследования в области пожароопасности и снижения горючести полимеров и полимерных композитов.

Введение добавок, снижающих пожарную опасность материалов, является эффективным способом снижения горючести полимеров. Однако выбор антипиренов является сложным, поскольку существует множество их вариаций, и каждый тип антипиренов имеет свои уникальные физико-химические свойства и соответствующую стоимость.

Цель работы – исследовать влияние концентраций наполнителей-антипиренов и их комбинации с нанопорошком железа на показатели горючести и термической стабильности эпоксидных композитов.

В процессе исследования проводились: анализ литературных и научных статей, содержащих информацию о пожароопасности полимерных материалов, а также экспериментальные исследования влияния выбранных наполнителей на характеристики горючести эпоксидных композитов.

Для достижения заданной цели работы были сформированы следующие задачи:

- 1) изучить литературные источники по вопросам пожароопасности полимерных материалов и методам снижения их горючести;
- 2) подготовить образцы для исследований на основе эпоксидной смолы, наполнителей-антипиренов;
- 3) подготовить образцы для исследований на основе эпоксидной смолы и комбинации нанопорошка железа с антипиренами;
- 4) оценить влияние наполнителей-антипиренов на характеристики горючести изготовленных эпоксидных композитов.

1. ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

1.1. Термический анализ

Согласно [1] термический анализ представляет собой группу методов анализа вещества (материала): термогравиметрия (ТГА), дифференциально-термический анализ (ДТА), дифференциально-сканирующая калориметрия (ДСК) и т.д.

Описание состояния системы (материала, вещества) осуществляется по четырем основным энергетическим характеристикам, представленным в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристики описания состояния системы (вещества, материала) в термодинамике

Наименование характеристики	Обозначение
внутренняя энергия	U
свободная энергия	$F = U - TS$
энтальпия	$H = U + pV$
потенциал Гиббса	$G = U - TS + pV$

Наибольший интерес для термического анализа из вышеперечисленных характеристик представляет энтальпия, которая характеризует состояние системы в термодинамическом равновесии при независимых переменных ($P, S_{\text{частиц}}$).

Методы термического анализа (таблица 2) различают в зависимости от определяемых параметров вещества (материала).

Таблица 2 – Методы термического анализа

Наименование метода	Определяемые параметры метода
Визуальный метод	появление или исчезновение видимых изменений в образце (изменение формы, появление окраски)
Метод кривых нагрева и охлаждения	зависимость температуры от времени
ДТА	разность температур образца и эталона
ДСК	теплота (энтальпия) превращения
ТГА	масса
Термомеханический анализ (ТМА) и дилатометрия	линейный размер или объем
Динамический механический анализ (ДМА)	упругие характеристики, затухание колебаний (внутреннее трение)
Анализ выделяемых газов (ГТА)	газовые продукты разложения

Также к методам термического анализа относят измерения оптических, электрических, магнитных и других свойств материалов в зависимости от температуры.

Комбинированное использование таких методов, как термогравиметрия и дифференциально-сканирующая калориметрия представляют собой синхронный термический анализ.

Фиксирование свойств образца в зависимости от температуры (и времени) – объединяющий признак всех вышеперечисленных методов, что достигается посредством линейного нагрева/охлаждения вещества с постоянной скоростью.

При проведении экспериментального исследования помимо изменений температуры также немаловажно контролировать среду измерений, которые выполняются в атмосферном воздухе, инертной среде (гелий, аргон), воде или другой жидкости.

Термический анализ широко применяется как в научно-исследовательской работе, так и в промышленности.

В таблице 3 приведены значимые идентификационные характеристики термического анализа.

Таблица 3 – Идентификационные характеристики термического анализ

№ п/п	Наименование характеристики	Описание
1.	значения температуры, °С	при фиксированных потерях массы (5, 10, 20, 30, 50 %), которые определяются по ТГ-кривым, приведенным на рисунке 1, для веществ (материалов) и огнезащитных покрытий на полимерной основе. При определении значений температуры диапазон суммарной потери массы материала разбивается не менее чем на четыре значения. Например, для материалов с потерей массы, не превышающей 10 %, фиксируются температуры при 1, 2, 3, 4, 5 %.
2.	потеря массы Δm , %	при фиксированных значениях температуры (например 100, 150, 200, 250, 300 °С и т. д.), определяемая по ТГ-кривым, приведенным на рисунке 2
3.	значения температуры при максимумах скорости потери массы	определяются по ДТГ кривым (рисунок 3)
4.	скорость потери массы, %/мин	амплитуда максимумов (ДТГ-максимум), определяемых по ДТГ-кривым, приведенным на рисунке 3
5.	коксовый остаток, %	определяется по окончании процесса пиролиза в инертной атмосфере или при фиксированной температуре по ТГ-кривым, приведенным на рисунке 4
6.	зольный остаток, %	определяется по окончании процесса термоокисления при фиксированной температуре по ТГ-кривым
7.	значения температуры плавления и соответствующие им тепловые эффекты, Дж/г	определяемые по ДСК (ДТА)-кривым (рисунок 5)

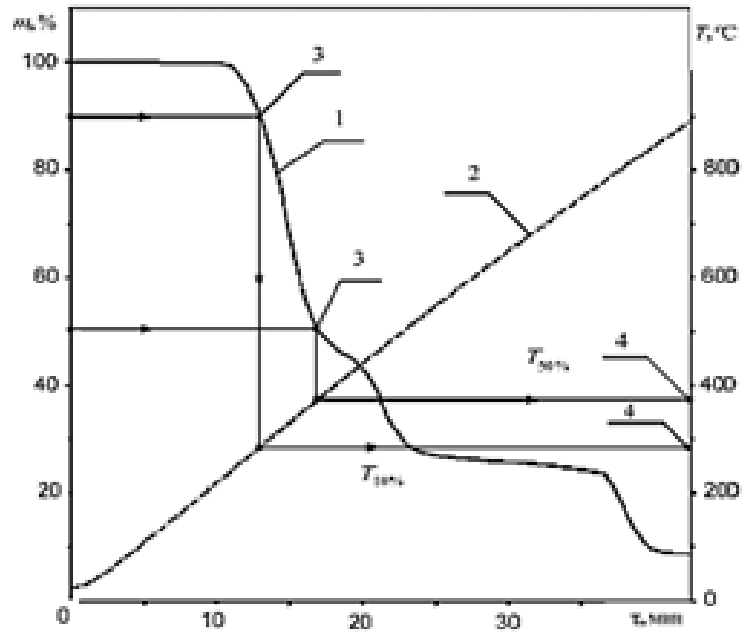


Рисунок 1 – Модель определения характерных значений температуры при фиксированных значениях потери массы: 1 – ТГ-кривая (потеря массы); 2 – температура; 3 – характерные точки ТГ-кривой; 4 – температура при потере 10% и 50 % массы

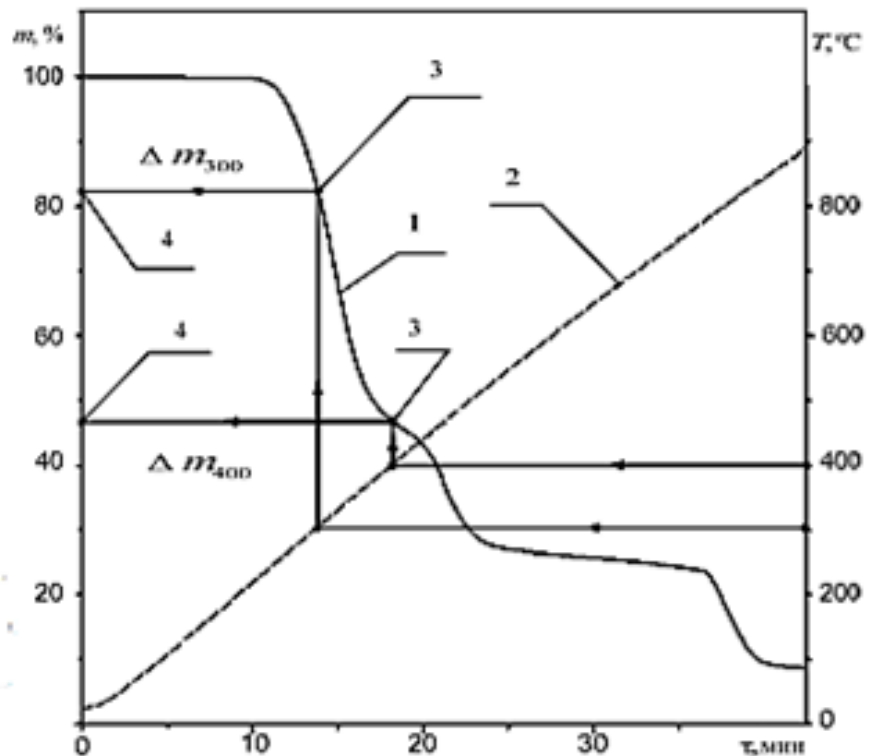


Рисунок 2 – Модель определения характерных значений потери массы при фиксированных значениях температуры (в координатах «потеря массы – время»): 1 – ТГ-кривая (потеря массы); 2 – температура; 3 – характерные точки ТГ-кривой; 4 – потеря массы при 300 и 400 °С

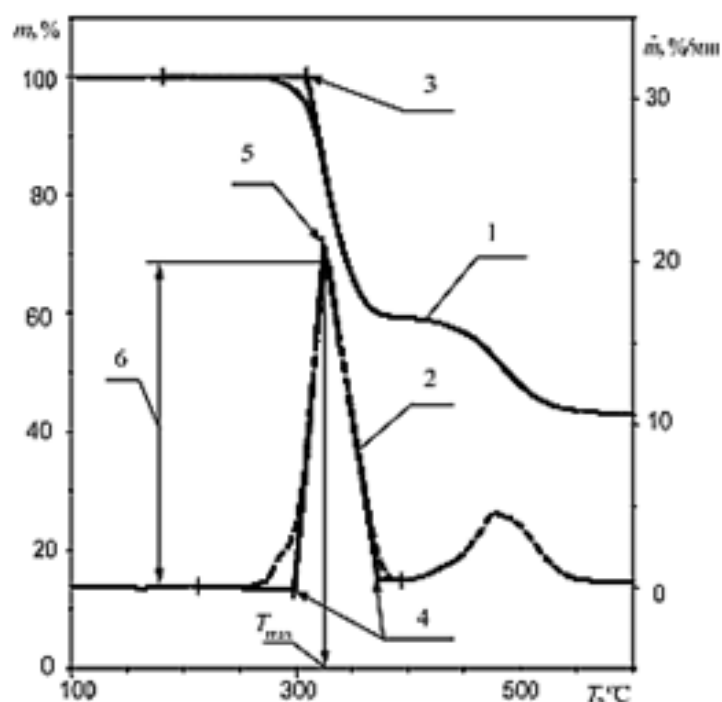


Рисунок 3 – Модель определения экстраполированных температур (3, 4, 5) по ТГ(1) и ДТГ(2)-кривым: 1 – ТГ-кривая; 2 – ДТГ-кривая; 3 – экстраполированная температура начала процесса по ТГ-кривой; 4 – экстраполированные температуры начала и окончания процесса по ДТГ-кривой; 5 – экстраполированная температура максимума по ДТГ-кривой; 6 – амплитуда скорости потери массы по ДТГ-кривой

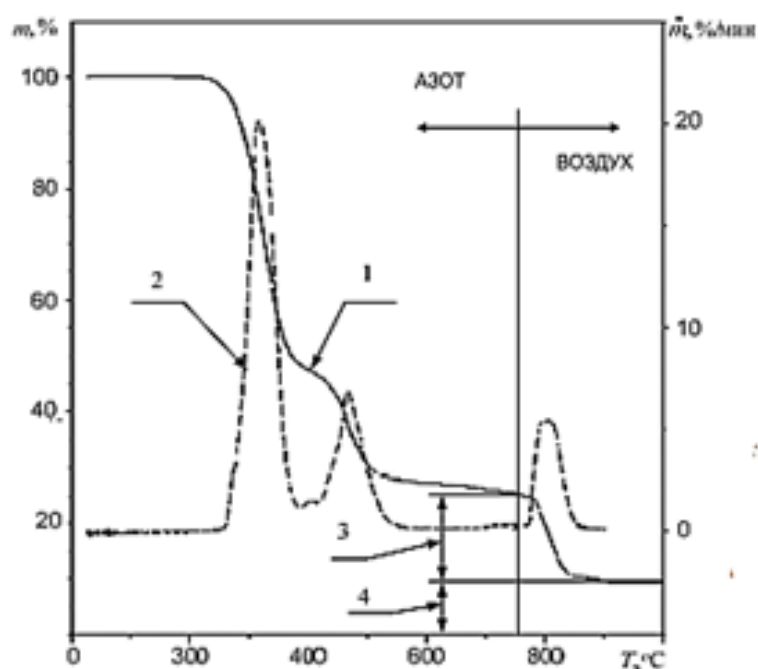


Рисунок 4 – Модель определения коксового и зольного остатков по термогравиметрической кривой (в координатах «сигнал – температура»): 1 – ТГ-кривая; 2 – ДТГ-кривая; 3 – коксовый остаток при 750 °С; 4 – зольный остаток при 900 °С

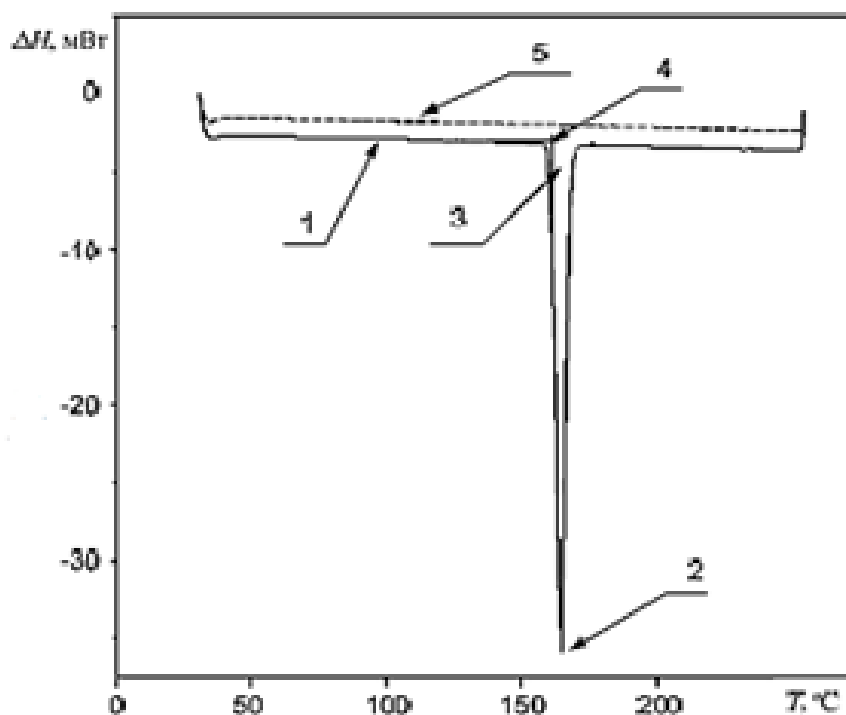


Рисунок 5 – Модель определения характеристик плавления по ДСК-кривой (в координатах «сигнал – температура»): 1 – ТДС-кривая; 2 – температура экстремума теплового эффекта плавления; 3 – тепловой эффект плавления; 4 – экстраполированная температура начала плавления; 5 – нулевая линия

Качественные характеристики термического анализа представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Качественные характеристики термического анализа

Наименование характеристики	Описание
интервалы температур	внутри них происходят процессы деструкции по ТГ- и ДТГ-кривым или тепловых эффектов по ДТА (ДСК)-кривым
температура	экстраполированные значения температуры начала и окончания протекания термоаналитических эффектов
тепловые эффекты в абсолютных единицах, Дж/г	определяются по ДСК-кривым или в относительных единицах, °С·мин/мг, по ДТА-кривым

Приборы, используемые в целях осуществления идентификации методами термического анализа должны быть оснащены соответствующим программным обеспечением (таблица 5).

Таблица 5 – Программное обеспечение, необходимое для приборов термического анализа

№ п/п	Наименование ПО
1.	модульные – каждому методу соответствует один прибор (например, только ТГ или только ДТА)
2.	совмещенные – разные методы (ТГ, ДТА или ДСК) реализуются одним прибором
3.	с горизонтальным или вертикальным размещением реакционных камер и механизмов весов
4.	одно- или двухчашечные

В результате применения таких методов, как ТГ, ДТА или ДСК получение автоматического представления измеряемого сигнала достигается за счёт ПО в виде зависимости «сигнал–температура» или «сигнал–время».

К термовесовым устройствам также предъявляются соответствующие требования, представленные в таблице 6.

Таблица 6 – Требования к термовесовым устройствам

№ п/п	Описание требования
1.	взвешивание образца должно проводиться с точностью $\pm 0,1$ мг или выше
2.	температурный диапазон нагрева – не менее $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$
3.	погрешность измерения температуры – не более $2\text{ }^{\circ}\text{C}$
4.	скорость нагрева – от $5\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{мин}$ до $20\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{мин}$
5.	возможность осуществлять контроль атмосферы на входе в реакционную камеру и на выходе из нее
6.	возможность устанавливать расход продувочного газа с регулировкой $\pm 10\%$

Также в таблице 7 описаны требования к дифференциальным сканирующим калориметрам.

Таблица 7– Требования к дифференциальным сканирующим калориметрам

№ п/п	Описание требования
1.	обеспечение возможности работать с постоянными скоростями нагрева в диапазоне от 1 °С/мин до 20 °С/мин
2.	погрешность измерения температуры не более 1 °С
3.	чувствительность не хуже 10 мкВт
4.	динамическая атмосфера с возможностью устанавливать скорость потока продувочного газа с регулировкой ± 10 %
5.	температурный диапазон нагревания не менее 500 °С

В таблице 8 представлены требования к дифференциально-термическим анализаторам.

Таблица 8 – Требования к дифференциально-термическим анализаторам

№ п/п	Описание требования
1.	обеспечение возможности работать с постоянными скоростями нагревания в диапазоне от 5 °С/мин до 20 °С/мин
2.	погрешность измерения температуры – не более 2,5 °С
3.	чувствительность не хуже 0,1 мВ
4.	динамическая атмосфера с возможностью устанавливать скорость потока продувочного газа с регулировкой ± 10 %
5.	температурный диапазон нагревания не менее 1000 °С

1.2. Термические характеристики материалов

1.2.1. Температура

Температура – физическая величина, которая характеризует термодинамическую систему и связана напрямую с тепловой энергией. Изменение таких термометрических свойств, как: ЭДС, электрическое сопротивление, объем, интенсивность излучения, давление, позволяет судить об изменении температуры. При проведении экспериментальной части исследования температура определяется с помощью измерительного инструмента и температурной шкалы с учётом указания способа ее измерения.

Внутри твердых тел по механизму теплопроводности происходит передача тепла. Теплопроводность – способность материальных тел к переносу энергии от более нагретых частей тела к менее нагретым частям тела, осуществляемому хаотически движущимися частицами тела. Такой теплообмен может происходить в любых телах с неоднородным распределением температур, при этом механизм переноса теплоты зависит от строения вещества.

Одним из ключевых термодинамических параметров, определяющих состояние термодинамической системы (V, P, S), является температура (T).

Работа, совершаемая системой, определяется как произведение давления на изменение объема:

$$da = pdV \quad (1)$$

Таблица 9 – Приборы для измерения температуры

Наименование прибора	Описание прибора	Примеры
Термометры	<p>применяются для измерения температуры контактным методом: термометр или термодатчик погружен в измеряемую среду (вещество) и имеет одинаковую с ней температуру</p>	<p>- термометры расширения, основанные на явлении теплового расширения жидкости (жидкостные) или твердого тела (дилатометрические и биметаллические);</p> <p>- манометрические термометры, использующие зависимость между температурой и давлением газа или паров жидкости в замкнутом сосуде;</p> <p>- термометры сопротивления, использующие зависимость электрического сопротивления металлов или полупроводников от температуры;</p> <p>- термоэлектрические термометры (термопары), использующие зависимость между термо-эдс, развиваемой термопарой (горячим спаем) из двух различных проводников, и разностью температур спаев и свободных концов термопары.</p>
Пирометры	<p>применяются для измерения температуры бесконтактным методом, когда информация о температуре тела передается от него измерителю посредством электромагнитного излучения (видимого или инфракрасного). Чувствительным элементом в пирометрах служит обычно фотоэлектрический преобразователь, использующий явление фотоэффекта (внешнего или внутреннего).</p>	<p>оптические и фотоэлектрические пирометры:</p> <p>- оптические позволяют визуально определять температуру нагретого тела путём сравнения его свечения с яркостью или цветом свечения эталонной нити (яркостные и цветовые пирометры соответственно);</p> <p>- радиационные (в том числе инфракрасные) пирометры измеряют температуру по тепловому электромагнитному излучению.</p> <p>пирометры флуоресцентные, интерферометрические, на основе растворов, меняющих цвет при температурном воздействии, акустические</p>

1.2.2. Тепловые эффекты превращений

При изменении температуры во многих веществах происходят изменения (превращения), сопровождающиеся поглощением или выделением тепловой энергии (тепловой эффект). Эти превращения связаны обычно с перестройкой атомно-молекулярной структуры вещества и соответственно с изменением энергии межатомного и межмолекулярного взаимодействия, т.е. потенциальной энергии. К числу таких процессов относятся агрегатные и полиморфные превращения, рекристаллизация пластически деформированных металлов и др. Если в веществе не происходят химические изменения, то агрегатные и полиморфные превращения при нагреве сопровождаются поглощением тепла (эндотермические превращения), а при охлаждении – выделением тепла (экзотермические превращения). Рекристаллизация пластически деформированных металлов происходит только при нагреве и сопровождается всегда выделением тепла. Тепловыми эффектами сопровождаются и химические реакции, которые могут быть как эндо-, так и экзотермическими.

Для всех этих процессов наибольший интерес представляет экспериментальное определение основного энергетического параметра – удельной теплоты превращения или теплоты реакции.

1.3. Методы термического анализа

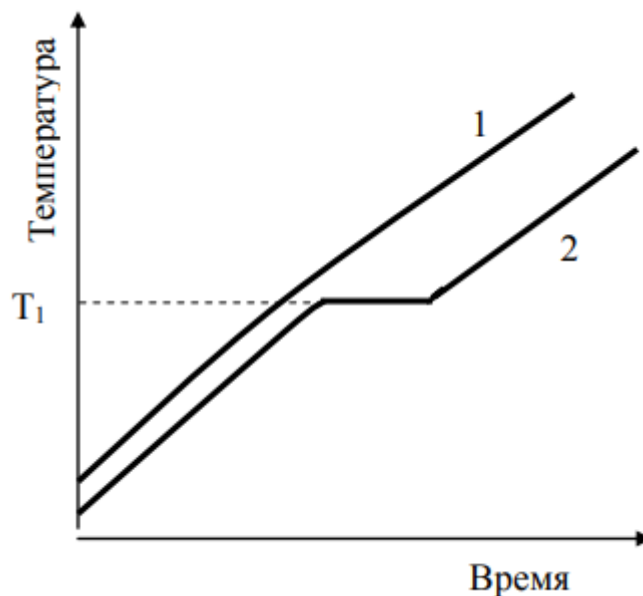
1.3.1. Визуальный метод

Появление видимых изменений (изменение формы, появление окраски образцов, выпадения кристаллов, исчезновения мути в системе двух несмешивающихся жидкостей) в ходе проведения экспериментального исследования (нагрева/охлаждения образца) представляет собой метод термического анализа – визуальный метод.

1.3.2. Метод кривых нагрева и охлаждения

Данный метод состоит в том, что образец исследуемого материала помещается в печь, которая монотонно (желательно с постоянной скоростью) нагревается. При этом обеспечивается постоянный (монотонный) подвод

тепла к образцу. Ведется запись термограммы – графика зависимости температуры образца от времени. Если в веществе не происходит никаких структурных или фазовых превращений, то получается монотонная кривая (кривая 1 на рисунке 6).



**Рисунок 6 – Термограммы нагрева: 1 – нет превращений;
2 – превращение первого рода при температуре T_1**

Если же в образце при некоторой температуре T_1 происходит какое-либо превращение с выделением или поглощением тепла, монотонность кривой нагрева нарушится, на ней появятся особые точки. Например, процесс плавления однокомпонентного вещества сопровождается образованием на кривой нагрева горизонтального участка (кривая 2 на рисунке 6), так как плавление происходит при постоянной температуре.

1.3.3. Дифференциальный термический анализ (ДТА)

Дифференциальный метод термического анализа, изображенный на рисунке 7, является наиболее точным, поскольку нагревание (охлаждение) исследуемого материала проводится совместно с веществом, которое в условиях опыта не имеет превращений (эталон).

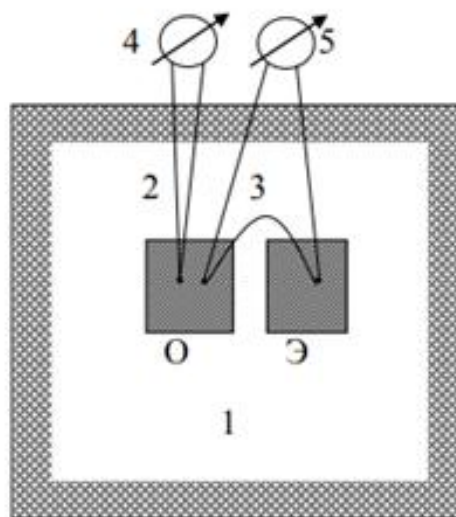


Рисунок 7 – ДТА: 1 – печь; 2 – обычная термопара, 3 – дифференциальная термопара; 4 и 5 – измерительные приборы; O – исследуемый образец; Э – эталон

В данном методе фиксирование показателей температуры осуществляется при помощи трех термопар: 1-ая измеряет температуру образца (или печи), 2-ая и 3-ья – дифференциальные термопары, включены навстречу друг другу.

Равномерное изменение температуры печи влечёт за собой аналогичное преобразование температуры образца и инертной среды, в которой осуществляется экспериментальное исследование, учитывая, что токи двух термопар компенсируют друг друга до начала возникновения реакции в испытуемом образце. Следовательно, с этого времени прекращается равномерное повышение температуры испытуемого образца. В работе [4] отмечено, что разность потенциалов между полюсами термопары с образцом остается неизменной или же начинает быстрее повышаться, поскольку возникающая разность не может компенсироваться равномерно возрастающим напряжением второй пары, измерительное устройство фиксирует показания, соответствующие величине разности температур. В результате чего на кривой ДТА появляется пик, направление которого

указывает, является ли реакция эндотермической (рисунок 8 (1)) или экзотермической (рисунок 8(2)).

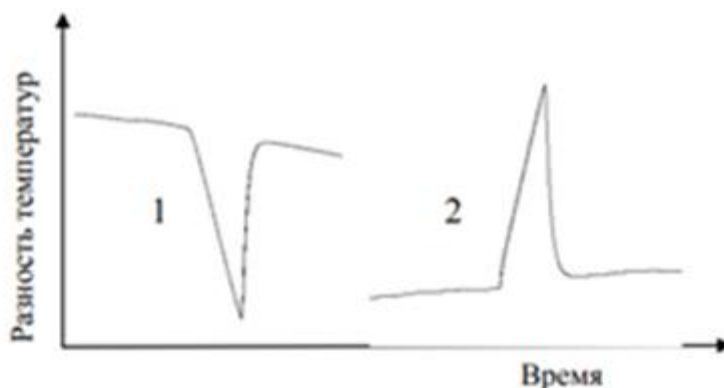


Рисунок 8– Дифференциальная термограмма при наличии фазового перехода: 1 – эндотермического и 2 – экзотермического

В целях обеспечения высокой точности дифференциального метода на практике используют более чувствительные измерительные устройства и из полученных результатов по виду простой кривой нагревания (охлаждения) определяется характер превращений, а для более точного определения температуры превращения используется дифференциальная кривая.

Кроме того, термический анализ впервые был применен при изучении геологических пород, сплавов и минералов. Например, метод ДТА позволяет получить количественные характеристики таких превращений, как теплота реакций или фазовый состав.

1.3.4. Дифференциальная сканирующая калориметрия (ДСК)

Измерение теплового потока, необходимое для поддержания одинаковых температур образца и эталона в заданных условиях, представляет собой метод дифференциальной сканирующей калориметрии. Тепловые эффекты в данном методе рассчитываются по площади пиков, что позволяет получить более точный результат, в отличие от метода ДТА. Вместе с тем, тепловой поток представляется в виде функции от температуры.

1.3.5. Термогравиметрический анализ (ТГА)

Метод анализа, проводимый в условиях изменения температуры среды и сформированный на регистрации изменения массы в зависимости от температуры исследуемого образца, называется термогравиметрия. По результатам, полученным из термогравиметрических кривых, исследуются такие параметры, как температура разложения, влажность материала и т.д.

Существует два способа проведения термогравиметрического эксперимента:

- 1) изотермический ($T_{\text{печи}} = \text{const}$);
- 2) динамический (изменение $T_{\text{печи}}$ при постоянной скорости нагрева во времени).

1.3.6. Синхронный термический анализ (СТА)

Комбинация методов термогравиметрии и дифференциальной сканирующей калориметрии представляет собой синхронный термический анализ, при помощи которого в абсолютно идентичных условиях проводятся измерения потоков теплоты и массы.

Данный вид анализа позволяет проводить термогравиметрические и калориметрические измерения на одном образце и в одном приборе. Преимущества данного метода заключаются в том, что условия исследования идентичны двух видов измерений (калориметрических и термогравиметрических): скорость нагрева, атмосфера, поток газов, давление пара на образец, тепловой контакт тигля с образцом и сенсором и т.д.).

1.4. Пожарная опасность полимеров и их классификация по горючести

Пожарная опасность является существенным фактором, сдерживающим внедрение полимерных материалов.

Пожарная опасность материалов определяется характеристиками, представленными в таблице 10.

Таблица 10 – Характеристики пожароопасности материалов

№ п/п	Наименование характеристики	Описание характеристики
1.	Горючесть	Способность материала загораться, поддерживать и распространять процесс горения
2.	Дымовыделение	Образуется при горении и воздействии пламени
3.	Токсичность продуктов горения и пиролиза	Разложение материала под действием высоких температур
4.	Огнестойкость	Способность материала сохранять физико-механические (прочность, жесткость) и функциональные свойства изделия при воздействии пламени

Вместе с тем, горючесть – комплексная характеристика материала или конструкции, которую можно классифицировать по показателям, объединенным в 4 группы (таблица 11).

Таблица 11 – Характеристики пожароопасности материалов

№ п/п	Наименование группы	Показатели группы
1.	Температурная	Температура воспламенения и самовоспламенения
2.	Кинетическая	Скорость распространения пламени, скорость горения
3.	Концентрационная	Содержание горючего вещества и окислителя, необходимого для горения
4.	Тепловая	Показатель возгораемости, теплота сгорания

Горение полимерных материалов сопровождается сложными физико-химическими процессами (как внутри материала, так и на его поверхности): реакции деструкции, различные фазовые переходы, окисления газовых продуктов и т.д. В результате процесса горения, нагретые до высоких температур полимерные материалы превращаются из исходных веществ в продукты сгорания.

Проблема снижения горючести и воспламеняемости полимерных материалов, а также создание пожаробезопасных материалов является актуальной и требует поиска высокоэффективных решений.

1.4.1. Поражающие факторы при горении полимерных материалов

Основные поражающие факторы при горении полимерных материалов:

- 1) опасность дыма при пожаре;
- 2) продукты разложения и горения.

Дым в условиях пожара опасен для человека в совмещенном действии.

Дым – сложная система, представляющая собой совокупность дисперсной и газообразной фаз. Твердые частицы сажи, золы, смоляные частицы представляют дисперсную фазу дыма. При этом газообразные продукты полного и неполного горения: оксид углерода (IV), оксид углерода (II), водород, углеводороды, азот, водяной пар и др. образуют дисперсионную среду. Газообразная и дисперсная среды содержат продукты горения и разложения, что и является основной причиной летальных исходов при пожарах.

В дыму содержится большое количество частиц сажи и золы, что снижает видимость в задымленном помещении, в таких условиях эффективность тушения пожара падает, а также задымленность не дает возможности покинуть помещение самостоятельно. Если видимость в задымленном месте становится меньше 10–12 м, то у человека возникают панические атаки. Психологическое влияние задымленности – один из наименее вредных факторов. Содержащиеся в дыме твердые частицы проникают в дыхательные пути на различную глубину, растворимые частицы попадают в кров, а нерастворимые оседают в легких, бронхах, в связи с чем, дыхание затрудняется. Кроме того, дисперсная фаза с развитой поверхностью обладает большой сорбционной способностью. Токсины продуктов горения и разложения полимерных материалов способны сорбироваться на поверхности этой дисперсной фазы. Именно поэтому дым представляет большую угрозу для здоровья и жизни человека, и, следовательно, наиболее безопасным полимерным материалом будет считаться тот, что образует меньшее количество дыма [7].

Однако образование дыма не единственная опасность при горении полимеров, так как в продуктах их горения содержится множество разнообразных токсинов.

Полимерные материалы можно разделить на группы по специфичности продуктов разложения и горения: ПМ, образованные углеродом, водородом и кислородом; галогенсодержащие ПМ; азотсодержащие ПМ. Такое разделение позволяет разграниченно подойти к вопросам состава продуктов разложения и горения, а также дымообразующей способности [7].

К наиболее часто образующимся, потенциально опасным продуктам горения полимеров относятся: оксиды углерода (IV и II), сернистый газ, хлор, хлороводород, цианистый водород, альдегиды окислы, азота.

1.5. Введение наполнителей

Снижение горючести полимеров может быть достигнуто с помощью такого метода, как введение обладающих огнезащитными свойствами наполнителей. В ходе нагревания или при блокировке процесса горения негорючими или ингибирующими веществами такие наполнители приводят к изменению процесса деструкции полимера.

Также наполнители улучшают физико-механические свойства полимерных материалов, уменьшая расход сырья. Поэтому исследование данного направления представляет интерес с точки зрения экономики производства ПМ. Решение проблемы снижения горючести ПМ и изделий из них заключается в использовании негорючих наполнителей неорганической природы. Введение такого рода наполнителей в ПМ позволяет повлиять на условия массо- и теплообмена при горении, а также снизить содержание горючей составляющей материала.

Одним из неорганических соединений с хорошими огнезащитными свойствами является борная кислота. При нагревании борная кислота выделяет воду в эндотермическом процессе, что снижает температуру полимера и его разложение.

В предыдущих работах было установлено, что введение борной кислоты в эпоксидную матрицу в количестве 10 масс. % положительно влияет на термическую и термоокислительную деструкцию эпоксидных композитов и не приводит к ухудшению функциональных свойств композитов. Кроме того, борная кислота может оказывать большее влияние на улучшение термической стабильности эпоксидных композитов, когда она используется в сочетании с другими материалами.

Недостатком традиционных антипиренов является то, что их эффективность в снижении воспламеняемости материалов достигается, как правило, при относительно высоких концентрациях (50 масс. % и более). При этом структурные и функциональные свойства полимерных композитов могут значительно ухудшиться.

Также наполнители делятся на 2 группы с точки зрения взаимодействия их поверхности с полимерной матрицей: активные и неактивные. В целях снижения горючести ПМ наполнители вводят в большом количестве (>20 мас. %). При этом введение наполнителя в ПМ может давать обратный эффект: например, введение стекловолокна ухудшает горючесть композиционного материала. Следовательно, этот способ снижения горючести материалов требует выбора индивидуальных соответствующих наполнителей.

Вместе с тем, исследование снижения горючести полимеров с помощью добавок к полимерам веществ в нанодисперсном состоянии является актуальной темой на сегодняшний день, поскольку установлено, что при введении в полимер наноразмерных частиц значительно улучшаются барьерные, теплофизические и механические свойства полимеров.

Нанодисперсные материалы в отличие от обычных крупнозернистых антипиренов могут помочь решить проблему снижения воспламеняемости полимеров при относительно низких концентрациях (<5 мас.%).

Предполагается, что механизм действия нанодисперсных наполнителей – барьерный эффект.

Получение нанокompозитных материалов с повышенными свойствами: термостойкостью; ударопрочностью; модулем упругости, по отношению к газам и жидкостям делает ПМ весьма привлекательными в производстве: от упаковочных материалов до конструкционных изделий.

Исследования, проведенные в Национальном исследовательском Томском политехническом университете, подтвердили перспективность использования в качестве пламягасящих добавок нанопорошков, полученных методом электрического взрыва проводников. По результатам исследований в работе [9] отмечено, что при наполнении полимера от 0,5 до 10 масс. % термостабильности полипропилена с добавками нанопорошков гидроксида алюминия, бемита $\gamma\text{-AlOOH}$, байерита $\beta\text{-Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ свидетельствуют об уменьшении скорости окисления полипропилена. В ходе проведения исследования отмечено, что все добавки отщепляют воду в эндотермических процессах, и неустойчивы к окислению при нагревании до 400 °С,.

В работе [10] представлены результаты исследования возможности использования в качестве пламягасящей добавки в полиэтилен высокого давления электровзрывного нанопорошка нитрида алюминия. В результате исследования установлено, что по сравнению с исходным полиэтиленом для образца с наполнением 1,5 масс. % зафиксирован существенный рост температуры начала деструкции при 25 °С.

В результате проведения работы [11] выявлено, что введение нанопорошка алюминия в качестве наполнителя в малых добавках (до 5 масс. %) приводит к улучшению физико-механических характеристик и положительно влияет на термическую стабильность эпоксидных композитов. Также установлено, что введение в полимер НП алюминия обеспечивает формирование мелкокристаллической структуры полимера и приводит к снижению кинетической подвижности макромолекул.

Вместе с тем, перспективным направлением изучения снижения горючести ПМ является исследование влияния малых добавок нанодисперсных наполнителей (~ 1 масс. %).

1.6. Применение антипиренов

На сегодняшний день самым распространенным методом снижения горючести ПМ и изделий из них является применение антипиренов. К ним относятся неорганические и органические вещества, содержащие в своем составе: группировки с разным сочетанием элементов фосфора, азота, бора, галогенов, металлов. Антипирены можно разделить на два типа в зависимости от их взаимодействия с полимерами: инертные и реакционные. Инертные (антипирены аддитивного типа) механически совмещаются с полимером и являются наполнителями, вспенивающими агентами или структурообразователями, а также поверхностно-активными веществами.

На сегодняшний день наблюдается, что объем потребления инертных антипиренов снижается из-за их влияния на физико-химические и физико-механические свойства композиционных ПМ. В связи с чем, актуальность обретают антипирены реакционноспособного типа [9]. Такие антипирены, как окислы и гидроокиси металлов, неорганические соли, органические производные кислот фосфора и галогенсодержащие углеводороды входят в конечную структуру полимеров, поэтому для того чтобы их удалить, необходимо разрушить или разложить полимер.

Поскольку на сегодняшний день для большинства антипиренов не установлен детальный механизм их действия и не изучены окончательно физико-химические процессы превращения на всех стадиях горения материала, то в целях снижения горючести ПМ применяют антипирены в комбинации с веществами, усиливающими их эффективность.

Замедление процесса горения часто связывают с действием антипиренов на тепловой баланс процесса горения. Объясняется это тем, что в присутствии антипиренов, эндотермически разлагающихся с образованием негорючих продуктов (гидроокиси алюминия, цинка, магния,

гидратированные карбонаты металлов, мочевины и т.д.), затрачивается тепло, следовательно, понижается температура конденсированной фазы. Поэтому считают, что такие антипирены не сдерживают радикальные газофазные реакции. При этом уменьшение обратного теплового потока на поверхности горючего материала связано с тем, что негорючие продукты снижают температуру пламени и разбавляют топливо в пламенной зоне реакции [10].

Образование нелетучего остатка в виде окислов металлов при разложении неорганических соединений способствует формированию на горячей поверхности слоя, огнезащитные свойства которого зависят от его прочности и пористости. Антипирены, образующие плотные поверхностные защитные слои, создают физический барьер действию пламени на полимер и затрудняют диффузию горючих газов в пламя. Экспериментальные исследования доказывают, что эффективность снижения горючести ПМ можно добиться, применяя антипирены различных классов и влияя на усиление процессов, происходящих при горении. Например, в целях получения негорючих материалов на основе эпоксидных смол достаточно ввести фосфорсодержащий антипирен в количестве 5–6 % в расчете на фосфор. Такой же эффект может быть достигнут при введении до 30 % хлора или ~15 % брома в композиционный материал. При сочетании фосфора и брома этот эффект обнаруживается при значительно меньшем содержании элементов (2 % – фосфора и 5 % – брома).

Кроме того, антипирены должны соответствовать требованиям, которые обеспечивают стойкость в период эксплуатации пропитанных изделий: высокие огнезащитные свойства, ограниченное воздействие на организм человека и окружающую среду мутагенных, канцерогенных, токсичных исходных веществ и их продуктов разложения и сгорания, а также необходимо учесть технологические параметры его получения и переработки в изделие. Целесообразность таких ограничений определяется условиями эксплуатации и назначением ПМ. Вместе с тем, регулярно возрастают требования к конструкционным ПМ по тепло- и огнестойкости,

прочности, морозостойкости. При этом, теплоизоляционные материалы должны соответствовать следующим требованиям: более низкая теплопроводность, плотность, водопоглощение и повышенная огнестойкость.

Следовательно, модификация полимеров наполнителями, которые могут являться замедлителями горения, пластификаторами, наполнителями, позволит создавать новые композиционные полимерные материалы с необходимым комплексом свойств [12].

На сегодняшний день огнезащитные составы на основе сульфата аммония и фосфата, а также борной кислоты, буры и их смесей наиболее распространены в использовании на практике. Вместе с проявлением огнезащитных свойств составы на основе борной кислоты и буры проявляют антисептические свойства. Примеры таких составов смесей представлены в таблице 12.

Таблица 12 – Огнезащитные составы комбинаций смесей

№ п/п	Состав смеси
1.	сульфат аммония + гидрофосфат аммония + фторид натрия + вода
2.	фториднатрий + гидрофосфат натрия + сульфат натрия + вода
3.	борная кислота + бура + вода

Вместе с тем, сочетания хроммедных антисептиков с антипиреном на основе бора могут обеспечивать малую вымываемость и глубокую пропитку. Также отмечена эффективность смесей, представленных в таблице 13.

Таблица 13 – Составы хроммедных антисептиков с антипиреном на основе бора

№ п/п	Состав смеси
1.	борная кислота + карбонат натрия + пентахлорфенолят натрия
2.	борная кислота + бура + пентахлорфенолят натрия
3.	борная кислота + бура + сульфат меди + дихромат натрия (хромпик) + уксусная кислота

В [13] отмечено, что в современных исследованиях в комбинации с растворимыми антисептиками (борная кислота, бура, хроммедные

препараты и др.) успешно применяется фосфат мочевины, т.к. её конденсацией с ортофосфорной кислотой получают водорастворимый препарат, при введении 10–15% которого в древесину обеспечивается ее защита от возгорания при воздействии открытого огня.

Также не менее эффективным и часто применяемым на практике является один из известных замедлителей горения – борная кислота. Она представляет собой бесцветное кристаллическое вещество в виде чешуек и относится к слабым кислотам. Борная кислота применяется в качестве эффективного средства противопожарной защиты для древесно-содержащих материалов и целлюлозы.

Огнезащитные свойства борной кислоты представлены в таблице 14.

Таблица 14 – Огнезащитные свойства борной кислоты

№ п/п	Описание свойства
1.	при нагреве ПМ, содержащего борную кислоту, эндотермическая реакция выделения и испарения воды приводит к охлаждению зоны горения и предотвращению поступления кислорода в место горения, в связи с чем горение замедляется
2.	оксид бора размягчается при температуре выше 500 °С с образованием защитного стекловидного слоя. Образующаяся на поверхности материала защитная пленка способствует снижению потока тепла от источника тепла и поступления кислорода
3.	в результате горения образуется минимальное количество горючих компонентов, а в основном выделяется только углерод. Токсичность газообразных продуктов сгорания являются по отношению к необработанному материалу незначительной, и снижается вместе с количеством пожаростойких добавок, имеющих в этом материале

2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

2.1. Материалы и методики исследования

2.1.1. Характеристика исходных веществ

В данной научно-исследовательской работе использовалась эпоксидная смола ЭД-20. Качественные показатели эпоксидной смолы ЭД-20 представлены в таблице 15 (согласно ГОСТ 10587-84).

Таблица 15 – Качественные показатели эпоксидной смолы ЭД-20

Показатель	Характеристика
Внешний вид	высоковязкая прозрачная без механических включений и следов воды
Цвет по железокобальтовой шкале	не более 3
Динамическая вязкость	при 20 °С – 13-20 Па·с
Время желатинизации с отвердителем	не менее 8 ч

ЭД-20 применяется в промышленном производстве, как в чистом виде, так и в составе композиционных материалов (защитных покрытий, герметика, клея и т.д.). Низкие физико-механические и термические показатели, отсутствие эластичности, низкая теплостойкость и ударопрочность приводят к ограничению применения эпоксидной смолы ЭД-20 в чистом виде.

Устранение вышеперечисленных недостатков достигается посредством введения в состав эпоксидной композиции добавок, улучшающих эксплуатационные показатели эпоксидных покрытий.

Эпоксидная смола ЭД-20 не является взрывоопасной, но содержит такие летучие вещества, как толуол и эпихлоргидрин, относящиеся ко 2-му классу опасности по степени воздействия на организм человека, а также горит в источнике огня. При этом отвержденные эпоксидные составы отличаются незначительной усадкой и не выделяют летучие вещества.

В данной научно-исследовательской работе в качестве отвердителя эпоксидной смолы ЭД-20 использовался полиэтиленполиамин (ПЭПА).

ПЭПА – тёмноокрашенная жидкость с резким запахом аммиака (плотностью 950–1050 кг/м³). ПЭПА необходимо хранить в герметических емкостях, поскольку образуя раствор с водой, он частично гидролизует. Для отверждения 100 граммов эпоксидной смолы ЭД-20 массу ПЭПА следует выбирать в интервале от 10 до 15,75 граммов. Для отверждения композиций рекомендуются следующие условия: 24 часа при температуре 20-25 °С и в целях улучшения результата дополнительно 5 часов при температуре 80 °С.

В связи с тем, что получаемый в промышленности полиэтиленполиамин содержит 65–75 % процентов примесей, которые остаются в готовом изделии, получение прозрачного изделия с его применением невозможно. Следовательно, его не рекомендуется использовать, если готовое изделие предназначается для бытового использования [16].

Поскольку наполнители в нанодисперсном состоянии улучшают термические, диэлектрические и механические свойства при добавлении всего нескольких процентов от массы для проведения экспериментального исследования в качестве наполнителя был выбран НП железа (рисунок 9). Наполнитель был получен с помощью электрического взрыва железного проводника и вводился в эпоксидную смолу в концентрации 5 масс. %.

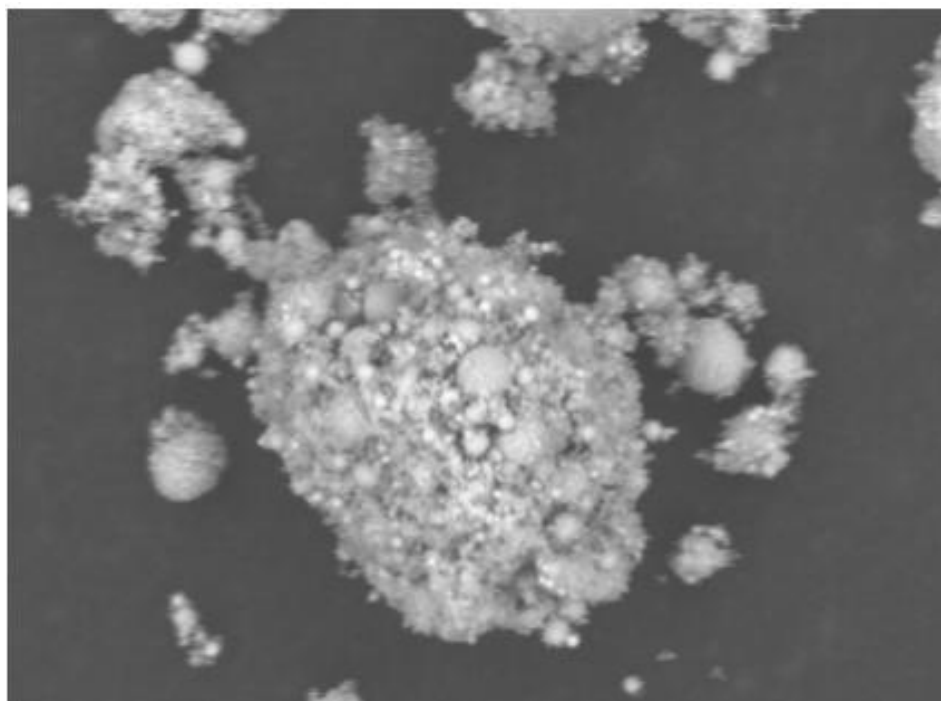


Рисунок 9 – Микрофотография НП железа

Следующий наполнитель, который использовался для проведения экспериментального исследования – гидроксид алюминия.

Гидроксид алюминия (далее – ГА) – антипирен, применяющийся для снижения горючести не только термопластичных, но и терморезистивных полимеров. Является альтернативным вариантом весьма не экологичных галогенсодержащих антипиренов и используется как в чистом виде, так и в комбинации с другими антипиренами.

В основе огнезащитных свойств антипирена ГА лежат процессы, представленные в таблице 16.

Таблица 16 – Процессы огнезащитных свойств антипирена ГА

Процесс	Механизм действия
Снижение температуры в зоне горения	ГА понижает температуру в зоне горения, уменьшает скорость горения и разложения материала, т.к. поглощает часть теплоты
Нейтрализация и разбавление токсичных газов	Образующаяся в результате разложения ГА вода, способствует разбавлению выделяющихся в процессе горения газов, снижая их концентрацию и значительно уменьшая дымовыделение. Этот процесс является основным отличием ГА от органических антипиренов.
Образование парового барьера	Образующийся пар на поверхности частиц антипирена способствует уменьшению доступа кислорода к зоне горения
Образование изолирующего барьера	Образующиеся при разложении антипирена частицы оксид алюминия, способствуют формированию на поверхности полимера защитного слоя, тем самым изолируя полимер от пламени

Использование ГА в качестве антипирена-наполнителя позволяет снизить горючесть материала за счет увеличения доли негорючей минеральной составляющей.

Основные преимущества его использования заключаются в низкой себестоимости и в том, что продукты разложения данного антипирена при горении материалов не загрязняют окружающую среду [9].

Следующий, используемый наполнитель – полифосфат меламина. Полифосфат меламина – химическое вещество, производное от меламина, которое в отличие от обычного меламина, обладает более низкой растворимостью в воде и более высокой термической стабильностью. Эффективно используется в рецептурах огнезащитных материалов (красок, лаков и мастик). Полифосфат меламина экологически безопасен и не

содержит тяжелые металлы. Используется как самостоятельный антипирен в огнезащитных составах, так и в комбинации с другими огнезащитными составами, чтобы улучшить общий эффект. Обеспечивает отличные механические и электрические свойства материала, может быть включен в различные композиции, в том числе окрашенные. Полифосфат меламина представляет собой мелкодисперсный кристаллический порошок белого цвета, не имеет запаха.

Полифосфат меламина диссоциирует и возгоняется при нагревании. В его парах начинается интенсивная термодеструкция. Данные процессы обеспечивают отвод тепла на начальных стадиях возгорания, поскольку являются сильно эндотермическими.

Полифосфат меламина обладает рядом преимуществ, перечисленных в таблице 17.

Таблица 17 – Преимущества полифосфат меламина

№ п/п	Описание преимущества
1.	несмотря на высокую стоимость, существенно упрощает и удешевляет процесс производства огнезащитных составов, так как заменяет добавку сразу нескольких компонентов
2.	обладает высокой температурой разложения (350°С)
3.	обеспечивает отличные механические и электрические свойства материалам
4.	относится к IV классу опасности (малоопасное)

Следует отметить, что при сгорании и разложении меламина выделяется такие газы, как азот и аммиак, которые не поддерживают процесс горения. Также установлено, что при сгорании материалов, наполненных меламином, не выделяется сильно токсичных продуктов.

Образование дымовых газов с повышенной кислотностью является недостатком меламина. При горении наполненных меламином материалов наблюдается формирование пористого барьерного слоя, препятствующего горению. В присутствии соединений фосфора, за счет формирования при горении соединений со связями N-P, обладающими высокой

термостабильностью и инертностью, эффект формирования барьерного слоя может быть усилен. Поэтому эффективным является применение синергических смесей или химических соединений меламина, в частности, фосфатов и полифосфатов.

2.1.2. Получение эпоксидных композитов

В данной научно-исследовательской работе для получения эпоксидных композитов использовалась эпоксидная смола ЭД-20, в качестве наполнителей-антипиренов – гидроксид алюминия (далее – ГА), полифосфат меламина (далее – МПФ). Для сравнения термических показателей были изготовлены образцы чистой эпоксидной смолы без наполнителя, а также образцы в комбинации наполнителей-антипиренов с НП железа. Состав образцов эпоксидных композитов, для которых проводился термический анализ, представлен в таблице 18.

Термическая стабильность полученных модифицированных образцов эпоксидных композитов была исследована методом термического анализа в режиме линейного нагрева до 900 °С в атмосфере воздуха.

Таблица 18 – Состав образцов эпоксидных композитов

№ п/п	Наименование образца	ЭД-20, мас. %	ПЭПА, мас. %	Гидроксид алюминия, мас. %	Полифосфат меламина, мас. %	НП железа, мас. %
1.	Э0	100	10	0	0	0
2.	ЭГА2	100	10	2	0	0
3.	ЭГА5	100	10	5	0	0
4.	ЭГА10	100	10	10	0	0
5.	ЭГА15	100	10	15	0	0
6.	ЭГА10Ж5	100	10	10	0	5
7.	ГА100	0	0	100	0	0
8.	ЭМПФ2	100	10	0	2	0
9.	ЭМПФ5	100	10	0	5	0
10.	ЭМПФ10	100	10	0	10	0
11.	ЭМПФ15	100	10	0	15	0

12.	ЭМПФ10Ж5	100	10	0	10	5
13.	МПФ100	0	0	0	100	0

На рисунке 10 представлены образцы полученных эпоксидных композитов: без наполнителя – Э0 (образец 1), с наполнителем ГА (образцы 2-5), комбинация ГА и НП железа (образец 6).

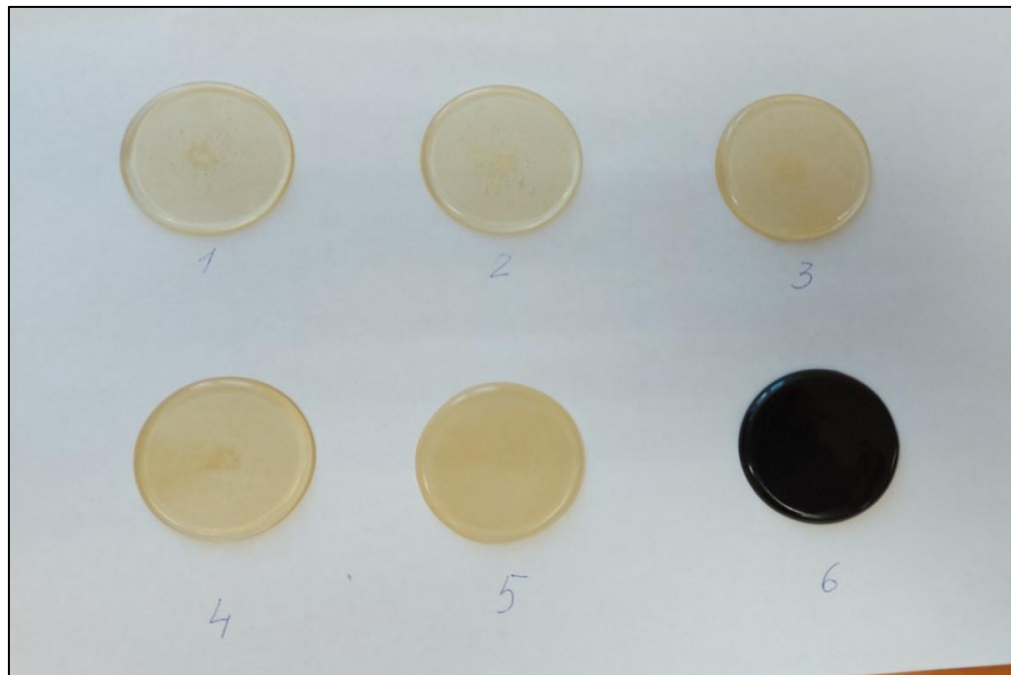


Рисунок 10– Образцы эпоксидных композитов с наполнителем ГА

На рисунке 11 представлены образцы эпоксидных композитов: без наполнителя – Э0 (образец 1), с наполнителем МПФ (образцы 2-5), комбинация МПФ и НП железа (образец 6).



Рисунок 11 – Образцы эпоксидных композитов с наполнителем МПФ

Для проведения эксперимента было подготовлено по пять образцов каждой серии испытания, включая нулевой образец, без наполнителя, а также 6-ой образец в каждой серии был изготовлен в комбинации наполнителя и НП железа. В соответствии с методикой определения показателей пожаровзрывоопасности образцы не отличаются по массе более чем на 2%. Перед началом испытания каждый образец был взвешен и определена масса с точностью до 0,1 г.

2.2. Определение температуры воспламенения

Температура воспламенения – наименьшая температура вещества, при которой в условиях специальных испытаний вещество выделяет горючие пары и газы с такой скоростью, что при воздействии на них источника зажигания наблюдается воспламенение [10].

В целях совершенствования мероприятий по обеспечению пожарной безопасности и определения групп горючести веществ проводятся исследования температуры воспламенения исследуемых образцов. Экспериментальный метод определения температуры воспламенения основан на нагревании материала, при котором происходит зажигание выделяющихся паров, после чего фиксируется наличие воспламенения при установленной температуре [19].

Испытания проводили на установке для определения температуры воспламенения и самовоспламенения твердых веществ и материалов при постоянной температуре рекреационной печи. Принцип работы установки основан на задании постоянного температурного режима в реакционной печи и воздействии пламени горелки. После внесения в реакционную печь исследуемых образцов производился контроль показателей температуры.

2.3. Термический анализ

В данной научно-исследовательской работе идентификация материалов и оценка их пожарной опасности проводилась на основании

метода термического анализа в соответствии с [14]. Регистрация изменения физических и химических свойств, протекающих в исследуемых образцах при их нагревании с определенной скоростью в инертной среде представляет собой метод термического анализа.

Термический анализ в данной работе проводился с использованием термоанализатора ТГА/ДСК/ДТА SDT Q600. Скорость нагрева изучаемых образцов эпоксидных композитов составляла 10 °С/мин. Нагревание образцов осуществляли в атмосфере воздуха от температуры окружающей среды до температуры 900 °С.

2.4. Результаты исследований и их обсуждение

2.4.1. Температура воспламенения эпоксидных композитов

На основании экспериментального исследования, где в качестве наполнителей использовались порошки нанодисперсного металла – железа, а также традиционные антипирены – гидроксид алюминия, фосфорсодержащий антипирен (МПФ). Концентрация наполнителей в композициях составляла 10 мас. %.

В таблице 19 приведены составы исследованных образцов эпоксидных композитов, а также результаты среднеарифметических значений температур воспламенения данных образцов.

Таблица 19 – Составы образцов и результаты температур воспламенения исследуемых эпоксидных композитов

№	Образец	С _{наполнителя} , масс. %	Т _{воспл} , °С
1	Образец Э0 (без наполнителя)	0	307
2	ЭЖ5 (эпоксидная смола + НП железа 5 % мас.)	5	313
3	ЭБЖ10 (эпоксидная смола + НП железа 5 % мас. + борная кислота 10% мас.)	5	326
4	Образец с наполнителем МПФ	10	335
5	Образец с наполнителем Al(OH) ₃	10	347

Необходимо отметить следующие особенности протекания процесса горения: образец, не имеющий в составе наполнителей (Э0) при горении быстро вспыхивает и трудно поддается тушению.

Также в ходе испытания отмечено, что для образцов без наполнителя потеря массы составила 100%, при добавлении НП железа 5 % мас. – 35 %, при комбинации НП железа 5 % мас. и борной кислоты 10% мас. – 20%.

Так как введение данных наполнителей приводит к увеличению $T_{\text{воспл}}$, то представляется интерес более детально изучить процесс термической деструкции образцов при нагревании в зависимости от концентрации наполнителей-антипиренов и в комбинации с нанопорошком железа.

2.4.2. Результаты термического анализа

По полученным результатам термического анализа были построены графики зависимостей остаточных масс образцов, модифицированных наполнителями-антипиренами ГА (рисунок 12) и МПФ (рисунок 13) и их комбинаций с НП железа (рисунок 6), от температурных значений:

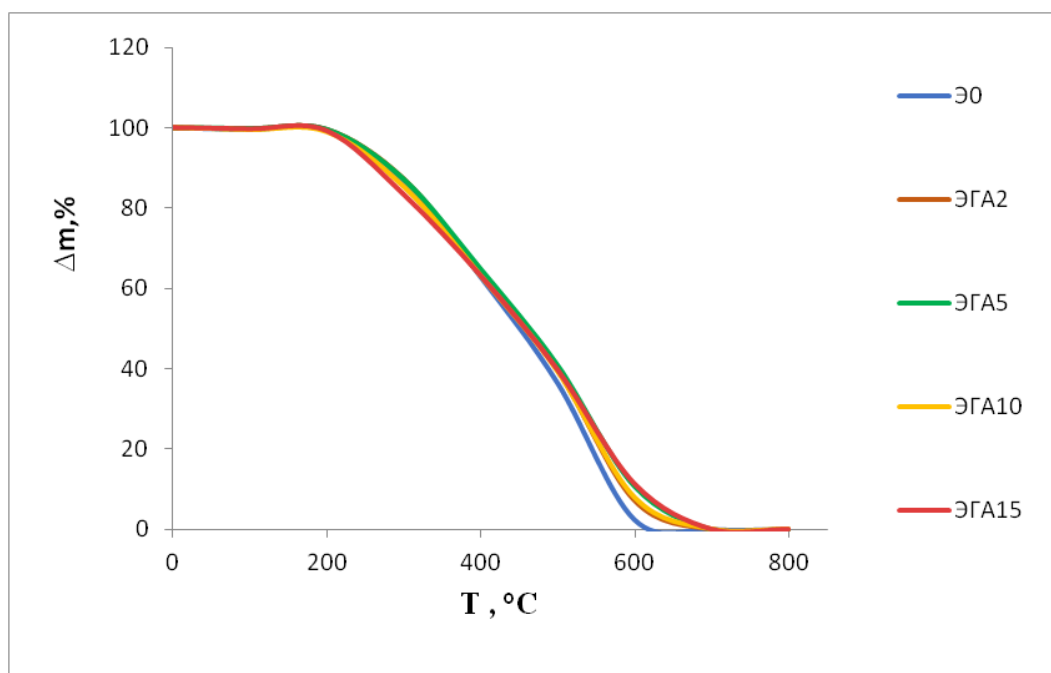


Рисунок 12 – Зависимость остаточной массы образцов с наполнителем ГА от температуры

По данным термического анализа температура разложения гидроксида алюминия составляет 220 °С.

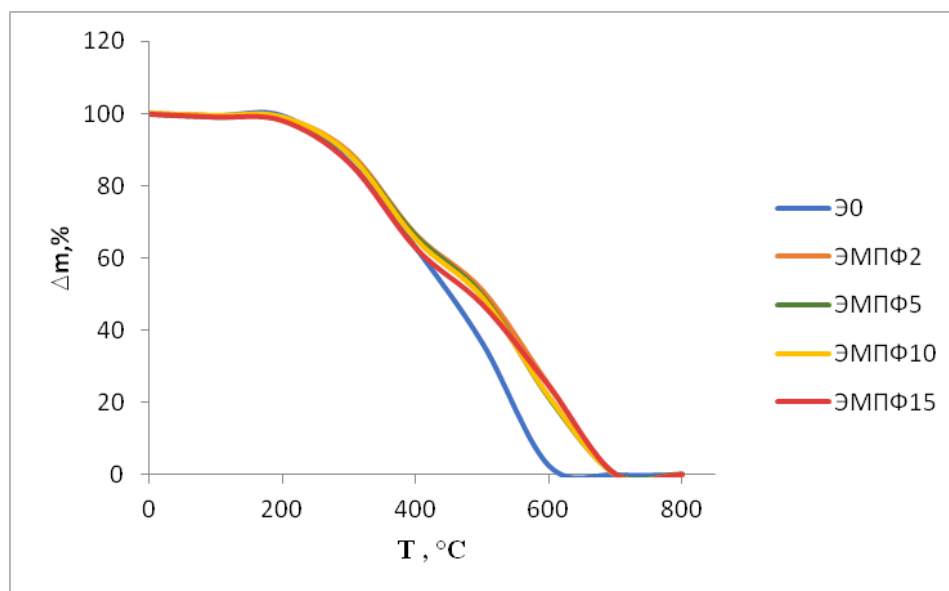


Рисунок 13 – Зависимость остаточной массы образцов с наполнителем МПФ от температуры

По данным термического анализа температура разложения меламина составила 330 °С.

Согласно результатам экспериментов по определению температуры воспламенения, введение гидроксида алюминия в эпоксидную матрицу более эффективно для снижения горючести полимера. С точки зрения повышения термической стойкости образцов более эффективным является введение МПФ в эпоксидную смолу.

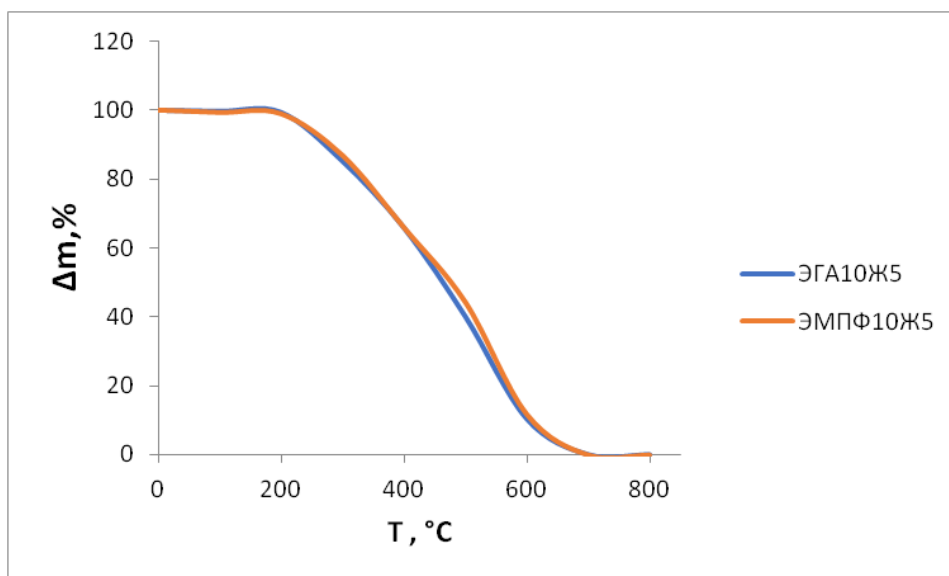


Рисунок 14 – Зависимость остаточной массы образцов с наполнителем НП железа от температуры

Результаты остаточных масс образцов с наполнителем ГА при фиксированных температурах 100, 200, 300, 400, 500 и 600 °С, полученные по данным термического анализа, представлены в таблице 20.

Таблица 20 – Остаточная масса образцов с наполнителем ГА при фиксированных температурах

T, °C	100	200	300	400	500	600
Образец	$\Delta m, \%$					
Э0	99,54	99,51	86,65	62,87	36,45	2,44
ЭГА2	99,90	99,72	87,39	64,21	39,67	7,22
ЭГА5	99,70	99,48	87,12	64,76	40,82	10,75
ЭГА10	99,45	98,90	85,24	63,06	39,27	7,86
ЭГА15	99,65	99,19	83,29	63,09	39,69	11,28
ЭГА10Ж5	99,68	99,38	85,22	65,88	40,09	10,40
ГА	99,83	99,49	83,51	70,88	68,43	65,94

По результатам таблицы 20 следует, что за счет увеличения концентрации наполнителя в эпоксидной смоле увеличивается остаточная масса образцов, что свидетельствует о положительном влиянии наполнителя ГА на процесс термоокислительной деструкции.

Результаты остаточных масс образцов с наполнителем МПФ при фиксированных температурах 100, 200, 300, 400, 500 и 600 °С, полученные по данным термического анализа, представлены в таблице 21.

Таблица 21 – Остаточная масса образцов с наполнителем МПФ при фиксированных температурах

T, °C	100	200	300	400	500	600
Образец	$\Delta m, \%$					
Э0	99,54	99,51	86,65	62,87	36,45	2,44
ЭМПФ2	99,24	98,73	89,25	66,40	50,92	24,45
ЭМПФ5	99,19	98,96	88,92	66,20	49,69	21,06
ЭМПФ10	99,45	98,96	88,69	65,13	49,03	21,56
ЭМПФ15	99,18	98,14	86,43	62,74	47,13	24,65
ЭМПФ10Ж5	99,31	98,93	86,86	65,96	44,33	11,80
МПФ	99,39	98,97	98,27	86,16	60,55	40,96

По результатам таблицы 21 следует отметить, что за счет увеличения концентрации наполнителя МПФ в эпоксидной смоле увеличилась остаточная масса образцов.

2.5. Влияние концентраций наполнителей на термическую стабильность образцов

На рисунке 15 представлена зависимость остаточных масс образцов при температуре окончания основной стадии термоокислительной деструкции в зависимости от концентраций наполнителя гидроксида алюминия (0, 2, 5, 10, 15 масс. %).

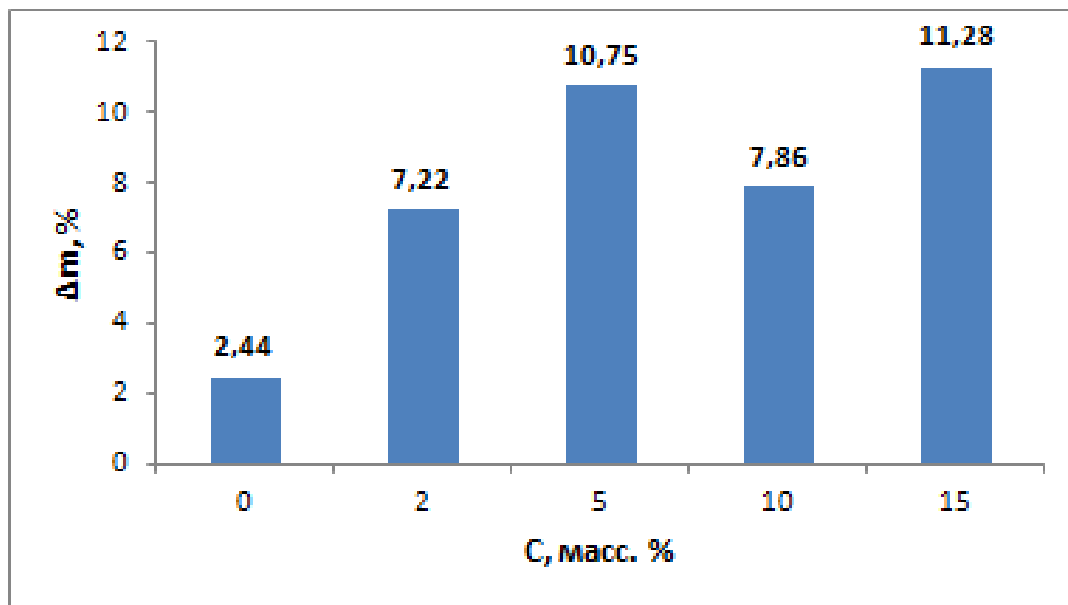


Рисунок 15 – Зависимость остаточной массы образцов от концентрации наполнителя ГА при T = 600 °C

Из графика, представленного на рисунке 15 следует: при концентрации наполнителя 15 масс. % остаточная масса образца составляет 11,28 масс. %, что на 9,36 % больше, чем для ненаполненного образца эпоксидной смолы, что свидетельствует о положительном влиянии наполнителя ГА на процесс термоокислительной деструкции.

Также на рисунке 16 представлена зависимость остаточных масс образцов при температуре окончания основной стадии термоокислительной деструкции в зависимости от концентраций наполнителя МПФ (0, 2, 5, 10, 15 масс. %)

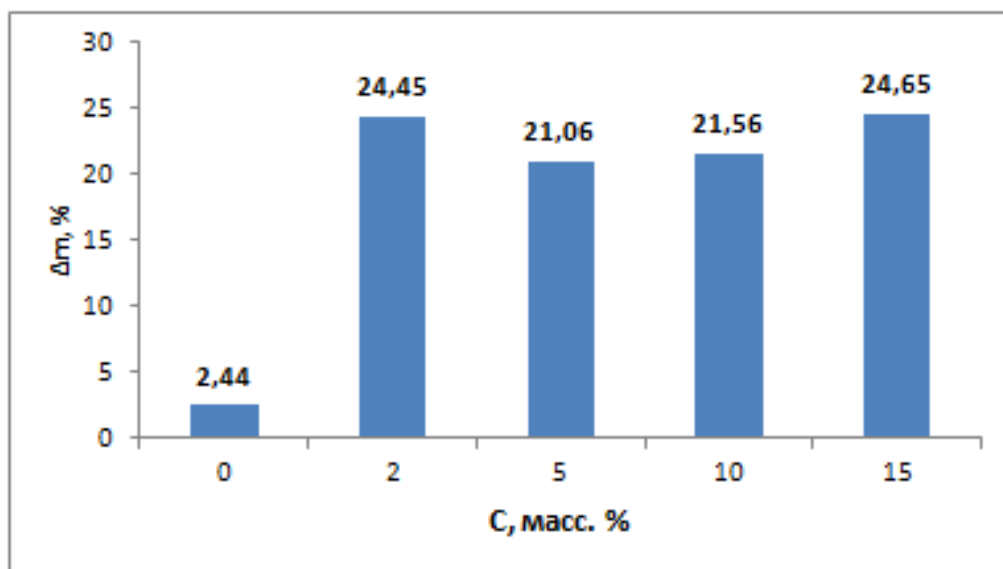


Рисунок 16 – Зависимость остаточной массы образцов от концентрации наполнителя МПФ при T = 600 °C

Из графика, представленного на рисунке 8, отмечено: при концентрации наполнителя 15 масс. % остаточная масса образца составляет 24,65 масс. %, что на 22,21 % больше, чем для ненаполненного образца эпоксидной смолы, что также подтверждает положительное влияние наполнителя МПФ на процесс термоокислительной деструкции.

По данным термического анализа определены температуры, соответствующие потере масс 5, 10, 50, 90 % для различных концентраций наполнителя ГА (таблица 22) и наполнителя МПФ (таблица 23).

Таблица 22 – Значения температур, соответствующие потере масс 5, 10, 50, 90 % (наполнитель – ГА)

T, °C	T5	T10	T50	T90
Образец				
Э0	275	290	455	560
ЭГА2	280	295	465	575
ЭГА5	280	295	470	610
ЭГА10	275	290	460	580
ЭГА15	275	285	460	615
ЭГА10Ж5	275	285	465	625
ГА	265	290	–	–

На рисунке 17 представлены температуры, при которых образцы с наполнителем ГА теряют 90% массы при нагревании. Из данного рисунка следует, что температура образца с комбинированным наполнителем 10% ГА и 5% железа является наибольшей и численно на 65 °С больше, чем у ненаполненного образца, что свидетельствует о наибольшей эффективности данной концентрации ГА в целях снижения горючести исследуемых образцов.

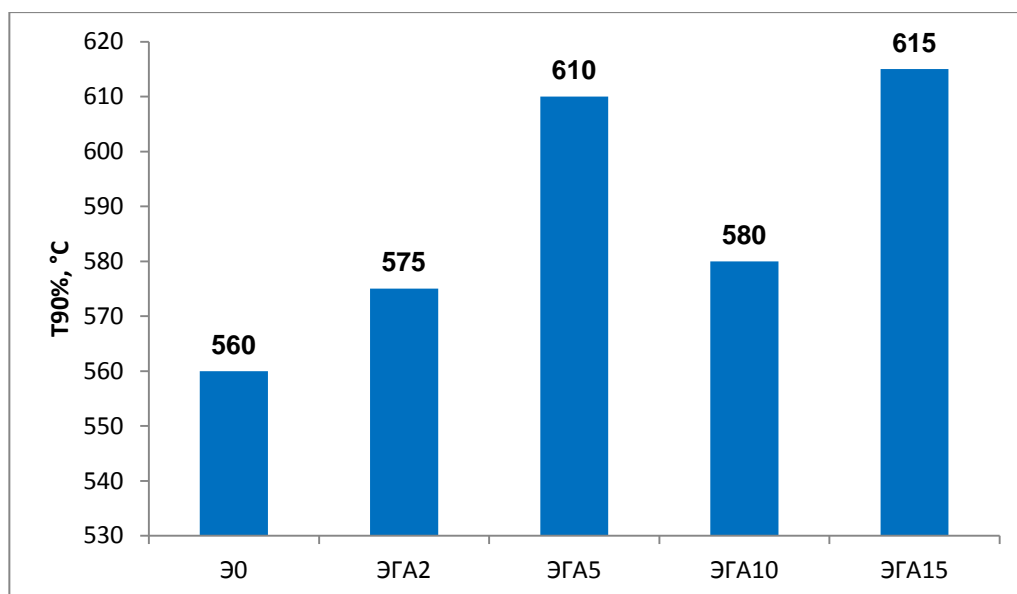


Рисунок 17 – Значения температур, при которых образцы с наполнителем ГА теряют 90% массы при нагревании

Таблица 23 – Значения температур, соответствующие потере масс 5, 10, 50, 90 % (наполнитель –МПФ)

Т, °С				
	T5	T10	T50	T90
Образец				
Э0	275	290	455	560
ЭМПФ2	280	295	500	650
ЭМПФ5	280	295	495	640
ЭМПФ10	275	295	495	645
ЭМПФ15	260	285	485	705
ЭМПФ10Ж5	275	290	480	610
МПФ	340	390	555	–

На рисунке 18 представлены температуры, при которых образцы с наполнителем МПФ теряют 90% массы при нагревании. Из данного рисунка следует, что температура образца с наполнителем 15% МПФ является

наибольшей и численно больше на 145 °С по сравнению с ненаполненным образцом. Это свидетельствует об эффективности увеличения данной концентрации МПФ в целях снижения горючести исследуемых образцов.

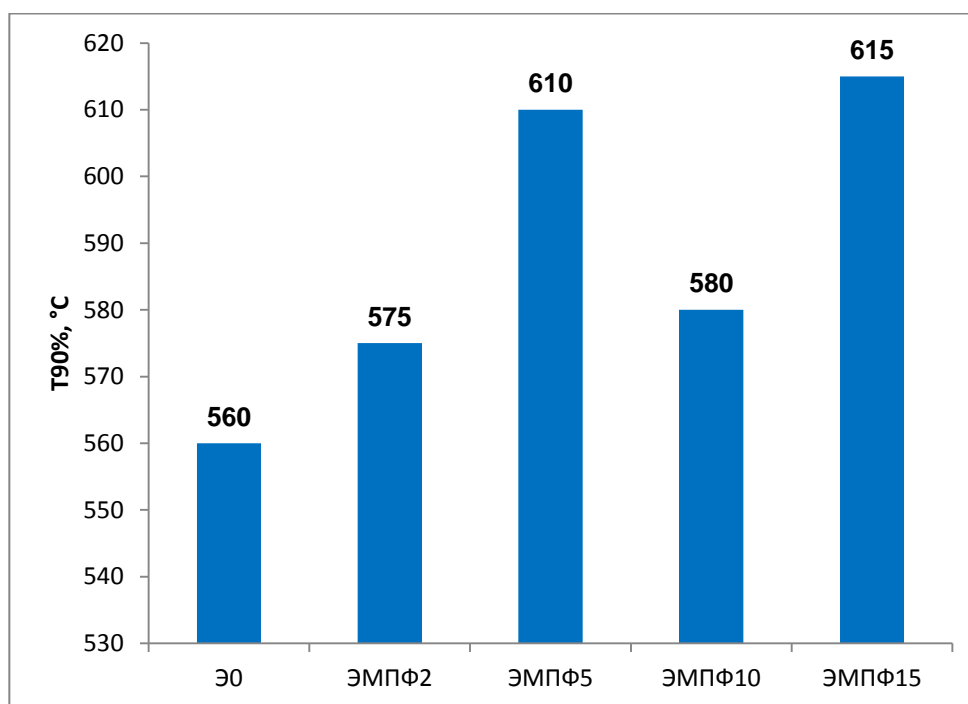


Рисунок 18 – Значения температур, при которых образцы с наполнителем МПФ теряют 90% массы при нагревании

Согласно результатам экспериментов по определению температуры воспламенения, введение гидроксида алюминия в эпоксидную матрицу более эффективно для снижения горючести полимера. С точки зрения повышения термической стойкости образцов более эффективным является введение МПФ в эпоксидную смолу. Так, значения температуры, соответствующее потере массы 50 %, для образца ЭМПФ15 составило 485 °С, что на 25 °С выше, чем для образца ЭГА15.

2.6. Влияние комбинации нанопорошка железа и антипиренов на термическую стабильность образцов

Из рисунка 18 следует, что комбинация МПФ с нанопорошком железа приводит к ускорению процесса деструкции в отличие от гидроксида алюминия.

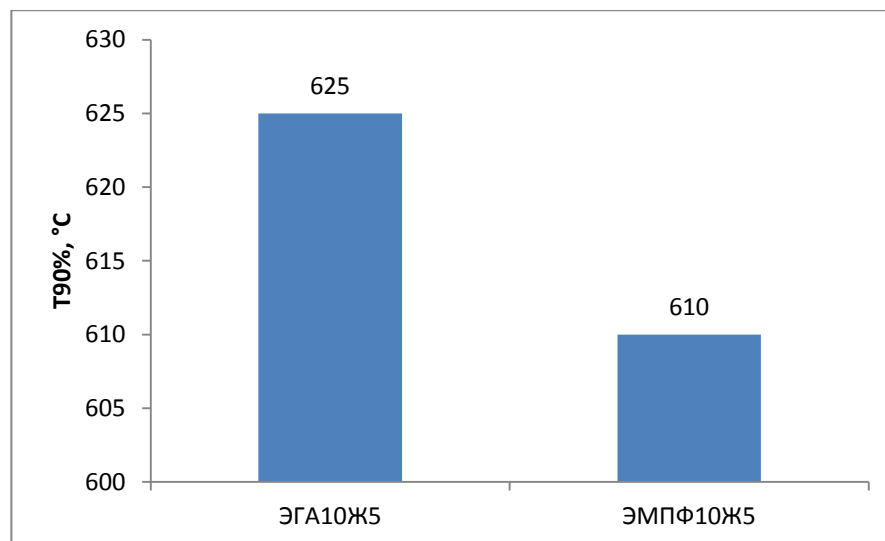


Рисунок 19 – Значения температур, при которых образцы с наполнителем НП железа теряют 90% массы при нагревании

Также отмечено, что в целях практического использования для снижения горючести эпоксидных полимеров можно рекомендовать использовать в качестве наполнителя МПФ индивидуально или гидроксид алюминия в комбинации с нанопорошком железа.

3. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

В современном мире наряду с натуральными материалами, используемыми в быту и строительстве, применяются полимерные материалы. Поэтому так важно проводить исследования в области пожароопасности и снижения горючести полимеров и полимерных композитов.

Введение добавок, снижающих пожарную опасность материалов, является эффективным способом снижения горючести полимеров. Однако выбор антипиренов является сложным, поскольку существует множество их вариаций, и каждый тип антипиренов имеет свои уникальные физико-химические свойства и соответствующую стоимость.

Целью данной работы является исследование влияния нанодисперсных металлов на показатели горючести эпоксидных композитов и термической стабильности эпоксидных композитов при введении в эпоксидную смолу замедлителей горения в качестве наполнителей в высокодисперсном состоянии.

Для обозначения цели работы были сформированы следующие задачи:

1. Определить потенциальных потребителей результатов исследования.
2. Провести анализ конкурентных технических решений.
3. Выполнить планирование управления научно-техническим проектом.
4. Рассчитать бюджет научного исследования.
5. Оценить социальную эффективность исследования.

Потенциальными заказчиками результатов ВКР могут быть производители полимерных материалов, конструкторы в области авиа- и автомобилестроения, представители испытательных пожарных лабораторий (ИПЛ), научно-исследовательские институты (НИИ), занимающиеся

исследованиями в области пожаробезопасности.

3.1. Предпроектный анализ

3.1.1. Потенциальные потребители результатов исследования

В целях проведения анализа потенциальных потребителей результатов проведённого исследования проанализирован целевой рынок и проведено его сегментирование. Результаты представлены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Карта сегментирования рынка в области пожаробезопасности

	Область применения		
	Разработка пожарной безопасности	Пожарные испытания	Применение пожаробезопасных материалов
Производители ПМ			
ИПЛ			
НИИ			
Авиа-, автомобилестроение			

■ – эпоксидные композиты с нанодисперсными наполнителями

Анализ сегментов рынка показывает, что исследования в области пожароопасности полимеров могут проводиться любым предприятием, работа которых ориентирована на испытания и разработки в области пожаробезопасности.

3.1.2. Анализ конкурентных технических решений

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения проводится с помощью оценочной карты, приведенной в таблице 3. 2.

Для оценки конкурентных методов была выбрана шкала от 1 до 5, где:

- 1 – наиболее слабая позиция;
- 2 – ниже среднего, слабая позиция;
- 3 – средняя позиция;
- 4 – выше среднего, сильная позиция;
- 5 – наиболее сильная позиция.

В качестве вариантов используемых антипиренов как Уг обозначены углеродные нанотрубки, как Т – терморасширенный графит, и как НП –

нанодисперсные порошки.

Таблица 3.2 – Оценочная карта сравнения конкурентных технических решений

№	Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
			Б _{УГ}	Б _Г	Б _{НП}	К _{УГ}	К _Г	К _{НП}
	1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности								
1	Повышение производительности труда пользователя	0,2	5	5	5	1	0,6	1
2	Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,15	4	4	5	0,45	0,6	0,75
3	Помехоустойчивость	0,03	4	4	5	0,12	0,09	0,12
4	Энергоэкономичность	0,01	4	5	5	0,04	0,05	0,05
5	Надежность	0,05	4	3	3	0,1	0,15	0,2
6	Потребность в ресурсах памяти	0,05	3	4	4	0,15	0,2	0,2
7	Функциональная мощность (предоставляемые возможности)	0,1	4	3	4	0,2	0,2	0,4
8	Простота эксплуатации	0,1	3	4	4	0,2	0,3	0,4
9	Качество пользовательского интерфейса	0,07	4	3	4	0,17	0,12	0,21
Экономические критерии оценки эффективности								
1	Конкурентоспособность продукта	0,01	3	4	5	0,18	0,24	0,3
2	Уровень проникновения на рынок	0,01	4	4	5	0,04	0,04	0,05
3	Цена	0,09	2	5	4	0,28	0,7	0,56
4	Послепродажное обслуживание	0,08	5	2	2	0,22	0,15	0,35
5	Финансирование научной разработки	0,04	3	2	4	0,3	0,2	0,4
6	Срок выхода на рынок	0,01	4	5	5	0,04	0,05	0,05
	Итого	1	56	57	64	3,49	3,69	5,04

Анализируя данные, приведенные в таблице, можно сделать вывод, что использование нанодисперсных порошков (НП) является наиболее эффективным. Низкая конкурентоспособность других антипиренов объясняется их меньшей эффективностью и безопасностью.

3.1.3. SWOT-анализ

Первый этап SWOT-анализа включает в себя описание сильных и слабых сторон проекта, выявление возможностей и угроз для реализации проекта, которые проявились или могут появиться в его внешней среде. Матрица SWOT представлена в таблице 3.3.

Таблица 3.3 – SWOT-анализ

	Сильные стороны	Слабые стороны
	<p>С1. Экологичность технологии</p> <p>С2. Пониженная горючесть материала</p> <p>С3. Высокая прочность изготавливаемого модифицированного материала</p> <p>С4. Научная новизна проекта, заключающаяся в установлении новых закономерностей влияния высокодисперсных наполнителей на функциональные свойства эпоксидных композитов</p>	<p>СЛ1. Недостаточная оснащенность лаборатории для проведения испытаний и изготовления образцов</p> <p>СЛ2. Сложность в получении доступа к необходимому оборудованию для более глубокого исследования</p> <p>СЛ3. Отсутствие инжиниринговой компании, способной построить производство «под ключ»</p> <p>СЛ4. Слабое финансирование проекта</p>
Возможности	– появление дополнительного финансирования в виде инвесторов и получение патента способствует развитию научно-исследовательских работ в области создания композитного материала необходимого качества	- получение дополнительного финансирования для создания необходимых условий глубокого исследования вопроса и изготовления композитного материала нового качества.
В1 Возможность привлечения инвесторов.		
В2 Использование инновационной инфраструктуры ТПУ	– используя инновационные инфраструктуры ТПУ, возможно создать продукт с наилучшими функциональными характеристиками;	

V3	Появление дополнительного спроса на новый продукт.	– все перечисленные сильные стороны продукции, в случае выхода на рынок, создадут конкуренцию другим производителям и поспособствуют выводу на большие объемы производства нового материала	
V4	Получение патента на дальнейшее усовершенствование изготавливаемого материала.	– широкий спектр функционала, дружественный интерфейс, документация, а также поддержка разработчика способствуют распространению системы на рынок.	– высокая стоимость разработки и недоработка старых ошибок могут стать помехой в расширении функционала
V5	В случае принятия рынком, выход на большие объемы производства продукции.		
Угрозы		– при всех имеющихся сильных сторонах проекта, создаваемый продукт будет активно конкурировать с другими производителями;	– вследствие недостаточного оснащения лаборатории и слабого финансирования возможность изготовления продукции должного качества подрывается, а следовательно, появляется опасность отсутствия спроса продукции на рынке и разорение из-за высокой конкуренции.
У1	Отсутствие спроса на продукцию		
У2	Развитая конкуренция технологий производства	– введение дополнительных государственных требований к сертификации только закрепит высокие позиции на рынке качественно нового материала из-за перечисленных выше достоинств.	
У3	Ограничения на экспорт технологии		
У4	Введение дополнительных государственных требований к сертификации продукции		
У5	Несвоевременное финансовое обеспечение научного исследования со стороны государства		

С помощью интерактивной матрицы проекта составлено соответствие сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды. Это соответствие или несоответствие помогает выявить степень необходимости проведения стратегических изменений. Использование интерактивной матрицы дает возможность разобраться с различными комбинациями взаимосвязей областей матрицы

SWOT. Данные интерактивной матрицы настоящего проекта представлены в Таблицах 3.4–3.7.

Таблица 3.4 – Интерактивная матрица проекта В-С

Сильные стороны проекта						
Возможности проекта		С1	С2	С3	С4	С5
	В1	–	–	+	+	+
	В2	–	0	+	0	+
	В3	+	+	+	+	+
	В4	+	+	+	+	+
В5	+	+	+	+	+	

Анализ данной интерактивной таблицы позволяет выявить следующие коррелирующие сильные стороны и возможности: В1С3С4С5; В2С3С5; В3С1С2С3С4С5; В4С1С2С3С4С5; В5С1С2С3С4С5.

Таблица 3.5 – Интерактивная матрица проекта В-Сл

Слабые стороны проекта						
Возможности проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	Сл5
	В1	+	+	+	+	+
	В2	+	0	0	+	+
	В3	-	+	-	-	+
	В4	+	+	0	+	+
В5	0	+	-	-	+	

Анализ данной интерактивной таблицы позволяет выявить следующие коррелирующие слабые стороны и возможности: В1Сл1Сл2Сл3Сл4Сл5; В2Сл1Сл4Сл5; В3Сл2Сл5; В4Сл1Сл2Сл4Сл5; В5Сл2Сл5.

Таблица 3.6 – Интерактивная матрица проекта У-С

Сильные стороны проекта						
Угрозы проекта		С1	С2	С3	С4	С5
	У1	+	+	+	+	+
	У2	+	+	+	+	+
	У3	+	-	-	0	0
	У4	+	-	-	+	+
У5	0	-	-	-	-	

Анализ данной интерактивной таблицы позволяет выявить следующие коррелирующие сильные стороны и угрозы: У1С1С2С3С4С5; У2С1С2С3С4С5; У3С1; У4С1С4С5.

Таблица 3.7 – Интерактивная матрица проекта У-Сл

Слабые стороны проекта						
Угрозы проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	Сл5
	У1	+	+	+	-	0
	У2	0	+	+	-	0
	У3	-	+	-	-	-
У4	-	+	-	0	-	

	У5	+	0	0	+	+
--	----	---	---	---	---	---

Коррелирующие слабые стороны и угрозы: У1Сл1Сл2Сл3; У2Сл2Сл3; У3Сл2; У4Сл2; У5Сл4Сл5.

Согласно полученным результатам SWOT-анализа выявлено, что при получении дополнительного финансирования возможно устранить многие слабые стороны данного научно-исследовательского проекта. Это 95 способствует дальнейшему усовершенствованию функциональных характеристик изготавливаемого материала, позволит вывести модифицированную эпоксидную смолу на рынок, где она создаст высокую конкуренцию другим производителям.

3.1.4. Оценка готовности проекта к коммерциализации

На какой бы стадии жизненного цикла не находилась научная разработка полезно оценить степень ее готовности к коммерциализации и выяснить уровень собственных знаний для ее проведения (или завершения). Перечень вопросов приведен в таблице 3.8.

Таблица 3.8 – Бланк оценки степени готовности научного проекта к коммерциализации

№ п/п	Наименование	Степень проработанности научного проекта	Уровень имеющихся знаний у разработчика
1.	Определен имеющийся научно-технический задел	5	5
2.	Определены перспективные направления коммерциализации научно-технического задела	3	3
3.	Определены отрасли и технологии (товары, услуги) для предложения на рынке	4	4
4.	Определена товарная форма научно-технического задела для представления на рынок	3	3
5.	Определены авторы и осуществлена охрана их прав	5	5
6.	Проведена оценка стоимости интеллектуальной собственности	4	4
7.	Проведены маркетинговые исследования рынков сбыта	1	1

8.	Разработан бизнес-план коммерциализации научной разработки	1	1
9.	Определены пути продвижения научной разработки на рынок	2	2
10.	Разработана стратегия (форма) реализации научной разработки	2	3
11.	Проработаны вопросы международного сотрудничества и выхода на зарубежный рынок	2	2
12.	Проработаны вопросы использования услуг инфраструктуры поддержки, получения льгот	2	1
13.	Проработаны вопросы финансирования коммерциализации научной разработки	3	3
14.	Имеется команда для коммерциализации научной разработки	2	2
15.	Проработан механизм реализации научного проекта	3	2
	ИТОГО БАЛЛОВ	42	41

Итоговые значения проработанности научного проекта и знания у разработчика лежат в диапазоне от 41 до 42, что говорит о средней перспективности проекта. Многие аспекты вывода продукта на рынок не были учтены, а также проявляется недостаток знаний. Следовательно, требуется дополнительные затраты на наём или консультации у соответствующих специалистов.

3.1.5. Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования

Наиболее целесообразным способом коммерциализации результатов научно-технического исследования можно считать передачу интеллектуальной собственности в уставной капитал предприятия. Так как разработка нацелена на исследование горючести полимеров, результаты исследования могут быть использованы при разработке полимерных материалов, используемых для хозяйственного и др. применения. Продажа результатов исследования компаниям, производящим полимерные материалы, является наиболее эффективным методом коммерциализации.

3.2. Инициация проекта

В рамках процессов инициации определяются изначальные цели и содержание и фиксируются изначальные финансовые ресурсы. Определяются внутренние и внешние заинтересованные стороны проекта, которые будут взаимодействовать и влиять на общий результат научного проекта.

Цели и результаты проекта

В данном разделе приведена информация об иерархии целей проекта и критериях достижения целей (таблицы 3.9-3.10).

Таблица 3.9 – Заинтересованные стороны проекта

Заинтересованные стороны проекта	Ожидание заинтересованных сторон
Научно-исследовательские институты	Проведение исследований в области горючести и термостойкости полимерных композитов
Испытательные пожарные лаборатории	Проведение исследований и разработок в области пожарной безопасности
Научный руководитель, студент	Выполненная выпускная квалификационная работа

Таблица 3.10 – Цели и результат проекта

Цели проекта:	Исследование влияния нанодисперсных металлов на показатели горючести эпоксидных композитов и термической стабильности эпоксидных композитов при введении в эпоксидную смолу замедлителей горения в качестве наполнителей в высокодисперсном состоянии.
Ожидаемые результаты проекта:	Разработка научно обоснованных подходов к повышению термической стабильности и снижению горючести полимерных материалов за счет создания их нанокристаллитной структуры при введении нанодисперсных соединений, обладающими пламягасящими и армирующими свойствами
Критерии приемки результата проекта:	Установление новых закономерностей влияния нанодисперсных металлов, а также установление механизма действия наполнителей на процесс горения модифицированных полимерных материалов
Требования к результату проекта:	Требования:
	Выполнение проекта в срок
	Научная новизна проекта
	Получение материала высокой прочности
	Термическая и термоокислительная стабильность

	Снижение горючести эпоксидных композитов
	Установление оптимального соотношения компонентов в комбинации наполнителей

Организационная структура проекта

На данном этапе работы были решены следующие вопросы: кто входил в рабочую группу данного проекта, определена роль каждого участника в данном проекте, прописаны функции, выполняемые каждым из участников и их трудозатраты в проекте.

Таблица 3.11 – Рабочая группа проекта

№ п/п	ФИО, основное место работы, должность	Роль в проекте	Функции	Трудозатраты, час.
1.	Назаренко О.Б., профессор ОКД НИ ТПУ	Координация (руководитель проекта)	Координирование деятельности	250
2.	Смирнова И.Н., магистрант ОКД НИ ТПУ	Выполнение (исполнитель проекта)	Выполнение исследовательской работы.	300
ИТОГО:				550

3. Планирование управления научно-техническим проектом

План управления научным проектом должен включать в себя следующие элементы:

3.1. Иерархическая структура работ проекта

Иерархическая структура работ (ИСР) – детализация укрупненной структуры работ. В процессе создания ИСР структурируется и определяется содержание всего проекта. На рисунке 3.1 представлен шаблон иерархической структуры.

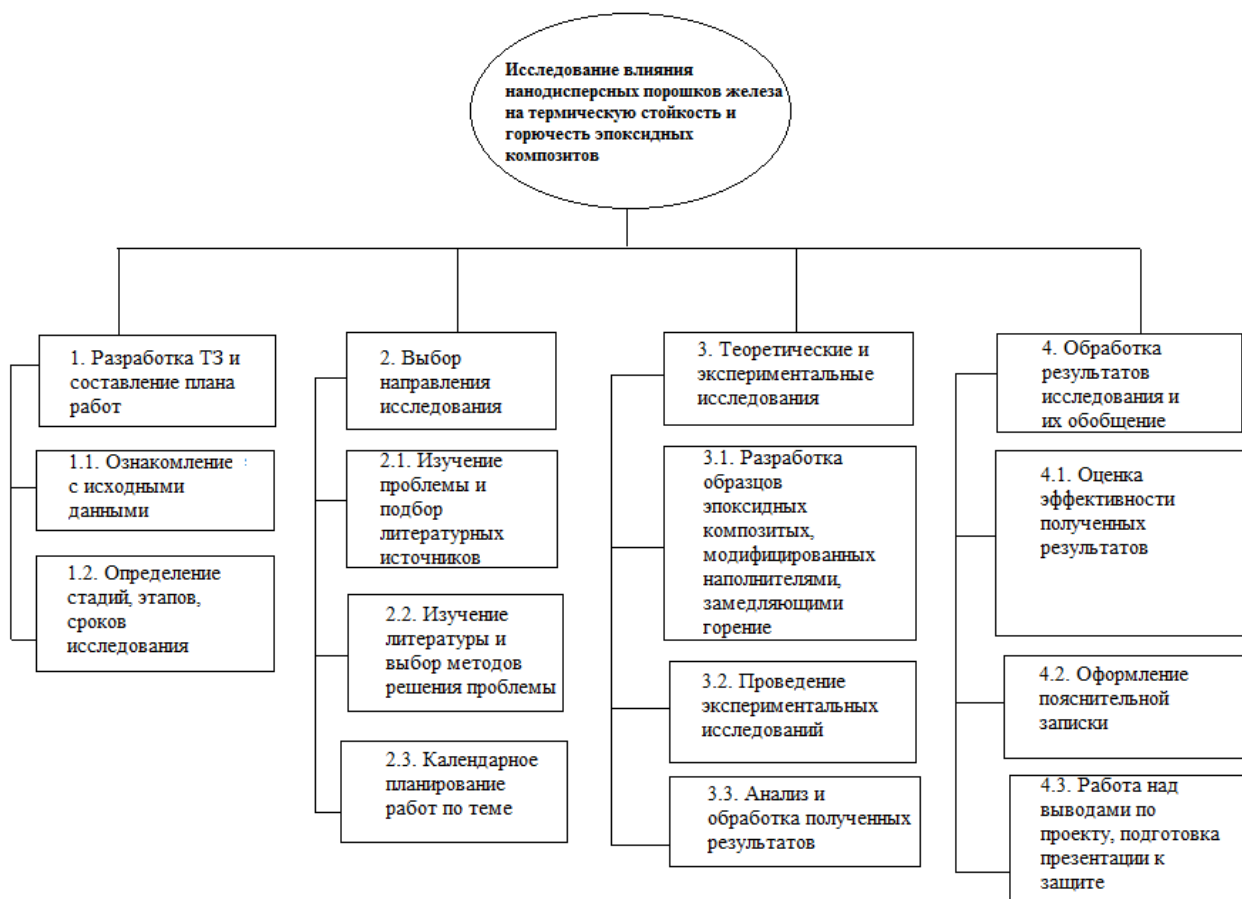


Рисунок 3.1 – Иерархическая структура по ВКР

3.2. План проекта

В рамках планирования научного проекта был построен линейный график проекта (таблица 3.12).

Расчет продолжительности и последовательности работ дает возможность своевременно и эффективно выполнять запланированный объем работ.

Таблица 3.12 – Календарный план проекта

Код работы (из ИСР)	Название	Длительность, рабочие дни	Дата начала работ	Дата окончания работ	Состав участников (ФИО ответственных исполнителей)
1.1	Выбор и утверждение темы научно-исследовательской работы. Постановка цели и задач	5	20.10.20	25.10.20	О.Б. Назаренко, И.Н. Смирнова

1.2	Выбор направления, объектов и методов исследования	3	28.10.20	30.10.20	О.Б. Назаренко, И.Н. Смирнова
2.1	Подбор, анализ литературы по тематике работы	60	20.10.20	9.02.21	И.Н. Смирнова
3.1	Исследования в период прохождения научно-производственной практики: изготовление образцов эпоксидных композитов	25	9.02.21	13.03.21	О.Б. Назаренко, И.Н. Смирнова
3.2	Проведение термического анализа подготовленных образцов эпоксидных композитов	10	15.03.21	26.03.21	О.Б. Назаренко, И.Н. Смирнова
3.3	Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими исследованиями	10	30.03.21	10.04.21	И.Н. Смирнова
4.1.	Оценка эффективности и анализ полученных результатов, работа над выводами	14	13.04.21	30.04.21	И.Н. Смирнова
4.2-4.3	Оформление проекта к сдаче	25	5.05.21	06.06.21	И.Н. Смирнова
Итого		152			

Далее требуется построить диаграмму Ганта. Диаграмма Ганта – это тип столбчатых диаграмм (гистограмм), который используется для иллюстрации календарного плана проекта, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ. Диаграмма представлена в таблице 3.13.

3.3. Бюджет научного исследования

При планировании бюджета научного исследования должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов планируемых расходов, необходимых для его выполнения. В процессе формирования бюджета, планируемые затраты группируются по статьям:

- материальные затраты научного исследования;
- затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ;
- основная заработная плата научно-производственного персонала;
- дополнительная заработная плата научно-производственного персонала;
- отчисления на социальные нужды (во внебюджетные фонды);
- накладные расходы.

3.3.1. Расчёт материальных затрат научного исследования

Расчет стоимости материальных затрат производится по действующим прейскурантам или договорным ценам. В стоимость материальных затрат включают транспортно-заготовительные расходы (3–5 % от цены). В эту же статью включаются затраты на оформление документации (канцелярские принадлежности, тиражирование материалов). Результаты занесены в таблицу 3.14.

Таблица 3.14 – Материальные затраты

Наименование	Марка, размер	Кол-во	Цена за единицу, руб.	Сумма, руб.
Эпоксидная смола ЭД- 20	Химпродукт, объем – 500 мл	1500 мл	1,25	1875
Отвердитель ПЭПА	Химпродукт, объем – 50 мл	200 г	2,9	580
Борная кислота	Самарская ФФ,упаковка 10 г	30 г	6	180
Пластиковая пробирка	ООО «НордЛаб»,объем 1,5 мл	45 шт.	4	180
Силиконовая форма	Delicia, 5 см, упаковка 6 шт	45 шт.	16	720
Силиконовый	Delicia, 200×300 мм	3 шт.	50	150

коврик				
Медицинский шприц	Здравторг, объем 10 мл	14 шт.	8	112
Ацетон	Химик, объем 500мл	500 мл	0,33	169
Интернет	Ростелеком	5 Гб	63	315
Электроэнергия	Томскэнергосбыт	114 кВт/час	3,66	417
Всего за материалы				4698
Транспортно-заготовительные расходы (3-5%)				188
Итого по статье С _м				4886

Итого материальные затраты на проведение научно-исследовательской работы составили 4886 рублей.

Согласно исследованию, приведенному в данной работе, затраты по статье «Специальное оборудование для научных работ» не предусматриваются.

3.3.2. Основная заработная плата научно-производственного персонала

В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы в размере 20–30 % от тарифа или оклада.

Расчет основной заработной платы сводится в таблице 3.15.

Согласно приказу ректора ТПУ ежемесячный оклад для профессора со степенью доктора наук составляет 47 104 рублей без районного коэффициента (РК = 1,3).

Таблица 3.15 – Расчет основной заработной платы

№ п/п	Наименование этапов	Исполнители по категориям	Трудоемкость, чел.-дн.	Заработная плата, приходящаяся на один чел.-дн., руб	Всего заработная плата по тарифу (окладам), руб.
1		Руководитель		-	47 104
2		Магистр		-	3 200
Итого:					50 304

$$C_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп} \quad (2)$$

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

$Z_{доп}$ – дополнительная заработная плата.

Основная заработная плата ($Z_{осн}$) руководителя (лаборанта, инженера) от предприятия (при наличии руководителя от предприятия) рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_{раб} \quad (3)$$

T_p – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн. (таблица 3.16);

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

Следовательно, для руководителя:

$$Z_{осн} = 47\,104 \cdot 1,3 = 61\,235,2 \text{ рублей}$$

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d} \quad (4)$$

где Z_m – месячный должностной оклад работника, руб. (в качестве месячного оклада магистра выступает стипендия, которая составляет 3200 руб); M – количество месяцев работы без отпуска в течение года при отпуске в 45 рабочих дней $M=10,4$ месяца, 6-дневная неделя); F_d – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн.

Следовательно, для руководителя:

$$Z_{дн} = \frac{61\,235,2 \cdot 10,4}{254} = 2\,507,3 \text{ рублей}$$

Для магистра:

$$Z_{дн} = \frac{3\,200 \cdot 10,4}{217} = 153,4 \text{ рублей}$$

Баланс рабочего времени представлен в таблице 3.16.

Таблица 3.16 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Магистр
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней	52	82
- выходные дни	13	13
- праздничные дни		
Потери рабочего времени	45	52
- отпуск	-	-
- невыходы по болезни		
Действительный годовой фонд рабочего времени	254	217

Расчёт основной заработной платы приведён в таблице 3.17.

Таблица 3.17 – Расчет основной заработной платы

Исполнители	$Z_б$, руб.	k_p	Z_m , руб.	$Z_{дн}$, руб.	T_p , раб. дн.	$Z_{осн}$, руб.
Руководитель	47 104	1.3	61 235,2	2 507,3	48	61 235,2
Магистр	3 200		3 200	153,4	76	3 200
Итого по статье $Z_{осн}$:						64 435,2

3.3.3. Дополнительная заработная плата научно-производственного персонала

Дополнительная заработная плата включает оплату за непроработанное время (очередной и учебный отпуск, выполнение государственных обязанностей, выплата вознаграждений за выслугу лет и т.п.) и рассчитывается исходя из 10-15% от основной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнении темы:

$$Z_{доп} = k_{доп} * Z_{осн} \quad (5)$$

где $Z_{доп}$ – дополнительная заработная плата, руб.;

$k_{доп}$ – коэффициент дополнительной зарплаты ($k_{доп} = 0,1$);

$Z_{осн}$ – основная заработная плата, руб.

Для руководителя:

$$Z_{допP} = 61235,2 \times 0,15 = 9\,185,28 \text{ руб.}$$

В таблице 3.18 приведен расчёт основной и дополнительной заработной платы.

Таблица 3.18 – Заработная плата исполнителей ВКР, руб

Заработная плата	Руководитель	Магистр
Основная зарплата	61 235,2	3 200
Дополнительная зарплата	9 185,2	–
Зарплата исполнителя	70 420,4	3 200
Итого		73 620,4

3.3.4. Отчисления на социальные нужды (во внебюджетные фонды)

Статья включает в себя отчисления во внебюджетные фонды.

$$C_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) = 0,302 \cdot (61\,235,2 + 3\,200) = 19\,330,56 \text{ руб.} \quad (6)$$

где $k_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.), равный 30,2 %.

3.3.5. Накладные расходы

Расчет накладных расходов ведется по следующей формуле:

$$C_{\text{накл}} = k_{\text{накл}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) \quad (7)$$

где $k_{\text{накл}}$ – коэффициент накладных расходов (равен 30,2 %).

$$C_{\text{накл}} = 0,302 \cdot (61\,235,2 + 3\,200) = 19\,330,56 \text{ руб.}$$

3.3.6. Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции.

Таблица 3.19 – Бюджет затрат НТИ

Затраты по статьям							
	Сырье, материалы (за вычетом возвратных отходов), покупные изделия и полуфабрикаты	Специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	Основная заработная плата	Дополнительная заработная плата	Накладные расходы	Отчисления на социальные нужды	Итого плановая себестоимость
1	4886	-	64 435,2	9 185,2	19 330,56	19 330,56	117 167,52

В результате было получено, что бюджет затрат НТИ составит 117 167,52 руб. Наибольшую долю бюджета составляют затраты на основную заработную плату, а наименьшую – затраты на сырьё и материалы

3.4. Организационная структура проекта

В практике используется несколько базовых вариантов организационных структур: функциональная, проектная, матричная.

Для данного научно-исследовательского проекта согласно критериям выбора была построена организационная структура проекта (рисунок 3.2).

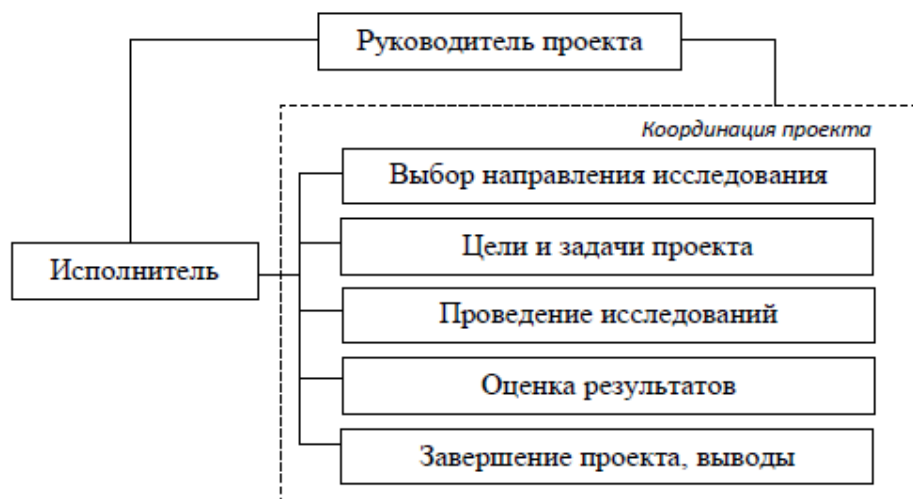


Рисунок 3.2 – Организационная структура проекта

3.5. План управления коммуникациями проекта

План управления коммуникациями отражает требования к коммуникациям со стороны участников проекта. План управления коммуникациями приведен в таблице 3.20.

Таблица 3.20 – План управления коммуникациями

№ п/п	Какая информация передается	Кто передает информацию	Кому передается информация	Когда передает информацию
1.	Статус проекта	Магистрант	Научному руководителю	Еженедельно
2.	Обмен информацией о текущем состоянии проекта	Магистрант	Научному руководителю	Еженедельно (пятница)
3.	Документы и информация по проекту	Магистрант	Научному руководителю	Не позже сроков сдачи предварительного варианта работы
4.	О выполнении контрольной точки	Магистрант	Научному руководителю	Не позже установленного дня контрольного события

3.6. Реестр рисков проекта

Идентифицированные риски проекта включают в себя возможные неопределенные события, которые могут возникнуть в проекте и вызвать последствия, которые повлекут за собой нежелательные эффекты. Информация по данному разделу сведена в таблицу 3.21.

Таблица 3.21 – Реестр рисков

№	Риск	Потенциальное воздействие	Вероятность наступления (1-5)	Влияние риска (1-5)	Уровень риска*	Способы смягчения риска	Условия наступления
1	Изготовление неточных образцов эпоксидных композитов	Получение ошибочных результатов термического	3	5	высокий	Изготовление образцов строго согласно ГОСТу	Невнимательность со стороны исполнителя эксперимента

		анализа					
2	Воспламенение образцов полимерных материалов и как следствие выброс токсикантов в воздух рабочей зоны	Токсическое воздействие на организм лаборанта	4	5	высокий	Установка газоанализаторов в лаборатории и их применение при проведении экспериментального исследования	Неисправность установки ОТП

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

4.1. Оценка абсолютной эффективности исследования

В основе проектного подхода к инвестиционной деятельности предприятия лежит принцип денежных потоков (cashflow). Особенностью является его прогнозный и долгосрочный характер, поэтому в применяемом подходе к анализу учитываются фактор времени и фактор риска. Для оценки общей экономической эффективности используются следующие основные показатели:

- чистая текущая стоимость (NPV);
- срок окупаемости (DPP);
- внутренняя ставка доходности (IRR);
- индекс доходности (PI).

4.1.1. Чистая текущая стоимость (NPV)

Чистая текущая стоимость является абсолютным показателем. Условием экономичности инвестиционного проекта по данному показателю является выполнение следующего неравенства: $NPV > 0$.

Чем больше NPV , тем больше влияние инвестиционного проекта на экономический потенциал предприятия, реализующего данный проект, и на экономическую ценность этого предприятия.

Таким образом, инвестиционный проект считается выгодным, если **NPV** является положительной.

Данный метод основан на сопоставлении дисконтированных чистых денежных поступлений от операционной и инвестиционной деятельности.

Если инвестиции носят разовый характер, то **NPV** определяется по формуле:

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{ЧДП_{опt}}{(1+i)^t} - I_0 \quad (8)$$

где $ЧДП_{опt}$ – чистые денежные поступления от операционной деятельности;

I_0 – разовые инвестиции, осуществляемые в нулевом году;

t – номер шага расчета ($t = 0, 1, 2 \dots n$);

n – горизонт расчета;

i – ставка дисконтирования (желаемый уровень доходности инвестируемых средств).

Расчёт **NPV** позволяет судить о целесообразности инвестирования денежных средств. Если **NPV** > 0, то проект оказывается эффективным.

Расчет чистой текущей стоимости представлен в таблице 3.22. При расчете рентабельность проекта составляла 20%, амортизационные отчисления 10 %. Бюджет проекта = 117 167,52 руб.

Ставка дисконтирования за период была взята 20%.

$$K_1 = 1 / (1 + 0,2)^1 = 0,83$$

$$K_2 = 1 / (1 + 0,2)^2 = 0,69$$

$$K_3 = 1 / (1 + 0,2)^3 = 0,57$$

$$K_4 = 1 / (1 + 0,2)^4 = 0,48$$

Таблица 3.22 - Расчет чистой текущей стоимости по проекту в целом

№	Наименование показателей	Шаг расчета				
		0	1	2	3	4
1.	Выручка от реализации, тыс.руб.	0	158,57	158,57	158,57	158,57
2.	Итого приток, тыс.руб.	0	158,57	158,57	158,57	158,57
3.	Инвестиционные издержки, тыс.руб.	-117,167	0	0	0	0
4.	Операционные затраты, тыс. руб. С+Ам+ФОТ	0	46,854	46,854	46,854	46,854
5.	Налогооблагаемая прибыль		111,71	111,71	111,71	111,71
6.	Налоги, тыс. руб Выр-опер=донал.приб*20%	0	22,34	22,34	22,34	22,34
7.	Итого отток, тыс.руб. Опер.затр.+налоги	-117,167	69,19	69,19	69,19	69,19
8.	Чистый денежный поток, тыс. руб. ЧДП=Пчист+Ам Пчист=Пдонал.-налог	-117,167	89,73	89,73	89,73	89,73
9.	Коэффициент дисконтирования (приведения при $i = 20\%$)	1,0	0,83	0,69	0,57	0,48
10.	Дисконтированный чистый денежный поток, тыс.руб. (с8*с9)	-117,167	74,48	61,91	51,15	43,07
11.	То же с нарастающим итогом, тыс.руб. (NPV = 66,302 тыс. руб.)	-117,167	-38,34	5,8	39,58	66,302

Таким образом, чистая текущая стоимость по проекту в целом составляет 66,302 тыс. рублей, что позволяет сделать вывод о его эффективности.

Дисконтированный срок окупаемости

Наиболее приемлемым методом установления дисконтированного срока окупаемости является расчет кумулятивного (нарастающим итогом) денежного потока (таблица 3.23).

Таблица 3.23 – Дисконтированный срок окупаемости

№	Наименование показателя	Шаг расчета				
		0	1	2	3	4
1.	Дисконтированный чистый денежный поток ($i=0,20$)	-117,167	74,48	61,91	51,15	43,07
2.	То же нарастающим итогом	-117,167	-38,34	5,8	39,58	66,302
3.	Дисконтированный срок окупаемости	$PP_{диск} = 1 + 38,34/61,91 = 1,62$ года				

Внутренняя ставка доходности (IRR)

Для установления показателя чистой текущей стоимости (NPV) необходимо располагать информацией о ставке дисконтирования, определение которой является проблемой, поскольку зависит от оценки экспертов. Поэтому, чтобы уменьшить субъективизм в оценке эффективности инвестиций на практике широкое распространение получил метод, основанный на расчете внутренней ставки доходности (IRR).

Между чистой текущей стоимостью (NPV) и ставкой дисконтирования (i) существует обратная зависимость. Эта зависимость следует из Таблицы 20 и графика, представленного на рисунке 3.3.

Таблица 3.24 – Зависимость NPV от ставки дисконтирования

№	Наименование показателя	0	1	2	3	4	NPV, тыс. руб.
1	Чистые денежные потоки	-117,167	89,73	89,73	89,73	89,73	
2	коэффициент дисконтирования						
	$i=0,2$	1	0,833	0,694	0,578	0,482	
	$i=0,3$	1	0,769	0,592	0,455	0,35	
	$i=0,4$	1	0,714	0,51	0,364	0,26	
	$i=0,5$	1	0,667	0,444	0,295	0,198	
	$i=0,6$	1	0,625	0,39	0,244	0,095	
	$i=0,7$	1	0,588	0,335	0,203	0,07	
	$i=0,8$	1	0,556	0,309	0,171	0,095	
	$i=0,9$	1	0,526	0,277	0,146	0,077	
	$i=1$	1	0,5	0,25	3,00	0,006	
3	Дисконтированный денежный поток, тыс. руб						

	i=0,2	-117,167	104,177	86,814	72,345	60,288	87,752
	i=0,3	-117,167	90,177	75,147	62,623	52,186	21,600
	i=0,4	-117,167	83,240	61,031	49,254	37,888	-24,119
	i=0,5	-117,167	77,294	55,210	39,436	28,168	-58,423
	i=0,6	-117,167	72,141	48,094	32,063	21,375	-84,858
	i=0,7	-117,167	67,633	42,270	26,419	16,512	-105,698
	i=0,8	-117,167	63,654	37,444	22,026	12,956	-122,452
	i=0,9	-117,167	60,118	33,399	18,555	10,308	-136,152
	i=1	-117,167	56,954	29,976	15,777	8,303	-147,522

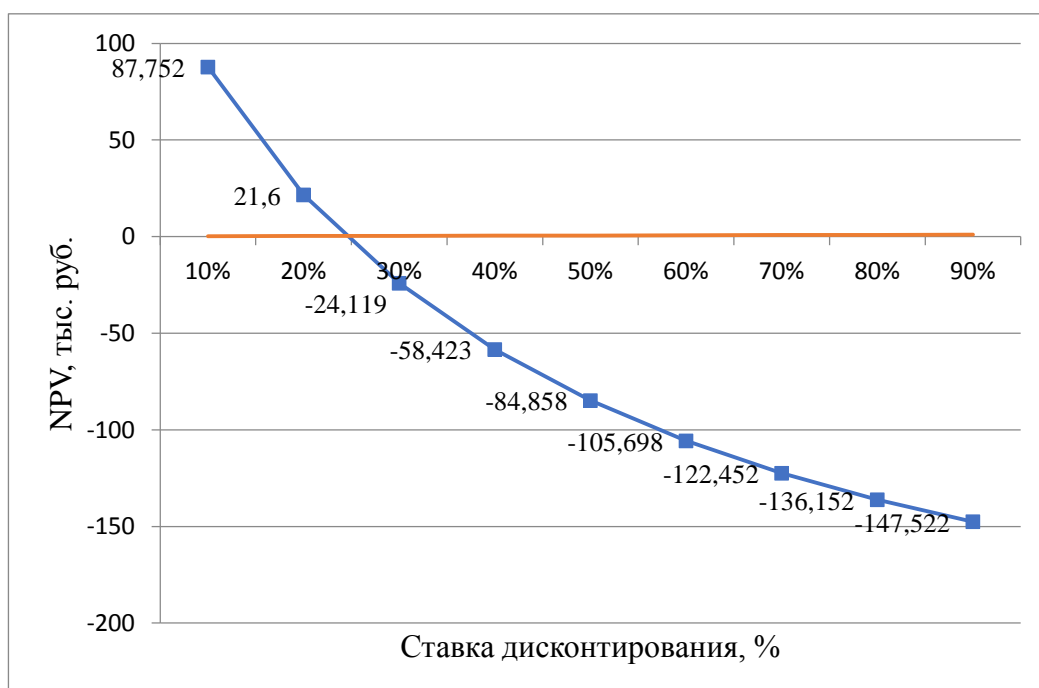


Рисунок 3.3 – График зависимости NPV от ставки дисконтирования

Из таблицы и графика следует, что по мере роста ставки дисконтирования чистая текущая стоимость уменьшается, становясь отрицательной. Значение ставки, при которой NPV обращается в нуль, носит название «внутренней ставки доходности» или «внутренней нормы прибыли». Из графика получаем, что IRR составляет 0,24.

Индекс доходности (рентабельности) инвестиций (PI)

Индекс доходности показывает, сколько приходится дисконтированных денежных поступлений на рубль инвестиций.

Расчет этого показателя осуществляется по формуле:

$$PI = \sum_{t=1}^n \frac{ЧПД_t}{(1+i)^t} / I_0, \quad (9)$$

где I_0 – первоначальные инвестиции.

$$PI = \frac{74,48 + 61,91 + 51,15 + 43,07}{117,167} = 1,97$$

$PI=1,97>1$, следовательно, проект эффективен.

Социальная эффективность проекта

Социальная эффективность научного проекта учитывает социально-экономические последствия осуществления научного проекта для общества в целом или отдельных категорий населения или групп лиц, в том числе как непосредственные результаты проекта, так и «внешние» результаты в смежных секторах экономики: социальные, экологические и иные внеэкономические эффекты.

Таблица 3.25 – Критерии социальной эффективности

ДО	ПОСЛЕ
Нерациональное использование нанопорошков металлов	Применение нанопорошков металлов в качестве замедлителей горения материалов
Повышенная горючесть полимерных материалов, используемых в быту, строительстве и т.д.	Снижение горючести полимерных материалов за счёт их модифицирования антипиренами

4.2. Оценка сравнительной эффективности исследования

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.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\text{фин}}^p = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}}, \quad (10)$$

где $I_{\text{фин}}^p$ – интегральный финансовый показатель разработки;

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

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

Вариант № 1: Применение нанопорошков металлов в качестве антипиренов, бюджет проекта – 117 167,52 руб.

Вариант № 2: Применение углеродных нанотрубок, стоимость – 350 000 руб.

Вариант № 3: Применение терморасширенного графита, стоимость – 480 000 руб.

Следовательно,

$$I_{\Phi B1}^p = \frac{117\,167,52}{480\,000} = 0,24$$

$$I_{\Phi B2}^p = \frac{350\,000}{480\,000} = 0,73$$

$$I_{\Phi B3}^p = \frac{480\,000}{480\,000} = 1,$$

Полученная величина интегрального финансового показателя разработки отражает соответствующее численное увеличение бюджета затрат разработки в разгах (значение больше единицы), либо соответствующее численное удешевление стоимости разработки в разгах (значение меньше единицы, но больше нуля).

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

$$I_m^a = \sum_{i=1}^n a_i b_i^a \quad I_m^p = \sum_{i=1}^n a_i b_i^p \quad (11)$$

где I_m^a – интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов;
 a_i – весовой коэффициент i -го параметра;

b_i^a, b_i^p – балльная оценка i -го параметра для аналога и разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

n – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности приведен в таблице 3.26.

Таблица 3.26 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии \ ПО	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект	Аналог 1	Аналог 2
1. Повышение производительности	0,2	4	5	4
2. Простота эксплуатации	0,1	3	3	5
3. Скорость	0,25	5	3	4
4. Технологичность	0,1	5	5	4
5. Конкурентоспособность продукта	0,1	4	4	4
6. Цена	0,1	5	4	5
7. Время	0,15	5	4	4
ИТОГО:	1	31	28	28

$$I_m^p = \frac{31}{31} = 1$$

$$I_m^{a1} = I_m^{a2} = \frac{28}{31} = 0,9$$

$$I_m^p = 4 \cdot 0,2 + 3 \cdot 0,1 + 5 \cdot 0,25 + 5 \cdot 0,1 + 4 \cdot 0,1 + 5 \cdot 0,1 + 5 \cdot 0,15 = 4,5$$

$$I_m^{a1} = 5 \cdot 0,2 + 3 \cdot 0,1 + 3 \cdot 0,25 + 5 \cdot 0,1 + 4 \cdot 0,1 + 4 \cdot 0,1 + 4 \cdot 0,15 = 3,95 \quad I_m^{a2}$$

$$= 4 \cdot 0,2 + 3 \cdot 0,1 + 4 \cdot 0,25 + 4 \cdot 0,1 + 4 \cdot 0,1 + 5 \cdot 0,1 + 4 \cdot 0,15 = 4,00$$

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

$$I_{финр}^p = \frac{I_m^p}{I_{ф}^p}, \quad I_{финр}^a = \frac{I_m^a}{I_{ф}^a} \quad (12)$$

$$I_{финр}^p = \frac{1}{0,24} = 4,17$$

$$I_{финр}^{a1} = \frac{0,9}{0,73} = 1,23$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{a2}} = \frac{0,9}{1} = 0,9$$

Сравнение интегрального показателя эффективности текущего проекта и аналогов позволит определить сравнительную эффективность проекта.

Сравнительная эффективность проекта:

$$\mathcal{E}_{\text{ср}} = \frac{I_{\text{финр}}^{\text{р}}}{I_{\text{финр}}^{\text{а}}} \quad (13)$$

где $\mathcal{E}_{\text{ср}}$ – сравнительная эффективность проекта; $I_{\text{ф}}^{\text{р}}$ – интегральный финансовый показатель разработки; $I_{\text{т}}^{\text{а}}$ – интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов.

$$\mathcal{E}_{\text{ср}}^{\text{р}} = \frac{0,24}{1} = 0,24$$

$$\mathcal{E}_{\text{ср1}}^{\text{р}} = \frac{0,73}{0,9} = 0,81$$

$$\mathcal{E}_{\text{ср2}}^{\text{р}} = \frac{1}{0,9} = 1,11$$

Таблица 3.27 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Разработка	Аналог 1	Аналог 2
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,24	0,73	1
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,5	3,95	4,00
3	Интегральный показатель эффективности	4,17	1,23	0,9
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	0,24	0,81	1,11

Сравнение значений интегральных показателей эффективности позволяет судить о приемлемости существующего варианта решения поставленной в магистерской диссертации технической задачи с позиции финансовой и ресурсной эффективности.

Вывод:

В разделе «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» исследованы потенциальные потребители результатов научного исследования и построена карта сегментирования рынка в области пожаробезопасности. Проведен анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения. Построена интерактивная матрица проекта, в которой показаны слабые и сильные стороны, возможности и угрозы для проекта.

Определены заинтересованные стороны, цели и результаты научно-исследовательского проекта (таблицы 3.9-3.10). Составлен полный перечень работ, проводимых при исследовании влияния высокодисперсных наполнителей на горючесть и термическую стабильность эпоксидных композитов. Также разработан календарный план-график проведения научного исследования (таблица 3.13). Время работы над проектом – с марта по май. Кроме того, проведен SWOT-анализ, выявлены сильные и слабые стороны данного проекта.

Бюджет НИИ составил: материальные затраты – 4,9 тыс. руб., основная заработная плата – 64,4 тыс. руб., дополнительная заработная плата – 9,2 тыс. руб., накладные расходы – 19,3 тыс. руб., отчисления на социальные нужды – 19,3 тыс. руб. Итоговый бюджет затрат НИИ составил 117,2 тыс. руб.

4. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

Проблема пожароопасности полимерных материалов требует тщательного изучения в связи с тем, что основным недостатком, ограничивающим область их применения, является низкая термическая стойкость и повышенная горючесть. В связи с этим, ежегодно ведутся разработки новых и усовершенствование старых методик снижения горючести полимерных материалов.

Введение в полимер нанопорошков металлов – один из наиболее популярных и надежных способов ингибирования процессов горения.

Цель данной работы – исследование влияние нанодисперсных металлов на показатели горючести и термической стойкости эпоксидных композитов при введении их в эпоксидную смолу в качестве наполнителей.

Основной целью данного раздела является анализ вредных и опасных факторов, действию которых может подвергнуться работник лаборатории, где проводится экспериментальное исследование, оценка тяжести и напряженности трудового процесса, а также экологическая безопасность и безопасность в чрезвычайных ситуациях.

4.1. Производственная безопасность

Рабочее место лаборанта (рисунок 4.1) – кабинет, оснащенный необходимым оборудованием для проведения исследовательских работ (газоанализаторы, микроскопы, установки для испытания материалов на возгораемость, установки для определения огнезащитной эффективности покрытий и т.д.). Кроме того, кабинет оснащен техникой и другими объектами: персональный компьютер (далее – ПК) (совокупность из монитора, системного блока, клавиатуры, мыши и проводов для подключения описанных выше устройств), столы и стулья, распределительный щиток, огнетушители, кондиционер, местная вытяжная вентиляция.

Работа лаборанта заключается в сборе, анализе и обработке информации об изменении показателей масс и температур воспламенения образцов эпоксидных композитов при помощи ПК.

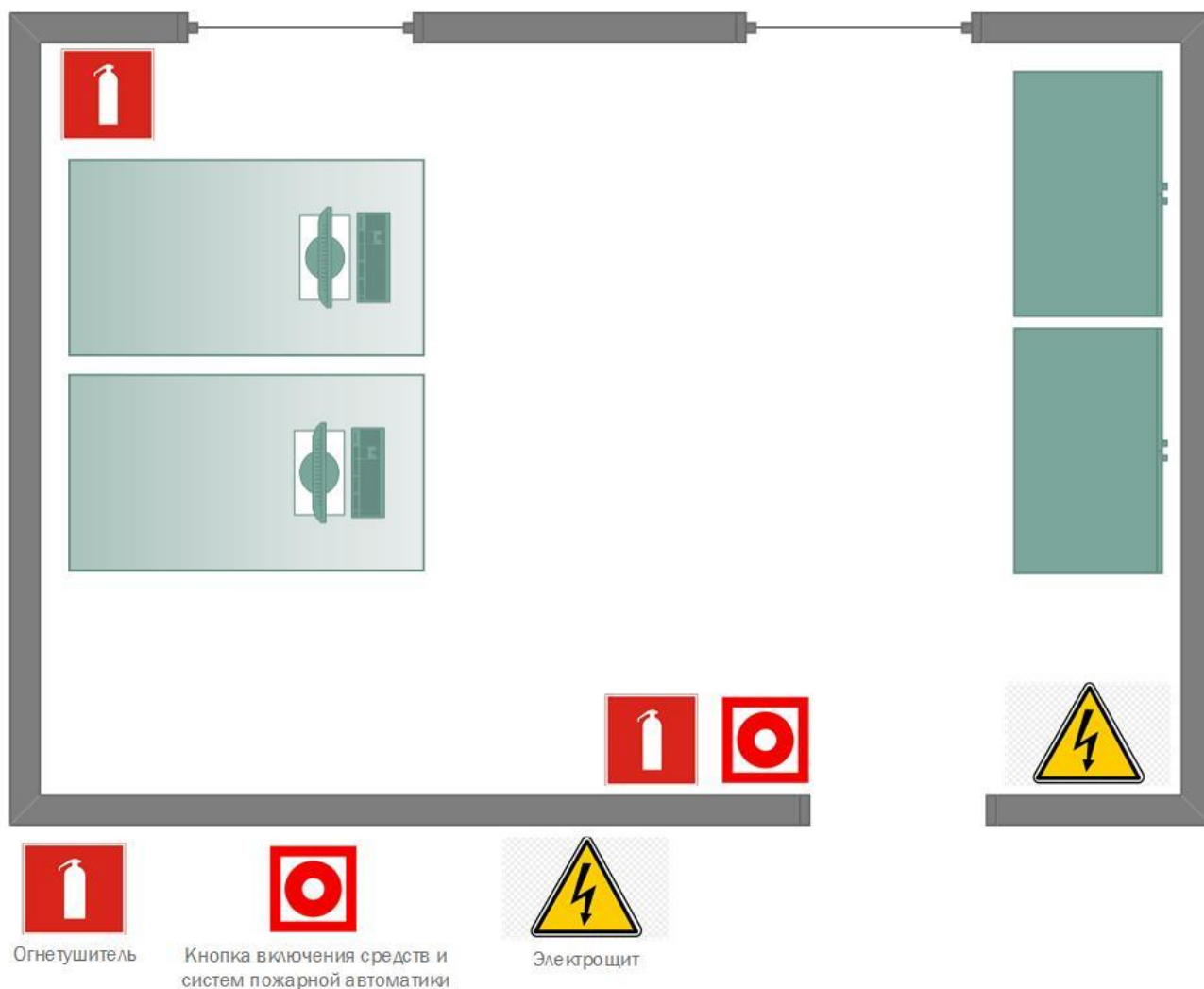


Рисунок 4.1 – План помещения лаборатории

Также лаборатория оснащена противопожарной сигнализацией и датчиками дыма.

4.1.1. Анализ выявленных вредных факторов на рабочем месте лаборанта

В ходе работы в лаборатории сотрудники могут подвергаться вредным и опасным факторам. Подробное описание представлено в таблице 4.1.

*Таблица 4.1 – Возможные вредные и опасные факторы
при работе в лаборатории*

Источник фактора, наименование видов работ	Факторы (по ГОСТ 12.0.003-2015 [20])		Нормативные документы
Работа за ПК: 1) рабочее место; 2) кондиционер и местная вытяжная вентиляция; 3) искусственное освещение.	1) недостаточная освещенность рабочей зоны; 2) отклонение показателей микроклимата; 3) превышение уровней шума.	1) электрический ток; 2) возникновение пожара.	1) ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ [24], 2) СП 52.13330.2016 [23], 3) Р 2.2.2006-05 [21], 4) ГОСТ 12.4.011-89 ССБТ [19].

4.1.1.1. Недостаточная освещенность рабочей зоны

Согласно СП 52.13330.2016 в лаборатории, где происходит периодическое наблюдение за ходом производственного процесса при постоянном нахождении людей в помещении освещенность при системе общего освещения не должна быть ниже 300 лк.

Правильно спроектированное и выполненное освещение обеспечивает высокий уровень работоспособности, оказывает положительное психологическое действие на человека и способствует повышению производительности труда.

4.1.1.1.1. Расчёт искусственного освещения

Расчёт общего равномерного искусственного освещения горизонтальной рабочей поверхности выполняется методом коэффициента светового потока, учитывающим световой поток, отражённый от потолка и стен. Длина помещения $A = 5000$ мм, ширина $B = 4000$ мм, высота = 3500 мм. Высота

рабочей поверхности над полом $h_p = 1000$ мм. Согласно СП 52.13330.2016 необходимо создать освещенность не ниже 300 лк, в соответствии с разрядом зрительной работы.

Площадь помещения:

$$S = A \times B = 5 \times 4 = 20 \text{ м}^2,$$

Где A – длина, м; B – ширина, м.

Коэффициент отражения свежепобеленных стен с окнами, без штор $\rho_c = 50\%$, свежепобеленного потолка $\rho_n = 70\%$. Коэффициент запаса, учитывающий загрязнение светильника, для помещений с малым выделением пыли равен $\kappa_z = 1,5$. Коэффициент неравномерности для люминесцентных ламп $z = 1,1$.

Выбираем лампу дневного света лд-40, световой поток которой равен $\phi_{л\delta} = 2600$ лм.

Выбираем светильники с люминесцентными лампами типа ОДОР-2-40. Этот светильник имеет две лампы мощностью 40 Вт каждая, длина светильника равна $s = 1227$ мм, ширина – $d = 265$ мм.

Интегральным критерием оптимальности расположения светильников является величина λ , которая для люминесцентных светильников с защитной решёткой лежит в диапазоне 1,1–1,3. Принимаем $\lambda = 1,1$, расстояние светильников от перекрытия (свес) $h_c = 0,3$ м.

Высота светильника над рабочей поверхностью определяется по формуле:

$$H = h_n - h_p,$$

Где h_n – высота светильника над полом, высота подвеса, h_p – высота рабочей поверхности над полом.

Наименьшая допустимая высота подвеса над полом для двухламповых светильников ОДОР: $h_n = 3,5$ м.

Высота светильника над рабочей поверхностью определяется по формуле:

$$h = H - h_p - h_c = 3,5 - 1 - 0,5 = 2,00 \text{ м.}$$

Расстояние между соседними светильниками или рядами определяется по формуле:

$$L = \lambda \cdot h = 1,1 \cdot 2,0 = 2,2 \text{ м}$$

Число рядов светильников в помещении:

$$N_b = \frac{B}{L} = \frac{4}{2,2} = 1,81 \approx 2$$

Число светильников в ряду:

$$N_a = \frac{A}{L} = \frac{5}{2,2} = 2,27 \approx 2$$

Общее число светильников:

$$N = N_A \times N_B = 2 \cdot 2 = 4$$

Расстояния от крайних светильников до стены и расстояния между соседними светильниками с учётом длины помещения определяются по формулам:

$$A = N_b \times S + L_1 + \frac{2}{3}L_1$$

$$5000 = 2 \times 1227 + L_1 + \frac{2}{3}L_1$$

$$L_1 = 1527,6 \text{ мм} = 1,5 \text{ м}$$

$$l_1 = \frac{L_1}{3} = \frac{1527,6}{3} = 509,2 \text{ мм} = 0,509 \text{ м}$$

Расчёт расстояния от крайних светильников до стены с учётом ширины помещения:

$$B = N_b \times D + L_2 + \frac{2}{3}L_2$$

$$4000 = 2 \times 265 + L_2 + \frac{2}{3}L_2$$

$$L_2 = 2082 \text{ мм} = 2,08 \text{ м}$$

$$l_2 = \frac{L_2}{3} = \frac{2,08}{3} = 0,69 \text{ м}$$

Размещаем светильники в два ряда. На рисунке 4.2 изображен план помещения и размещения светильников с люминесцентными лампами.

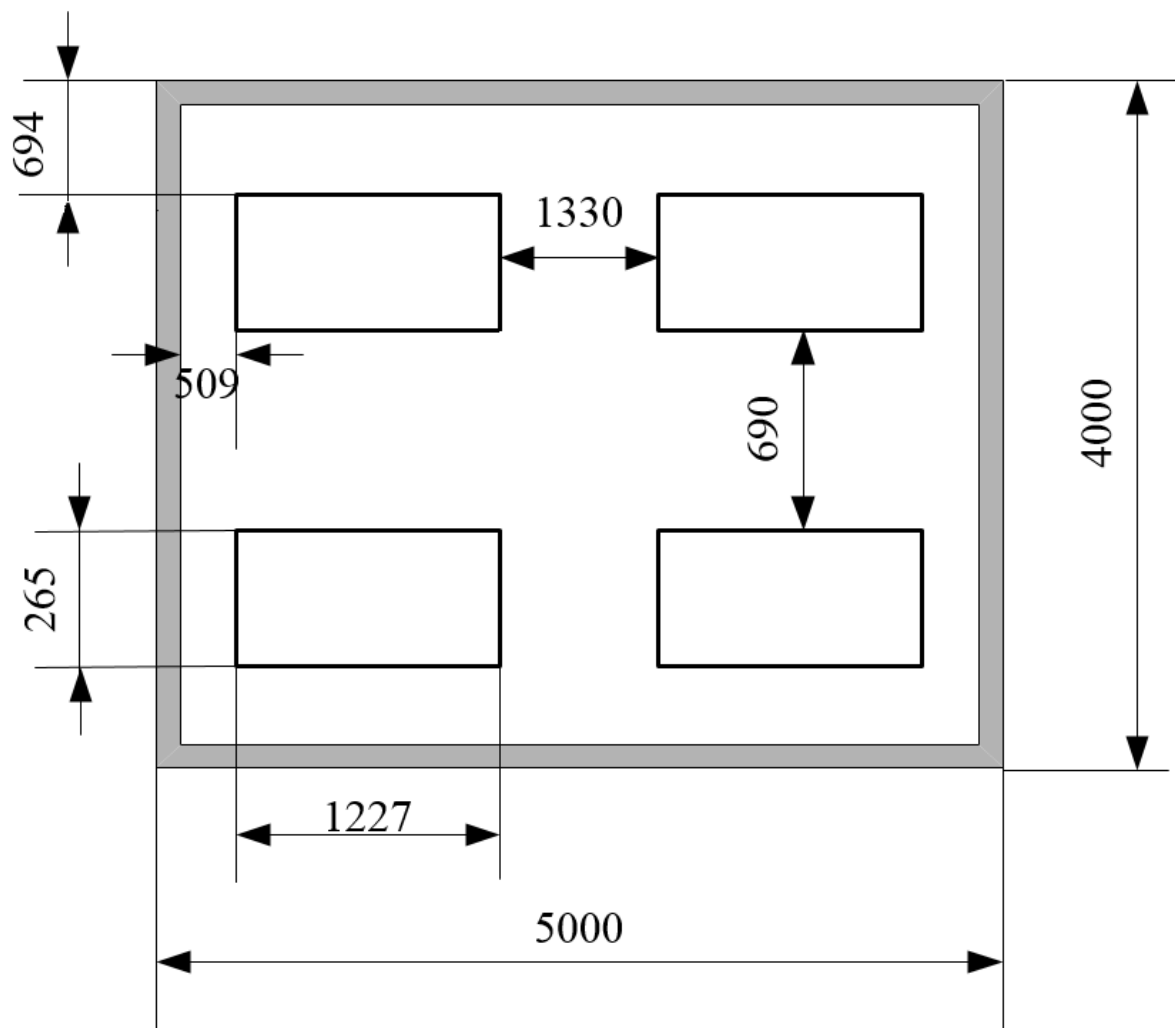


Рисунок 4.2 – План помещения и размещения светильников с люминесцентными лампами

Индекс помещения определяется по формуле:

$$i = \frac{A \times B}{h \times (A + B)} = \frac{5 \times 4}{2 \times (5 + 4)} = 1,11$$

Коэффициент использования светового потока, показывающий какая часть светового потока ламп попадает на рабочую поверхность, для светильников типа одор с люминесцентными лампами при $\rho_n = 70\%$, $\rho_c = 50\%$ и индексе помещения $i = 1,1$ равен $\eta = 0,43$. Количество ламп в 4 светильниках – 8.

Потребный световой поток группы люминесцентных ламп светильника определяется по формуле:

$$\Phi_{\text{п}} = \frac{E \times S \times K_3 \times Z}{N \times \eta} = \frac{300 \times 20 \times 1,5 \times 1,1}{8 \times 0,43} = 2877 \text{ лм}$$

Делаем проверку выполнения условия:

$$-10\% \leq \frac{\Phi_{\text{лд}} - \Phi_{\text{п}}}{\Phi_{\text{лд}}} \cdot 100\% \leq 20\%;$$

$$\frac{\Phi_{\text{лд}} - \Phi_{\text{п}}}{\Phi_{\text{лд}}} \times 100\% = \frac{2600 - 2877}{2600} \times 100\% = -10 \%$$

Таким образом, $-10\% \leq -10\% \leq 20\%$, следовательно, необходимый световой поток светильника не выходит за пределы требуемого диапазона.

4. 1.1.2. Отклонение показателей микроклимата в помещении

Проанализируем микроклимат в помещении, где находится рабочее место лаборанта. Микроклимат производственных помещений определяют следующие параметры: температура, относительная влажность, скорость движения воздуха. Эти факторы влияют на организм человека, определяя его самочувствие.

Оптимальные и допустимые значения параметров микроклимата приведены в таблице 4.2.

Таблица 4.2 – Оптимальные и допустимые значения микроклимата в рабочей зоне

Параметры микроклимата	Температура, °С	Относительная влажность, %	Скорость движения, м/с
Оптимальные значения	20-22	40-60	не более 0,1
Допустимые значения	15-28	20-80	не более 0,5

В помещении осуществляется естественная вентиляция посредством наличия легко открываемого оконного проема (форточки) и дверного проема. Кроме того, в лаборатории осуществляется искусственная вентиляция посредством местной вытяжной вентиляции и кондиционера. Параметры микроклимата поддерживаются в холодное время года за счет систем водяного

отопления с нагревом воды до 100 °С, а в теплое время года – за счет кондиционирования.

В целях профилактики неблагоприятного воздействия микроклимата должны быть использованы защитные мероприятия, направленные на нормализацию теплового состояния организма лаборанта (спецодежда, средства индивидуальной защиты, помещения для отдыха с нормируемыми показателя микроклимата, регламентацией времени непрерывного пребывания в неблагоприятном микроклимате).

4.1.1.3. Превышение уровней шума

Шум неблагоприятно воздействует на организм человека, вызывает психические и физиологические нарушения, снижение слуха, работоспособности, создают предпосылки для общих и профессиональных заболеваний и производственного травматизма, а также происходит ослабление памяти, внимания, нарушение артериального давления и ритма сердца.

В лаборатории основным источником шума являются: местная вытяжная вентиляция и компьютерные охлаждающие вентиляторы. Уровень шума в первом случае варьируется от 45 до 50 дБА, во втором – от 35 до 40 дБА. При этом уровень шума при выполнении основных работ на рабочем месте не должен превышать 82 дБА.

Меры по борьбе с шумами:

- правильная организация труда и отдыха;
- снижение и ослабление шума;
- применение звукопоглощающих преград (применение глушителей, экранов, звукопоглощающих строительных материалов (керамзит, шамотный кирпич));

В соответствии с допустимыми нормами, которые описаны выше, можно выработать следующие средства индивидуальной защиты: применение спецодежды и защитных средств органов слуха: наушники противозумные, вкладыши противозумные (беруши), антифоны.

4.1.2. Анализ выявленных опасных факторов на рабочем месте лаборанта

4.1.2.1. Поражение электрическим током

Лаборатория относится к помещению без повышенной опасности поражения электрическим током. Безопасными номиналами являются: $I < 0,1 \text{ А}$; $U < (2-36) \text{ В}$; $R_{\text{зазем}} < 4 \text{ Ом}$. В помещении применяются следующие меры защиты от поражения электрическим током: недоступность токоведущих частей для случайного прикосновения, все токоведущие части изолированы и ограждены. Недоступность токоведущих частей достигается путем их надежной изоляции, применения защитных ограждений (кожухов, крышек, сеток и т.д.), расположения токоведущих частей на недоступной высоте.

Наиболее распространенными СИЗ при работе с электрооборудованием являются:

- диэлектрические перчатки, которые относятся к основным видам СИЗ для работ при напряжении, не превышающем 1000 В;
- штанги и клещи, изолирующие характеристики которых обеспечивают продолжительную защиту от высокого напряжения;
- защитная диэлектрическая обувь (боты, галоши), которые позволяют избежать прохождение через тело токов, замыкающихся на землю;
- переносные конструкции и устройства для ограждения и заземления токопроводящих деталей обслуживаемого оборудования;
- инструмент с электроизолированными ручками.

На рабочем месте лаборанта находятся системный блок, клавиатура и монитор. При включении монитора на электронно-лучевой трубке формируется большое напряжение в несколько киловольт. Поэтому запрещается работать на компьютере во влажной одежде и влажными руками, прикасаться к тыльной стороне дисплея, вытирать пыль с компьютера при его включенном состоянии. Перед началом работы необходимо убедиться в отсутствии висящих под столом или свешивающихся со стола проводов электропитания, в целостности провода электропитания и вилки.

4.1.2.2. Пожарная опасность

По взрывопожарной и пожарной опасности помещения подразделяются на категории А, Б, В1 - В4, Г и Д, а здания - на категории А, Б, В, Г и Д. По пожарной опасности наружные установки подразделяются на категории Ан, Бн, Вн, Гн и Дн.

Согласно НПБ 105-03 [25] лаборатория относится к категории В – горючие и трудно горючие жидкости, твердые горючие и трудно горючие вещества и материалы, вещества и материалы, способные при взаимодействии с водой, кислородом воздуха или друг с другом только гореть, при условии, что помещения, в которых находится, не относятся к категории наиболее опасных А или Б.

Возникновение пожара при работе с электронной аппаратурой может быть по причинам как электрического, так и неэлектрического характера.

Причины возникновения пожара неэлектрического характера:

а) халатное неосторожное обращение с огнем (курение, оставленные без присмотра нагревательные приборы, использование открытого огня);

Причины возникновения пожара электрического характера: короткое замыкание, перегрузки по току, статическое электричество и т. п.

Для локализации или ликвидации загорания на начальной стадии используются первичные средства пожаротушения. Первичные средства пожаротушения обычно применяют до прибытия пожарной команды.

Лаборатория оснащена следующими первичными средствами пожаротушения: огнетушитель углекислотный (ОУ-2) – 1 шт., порошковый огнетушитель ОП-3 – 1 шт (предназначены для тушения любых материалов, предметов и веществ, применяется для тушения ПК и оргтехники, класс пожаров А, Е).

Лаборатория полностью соответствует требованиям пожарной безопасности: наличие охранно-пожарной сигнализации, плана эвакуации, изображенного на рисунке 4.3, порошковых огнетушителей с поверенным

клеймом, табличек с указанием направления к запасному (эвакуационному) Выходу.

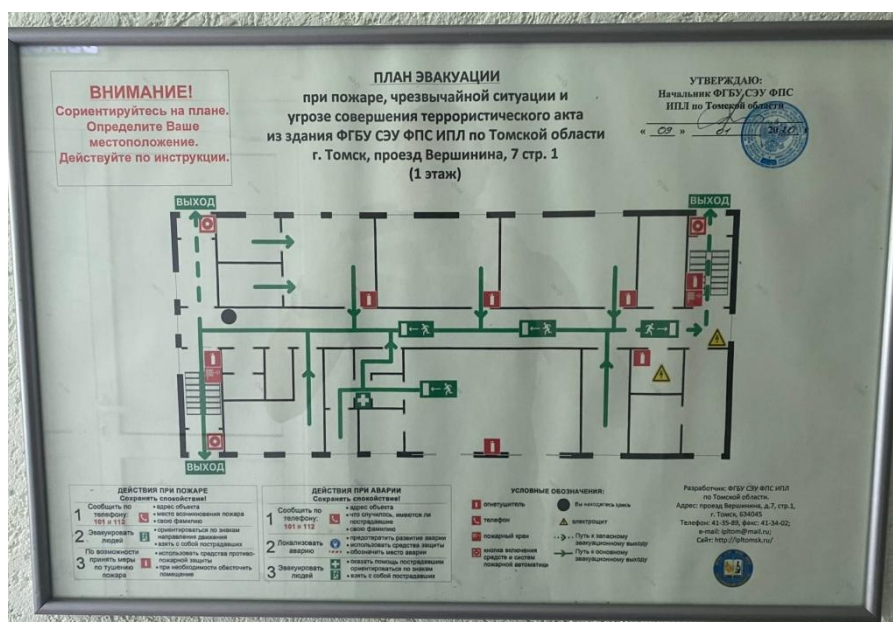


Рисунок 4.3 – План эвакуации

2. Экологическая безопасность

2.2. Утилизация макулатуры и люминесцентных ламп

Существуют определенные стандарты, которые нужно соблюдать при сортировке и утилизации офисной макулатуры и черновиков. Это многоэтапный процесс, целью которого является восстановление бумажного волокна и некоторых других компонентов материала, необходимых для повторного использования. Поскольку разные виды бумаги в разной степени поддаются утилизации, использованная бумажная продукция собирается и отсортировывается, доставляется в соответствующие перерабатывающие предприятия.

Одним из минусов люминесцентных ламп является применение небольшого количества ртути, и отказаться от ее использования не представляется возможным, так как на этом металле основан принцип работы. Лампы относятся к особо опасной категории отходов.

Не работающие лампы немедленно после удаления из светильника должны быть упакованы в картонную коробку, бумагу или тонкий мягкий картон, предохраняющий лампы от взаимного соприкосновения и случайного

механического повреждения. Недопустимо выбрасывать отработанные энергосберегающие лампы вместе с обычным мусором, превращая его в ртутьсодержащие отходы, которые загрязняют ртутными парами.

Лампы необходимо передать специализированной организации, которая занимается утилизацией ламп. Порядок утилизации люминесцентных ламп следующий:

- Отходы собираются, складываются и хранятся в контейнере для утилизации люминесцентных ламп до момента переработки.
- Светильник дробится прессом.
- Сырье отправляется в камеру с высокой температурой.
- Выделяемый газ попадает в вакуумную ловушку, где конденсируется и фильтруется.

Из переработанных отходов получают небольшое количество ртути, которое используется вторично для изготовления аналогичных ламп.

2.3. Утилизация компьютерной техники

В компьютерах огромное количество компонентов, которые содержат токсичные вещества и представляют угрозу, как для человека, так и для окружающей среды.

К таким веществам относятся:

- свинец (накапливается в организме, поражая почки, нервную систему);
- ртуть(поражает мозг и нервную систему);
- никель и цинк (могут вызывать дерматит);
- щелочи (прожигают слизистые оболочки и кожу);

Поэтому компьютер требует специальных комплексных методов утилизации. В этот комплекс мероприятий входят:

- отделение металлических частей от неметаллических;
- металлические части классифицируют (сталь, медь, алюминий), минимизируют по объему, упаковывают, хранят на складе до накопления до 1 транспортной единицы и потом направляют на соответствующий металлургический передел;

- неметаллические части компьютера (пластик) измельчают, также накапливают объем до 1 транспортной единицы и направляют в дорожно-строительную фирму в качестве пластифицирующей добавки дорожно-строительной смеси.

3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Лаборатория находится в городе Томске с континентально-циклоническим климатом. Природные явления (землетрясения, наводнения, засухи, ураганы и т. д.), в данном городе отсутствуют. Возможными ЧС на объекте в данном случае, могут быть сильные морозы и диверсия.

Рассмотрены 2 ситуации ЧС:

1) природная – сильные морозы зимой, (аварии на электро-, теплокоммуникациях, водоканале, транспорте).

Для Сибири в зимнее время года характерны морозы. Сильные морозы, могут привести к увеличению количества аварий, связанных с нарушениями на коммунальных системах жизнеобеспечения населения (электро-, тепло-, водоснабжение), нарушений в работе транспорта.

При подготовке к зимнему сезону необходимо выполнить следующие основные мероприятия:

- ремонт, замена оборудования, зданий и сооружений, котельных, электрических и тепловых сетей, внутренних инженерных систем зданий;
- проверка технического состояния котлов;
- проверка трубопроводов наружной прокладки;
- проверка электрических сетей;
- подготовка резервных источников электропитания, водоснабжения транспорта на зимний период времени;
- разработка и доведение до всех ответственных лиц план ликвидации аварийных ситуаций;
- накопление и поддержание в готовности средств пожаротушения;
- обучение персонала правилам их применения;

- приобретение и хранение на теплом складе бензо- или дизель-электрогенератора, необходимой для работы производства мощности; газовые каталитические обогреватели, суточный запас питьевой и технической воды в герметичной таре, транспорт в теплом гараже для доставки сотрудников на работу и обратно.

В лаборатории наиболее вероятно возникновение чрезвычайных ситуаций (ЧС) техногенного характера.

2) ЧС техногенного характера – это ситуации, которые возникают в результате производственных аварий и катастроф на объектах, транспортных магистралях и продуктопроводах; пожаров, взрывов на объектах.

Для предупреждения вероятности осуществления диверсии предприятие необходимо оборудовать системой видеонаблюдения, круглосуточной охраной, пропускной системой, надежной системой связи, а также исключения распространения информации о системе охраны объекта, расположении помещений и оборудования в помещениях, системах охраны, сигнализаторах, их местах установки и количестве. Должностные лица раз в полгода проводят тренировки по отработке действий на случай экстренной эвакуации.

4. Перечень нормативно-технической документации

1. ГОСТ 12.1.038-82. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов.

2. СП 12.13130.2009. Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности.

3. ГОСТ 12.0.003-2015. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация, 2015.

4. Методика проведения работ по комплексной утилизации вторичных драгоценных металлов из отработанных средств вычислительной техники / Государственный Комитет РФ по телекоммуникациям / 1999 г.

5. Федеральный закон от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности».

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании проведенного обзора литературных источников был выбран для исследований такой метод снижения горючести полимеров как введение антипиренов в эпоксидную смолу композиционных образцов.

Определены изменения значений показателей термоокислительной деструкции в зависимости от концентрации наполнителей, а также проведена оценка влияния антипиренов-наполнителей, таких как гидроксид алюминия и полифосфата меламина, на горючесть изготовленных эпоксидных композитов.

Согласно результатам экспериментов по определению температуры воспламенения, введение гидроксида алюминия в эпоксидную матрицу более эффективно для снижения горючести полимера. С точки зрения повышения термической стойкости образцов более эффективным является введение полифосфата меламина в эпоксидную смолу. Кроме того, комбинация полифосфата меламина с нанопорошком железа приводит к ускорению процесса деструкции, в отличие от гидроксида алюминия. Поэтому для практического использования для снижения горючести эпоксидных полимеров можно рекомендовать использовать в качестве наполнителя полифосфата меламина индивидуально или гидроксид алюминия в комбинации с нанопорошком железа.

Результаты проведенного исследования могут быть применены в целях изучения и разработки полимерных материалов пониженной горючести.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ

1. Nazarenko O. B., Lipchansky D. S., Smirnova I. N. Effect of iron nanopowder on flammability of epoxy composites // IOP conference series: materials science and engineering. - 2021 - vol. 1019 - №. 1, article number 012001. - p. 1-6.

2. Nazarenko O. B. , Lipchansky D. S. , Smirnova I. N. Effect of Iron Nanopowder on Flammability of Epoxy Composites // 14th International Forum on Strategic Technology (IFOST - 2019): Proceedings, Tomsk, October 14-17, 2019. - Tomsk: TPU Publishing House, 2019 - p. 20-22.

3. Смирнова И. Н. , Назаренко О. Б. Сравнительное исследование влияния антипиренов на температуру воспламенения эпоксидных композитов // Интеграция науки, образования и производства – основа реализации Плана нации (Сагиновские чтения № 12): труды Международной научно-практической online конференции. В 2-х частях. Часть 2, Караганда, 18-19 Июня 2020. - Караганда: КарГТУ, 2020 - С. 264-267.

4. Смирнова И. Н. Оценка горючести эпоксидных композитов по кислородному индексу // Функциональные материалы: разработка, исследование, применение: сборник тезисов V Всероссийского конкурса научных докладов студентов, Томск, 22-23 Мая 2018. - Томск: ТПУ, 2018 - С. 77-78.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ Р 53293–2009. Пожарная опасность веществ и материалов. Материалы, вещества и средства огнезащиты. Идентификация методами термического анализа. – М.: Стандартинформ, 2009. – С. 2–5.
2. Берг Г. Г. Введение в термографию /Г. Г. Берг – Изд. 2-е, доп. – М.: Наука, 1969. – 396 с. 2. Тейтельбаум Б. Я. Термомеханический анализ полимеров /Б. Я. Тейтельбаум – М.: Наука, 1979. – 236 с.
3. Уэндландт У. Термические методы анализа /У. Уэндландт; пер. с англ. под ред. В. А. Степанова и В. А. Берштейна. – М.: Мир, 1978. – 526 с.
4. Шестак Я. Теория термического анализа: Физико-химические свойства твердых неорганических веществ /Я. Шестак; пер. с англ. – М.: Мир, 1987. – 456 с.
5. Альмяшев В. И. Термические методы анализа: учеб. пособие /В. И. Альмяшев, В. В. Гусаров – СПб: Изд-во СПбГЭТУ (ЛЭТИ), 1999. – 40 с.
6. Термогравиметрия: учеб. пособие для студентов III курса химического факультета /сост. В. С. Корзанов, М. Г. Котомцева, Р. И. Юнусов – Пермь: Изд-во Перм. ун-та, 2007. – 71 с.
7. Пожароопасность полимерных материалов / Щеглов П.П., Иванников В.Л. – М., 1992. – 110 с.
8. Дубкова, В.И. Эпоксидные нанокompозиты на основе элементосодержащих углеродных // 18 Менделеевский съезд по общей и прикладной химии, Москва, 23–28 сент., 2007: Тезисы докладов. Т. 2. Химия материалов наноструктуры и нанотехнологии. М.: Граница. – 2007. – С. 230.
9. Асеева, Р.М. Горение полимерных материалов: учебник / Р.М. Асеева, Г.Е. Заиков. – М.: Химия, – 1981. – 280 с.
10. Брык М.Т. Деструкция наполненных полимеров. – М.: Химия, 1989. – 192 с.
11. Ильин А.П., Назаренко О.Б., Тихонов Д.В. и др. Гидроксидные и оксидные порошки – эффективные пламягасящие добавки в полимеры //

Проблемы и перспективы развития Томского нефтехимического комбината: Тез. докл. 10-го отраслевого совещания. – Томск, 1996. – С. 37.

12. Эпоксидные полимеры и композиции / Чернин И.З., Смехов Ф.М., Жердев Ю.В. – М. – 1982. – 232 с.

13. Кодолов В.И. Замедлители горения полимерных материалов. – М.: Химия, 1980. – 274 с.

14. Айрапетов Г.А., Безродный О. К., Жолобов А. Л. Строительные материалы. Учебно-справочное пособие - Издание 4-е, перераб. и доп. Феникс, – 2009 г. – 699 с.

15. Putkhenpurakalchira Maniyan V., Nazarenko O. B. , Chandran C. S., Melnikova T. V. , Nazarenko S. Y. , Jin-Chun K. . Effect of electron beam irradiation on thermal and mechanical properties of aluminum based epoxy composites // Radiation Physics and Chemistry. – 2017 – Vol. 136. – p. 17–22.

16. Асеева Р.М., Заиков Г.Е. Снижение горючести полимерных материалов. – М.: Знание, 1981. – 64 с.

17. ГОСТ Р 53293-2009. Пожарная опасность веществ и материалов. Материалы, вещества и средства огнезащиты. Идентификация методами термического анализа. – М.: Стандартинформ, 2009. – 4-6 с.

18. ГОСТ 12.1.007-76. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности. – М.: Стандартинформ, 2007.

19. ГОСТ 12.1.044-89. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения/ – М.: Стандартинформ, 2006.

20. ГОСТ 12.0.003-2015. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Опасные и вредные производственные факторы. Классификация. – М.: Стандартинформ, 2019 г.

21. Р 2.2.2006-05 Гигиена труда. Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация

условий труда. – Бюллетень нормативных и методических документов Госсанэпиднадзора, Вып.3 (21), сентябрь 2005 г.

22. Безопасность жизнедеятельности: практикум / Ю.В. Бородин, М.В. Василевский, А.Г. Дашковский, О.Б. Назаренко, Ю.Ф. Свиридов, Н.А. Чулков, Ю.М. Федорчук. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009. – 101.

23. СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. [Электронный ресурс]: – URL: <https://minstroyrf.gov.ru/upload/iblock/011/Izm1-k-SP-52.pdf>, - Текст: электронный.

24. ГОСТ 12.1.005-88 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны. – М.: Стандартиформ, 2008 г.

25. НПБ 105-03. Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности. – М.: ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2003 г.

26. Методика проведения работ по комплексной утилизации вторичных драгоценных металлов из отработанных средств вычислительной техники / Государственный Комитет РФ по телекоммуникациям / 1999 г.

27. ГОСТ 12.1.038-82. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов.

28. СП 12.13130.2009. Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности.

29. ГОСТ 12.0.003-2015. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация, 2015.

31. Lee H. and Neville K., 1967, Handbook of Epoxy Resins (New York: McGraw-Hill), p. 960.

32. Jin F-L., Li X., Park S-J., 2015, J. Ind. Eng. Chem. 29, p. 1–11.

33. Irvine D.J., McCluskey J.A., Robinson I.M., 2000, Polym. Degrad. Stab., 67, p. 383–396.

34. Wilkie C.A., Morgan A.B., 2010, *Fire Retardancy of Polymeric Materials* (Boca Raton: CRC Press), p. 856.
35. Dasari A., Yu Z.Z., Cai G.P., Mai Y.W., 2013, *Prog. Polym. Sci.*, 38, p. 1357–1387.
36. Visakh P.M., Nazarenko O.B., Amelkovich Y.A., Melnikova T.V., 2015, *IOP Conf. Ser.: Mater. Sc. Eng.* 81 012095.
37. Visakh P.M., Nazarenko O.B., Amelkovich Y.A., Melnikova T.V., 2016, *Polym. Adv. Technol.* 27, p. 1098–1101.
38. Laoutid F., Bonnaud L., Alexandre M., Lopez-Cuesta J.M., Dubois P, 2009, *Mater. Sci. Eng. R.*, 63, p. 100–125.
39. Arao Y., 2015, *Flame retardancy of polymer nanocomposite. Flame Retardants: Polymer Blends, Composites and Nanocomposites* eds P.M. Visakh and Y. Arao (Cham: Springer International Publishing), p. 15–44.
40. Kwon Y.S., Ilyin A.P., Tikhonov D.V., Nazarenko O.B., Yablunovskii G.V., 2003, *Proceedings of the 7th Korea-Russia International Symposium on Science and Technology KORUS'2003*, vol. 1 (Ulsan: University of Ulsan), p. 175–178.
41. Ilyin A.P., Nazarenko O.B., Tikhonov D.V., Ushakov V.Ya., Yablunovskii G.V., 2002, *Russian Phys. Journal*, 45(12), p. 1176–1180.
42. Kwon Y.S., Kim J.S., Kim H.T., Lee H.K., Nazarenko O.B., Ilyin A.P., 2004, *J. Ind. Eng. Chem.*, 10(6), p. 949–953.
43. Nazarenko O.B., 2005, *Glass Ceram*, 62(11–12), p. 364–367.
44. Chen X.L., Jiao C.M., Wang Y., 2009, *Express Polym. Lett.*, 3(6), p. 359–365.
45. Balci S., Sezgi N.A., Eren E, 2012, *Indian Eng. Chem. Res.* 51, p. 11091–11096.

Приложение II

(справочное)

Effect of iron nanopowder on flammability of epoxy composites

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1ЕМ91	Смирнова И.Н.		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Назаренко О.Б.	д.т.н.		

Консультант-лингвист отделения иностранных языков ШБИП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Коротченко Т.В.	к.ф.н.		

1. Introduction

Epoxy resins are used in a wide variety of industries and in everyday life. The combination of unique properties such as ease of curing, low viscosity, low shrinkage, high adhesion, high mechanical and electrical insulating properties, chemical resistance, contribute to the widespread use of these materials.

For the purpose of analyzing and evaluating flammability, the ignition temperature is used, which characterizes the lowest temperature of a substance at which it emits flammable vapors and gases at such a rate that ignition is observed when exposed to an ignition source [33].

To reduce the flammability of polymeric materials, the method of introducing such fillers that have fire retardant properties is increasingly used [34, 35].

Such fillers (fire retardants) lead to a change in the nature of the polymer degradation process when heated or when the combustion process is blocked by inhibiting substances.

Reducing the flammability of polymers can be achieved by using such a method as the introduction of fillers, which have flame retardant properties [34, 35]. Fillers of different natures lead to changes in the character of the process of polymer destruction at the heating or blocking of the combustion process by non-combustible or inhibiting substances. One of the inorganic compounds with good flame retardant properties is boric acid. At the heating, boric acid releases water in the endothermic process that reduces polymer temperature and degradation. In our previous works, we found that the introduction of boric acid into the epoxy matrix at a percentage 10 wt. % has a positive impact on the thermal and thermo-oxidative degradation of the epoxy composites and does not lead to deterioration of the functional properties of the composites [36, 37]. In addition, boric acid can provide a greater effect on the improvement of the thermal stability of the epoxy composites when it is used in combination with other materials.

The disadvantage of traditional flame retardants is that their effectiveness in reducing the flammability of materials is achieved, as a rule, at relatively high concentrations (50 wt. % and more). At the same time, the structural and functional

properties of polymer composites can significantly deteriorate. Nanodispersed materials, in contrast to conventional coarse flame retardants, can help to solve the problem of reducing the flammability of polymers at relatively low concentrations (< 5 wt. %) [38, 39]. It is assumed that the mechanism of action of nanodispersed fillers is the barrier effect. The aim of this work was to evaluate the effect of iron nanopowder in combination with aluminum on the flammability characteristics of epoxy polymers.

2. Experimental part

2.1. Experimental method

For the experiment, experimental technique was chosen for determining the flash temperature of solids and materials. This method involves conducting an experiment in a temperature range of 25 to 600 ° C. In the experiment, an OTP device was used, which is a vertical electric furnace¹² with two coaxially located quartz glass cylinders. One of the cylinders with an inner diameter of (80 ± 3) mm and a height of 240 mm is a reaction chamber. Secondly, a cylinder of the same height has an inner diameter of (101 ± 3) mm. Spiral electric heaters with a total capacity of at least 2 kW are wound on the cylinders, which makes it possible to create a working zone temperature of 600 ° C for no more than 40 minutes.

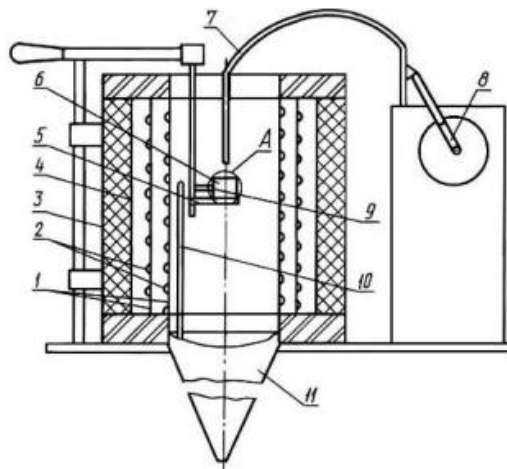


Figure 1 – Scheme of the device for determining the ignition temperature (1 – glass cylinders; 2 – spiral electric heaters; 3 – thermal insulation material;

4 – steel screen; 5 – sample holder; 6 – container; 7 – gas burner; 8 – electric burner; 9, 10 – thermoelectric converters; 11 – laminator)

2.2. Experiment site

The experiment was carried out on the basis of the Federal State Forensic Expert Institution of the Federal Fight-Fighting Service, “Test Fire Laboratory” in Tomsk Oblast.

This organization is a part of State Fire-Fighting Service which is aimed at:

- 1) carrying out forensic investigation;
- 2) professional training of experts;
- 3) conducting research in the field of relevant goal achievement.

Research results

After heat treatment, the samples were weighed for the second time in order to define the variation in mass before and after temperature action. During the course of the experiment burning peculiar features were registered in line with a number of obligatory parameters.

Table 1 shows the data on the remaining mass of the samples with antipyrene at the fixed temperatures.

Table 1 – The remaining mass of the samples with antipyrene at fixed temperatures

T, °C	100	200	300	400	500	600
Sample	Δm, %					
E0	99,54	99,51	86,65	62,87	36,45	2,44
EGA2	99,90	99,72	87,39	64,21	39,67	7,22
EGA5	99,70	99,48	87,12	64,76	40,82	10,75
EGA10	99,45	98,90	85,24	63,06	39,27	7,86
EGA 15	99,65	99,19	83,29	63,09	39,69	11,28
EGA10FE5	99,68	99,38	85,22	65,88	40,09	10,40
GA	99,83	99,49	83,51	70,88	68,43	65,94

As obvious from Table 1, the remaining mass of the samples decreases. In addition, it is worth noting that the remaining mass increases with the rise in filling component concentration. It is especially apparent when temperature is 600 °C.

2.3. Materials and preparation

The epoxy-diane resin grade ED-20 was used as a polymer matrix; polyethylene polyamine (PEPA) was used as a hardener for the preparation of the epoxy composites.

Iron nanopowder (Fe NP) was produced by the method of the electrical explosion of wires (EEW) [40–43] in Tomsk Polytechnic University. EEW is a process of explosive destruction of a metal wire under the action of a great density current ($>1010 \text{ A/m}^2$). To produce Fe NP, the argon was used as the working fluid in the discharge chamber. Fe NP produced by EEW is pyrophoric material, has high reactivity and ignites on contact with air. Therefore, air-passivation was carried out by Ar+0.1 vol. % air directly after the production to protect iron nanoparticles against oxidation.

For the preparation of epoxy composites the necessary amount of fillers added to the epoxy resin. We used the following percentage of fillers: 1) ED-20 + 2, 5, 10, 15 wt. % aluminum hydroxide and 2) ED-20 + combination of 15 wt. % aluminum hydroxide with 5 wt. % of Fe NP 2). The compositions of the studied epoxy composite materials are shown in Table 2.

Table 2 – Formulations of epoxy composites

Sample	ED-20 (wt. %)	Fe NP (wt. %)	GA (wt. %)
E0	100	0	0
EGA2	100	0	2
EGA5	100	0	5
EGA10	100	0	10
EGA15	100	0	15
EGA10FE5	100	5	10

The filled epoxy was blended by hand for 5 minutes at room temperature. Thereafter, PEPA was added to the mixture and stirred again for 3 minutes. The ratio of epoxy resin to hardener is 10: 1 by weight. The resulting mixtures are cured in silicone molds at room temperature for 24 hours. Images of the obtained samples are shown in Figure 2.

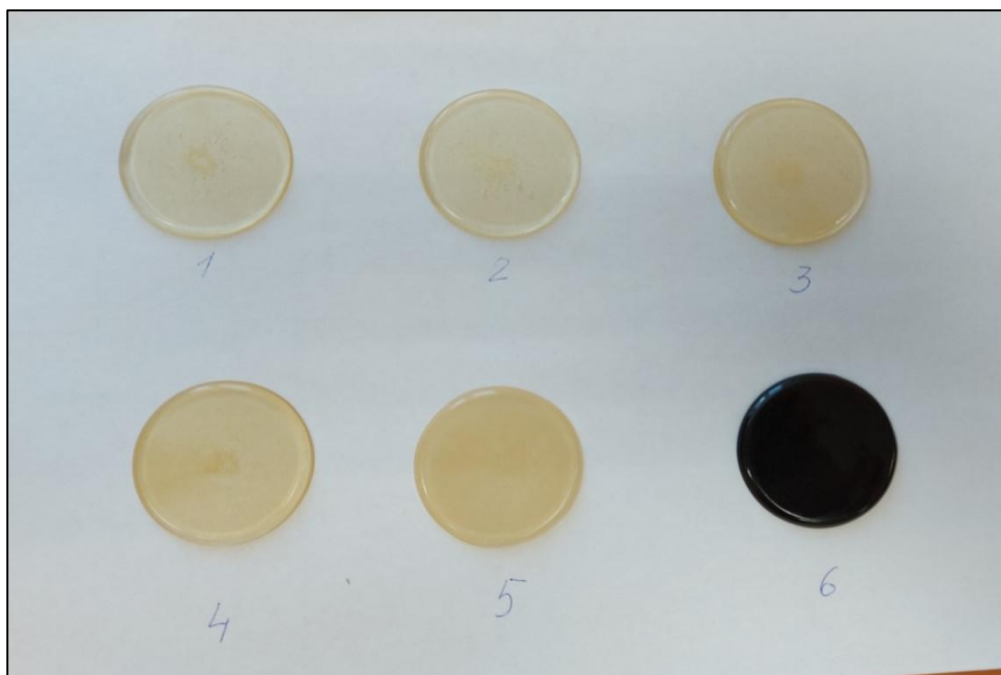


Figure 2 – Images of the prepared samples:

1) E0; 2) EGA2; 3) EGA5; 4) EGA10; 5) EGA15; 6) EGA10FE5

2.4. Characterizations

The phase composition of Fe NP was determined by X-ray diffraction (XRD) analysis using a Shimadzu XRD-7000 diffractometer with CuK α radiation. The size and morphology of the investigated samples were examined using a scanning electron microscope (SEM), TM-3000. IR spectra of samples in the spectral range 4000-400 cm⁻¹ were recorded using a Nicolet 5700 Fourier transform infrared (FTIR spectrometer).

The flammability of the prepared epoxy composites was evaluated by the standard method of experimental determination of the ignition temperature of solid substances and materials by GOST 12.1.044-89 “Occupational safety standards system. Fire and explosion hazard of substances and materials. Nomenclature of

indices and methods of their determination”. The determination of the ignition temperature of the samples of epoxy composites was carried out using a setup consisting of a vertical electric furnace with two coaxially located quartz glass cylinders, a container for placing samples, a holder, an electric heater, a gas burner, and an air ejector.

The principle of operation of this installation is based on setting the temperature regime in the reaction chamber and holding in the burner flame and monitoring the temperature parameters after adding the test material to the reaction chamber. The epoxy resin samples in this test had a cylindrical shape with a diameter of 45 ± 1 mm. The mass of each sample was 3 ± 0.1 g. These parameters were determined strictly in accordance with GOST.

3. Results and discussion

3.1. Characterization of zeolite

Figure 3 shows the XRD patterns of the Fe NP nm. All the reflections correspond to metallic iron. The crystalline iron oxide phases as part of the protective layer formed during passivation were not detected in the XRD patterns of the Fe NP sample due to their amorphousness. Figure 4 shows the SEM image of the Fe NP. The Fe NP consists of micron-sized and nanosized fractions. The average diameter of the micron-sized particles is about 1–3 μm and of the nanosized particles is about 80–150 nm. The particles of both powder fractions have the shape closed to spherical.

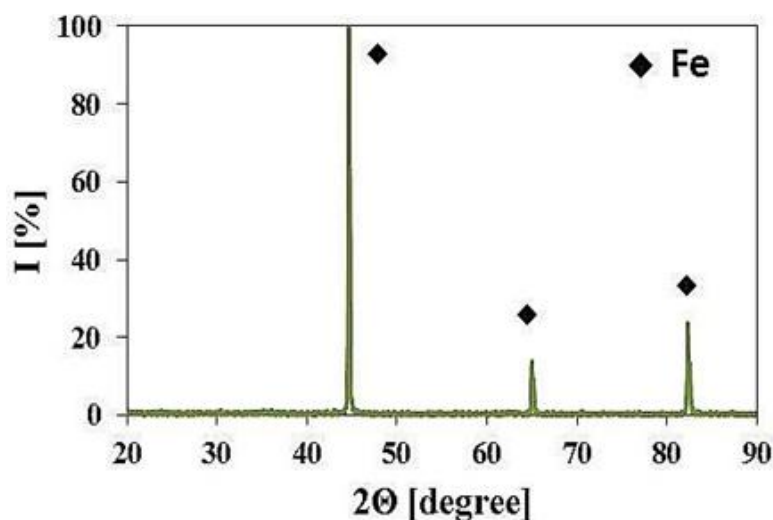


Figure 3 – X-ray diffraction pattern of Fe NP

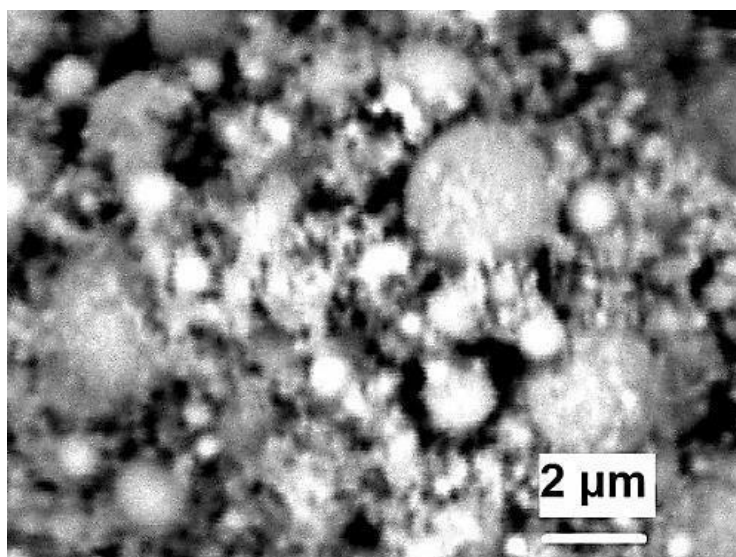


Figure 4 – SEM image of Fe NP

The chemical functional groups on the surface of the iron particles were identified using the FTIR spectroscopy. The several absorption bands in the range of 635–430 cm^{-1} corresponding to the Fe–O vibrations modes were observed in the FTIR spectrum of Fe NP. Thereby, it can be assumed that the surface layer of the Fe NP particles contains oxide phases $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ and Fe_3O_4 . The presence of two absorption bands at 1425 and 1483 cm^{-1} indicates that as a result of CO_2 chemisorption, carbonate structures were formed on the Fe NP particles surface. The broad band in the range of 3300–3100 cm^{-1} and the band at 1564 cm^{-1} are due to the vibrations of hydrogen-bonded water molecules adsorbed on the Fe NP particles surface. The results of the experimental determination of the ignition temperature and the time-to-ignition of the epoxy samples are shown in table 2. The time-to-ignition is defined as the minimum exposure time required for the sample to ignite and sustain flaming combustion.

Figure 5 depicts the change of the ignition temperature of the studied epoxy composites. The incorporation of Fe NP in combination with aluminum hydroxide in epoxy resin leads to an increase in the ignition temperature of the samples compared to the control sample E0. Nanodispersed iron powder contributes to the formation during the burning of a strong and dense char layer on the surface of the epoxy sample that acts as a barrier to oxygen and combustible gases. In addition, formed iron oxide on the surface of the sample contributes to the protection of the epoxy

sample from further decomposition as it was shown in [44-45]. The maximum ignition temperature was observed for the sample EGA10FE5.

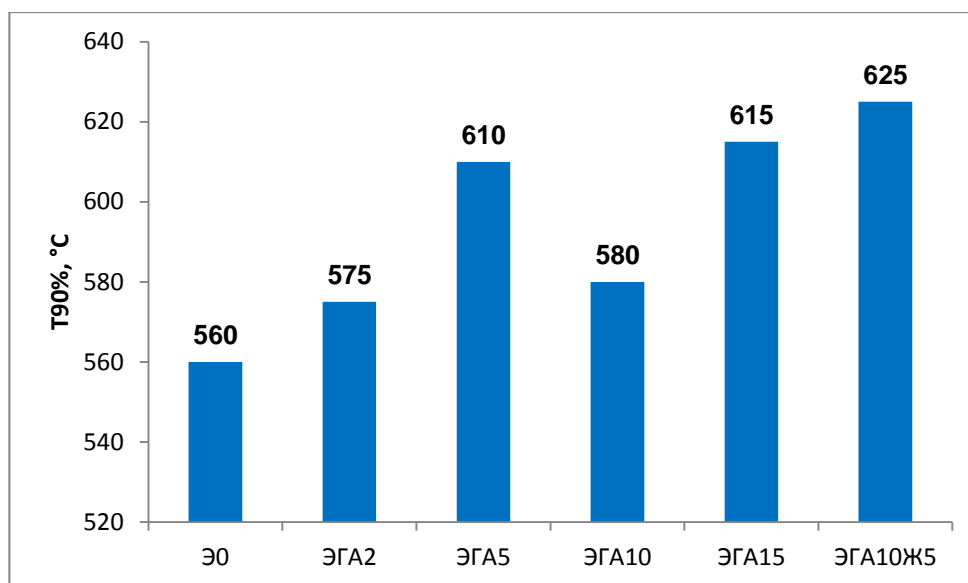


Figure 5 – Ignition temperature of epoxy composites

The sample EGA10FE5 showed the maximum value of time-to-ignition. These results can be attributed to the active role of Fe NP in the formation of protective carbon chair residue.

4. Summary

In this work, the effect of iron nanopowder separately and in combination with aluminum hydroxide on the flammability characteristics of epoxy polymers was evaluated. The flammability characteristics of the produced epoxy composites were determined: the ignition temperature and time- to-ignition. It was found that in the case of the addition of 5 wt. % Fe NP to the epoxy matrix the ignition temperature increased by 11 % in comparison with that of the unfilled epoxy resin.

Thus, the data obtained indicate the effectiveness of the use of nanodispersed iron powders separately and in combination with aluminum hydroxide as filler for epoxy resin in order to improve the fire hazard characteristics of the epoxy composites.