

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

Инженерная школа неразрушающего контроля и безопасности
Направление подготовки 20.03.01 Техносферная безопасность
Отделение контроля и диагностики

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Влияние нанодисперсных металлов на показатели горючести эпоксидных композитов

УДК 614.841.411:620:678.686

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1E51	Смирнова Ирина Николаевна		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Назаренко Ольга Брониславовна	Д.Т.Н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Подопригора И. В.	К.Э.Н		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Романцов И. И.	К.Т.Н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП 20.03.01 Техносферная безопасность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Вторушина А.Н.	К.Х.Н.		

**Результаты освоения образовательной программы по направлению
20.03.01 Техносферная безопасность**

Код рез ульт тат а	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС ВО, СУОС, критериев АИОР, и/или заинтересованных сторон
Общие по направлению подготовки		
Р1	Способность понимать и анализировать социальные и экономические проблемы и процессы, применять базовые методы гуманитарных, социальных и экономических наук в различных видах профессиональной и социальной деятельности.	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (УК-1, 2, ОПК-2). CDIO Syllabus (2.4, 4.1, 4.2.7, 4.7). Критерий 5 АИОР (п. 2.12)
Р2	Демонстрировать понимание сущности и значения информационных технологий в развитии современного общества и для ведения практической инновационной инженерной деятельности в области техносферной безопасности	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (ОПК-1). CDIO Syllabus (3.2). Критерий 5 АИОР (п. 2.5)
Р3	Способность эффективно работать самостоятельно, в качестве члена и руководителя интернационального коллектива при решении междисциплинарных инженерных задач с осознанием необходимости интеллектуального, культурного, нравственного, физического и профессионального саморазвития и самосовершенствования	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (УК-3, 5, 6, 7, ОПК-1, ОПК-3, ОПК-5, ПК-8). CDIO Syllabus (2.4, 2.5, 3.1, 3.3, 4.2), Критерий 5 АИОР (п. 2.9, 2.12, 2.14)
Р4	Осуществлять коммуникации в профессиональной среде и в обществе в целом, разрабатывать документацию, презентовать и защищать результаты инновационной инженерной деятельности, в том числе на иностранном языке.	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (УК-4, ОПК-4). CDIO Syllabus (3.2). Критерий 5 АИОР (п. 2.11)
Р5	Способность применять основные законы естественнонаучных дисциплин, методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования с целью выбора и оптимизации устройств, систем и методов защиты человека и природной среды от опасностей.	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (УК-8, ОПК-1, ПК-5). CDIO Syllabus (1.1, 2.1). Критерий 5 АИОР (п. 2.1, 2.4, 2.6, 2.7, 2.8)

Профиль		
P6	Уметь выбирать, применять, оптимизировать и обслуживать современные системы обеспечения техносферной безопасности на предприятиях и в организациях – потенциальных работодателях, в том числе при реализации инновационных междисциплинарных проектов	Требования ФГОС ВО (ОПК-5, ПК-5, ПК-6, ПК-7). CDIO Syllabus (1.3, 2.1–2.5). Критерий 5 АИОР (п. 2.2, 2.4, 2.4, 2.6, 2.7, 2.8), требованиями проф. стандарта 40.056 Профессиональный стандарт «Специалист по противопожарной профилактике»
P7	Уметь организовать деятельность по обеспечению техносферной безопасности на предприятиях и в организациях – потенциальных работодателя, в том числе при реализации инновационных междисциплинарных проектов	Требования ФГОС ВО (ПК-9, ПК-10, ПК-11, ПК-12, ОПК-3, 4, 5). CDIO Syllabus (1.3, 2.1–2.5, 3.1) Критерий 5 АИОР (п. 2.6, 2.12), требованиями проф. стандарта 40.056 Профессиональный стандарт «Специалист по противопожарной профилактике»
P8	Уметь оценивать механизм, характер и риск воздействия техносферных опасностей на человека и природную среду	Требования ФГОС ВО (ПК-12, ПК-16, ПК-17). CDIO Syllabus (1.3, 2.1–2.5). Критерий 5 АИОР (п. 2.2–2.8), требованиями проф. стандартов 40.056 «Специалист по противопожарной профилактике», 40.054 «Специалист в области охраны труда»
P9	Применять методы и средства мониторинга техносферных опасностей с составлением прогноза возможного развития ситуации	Требования ФГОС ВО (ПК-12, ПК-14, ПК-15, ПК-17, ПК-18). CDIO Syllabus (1.3, 2.1–2.5). Критерий 5 АИОР (п. 2.2–2.8)

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 20.03.01 Техносферная безопасность
Отделение контроля и диагностики

УТВЕРЖДАЮ:
Руководитель ООП
20.03.01 Техносферная безопасность
_____ А. Н. Вторушина
04.02.2019 г.

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

бакалаврской работы

Студенту:

Группа	ФИО
1E51	Смирновой Ирине Николаевне

Тема работы:

Влияние нанодисперсных металлов на показатели горючести эпоксидных композитов

Утверждена приказом директора (дата, номер)

Срок сдачи студентом выполненной работы:

07.06.2019 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 пожарной опасности полимерных материалов; 2) исследовать влияние наполнителей на горючесть образцов эпоксидных композитов; 3) проанализировать полученные результаты; 4) разработать разделы «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение», «Социальная ответственность».
Перечень графического материала	Таблицы, рисунки исследуемых образцов, графики полученных значений температур воспламенения.

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы:

Раздел	Консультант
Социальная ответственность	Романцов Игорь Иванович
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Подопригора Игнат Валерьевич

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	04.02.2019 г.
---	---------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Назаренко Ольга Брониславовна	д.т.н.		04.2.2019 г.

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1E51	Смирнова Ирина Николаевна		04.02.2019 г.

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

Инженерная школа неразрушающего контроля и безопасности
Направление подготовки 20.03.01 Техносферная безопасность
Уровень образования бакалавр
Отделение контроля и диагностики
Период выполнения весенний семестр 2018/2019 учебного года

Форма представления работы:

бакалаврская работа

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН
выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы: 07.06.2019 г.

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
12.03.2019 г.	Обзор литературных данных, изготовление образцов эпоксидных композитов	20
26.03.2019 г.	Изучение методики определения температуры воспламенения, кислородного индекса	10
09.04.2019 г.	Проведение экспериментального исследования	15
23.04.2019 г.	Обработка результатов эксперимента	15
07.05.2019 г.	Анализ результатов расчета полученных данных	10
21.05.2019 г.	Разработка разделов «Социальная ответственность» и «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	10
04.06.2019 г.	Оформление и представление ВКР	20

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Назаренко Ольга Брониславовна	д.т.н.		04.02.2019

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП 20.03.01 Техносферная безопасность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Вторушина Анна Николаевна	к.х.н.		04.02.2019

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

Студенту:

Группа	ФИО
1Е51	Смирновой Ирине Николаевне

Школа	ИШНКБ	Отделение школы (НОЦ)	ОКД
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	20.03.01 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, статистических изданиях, нормативно-правовых документах; наблюдение.
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	Определение потенциального потребителя результатов исследования, анализ конкурентных технических решений.
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований	Формирование плана и графика разработки: - определение структуры работ; - определение трудоемкости работ; - разработка графика Гантта; - расчет бюджета НИ.
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	Оценка сравнительной эффективности проекта

Перечень графического материала:

1. Карта сегментирования рынка	
2. Оценка конкурентоспособности технических решений	
3. График проведения НИ	
4. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ	

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Подопригора Игнат Валерьевич	К.Э.Н		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1Е51	Смирнова Ирина Николаевна		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

Группа	ФИО
1E51	Смирновой Ирине Николаевне

Школа	ИШНКБ	Отделение (НОЦ)	ОКД
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	20.03.01 Техносферная безопасность

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
--	---

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</p>	<p>1) СанПиН 2.2.4.548-96, 2) СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03, 3) СанПиН 2.2.1/2.1.1.2585-10, 4) ГН 2.2.5.3532-18, 5) Р 2.2.2006- 05, 6) ГОСТ 12.4.011-89, 7) ПНД Ф 12.13.1-03, 8) ГОСТ Р 12.1.019-2009. Средства защиты: респираторы, перчатки, специальная одежда.</p>
<p>2. Производственная безопасность: 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия</p>	<p>При изучении места исследования должны быть определены вредные и опасные факторы. Вредные факторы: микроклимат, недостаточная освещенность и/или пульсации света, повышенная загазованность воздуха рабочей зоны. Опасные факторы: термический ожог, поражение электрическим током.</p>
<p>3. Экологическая безопасность:</p>	<p>Рассмотреть, как продукты разложения эпоксидных композитов влияют на окружающую среду.</p>

<p>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</p>	<p>Рассмотреть наиболее вероятный вариант развития ЧС и привести примеры превентивных мер: взрыв газа после его утечки. Работникам предоставляется: лечебно-профилактическое обслуживание и периодические медицинские осмотры работающих во вредных условиях труда; обеспечение работников средствами индивидуальной и коллективной защиты, смывающими и обезвреживающими средствами в соответствии с установленными нормами; санитарно-бытовые помещения и устройства.</p>
---	--

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Романцов Игорь Иванович	К.Т.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1E51	Смирнова Ирина Николаевна		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 75 страниц, 17 рисунков, 30 таблиц, 30 источников.

Ключевые слова: эпоксидные композиты, полимеры, пожароопасность, горючесть, температура воспламенения, кислородный индекс.

Объектом исследования являются эпоксидные композиты.

Цель работы – исследовать влияние нанодисперсных металлов на показатели горючести эпоксидных композитов при введении их в эпоксидную смолу в качестве наполнителей.

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.

В результате исследования получены значения температур воспламенения подготовленных образцов, выявлены особенности их горения. Подтверждена выдвинутая гипотеза.

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

Область применения: исследования в сфере пожаробезопасности.

ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ОБОЗНАЧЕНИЯ, СОКРАЩЕНИЯ, НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ

В данной работе применены следующие термины с соответствующими определениями:

антипирен: Компонент, добавляемый в материал с целью огнезащиты.

ингибирование процесса горения: Замедление процесса горения.

полиэтиленполиамин: Отвердитель эпоксидно-диановых смол.

инертный наполнитель: Вещество, которое не оказывает существенного влияния на состав и количество продуктов пиролиза полимерных материалов в газовой фазе и величину коксового остатка в условиях горения.

Список используемых сокращений:

ПВХ – поливинилхлорид

КИ – кислородный индекс

ПЭПА – полиэтиленполиамин

НП – нанопорошки

T_{воспл} – температура воспламенения

ПДК_{м.р.} – предельно допустимая концентрация максимально разовая

ПДК_{с.с.} – предельно допустимая концентрация среднесуточная

ЧС – чрезвычайная ситуация

НТИ – научно-техническое исследование

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ	1
1. ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР	3
1.1. Пожарная опасность полимерных материалов	4
1.2. Характеристики горючести полимерных материалов	6
1.3. Способы снижения горючести полимерных материалов	9
1.4. Основные виды наполнителей для снижения горючести	9
2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ.....	12
2.1. Характеристика исходных веществ	12
2.2. Термический анализ.....	16
2.3. Определение температуры воспламенения.....	17
3. Результаты исследований.....	19
3.1. Результаты термического анализа.....	19
3.2. Результаты определения температуры воспламенения	23
4. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ.....	32
4.1. Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	32
4.1.1. Потенциальные потребители результатов исследования	32
4.1.2. Анализ конкурентных технических решений	34
4.2. Планирование научно-исследовательской работы.....	35
4.2.1. Структура работ в рамках научного исследования	35
4.2.2. Определение трудоемкости выполнения работ	36
4.3. Разработка графика проведения научного исследования.....	40
4.4. Бюджет научно-технического исследования (НТИ)	44
4.4.1. Расчет материальных затрат НТИ.....	44
4.4.2. Основная заработная плата исполнителей темы	45
4.4.3. Дополнительная заработная плата исполнителей темы	46
4.4.4. Отчисления во внебюджетные фонды.....	47

4.4.5. Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта	47
4.5. Определение ресурсной, финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	48
4.5.1. Оценка социальной эффективности исследования	48
5. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ	50
5.1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности .	50
5.1.1. Специальные правовые нормы трудового законодательства.....	51
5.2. Производственная безопасность	51
5.2.1. Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть в лаборатории при проведении исследований	51
5.2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействий опасных и вредных факторов	52
5.2.2.1. Микроклимат	52
5.2.2.2. Освещенность	53
5.2.2.3. Повышенная загазованность воздуха рабочей зоны	53
5.2.2.4. Термический ожог.....	54
5.2.2.5. Поражение электрическим током.....	55
5.3. Экологическая безопасность.....	55
5.3.1. Анализ влияния процесса исследования на окружающую среду ...	55
5.3.1.1. Влияние на атмосферу.....	56
5.3.2. Обоснование мероприятий по защите окружающей среды	57
5.4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях	57
5.4.1. Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть в лаборатории при проведении исследований.....	57
5.4.2. Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС	57
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	59
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	60

ВВЕДЕНИЕ

В современном мире использование эпоксидных полимеров распространено достаточно широко: для изготовления предметов хозяйственного назначения, лакокрасочных покрытий, материалов внутренней отделки стен и потолков, а также в качестве строительных конструкций.

Такое повсеместное использование полимерных материалов требует тщательного изучения их пожароопасных характеристик, так как основным недостатком, ограничивающим область применения эпоксидных полимеров, является низкая термостойкость и повышенная горючесть.

Проанализировав статистические данные пожаров, можно сделать вывод, что увеличение количества пожаров и материального ущерба можно соотнести с увеличением потребления полимерных материалов в строительстве и быту. Более того, причиной гибели людей в пятидесяти процентах случаев является отравление токсинами, выделяющимися при сгорании полимеров.

Таким образом, **актуальность** выбранной темы обуславливается необходимостью изучения возможного снижения горючести полимерных материалов.

Объектом исследования являются эпоксидные композиты.

Предмет исследования – влияние нанопорошков металлов на характеристики горючести эпоксидных композитов.

Цель работы – исследовать влияние нанодисперсных металлов на показатели горючести эпоксидных композитов при введении их в эпоксидную смолу в качестве наполнителей.

Задачи:

1) изучить литературу по вопросам пожароопасности полимерных материалов и методам снижения их горючести;

2) подготовить образцы для исследований на основе эпоксидной смолы и нанопорошков металлов;

3) оценить влияние нанодисперсных металлов на характеристики горючести изготовленных эпоксидных композитов.

Гипотеза исследования – нанопорошки металлов, при использовании их как наполнителей для полимерных материалов могут понижать горючесть данных материалов.

Практическая значимость результатов ВКР – результаты ВКР могут быть использованы производителями полимерных материалов при производстве полимеров, а также полученные результаты исследования можно использовать в качестве материала для дальнейшего изучения методов понижения горючести полимеров.

Реализация и апробация работы – выбранная тема была представлена на V Всероссийском конкурсе научных докладов студентов «Функциональные материалы: разработка, исследование, применение», а также в рамках IV Всероссийского конкурса НИР студентов и аспирантов ВУЗов и научных академических институтов России по естественным, техническим и гуманитарным наукам «Шаг в науку».

1. ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

В процессе исследования был проведен анализ научных статей и литературы, в которых описаны процессы действия антипиренов при горении полимерных материалов, а также история развития их применения. Данные представлены в таблице 1.

Таблица 1 – История разработки антипиренов

Период разработки	Описание
19 век	начало исследования проблем горения полимеров в связи с открытием огнеопасной целлюлозы, большим объемом производства пластмасс (фенопласты, ПВХ)
1970 г	применение в качестве антипиренов галогенсодержащие производных и гидроксида алюминия для эпоксидных смол
1980 г	применение гидроокиси алюминия в качестве антипирена в ненасыщенных пластиках.
1985-1986 гг	при проведении лабораторных испытаний немецкими учеными зафиксировано наличие бромсодержащих диоксинов в продуктах пиролиза бромированного дифенил оксида при 510-630 °С
2000-2019 гг	модифицирование традиционных наполнителей и использование в качестве замедлителей горения нанопорошков металлов, а также материалов в виде микрокапсул

В Германии и в Голландии были приняты меры по запрету применения и резкому сокращению производства бромированного дифенил оксида, из-за высокой вероятности образования в процессе горения и переработки высокотоксичных и канцерогенных бромированных диоксинов и фуранов. Впоследствии эти решения коснулись и других представителей Европейского Союза, где был принят ряд нормативных документов запрещающих использование подобных соединений [2].

Введение в полимерные материалы металлических порошков позволяет в широких пределах изменять электропроводность, теплопроводность, теплоемкость, а также магнитные характеристики полимерных материалов [1]. Использование порошков металлов в нанодисперсном состоянии может привести к выгодному изменению свойств полимера при относительно низкой концентрации металла в полимере – порядка нескольких процентов.

1.1. Пожарная опасность полимерных материалов

Эксплуатационные характеристики, физико-механические свойства, характеристики пожароопасности эпоксидных полимеров являются предметом исследований ряда научных работ. Пожарная опасность полимеров характеризуется пожарно-техническими показателями, представленными в таблице 2.

Таблица 2 – Показатели оценки пожароопасности композитных материалов

Показатель	Характеристика показателя
1. Горючесть	– способность материала загораться, поддерживать и распространять процесс горения [1]

2. Дымообразующая способность	– показатель плотности дыма при пламенном горении
3. Токсичность продуктов горения и пиролиза	– разложение вещества под действием высоких температур [1]
4. Огнестойкость конструкции	– способность сохранять физико-механические (такие как прочность, жесткость) и функциональные свойства изделия при воздействии пламени [1]

Снижению пожароопасности полимерных материалов способствует введение добавок, обладающих пламягасящими свойствами. Использование таких добавок эффективно при их введении в высоких концентрациях, иногда более 50 мас. %. Применение такого рода наполнителей способствует ухудшению физико-механических, технологических и эксплуатационных свойств, при этом увеличивается себестоимость материала. Следовательно, снижение пожарной опасности полимерных материалов является комплексной задачей по оптимизации характеристик разрабатываемых полимерных композиционных материалов.

Полимеры представляют собой органические вещества, большая часть из которых воспламеняется и горит при температурах выше 300 °С.

На рисунке 1 представлена схема горения полимерных материалов.

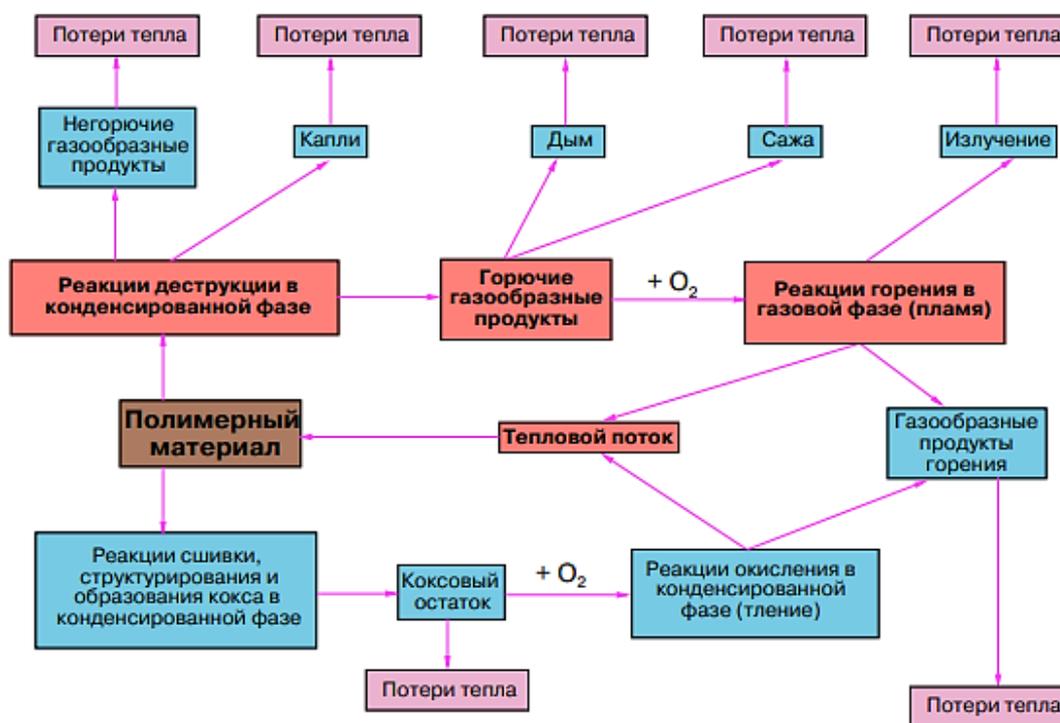


Рисунок 1 – Схема горения полимерных материалов [1]

Возможные направления снижения горючести полимерных материалов можно определить, проанализировав схему горения полимеров, представленную на рисунке 1. Стоит отметить, что проблема заключается не в создании абсолютно негорючего полимера, а в снижении его горючести таким образом, чтобы он медленнее загорался и распространение пламени по материалу протекало длительное время. Следовательно, для загорания материала требовались бы более высокие значения температур.

1.2. Характеристики горючести полимерных материалов

Горючесть – это характеристика материала, объединяющая в себе комплекс величин, представленных в таблице 3.

Таблица 3 – Величины, характеризующие горючесть вещества

Название величины	Описание
1. Температура воспламенения	– наименьшая температура вещества, при которой вещество выделяет горючие пары и газы с такой скоростью, что при воздействии на них источника зажигания наблюдается воспламенение [5]
2. Температура самовоспламенения	– наименьшая температура окружающей среды, при которой в условиях специальных испытаний наблюдается самовоспламенение вещества [5]
3. Скорость распространения пламени по поверхности	– расстояние, пройденное фронтом пламени в единицу времени [5]
4. Кислородный индекс	– минимальное объемное процентное содержание кислорода в кислородно-азотной смеси, при котором возможно свечеобразное горение материалов в условиях специальных испытаний [5]

Следует отметить, что перечисленные выше характеристики пожарной опасности и горючести часто являются противоречивыми и улучшение одного из свойств может сопровождаться ухудшением других.

В таблице 4 описаны инертные наполнители, используемые в качестве замедлителей горения и снижения горючести полимеров.

Таблица 4 – Наполнители, применяемые для снижения горючести полимеров

Вид наполнителя	Температура разложения наполнителя	Пример наполнителя
1) минеральные наполнители	свыше 1000 °С	оксиды металлов, порошкообразные металлы, силикаты [1]
2) вещества, выделяющие углекислый газ, пары воды, аммиака	400-500 °С	гидрокарбонаты металлов, гидроксиды, карбонаты [1]

При классификации горючести полимерных материалов необходимо учитывать, что их воспламенение и горение зависит как от химического состава, так и от температуры источника горения, условий воспламенения, наличия легкосгораемых материалов-соседей, формы изделия или конструкции и ряда других причин [6].

Группы показателей, характеризующих горючесть полимеров, представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Классификация горючести полимеров

Группа показателей горючести	Показатели горючести
1. Кинетическая	скорость горения, скорость распространения пламени
2. Тепловая	теплота сгорания
3. Температурная	температура воспламенения, температура самовоспламенения
4. Концентрационная	содержание окислителя и горючего вещества, кислородный индекс

Отнесение материалов к определенной группе возгораемости связано со скоростью воспламенения, устойчивостью и скоростью горения.

1.3. Способы снижения горючести полимерных материалов

Ингибирование процессов горения достигается за счет введения в материал антипиренов, добавок, замедлителей горения. Способы снижения горючести и принцип их действия описаны в таблице 6.

Таблица 6 – Способы снижения горючести полимерных материалов

Способ снижения горючести	Принцип действия
1) изменение теплового баланса пламени	осуществляется путем увеличения теплопотерь
2) создание защитного слоя	образование кокса на поверхности полимера для уменьшения потока тепла от пламени
3) изменение соотношения продуктов разложения	осуществляется в пользу негорючих продуктов разложения

Эффективным способом снижения горючести полимеров является изменение протекания процесса деструкции полимерных материалов в сторону увеличения коксового остатка. Коксование влияет на протекание всего процесса горения. Следовательно, чем больше кокса остается при разложении полимерного материала под действием высоких температур, тем менее горючим является данный полимер.

1.4. Основные виды наполнителей для снижения горючести

Наполнители, использующиеся с целью замедления горения и снижения горючести полимеров, состоят из соединений, представленных в таблице 7.

Таблица 7 – Виды антипиренов

Название антипирена	Характеристика
1. фосфорорганические антипирены	составляют 20% от всего мирового производства антипиренов. Пример: фосфор [2].
2. азотсодержащие антипирены	применяются для ограниченного числа полимеров [2]. Пример: азот
3. галогенсодержащие соединения	занимают около 25 % от мирового производства антипиренов. Пример: соединения на основе хлора и брома.
4. неорганические антипирены	составляют 50 % от всего мирового производства замедлителей горения. Пример: гидроксид магния, гидроксид алюминия, полифосфат аммония.

Механизм действия вышеперечисленных наполнителей сводится к тому, что они предотвращают либо подавляют процессы горения путем физического или химического воздействия в газовой или конденсированной фазе.

При введении в полимер нанодисперсных наполнителей происходят структурные изменения, приводящие к снижению кинетической подвижности макромолекул, обрыву цепей распада полимера и рекомбинации микрорадикалов на поверхности металла, в результате чего

повышается термостабильность наполненных полимеров по сравнению с ненаполненным [7].

В связи с тем, что использование галогенсодержащих, фосфорсодержащих замедлителей горения приводит к загрязнению окружающей среды, необходимость разработки и интенсификации наполнителей, используемых для снижения горючести полимерных материалов производится с целью создания новых экологически-безопасных антипиренов.

Новыми направлениями в замедлении горения являются следующие:

- 1) интумесцентные (вспучивающиеся) системы, полимерные нанокompозиты,
- 2) предкерамические добавки, легкоплавкие стекла, различные типы коксобразователей, системы, модифицирующие состав полимера [8].

2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

2.1. Характеристика исходных веществ

Для получения эпоксидных композитов использовалась эпоксидная смола ЭД-20, а в качестве наполнителей – порошки нанодисперсных металлов алюминия и железа, а также цеолит и борная кислота. Для сравнения были использованы традиционные антипирены – гидроксид алюминия, фосфорсодержащий антипирен (MPF), магний содержащий антипирен (MPF-Mg). Концентрация наполнителей в композициях составляла 10 мас. %. Концентрация НП алюминия – 5 мас. %, борной кислоты 10 мас. %, цеолита 1 мас. %.

Для сравнения термических показателей изготовлена чистая эпоксидная смола без наполнителя. Состав образцов эпоксидных композитов, для которых проводился термический анализ с целью определения кислородного индекса, представлен в таблице 8.

Таблица 8 – Состав эпоксидных композитов

№	Образец	ЭД-20, мас. %	ПЭПА , мас. %	НП алюминия, мас. %	НП железа, мас. %	Сахаптински й цеолит, мас. %	Борная кислота, мас. %
1	Э0	100	10	0	0	0	0
2	ЭА5	100	10	5	0	0	0
3	ЭБ10	100	10	0	0	0	10
4	ЭА5Б10	100	10	5	0	0	10
5	ЭЦ1	100	10	0	0	1	0
6	ЭА5Б10Ц1	100	10	5	0	1	10

На рисунке 2 изображены образцы эпоксидных композитов с наполнителем НП алюминия.



Рисунок 2 – Образцы эпоксидных композитов с наполнителем НП алюминия

Образцы эпоксидных композитов, наполненные нанопорошками железа, а также комбинацией нанопорошков железа и традиционного антипирена – борной кислоты, были изготовлены для определения температуры воспламенения. Для сравнения были разработаны и исследованы образцы эпоксидных композитов, в составе которых в качестве наполнителей используются традиционные антипирены: гидроксид алюминия, а также фосфорсодержащий антипирен и магнийсодержащий антипирен. Состав образцов эпоксидных композитов, для которых определялась температура воспламенения, представлен в таблице 9.

Таблица 9 – Образцы для сравнения показателей горючести

№	Образец	ЭД-20, мас. %	ПЭПА, мас. %	Al(OH) ₃	MPF	MPF-Mg	НП железа, мас. %	Борная кислота, мас. %
1	ЭГ	100	10	10	0	0	0	0
2	ЭФ	100	10	0	10	0	0	0
3	ЭМ	100	10	0	0	10	0	0
4	ЭЖ5	100	10	0	0	0	5	0
5	ЭЖ5Б10	100	10	0	0	0	5	10

Исходные вещества исследовались с помощью сканирующей электронной микроскопии (ТМ-3000). Микрофотографии представлены на рисунках 3-6.

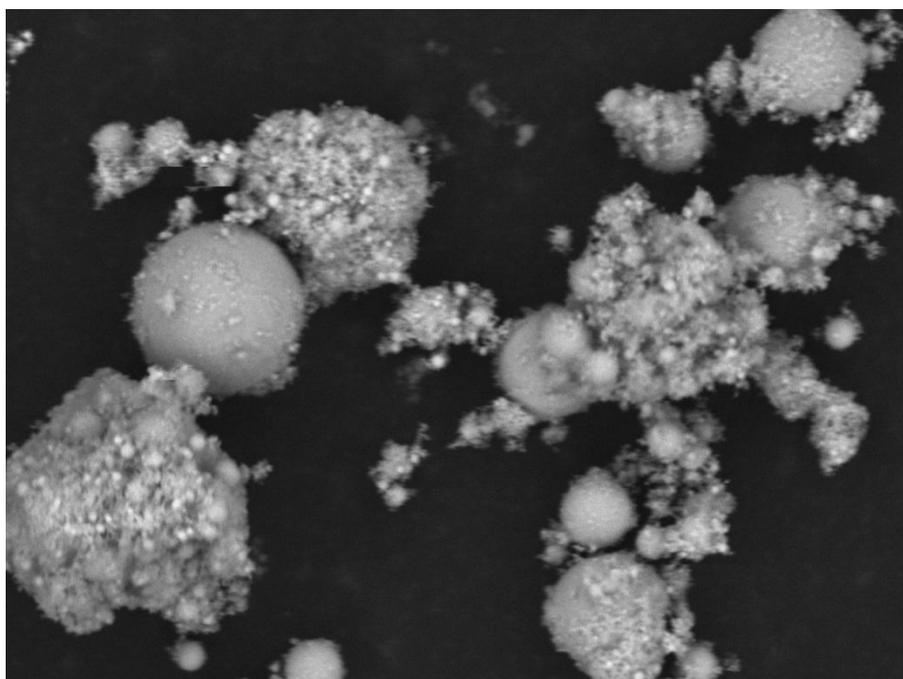


Рисунок 3 – Микрофотография нанопорошка алюминия

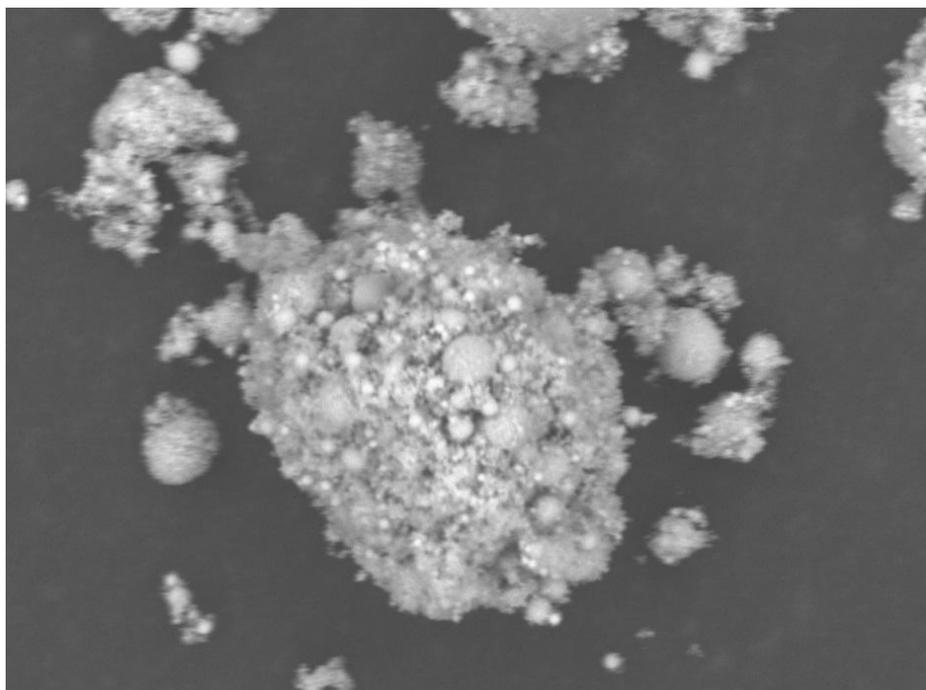


Рисунок 4 – Микрофотография нанопорошка железа

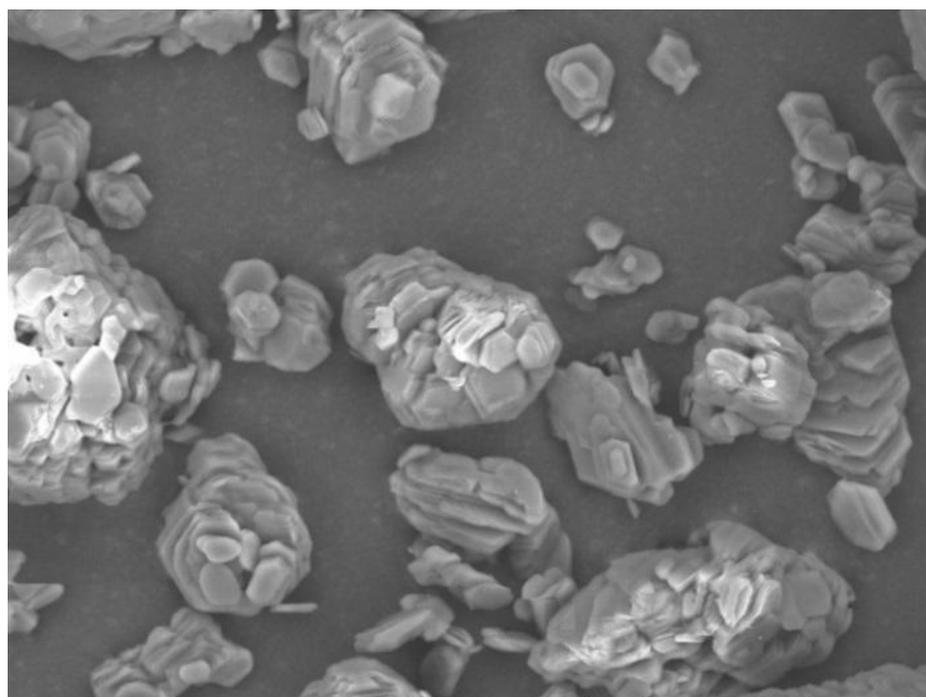


Рисунок 5 – Микрофотография борной кислоты

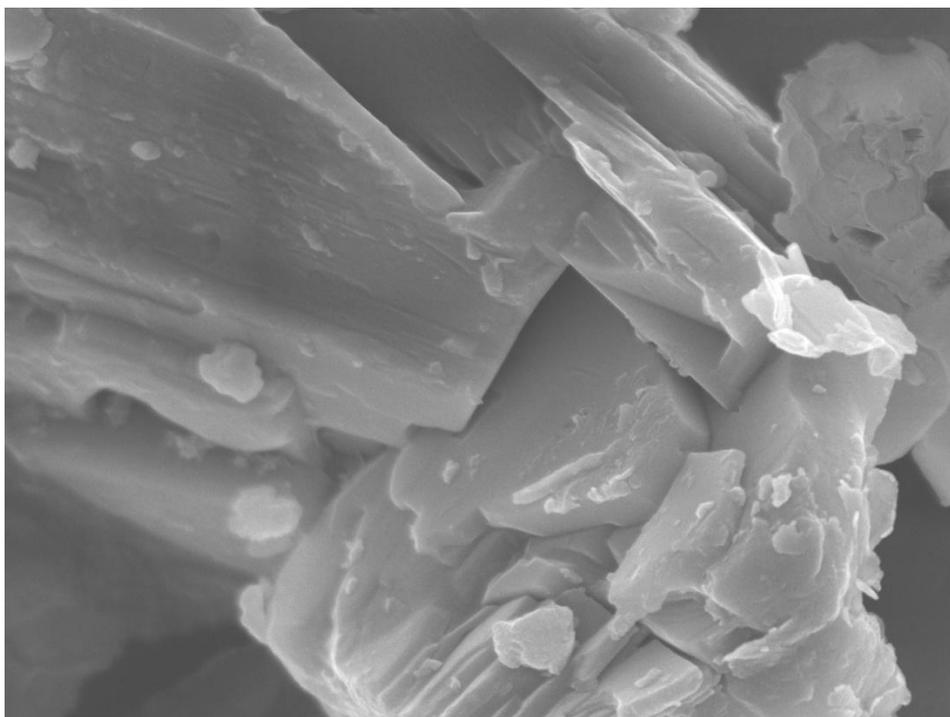


Рисунок 6 – Микрофотография цеолита

2.2. Термический анализ

Идентификация материалов и оценка их пожарной опасности осуществляется на основании метода термического анализа в соответствии с ГОСТ Р 53293-2009 [9].

В основе методов термического анализа лежит регистрация изменения физических и химических свойств, протекающих в исследуемых образцах при их нагревании или охлаждении с определенной скоростью в атмосфере окислительной или инертной.

Термогравиметрический анализ (ТГ) основан на непрерывной регистрации изменения массы образца в зависимости от времени или температуры при нагревании в соответствии с выбранной температурной программой в заданной газовой атмосфере. Измерительная система позволяет многократно нагревать и охлаждать образец с контролируемой скоростью, а также проводить изотермические измерения [9].

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 аргоне от температуры окружающей среды до температуры 850 °С.

Также необходимо учитывать процентное содержание кислорода в атмосфере воздуха, которое численно равно 21% [10]. Следовательно, если значение КИ материала ниже 21 % , материал будет поддерживать горение на воздухе.

2.3. 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 [5].

Значение температуры воспламенения исследуемого образца необходимо для разработки мероприятий обеспечению пожарной безопасности, а также определения группы горючести веществ.

Экспериментальный метод определения температуры воспламенения заключается в нагревании вещества, при котором происходит зажигание выделяющихся паров, после чего фиксируется наличие воспламенения при установленной температуре.

Для проведения эксперимента было подготовлено по пять образцов каждой серии испытания. В соответствии с методикой определения показателей пожаровзрывоопасности образцы одного материала не отличаются по массе более чем на 2%. Перед испытанием каждый образец был взвешен и определена масса с точностью до 0,1 г.

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 (400°C) и воздействии пламени горелки. После внесения в реакционную печь исследуемых образцов производится контроль температурных показателей. Для вычисления температуры воспламенения исследуемого вещества принимается среднее арифметическое двух температур, отличающихся не более чем на 10 °С.

3. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

3.1. Результаты термического анализа

Термический анализ проводился для образцов эпоксидных композитов, состав которых представлен в таблице 8. По результатам термического анализа построены графики изменения масс эпоксидных композитов в зависимости от температуры, изображенные на рисунках 7-12.

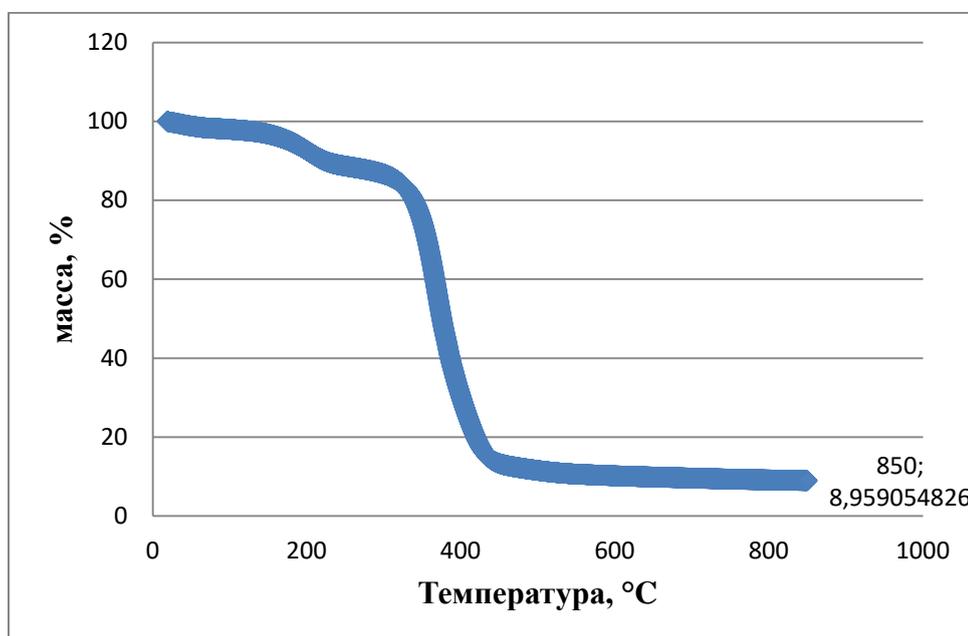


Рисунок 7 – Зависимость массы от температуры при нагревании композита ЭО

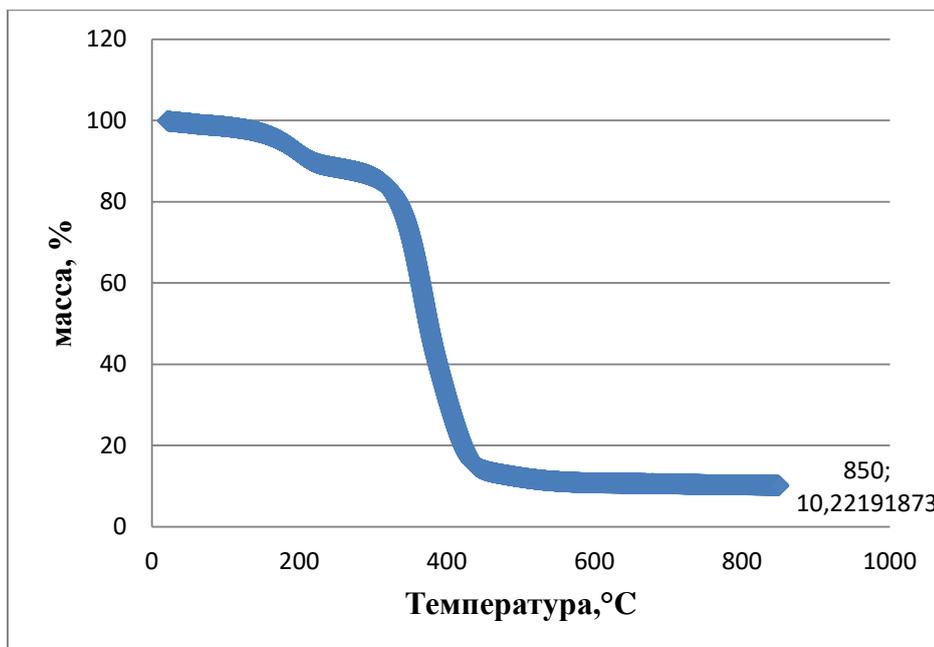


Рисунок 8– Зависимость массы от температуры при нагревании композита ЭА5

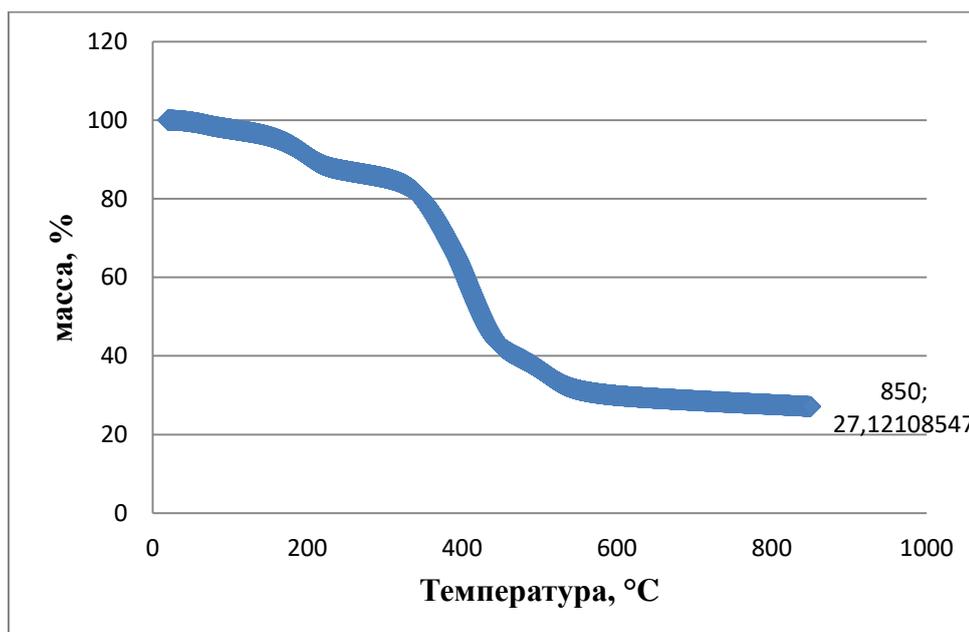


Рисунок 9 – Зависимость массы от температуры при нагревании композита ЭА5Б1

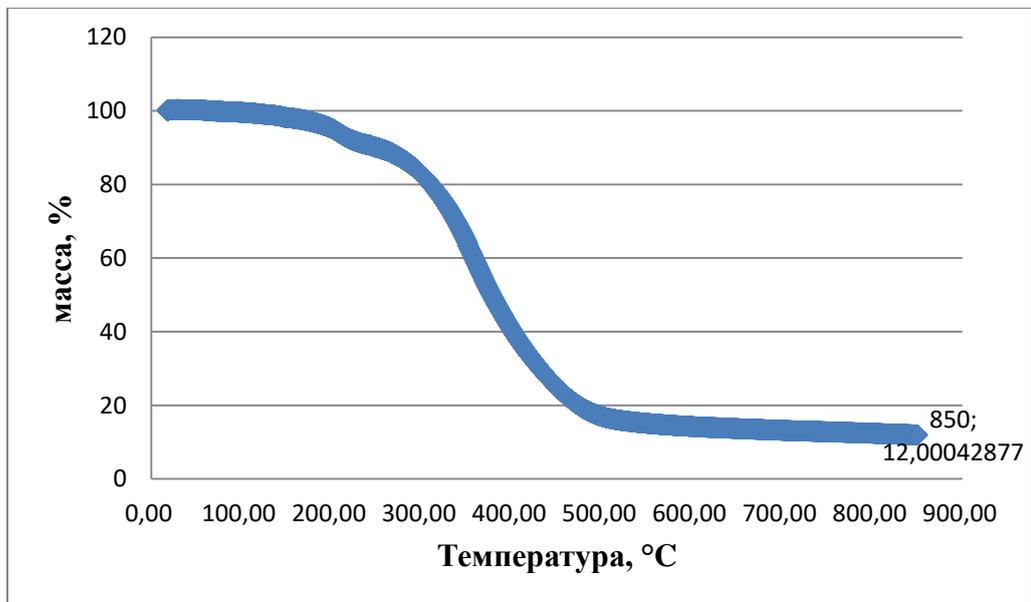


Рисунок 10 – Зависимость массы от температуры при нагревании композита ЭБ10

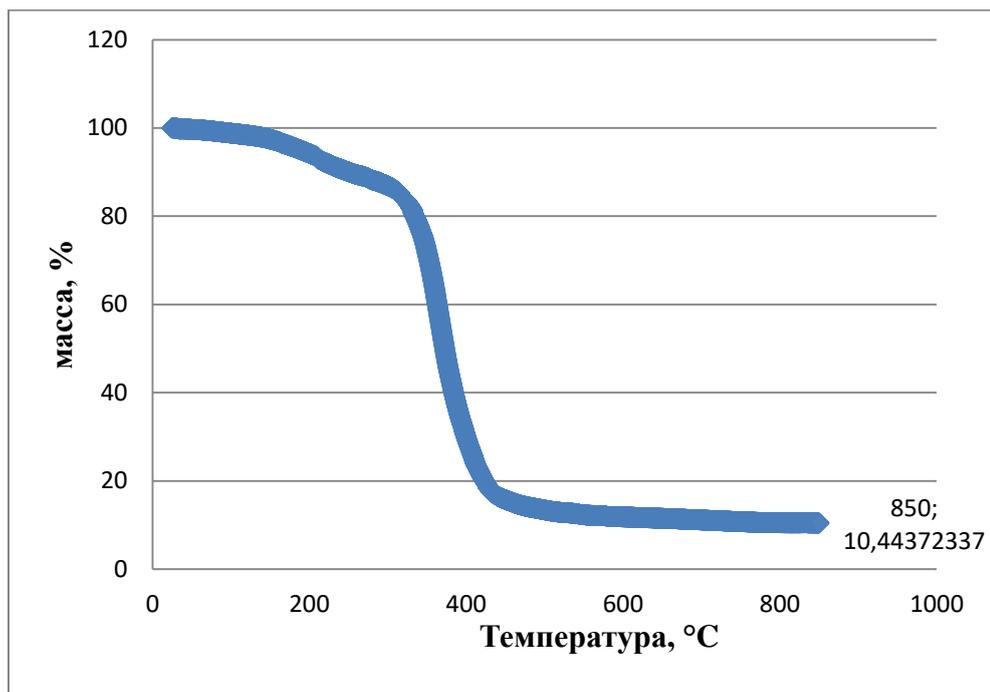


Рисунок 11 – Зависимость массы от температуры при нагревании композита ЭЦ1

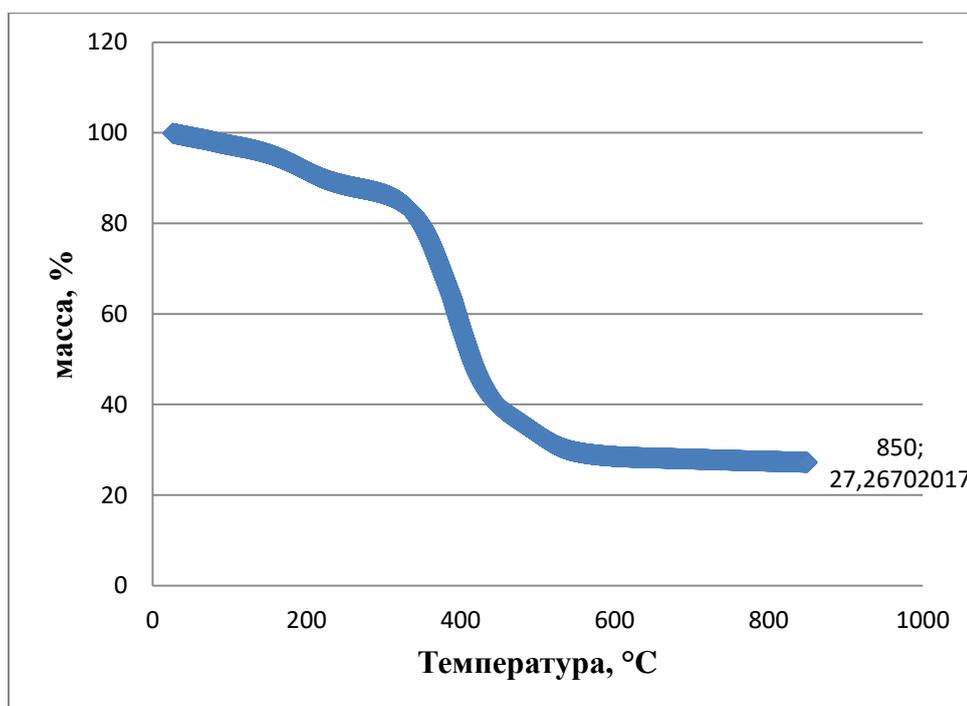


Рисунок 12 – Зависимость массы от температуры при нагревании композита ЭА5Б10Ц1

При значении температуры 850 °C определен коксовый остаток на основании которого, с применением формулы Ван-Кревелена рассчитаны значения кислородных индексов образцов.

Кислородный индекс рассчитывался по формуле Ван-Кревелена:

$$КИ = 17,5 + 0,4КО, \quad (1)$$

где КО – коксовый остаток при заданной температуре.

Значения коксового остатка, определенные по данным термического анализа, и результаты расчета кислородных индексов исследуемых образцов представлены в таблице 10.

Таблица 10 – Значения кислородного индекса образцов

№	Образец	850 °C	
		КО, %	КИ, %
1	Э0	8,95	21,1
2	ЭБ10	12,0	22,3

3	ЭА5	10,2	21,6
4	ЭА5Б10Ц1	27,3	28,4
5	ЭА5Б10	27,1	28,3
6	ЭЦ1	10,4	27,7

Анализ табличных данных показал, что увеличение значения КИ достигается за счет комбинирования наполнителей НП алюминия с борной кислотой и цеолитом.

В результате исследования выявлено, что введение металлических нанопорошков (нанопорошка алюминия) приводит к улучшению термической стабильности эпоксидных композитов в сочетании с традиционными антипиренами, такими как борная кислота.

При нагревании борной кислоты происходит ее разложение с выделением и испарением воды. При протекании эндотермической реакции происходит образование метаборной кислоты HBO_3 и оксида бора B_2O_3 , что приводит к охлаждению полимерной матрицы при горении и образованию стекловидной пленки оксида бора на поверхности полимерного материала.

Следовательно, добавление борной кислоты к нанопорошку алюминия лучше всего замедляет процесс термической деструкции эпоксидных нанокомпозитов.

3.2. Результаты определения температуры воспламенения

Для экспериментального определения температуры воспламенения методом определения показателей пожаровзрывоопасности веществ и материалов, подготовлены образцы эпоксидных композитов, изображенных на рисунке 13:

1) Серия 1 – эпоксидная смола (ЭД-20), отвердитель ПЭПА, наполнитель $Al(OH)_3$ 10% мас.;

2) Серия 2 – эпоксидная смола (ЭД-20), отвердитель ПЭПА, наполнитель MPF (фосфат) 10% мас.,

3) Серия 3 – эпоксидная смола (ЭД-20), отвердитель ПЭПА, наполнитель MPF (магний) 10% мас.

Применив методику определения показателей пожаровзрывоопасности веществ и материалов, произведен анализ полученных значений температур воспламенения образцов. Рассчитаны среднеарифметические значения температур воспламенения для каждой группы подготовленных образцов.



Рисунок 13 – Образцы эпоксидных композитов для серий 1–3 до начала эксперимента

Результаты проведенного исследования эпоксидных композитов с наполнителями НП металлов изображены на рисунке 14.



Рисунок 14 – Образцы эпоксидных композитов для серий 1–3 после проведенного эксперимента

В таблицах 11-13 представлены полученные значения температур воспламенения, массы исследуемых образцов, зафиксирована продолжительность горения.

Таблица 11 – Экспериментальные значения температуры воспламенения образцов серии 1

Номер образца	$T_{\text{воспл}}, ^\circ\text{C}$	Время до воспламенения, мин	Масса образца, г
101	337	3,30	3,16
102	345	3,25	3,31
103	353	3,11	3,44
104	340	3,27	3,60
105	358	3,46	3,42

Среднеарифметическое значение температуры воспламенения для образцов серии 1 равно 347 °С. В ходе проведения испытания отмечено, что возгорание образца под номером 101 произошло внизу, а образец под номером 104 при горении вспучился.

Таблица 12– Экспериментальные значения температуры воспламенения образцов серии 2

Номер образца	T_{воспл}, °С	Время до воспламенения, мин	Масса образца, г
201	339	2,44	3,79
202	342	2,20	3,25
203	330	2,15	3,59
204	313	1,54	3,40
205	312	2,20	3,30

Среднеарифметическое значение температуры воспламенения для образцов серии 2 равно 335 °С. В ходе проведения испытания отмечено, что образец под номером 202 сильно вспучился и наполнитель выступил в виде гранул, а образец под номером 204 вспучился и почернел наполовину, в то время как образец под номером 205 вспучился, частично почернел и загорелся с одной стороны.

Таблица 13 – Экспериментальные значения температуры воспламенения образцов серии 3

Номер образца	T_{воспл}, °С	Время до воспламенения, мин	Масса образца, г
301	322	3,05	3,26

302	313	3,04	3,30
303	312	3,13	2,80
304	323	3,07	3,14
305	332	3,07	3,07

Среднеарифметическое значение температуры воспламенения для образцов серии 3 равно 318 °С. В ходе проведения испытания отмечено, что образец под номером 302 не потухал после возгорания, образцы 303 и 305 вспучились.

Результаты полученных значений температур воспламенения при протекании реакций горения каждой серии образцов зафиксированы и отображены на рисунках 15-17.

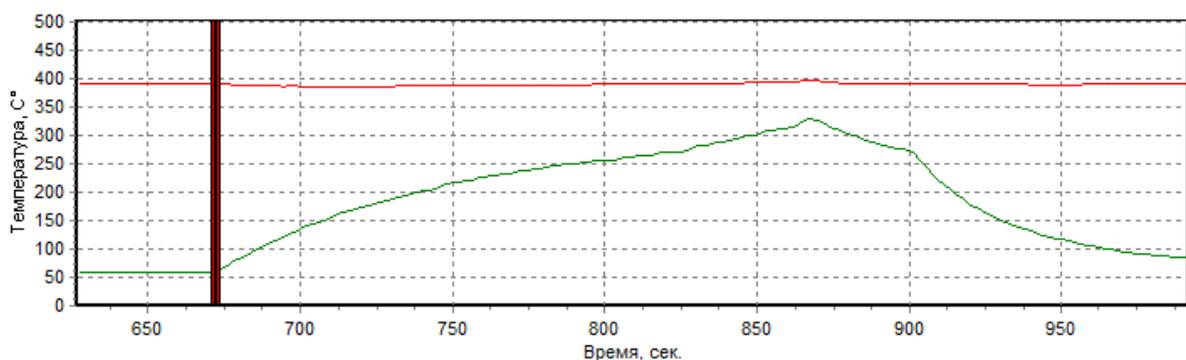


Рисунок 15 – Температура воспламенения образца 101

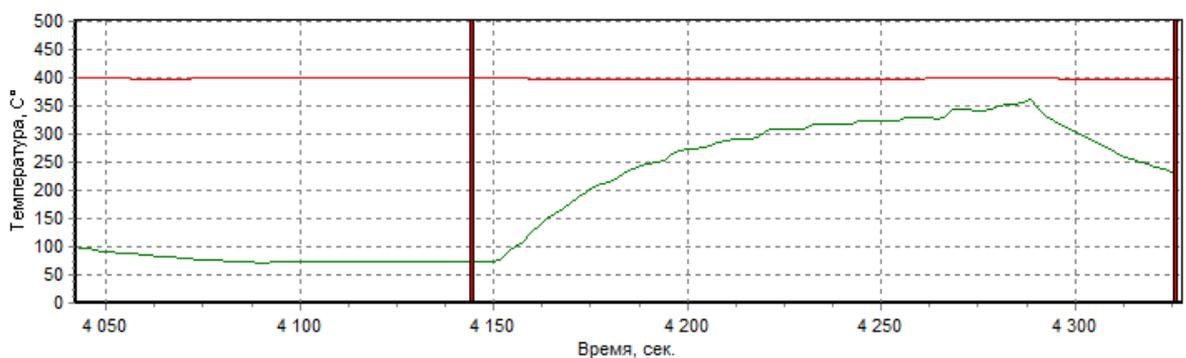


Рисунок 16 – Температура воспламенения образца 204

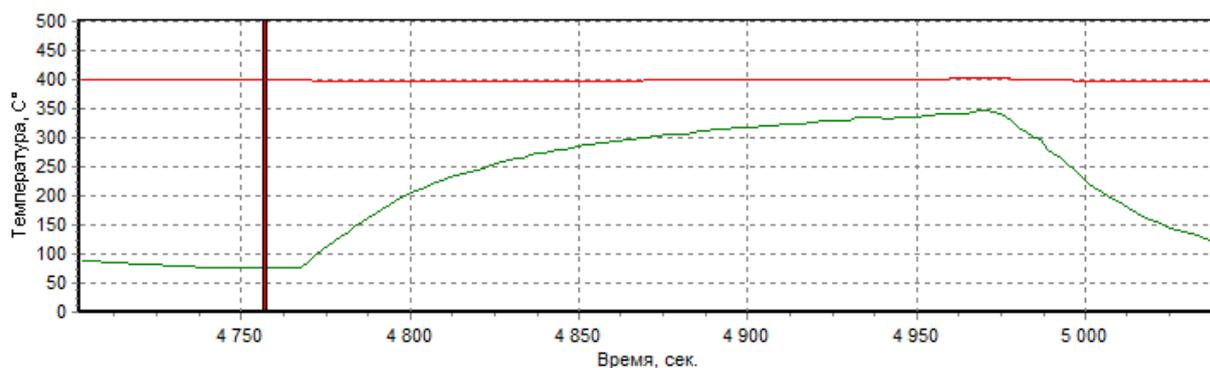


Рисунок 17 – Температура воспламенения образца 301

Четвертая серия образцов эпоксидных композитов была подготовлена с наполнителем НП железа и в комбинации НП железа с борной кислотой:

- 1) Э01 – образец без наполнителя;
- 2) ЭЖ5 – эпоксидная смола + НП железа 5 % мас.;
- 3) ЭБЖ10 – эпоксидная смола + НП железа 5 % мас. + борная кислота 10% мас.

Полученные экспериментальные значения температур воспламенения исследуемых образцов представлены в таблицах 14-16.

Таблица 14 – Экспериментальные значения температуры воспламенения образцов Э01

Номер образца	$T_{\text{воспл}}, ^\circ\text{C}$	Масса образца, г	Время до воспламенения, мин
101	304	5,16	5,05
102	302	5,25	6,33
103	303	5,18	5,19
104	311	5,21	6,1
105	303	5,29	5,08

Следовательно, для образца Э01 средняя температура воспламенения равна 307 °С.

Таблица 15 – Экспериментальные значения температуры воспламенения образцов ЭЖ5

Номер образца	$T_{\text{воспл}}$, °С	Масса образца, г	Время до воспламенения, мин
201	320	5,09	5,48
202	318	5,02	6,01
203	316	5,03	6,18
204	308	5,00	5,39
205	307	5,10	5,45

Для образца ЭЖ5 средняя температура воспламенения – 313 °С.

Таблица 16 – Экспериментальные значения температуры воспламенения образцов ЭБЖ10

Номер образца	$T_{\text{воспл}}$, °С	Масса образца, г	Время до воспламенения, мин
301	335	5,14	5,08
302	331	5,21	6,1
303	321	5,11	5,12
304	316	5,13	4,44
305	305	5,09	4,58

Для образца ЭБЖ10 средняя температура воспламенения – 326 °С.

Следует отметить особенности протекания процесса горения. Образец, не имеющий в составе наполнителей (нулевой) 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%.

Уменьшение потери массы образцов с увеличением концентрации наполнителей свидетельствует также о снижении количества газообразных продуктов, образующихся при нагреве полимерных материалов.

Сравнение характеристик горючести композитов с ненаполненным образцом позволило установить, что применение нанопорошков в качестве наполнителей полимерных материалов способствует повышению температуры воспламенения и уменьшению % потери масс образца. Это свидетельствует об улучшении эффективности наполнителя и пожароопасных характеристик данных образцов.

В таблице 17 приведены результаты среднеарифметических значений температур воспламенения исследуемых образцов.

Таблица 17 – Результаты температур воспламенения исследуемых
эпоксидных композитов

№	Образец	T _{воспл.} °С
1	Серия 1 с наполнителем Al(OH) ₃	347
2	Серия 2 с наполнителем MPF (фосфат)	335
3	Серия 3 с наполнителем MPF (магний)	318
4	Э01	307
5	ЭЖ5	313
6	ЭЖ10	326

Полученные значения температур воспламенения свидетельствуют о том, что нанопорошки металлов, при использовании их как наполнителей для полимерных материалов могут понижать горючесть данных материалов. Следовательно, гипотеза исследования подтверждена.

4. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

4.1. Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

4.1.1. Потенциальные потребители результатов исследования

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, термической стабильности и механической прочности 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 научно-исследовательских работ.
4. Рассчитать бюджет научно-технического исследования (НТИ).
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.

Для анализа потенциальных потребителей результатов проведенного исследования проанализирован целевой рынок и проведено его сегментирование. Результаты представлены в таблице 18.

Таблица 18 – 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.

4.1.2. Анализ конкурентных технических решений

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения проводится с помощью оценочной карты, приведенной в таблице 19.

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 19 – Оценочная карта сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б _{УГ}	Б _Т	Б _{НП}	К _{УГ}	К _Т	К _{НП}
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Эффективность	0,19	4	3	5	0,76	0,57	0,95
2. Безопасность	0,15	3	4	5	0,45	0,6	0,75
3. Сложность производства	0,07	2	3	4	0,14	0,21	0,28
4. Сложность исходных материалов	0,06	2	4	3	0,12	0,24	0,18
5. Специальное оборудование для	0,1	3	3	2	0,3	0,3	0,2

производства							
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Конкурентоспособность продукта	0,06	3	4	5	0,18	0,24	0,3
2. Цена	0,14	2	5	4	0,28	0,7	0,56
3. Предполагаемый срок исследований	0,05	3	4	4	0,15	0,2	0,2
4. Финансирование научной разработки	0,1	3	2	4	0,3	0,2	0,4
5. Наличие сертификации разработки	0,08	3	2	5	0,24	0,16	0,4
Итого	1	28	34	41	2,92	3,42	4,22

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.

4.2. Планирование научно-исследовательской работы

4.2.1. Структура работ в рамках научного исследования

В ходе проведения работ над научно-исследовательским проектом по исследованию горючести полимерных композитов было проведено 6 основных этапов, составляющих структуру исследования. Перечень этапов, работ и распределение исполнителей представлено в таблице 20.

Таблица 20 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Научный руководитель
Выбор направления исследований	2	Календарное планирование работ по теме ВКР	Студент
	3	Поиск и изучение материалов по теме	Студент
	4	Выбор направления исследований	Студент
Теоретические исследования	5	Проведение анализа литературы по теме ВКР	Студент
	6	Проведение исследования	Студент
	7	Согласование полученных данных с научным руководителем	Студент, научный руководитель
Практические исследования	8	Подготовка образцов к исследованию	Студент
	9	Проведение эксперимента	Студент
	10	Обработка полученных данных	Студент, научный руководитель
	11	Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими исследованиями	Студент
Обобщение и оценка результатов	11	Работа над выводами по проекту	Студент
	12	Оценка эффективности полученных результатов	Студент, научный руководитель

По результатам таблицы 3.3 можно сделать вывод, что основная структура научного исследования выполнена студентом.

4.2.2. Определение трудоемкости выполнения работ

Трудовые затраты в большинстве случаев образуют основную часть стоимости разработки, поэтому важным моментом является определение трудоемкости работ каждого из участников научного исследования.

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

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

$t_{min\ i}$ – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.;

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

Ожидаемое (среднее) значение трудоемкости выполнения 1-й работы составило:

$$t_{ож\ 1} = \frac{3 \times 1 + 2 \times 3}{5} = 1,8 \text{ чел} - \text{дн.}$$

Ожидаемое (среднее) значение трудоемкости выполнения 2-й работы составило:

$$t_{ож\ 2} = \frac{3 \times 2 + 2 \times 3}{5} = 2,4 \text{ чел} - \text{дн.}$$

Ожидаемое (среднее) значение трудоемкости выполнения 3-й работы составило:

$$t_{ож\ 3} = \frac{3 \times 3 + 2 \times 6}{5} = 4,2 \text{ чел} - \text{дн.}$$

Ожидаемое (среднее) значение трудоемкости выполнения 4-й работы составило:

$$t_{ож\ 4} = \frac{3 \times 1 + 2 \times 2}{5} = 1,4 \text{ чел} - \text{дн.}$$

Ожидаемое (среднее) значение трудоемкости выполнения 5-й работы составило:

$$t_{ож\ 5} = \frac{3 \times 7 + 2 \times 12}{5} = 9 \text{ чел} - \text{дн.}$$

Ожидаемое (среднее) значение трудоемкости выполнения 6-й работы составило:

$$t_{ож 6} = \frac{3 \times 5 + 2 \times 10}{5} = 7 \text{ чел} - \text{дн.}$$

Ожидаемое (среднее) значение трудоемкости выполнения 7-й работы составило:

$$t_{ож 7} = \frac{3 \times 5 + 2 \times 8}{5} = 6,2 \text{ чел} - \text{дн.}$$

Ожидаемое (среднее) значение трудоемкости выполнения 8-й работы составило:

$$t_{ож 8} = \frac{3 \times 1 + 2 \times 3}{5} = 1,8 \text{ чел} - \text{дн.}$$

Ожидаемое (среднее) значение трудоемкости выполнения 9-й работы составило:

$$t_{ож 9} = \frac{3 \times 6 + 2 \times 12}{5} = 8,4 \text{ чел} - \text{дн.}$$

Ожидаемое (среднее) значение трудоемкости выполнения 10-й работы составило:

$$t_{ож 10} = \frac{3 \times 8 + 2 \times 13}{5} = 10 \text{ чел} - \text{дн.}$$

Ожидаемое (среднее) значение трудоемкости выполнения 11-й работы составило:

$$t_{ож 11} = \frac{3 \times 7 + 2 \times 11}{5} = 8,6 \text{ чел} - \text{дн.}$$

Ожидаемое (среднее) значение трудоемкости выполнения 12-й работы составило:

$$t_{ож 12} = \frac{3 \times 5 + 2 \times 9}{5} = 6,6 \text{ чел} - \text{дн.}$$

Ожидаемое (среднее) значение трудоемкости выполнения 13-й работы составило:

$$t_{ож 13} = \frac{3 \times 11 + 2 \times 14}{5} = 12,2 \text{ чел} - \text{дн.}$$

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

$$T_{pi} = \frac{t_{ож\ i}}{Ч_i}, \quad (3)$$

где T_{pi} – продолжительность одной работы, раб. дн. ;

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

$Ч_i$ – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

Продолжительность 1-й работы:

$$T_{p1} = \frac{1,8}{1} = 2 \text{ раб. дн.}$$

Продолжительность 2-й работы:

$$T_{p2} = \frac{2,4}{1} = 2 \text{ раб. дн.}$$

Продолжительность 3-й работы:

$$T_{p3} = \frac{4,2}{1} = 4 \text{ раб. дн.}$$

Продолжительность 4-й работы:

$$T_{p4} = \frac{1,4}{1} = 1 \text{ раб. дн.}$$

Продолжительность 5-й работы:

$$T_{p5} = \frac{9}{1} = 9 \text{ раб. дн.}$$

Продолжительность 6-й работы:

$$T_{p6} = \frac{7}{1} = 7 \text{ раб. дн.}$$

Продолжительность 7-й работы:

$$T_{p7} = \frac{6,2}{1} = 6 \text{ раб. дн.}$$

Продолжительность 8-й работы:

$$T_{p8} = \frac{1,8}{1} = 2 \text{ раб. дн.}$$

Продолжительность 9-й работы:

$$T_{p9} = \frac{8,4}{1} = 8 \text{ раб. дн.}$$

Продолжительность 10-й работы:

$$T_{p10} = \frac{10}{1} = 10 \text{ раб. дн.}$$

Продолжительность 11-й работы:

$$T_{p11} = \frac{8,6}{1} = 9 \text{ раб. дн.}$$

Продолжительность 12-й работы:

$$T_{p12} = \frac{6,6}{1} = 7 \text{ раб. дн.}$$

Продолжительность 13-й работы:

$$T_{p13} = \frac{12,2}{1} = 12 \text{ раб. дн.}$$

Таким образом, наиболее трудоемкими и продолжительными этапами работы ожидаются этапы 5, 9, 10, 11 и 13.

4.3. Разработка графика проведения научного исследования

Для построения ленточного графика проведения научных работ в форме диаграммы Ганта длительность каждого из этапов работ из рабочих дней переведена в календарные дни. Для этого была использована следующая формула:

$$T_{ki} = T_{pi} \times k_{\text{кал}}, \quad (4)$$

где T_{ki} – продолжительность выполнения i -й работы в календарных днях;

T_{pi} – продолжительность выполнения i -й работы в рабочих днях;

$k_{\text{кал}}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определен по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}}, \quad (5)$$

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

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

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

Согласно производственному и налоговому календарю на 2019 год для 6-дневной рабочей недели, количество календарных 365 дней, количество рабочих дней составляет 299 дней, кол-во выходных и праздничных дней – 66, таким образом, коэффициент календарности в 2019 году составил: $k_{\text{кал}} = 1,22$.

Все рассчитанные значения отображены в таблице 21. После заполнения таблицы 21 строим календарный план-график (таблица 22). График строится для максимального по длительности исполнения работ, в рамках научно-исследовательского проекта с разбивкой по месяцам и декадам за период времени написания диплома (10 дней). При этом работы на графике выделены различной штриховкой в зависимости от исполнителей.

Таблица 21 – Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоёмкость работ			Исполнители T_{ci}	Длительность работ в рабочих днях T_{pi}	Длительность работ в календарных днях T_{ki}
	t_{min} чел-дни	t_{max} чел-дни	$t_{ожi}$ чел-дни			
Составление и утверждение технического задания	1	3	1,8	Научный руководитель	2	2
Календарное планирование работ по теме ВКР	2	3	2,4	Студент	2	2
Поиск и изучение материалов по теме	3	6	4,2	Студент	4	5
Выбор направления исследований	1	2	1,4	Студент	1	1
Проведение анализа литературы по теме ВКР	7	12	9	Студент	9	11
Проведение исследования	5	10	7	Студент	7	9
Согласование полученных данных с научным руководителем	5	8	6,2	Студент, научный руководитель	6	7
Подготовка образцов к исследованию	1	3	1,8	Студент	2	2
Проведение эксперимента	6	12	8,4	Студент	8	10
Обработка полученных данных	8	13	10	Студент, научный руководитель	10	12
Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими исследованиями	7	11	8,6	Студент	9	11
Работа над выводами по проекту	5	9	6,6	Студент	7	9
Оценка эффективности полученных результатов	11	14	12,2	Студент, научный руководитель	12	15

Таблица 22 – Календарный план-график по теме

№ работ	Вид работ	Исполнители	T_{ki} , кал. дн.	Продолжительность работ											
				март			апрель			май			июнь		
				10	20	30	10	20	30	10	20	30	10		
1	Составление и утверждение технического задания	Научный руководитель	2	■											
2	Календарное планирование работ по теме ВКР	Студент	2	■											
3	Поиск и изучение материалов по теме	Студент	5		■										
4	Выбор направления исследований	Студент	1		■										
5	Проведение анализа литературы по теме ВКР	Студент	11			■									
6	Проведение исследования	Студент	9				■								
7	Согласование полученных данных с научным руководителем	Студент, научный руководитель	7					■							
8	Подготовка образцов к исследованию	Студент	2					■							
9	Проведение эксперимента	Студент	10						■						
10	Обработка полученных данных	Студент, научный руководитель	12							■					
11	Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими исследованиями	Студент	11								■				
12	Работа над выводами по проекту	Студент	9									■			
13	Оценка эффективности полученных результатов	Студент, научный руководитель	15										■		

■ – студент ■ – научный руководитель

4.4. Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

При планировании бюджета НТИ необходимо обеспечить полное и верное отражение различных видов расходов, связанных с его выполнением.

4.4.1. Расчет материальных затрат НТИ

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$z_m = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{расхи}, \quad (6)$$

где m – количество видов материальных ресурсов, используемых для научного исследования;

$N_{расхи}$ – количество материальных ресурсов i -го вида, планируемых к использованию при научном исследовании (шт. кг, м, м²);
 C_i – цена приобретения единицы i -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./м, руб./м² и т.д.);

k_T – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

Транспортные расходы принимаются в пределах 15-25% от стоимости материалов. Результат материальных затрат представлен в таблице 23.

Таблица 23 – Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб	Затраты на материалы, руб.
Ручка	шт.	3	30	90
Бумага офисная	лист	150	1	150
Канцелярские принадлежности	набор	1	250	250
Интернет	М/бит	3	350	1050

Картридж	шт.	1	700	700
Итого:				2240

4.4.2. Основная заработная плата исполнителей темы

Данная статья включает расчет оплаты труда научному руководителю и студенту, а также ежемесячно выплачиваемой премии в размере 12-20% от оклада. Согласно приказу ректора ТПУ ежемесячный оклад для профессора со степенью доктора наук составляет 47104 рублей без районного коэффициента (РК=1.3). Таким образом, заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп}, \quad (7)$$

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

$Z_{доп}$ – дополнительная заработная плата .

Основная заработная плата ($Z_{осн}$) научного руководителя и студента рассчитана по следующей формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \times T_p, \quad (8)$$

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

T_p – продолжительность работ, выполняемых работником, раб. дн.;

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \times M}{F_d}, \quad (9)$$

где Z_m – месячный должностной оклад работника, руб.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

при отпуске в 24 раб. дня $M = 11,2$ месяца, 5-дневная неделя;

при отпуске в 48 раб. дней $M = 10,4$ месяца, 6-дневная неделя;

F_d – действительный годовой фонд рабочего времени научнотехнического персонала, раб. дн.

Расчет баланса рабочего времени представлен в таблице 24.

Таблица 24 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Студент
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней	52	52
-выходные дни	13	13
-праздничные дни		
Потери рабочего времени	48	24
-отпуск	-	-
-невыходы по болезни		
Действительный годовой фонд рабочего времени	252	276

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_m = Z_{тс} \times (1 + k_{пр} + k_{д}) \times k_p, \quad (10)$$

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

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

$k_{д}$ – коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,2 – 0,5;

k_p – районный коэффициент, равный для г. Томска – 1,3.

Расчёт основной заработной платы приведён в таблице 25.

Таблица 25 – Расчет основной заработной платы

Исполнители	разряд	k_T	$Z_{тс}$, руб.	$k_{пр}$	$k_{д}$	k_p	Z_m , руб.	$Z_{дн}$, руб.	T_p , раб.дн	$Z_{осн}$, руб.
Руководитель	ДН	–	47100	0,3	0,2	1,3	91845	4359,4	20	87188
Студент	–	–	1800	–	–	1,3	2340	97,5	54	5265
Итого										92453

4.4.3. Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн}, \quad (11)$$

где $k_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,12 – 0,15).

$$Z_{\text{допР}} = 87188 \times 0,12 = 10\,462,6 \text{ руб.}$$

$$Z_{\text{допС}} = 5265 \times 0,12 = 631,8 \text{ руб.}$$

4.4.4. Отчисления во внебюджетные фонды

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}), \quad (12)$$

где $k_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.). На основании пункта 6 части 1 ст. 58 закона №212-ФЗ для учреждений осуществляющих образовательную и научную деятельность с 2019 года водится пониженная ставка – 28 %. В таблице 26 приведены данные расчета отчислений во внебюджетные фонды.

Таблица 26 – Отчисление во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата, руб.
Руководитель	87 188	10 462,6
Студент	5265	631,8
коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды	28% = 0,28	
Итого	10 542	1651

4.4.5. Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Рассчитанная величина затрат НИР 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. Результаты расчета бюджета затрат НТИ приведены в таблице 27.

Таблица 27 – Расчет бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб.	Доля затрат, %
Материальные затраты НТИ	2240	2
Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	92 453	78,3
Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	11094,4	9,4
Отчисления во внебюджетные фонды	12 193	10,3
Бюджет затрат НТИ	117 980	100

Итого, общий бюджет затрат составляет 117 980 рублей. Основную его долю составили затраты по основной заработной плате (78,3%) и отчисления во внебюджетные фонды (10,3%). Наименьшую долю затрат составили материальные затраты НТИ (2%).

4.5. Определение ресурсной, финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

4.5.1. Оценка социальной эффективности исследования

Социальная эффективность научного проекта учитывает социально-экономические последствия осуществления научного проекта для общества в целом или отдельных категорий населения, в том числе как непосредственные результаты проекта, так и «внешние» результаты в

смежных секторах экономики: социальные, экологические и иные внеэкономические эффекты.

Данная работа эффективна в первую очередь потому, что любые инновационные исследования в области пожаробезопасности имеют большой потенциал в будущем применении.

Результаты исследования влияния нанодисперсных металлов на горючесть полимерных материалов могут применены во многих областях, таких как производство этих материалов, а также научно-исследовательские испытания пожароопасности.

По окончании раздела выполнено:

1. определение потенциальных потребителей результатов исследования;
2. анализ конкурентных технических решений;
3. планирование научно-технического исследования (исследование состоит из 13 основных этапов).

Для иллюстрации календарного графика была использована диаграмма Ганта. Определен бюджет научно-исследовательской работы, он составил 117 980 руб.

5. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

Проблема пожароопасности полимерных материалов требует тщательного изучения в связи с тем, что основным недостатком, ограничивающим область их применения, является низкая термостойкость 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 работы – исследование влияния нанодисперсных металлов на показатели горючести эпоксидных композитов, термической стабильности и механической прочности эпоксидных композитов при введении в эпоксидную смолу замедлителей горения в качестве наполнителей в высокодисперсном состоянии.

В данном разделе:

1) проведен анализ вредных и опасных факторов, действию которых может подвергнуться работник лаборатории, где проводится данное исследование, а также определены оптимальные условия труда персонала и рассмотрены возможные пути организации;

2) рассмотрены возможные загрязнения окружающей среды и пути их минимизации;

3) рассмотрен наиболее вероятный вариант развития ЧС при проведении исследования;

4) определены особенности трудового законодательства для персонала лаборатории.

5.1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

5.1.1. Специальные правовые нормы трудового законодательства

Работа в испытательных пожарных лабораториях связана с множеством вредных и опасных факторов, вследствие чего работникам в соответствии с законодательством РФ предоставляются:

1) лечебно-профилактическое обслуживание и периодические медицинские осмотры работающих во вредных условиях труда;

2) обеспечение работников средствами индивидуальной защиты, смывающими и обезвреживающими средствами в соответствии с установленными нормами;

3) санитарно-бытовые помещения и устройства.

Виды компенсаций при работе во вредных условия труда включают в себя: увеличение продолжительности дополнительного отпуска не менее чем на 12 дней, либо сокращение продолжительности рабочего дня до 6 часов [12].

Кроме того, на рабочем месте необходимо организовать безопасные условия труда, включая устройства для вентиляции и очистки воздуха, а также обеспечить проведение регулярных инструктажей и обучение персонала правилам безопасного ведения работ.

5.2. Производственная безопасность

5.2.1. Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть в лаборатории при проведении исследований

При проведении эксперимента по определению горючести эпоксидных композитов работники лаборатории могут подвергаться вредным и опасным факторам. Подробное описание представлено в

таблице 28. В соответствии с ГОСТ 12.0.003-2015 [13] существует классификация вредных и опасных факторов при выполнении работ.

Таблица 28 – Возможные вредные и опасные факторы

Факторы по ГОСТ 12.0.003-2015	Этапы работ		Нормативные документы
	изготовление образцов	проведение эксперимента	
1) Отклонение показателей микроклимата	+	+	
2) Недостаточная освещенность рабочей зоны	+	+	1) СанПиН 2.2.4.548-96 [22], 2) ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ [23],
3) Повышенная загазованность воздуха РЗ		+	3) СНиП 23-05-95 [24], 4) СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 [25],
4) Получение термического ожога		+	5) ГН 2.2.5.1313- 03 [26], 6) Р 2.2.2006-05 [27], 7) ГОСТ 12.4.011-89 ССБТ [28].
5) Поражение электрическим током		+	

5.2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействий опасных и вредных факторов

5.2.2.1. Микроклимат

Учитывая специфику региона, где находится рассматриваемая лаборатория, следует учесть большие перепады температуры окружающей

среды (от минус 40 в зимнее и до плюс 35 градусов в летнее время). В связи с этим необходимо обеспечить наличие оптимальной теплоизоляции лаборатории, а в летнее время – оборудовать помещение кондиционерами [14,15].

5.2.2.2. Освещенность

При недостаточном освещении рабочего помещения у персонала ухудшается общее самочувствие, снижается работоспособность и сопротивляемость к простудным и другим заболеваниям, также снижается зрение и внимание. Недостаток естественного освещения в лаборатории (в связи с его отсутствием в темное время суток или по другой причине) должен компенсироваться посредством искусственного общего освещения.

Общая освещенность в лаборатории должна быть не менее 400 лк [16,17]. Пульсации света оказывают влияние на зрительную функцию человека, а также на нервную систему. Пульсации измеряются коэффициентом пульсации света. Для лабораторий норма коэффициента пульсации составляет от 10 до 15% [16]. Для минимизации пульсации света применяют разнофазное подключение светильников.

5.2.2.3. Повышенная загазованность воздуха рабочей зоны

Загазованность воздуха может быть объяснена тем, что при сжигании образцов из эпоксидной смолы выделяется некоторое количество продуктов деструкции и горения: оксиды углерода, альдегиды. В таблице 29 перечислены вещества, находящиеся в воздухе рабочей зоны, при сжигании образцов.

Таблица 29 – Вещества, находящиеся в воздухе рабочей зоны [18]

№	Вещество	Класс опасности	ПДК, мг/м ³	Особенность действия
1	Оксид углерода II	4	20	Нарушает нормальную функцию гемоглобина
2	Оксид углерода IV	–	1000	При высоких концентрациях способствует снижению работоспособности, раздражает слизистые оболочки
3	Альдегиды	3	5	Вещество резко раздражающего действия на слизистые оболочки, еще альдегиды действуют наркотически

В соответствии с Р 2.2.2006-05 [19] вещества в воздухе рабочей зоны не должны превышать ПДК. Во избежание повышенной загазованности воздуха следует оборудовать лабораторию вентиляцией, а также всему персоналу, задействованному в исследовании следует использовать средства индивидуальной защиты – газовые респираторы [20].

5.2.2.4. Термический ожог

Принцип работы установки для эксперимента (установка ОТП) основан на задании температурного режима в реакционной камере и воздействии пламени горелки. При наличии открытого огня (пламя

горелки) высока вероятность термических ожогов. Персоналу следует использовать средства индивидуальной защиты (перчатки, халат, очки) [20], чтобы исключить возможные ожоги.

5.2.2.5. Поражение электрическим током

В общем случае электробезопасность – это система организационных мероприятий и технических средств, предотвращающих вредное и опасное воздействие на работающих от электрического тока, электрической дуги, электромагнитного поля и статического электричества.

Электрическая безопасность включает в себя правовые, социально-экономические, организационно-технические, санитарно-гигиенические, лечебно-профилактические, реабилитационные и иные мероприятия.

Правила электробезопасности регламентируются правовыми и техническими документами, нормативно-технической базой. Знание основ электробезопасности обязательно для персонала, обслуживающего электроустановки и электрооборудование.

Установка ОТП работает от источника тока, поражение электрическим током возможно только при условии несоблюдения техники безопасности или неисправности самой установки. Для предотвращения поражения электрическим током должны регулярно проводиться инструктажи по технике безопасности, а также проводиться своевременное техническое обслуживание установки [21].

5.3. Экологическая безопасность

5.3.1. Анализ влияния процесса исследования на окружающую среду

Процесс проведения эксперимента не сопряжен с угрозой загрязнения окружающей среды, поэтому целесообразно рассмотреть возможные риски загрязнения природы при горении или разложении полимерных материалов.

5.3.1.1. Влияние на атмосферу

Основной вред окружающей среде причиняется при горении или производстве полимерных материалов, так как при этих процессах в атмосферу выбрасывается большое количество вредных веществ. В лучшем случае продукты сжигания – вода, углекислый газ. Но чаще всего полимеры содержат множество добавок, как в случае с поливинилхлоридом – это разнообразные низкомолекулярные хлорированные органические вещества, отличающиеся высокой токсичностью, в том числе канцерогенностью.

В соответствии с гигиеническим нормативом «Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны» [18] на выбросы наложены ограничения. Для органических полимеров это оксид углерода (IV, II), альдегиды, акролеин.

В таблице 30 представлены значения ПДК для вредных веществ в воздухе рабочей зоне.

Таблица 30 – ПДК для вредных веществ

Соединение	ПДК _{м.р.} , мг/м ³	ПДК _{с.с.} , мг/м ³
СО	5	3
С ₃ Н ₄ О (акролеин)	0,03	0,03
Альдегид бензойный	0,04	–

Почти каждое соединение, образующееся при горении или производстве полимеров и полимерных композитов, оказывает пагубное

влияние на окружающую среду, в большей степени на атмосферу. CO_2 , например, является причиной парникового эффекта, CO оказывает вредный эффект на дыхательные пути людей и животных, а также нарушает работу гемоглобина. Большое количество различных веществ (таких как Cl), содержащихся в композитах, способны, реагируя с влагой воздуха, образовывать кислоты.

5.3.2. Обоснование мероприятий по защите окружающей среды

Если рассматривать возможность загрязнения атмосферы при производстве полимеров, то в качестве защитных средств рекомендуется использовать очистные сооружения, работа которых основана на адсорбционных, абсорбционных и каталитических методах очистки.

5.4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях

5.4.1. Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть в лаборатории при проведении исследований

Проведение эксперимента на определение горючести полимерных композитов не считается опасным производством. Наиболее вероятным из вариантов развития событий в области ЧС следует считать утечку газа и возможный последующий взрыв.

5.4.2. Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС

Согласно ГОСТ Р 22.0.07-95 [22] основные поражающие факторы при данном развитии событий (утечка газа и возможный последующий взрыв) – это токсическое действие, воздушная ударная волна и

механическое травмирование посредством осколков и обломков. Все эти факторы по отдельности и в совокупности способны причинить вред здоровью и жизни людей, а также материальных ущерб.

Превентивные меры – один из наиболее эффективных способов предотвращения ЧС. Такими мерами можно считать все виды инструктажей персонала, своевременное и качественно техническое обслуживание оборудования, так же установка специальных систем искрообнаружения и пожаротушения, инженерно-технические мероприятия [23].

В случае развития ЧС (утечка газа) следует перекрыть газопроводный кран, проветрить помещение (задействовать все вытяжки в помещении), вызвать аварийную службу или обратиться к специалистам. Нельзя зажигать огонь и включать электроустановки.

Если после утечки газа есть опасность взрыва или же взрыв произошел, следует: при угрозе взрыва – лечь на живот, защищая голову руками, подальше от окон, застекленных дверей, проходов, лестниц. Если произошел взрыв – принять меры к недопущению пожара и паники, по возможности оказать первую помощь пострадавшим, покинуть место ЧС.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе проведено исследование влияния нанодисперсных металлов на показатели горючести эпоксидных композитов.

В результате проведенного обзора литературных источников выбран для исследований такой метод снижения горючести полимеров как введение наполнителей – металлов в нанодисперсном состоянии индивидуально и в комбинации с традиционным наполнителем.

Для экспериментального исследования подготовлены образцы эпоксидных композитов на основе эпоксидной смолы и нанопорошков металлов. В качестве наполнителей использовались: $Al(OH)_3$, MPF (фосфат), MPF (магний), а также нанопорошки алюминия и железа в чистом виде и в комбинации с борной кислотой.

Проведена оценка влияния нанодисперсных металлов на горючесть изготовленных эпоксидных композитов. Исследованы такие показатели горючести, как кислородный индекс и температура воспламенения, определены изменения их значений в зависимости от наполнителя.

Результаты исследования показали, что добавление нанопорошков металлов в чистом виде в эпоксидную матрицу не приводит к значительному снижению горючести полимерных материалов, а в комбинации с таким традиционным антипиреном как борная кислота приводит к улучшению термической стабильности эпоксидных композитов.

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

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Берлин, А.А. Горение полимеров и полимерные материалы пониженной горючести / А.А. Берлин // Соровский образовательный журнал. – 1996. – № 9. – С. 57-63.
2. Ломакин, С. М. Замедлители горения для полимеров / С. М. Ломакин, Г. Е. Заиков, А. К. Микитаев, А. М. Кочнев, О. В. Стоянов, В. Ф. Шкодич, С. В. Наумов // Вестник Казанского технологического университета. — 2012. — Т. 15, № 7. — С. 71–86.
3. Щеглов П.П., Иванников В.Л. Пожароопасность полимерных материалов. – М.: Стройиздат, 1992. – 110 с.
4. Горючесть и огнестойкость полимерных материалов / Колодов В.И. – М. – 1976. – 160 с.
5. ГОСТ 12.1.044-2018 Система стандартов безопасности труда. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения. – М.: Стандартинформ, 2018. – 55 с.
7. Показатели огнестойкости ПМ и методы их определения [Электронный ресурс]: – Режим доступа: <http://www.polymerbranch.com/076023edc9187cf1ac1f1163470e479a/f7e442ea3eef2121d76296622d216250/magazineclause.pdf>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус. Дата обращения: 03.05.2019 г.
8. Брык М.Т. Деструкция наполненных полимеров. – М.: Химия, 1989. – 192 с.
9. Руководство по оценке пожарного риска для промышленных предприятий. – М.: ВНИИИПО, 2006. – 93 с.
10. ГОСТ Р 53293-2009 Пожарная опасность веществ и материалов. Материалы, вещества и средства огнезащиты. Идентификация методами термического анализа. – М.: Стандартинформ, 2009. – 4-6 с.

11. Липчанский Д. С., Назаренко О. Б. Термоокислительная деградация металлических нанопорошков эпоксидных композитов // Энерго-ресурсоэффективность в интересах устойчивого развития – 2018: сборник научных трудов международной научной конференции. 2018. – 310 с.
12. Постановление Госкомтруда СССР и Президиума ВЦСПС от 25 октября 1974 г. № 298/П-22 «Об утверждении списка производств, цехов, профессий и должностей с вредными условиями труда, работа в которых дает право на дополнительный отпуск и сокращенный рабочий день». – М.: Из-во "Экономика", 1977. – 18 с.
13. И. Г. Видяев, Г. Н. Серикова, Н. А. Гаврикова Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: учебно-методическое пособие / И. Г. Видяев, Г. Н. Серикова, Н. А. Гаврикова, Н. В. Шаповалова, Л. Р. Тухватулина, З. В. Криницына; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 36 с.
21. ГОСТ 12.0.003-2015. ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация. – М.: Стандартинформ, 2016. – 3 с.
22. СанПиН 2.2.4.548–96 «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений». – М.: Информационно-издательский центр Минздрава России, 2001. – 20 с.
23. ГОСТ 12.1.005-88. ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны. – М.: Стандартинформ, 2008. – 78 с.
24. СНиП 23-05-95 Естественное и искусственное освещение. – М.: Госстрой России, ГУП ЦПП, 2003. – 12 с.
25. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещённому освещению жилых и общественных зданий. – Российская газета, № 91, 2003. – 6 с.

26. ГН 2.2.5.3532-18 Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны [Электронный ресурс] / Официальный интернет-портал правовой информации, 2018. URL: www.pravo.gov.ru , свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус. Дата обращения: 15.05.2019 г.

27. Р 2.2.2006-05. Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда. – Бюллетень нормативных и методических документов Госсанэпиднадзора, 2005. – 84 с.

28. ГОСТ 12.1.005-88 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны. – М.: Стандартиформ, 2008. – 12 с.

29. ГОСТ Р 12.1.019-2009 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты. – М.: Стандартиформ, 2010. – 33 с.

30. ГОСТ Р 22.0.07-95 Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Источники техногенных чрезвычайных ситуаций. Классификация и номенклатура поражающих факторов и их параметров. – М.: ИПК Из-во стандартов, 1996. – 10 с.