

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
Влияние углеродных наполнителей на горючесть полимерных композитов

УДК 614.841.413:675.686

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1ЕМ71	Пронина Алена Евгеньевна		

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
Доцент	Фадеева В.Н.	к.ф.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Гуляев М.В.	-		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП 20.04.01 Техносферная безопасность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Перминов В.А.	д.ф.-м.н.		

Томск – 2019 г.

Результаты освоения образовательной программы по направлению 20.04.01 Техносферная безопасность

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
<i>Профессиональные компетенции</i>		
P1	Использовать на основе <i>глубоких и принципиальных</i> знаний необходимое оборудование, инструменты, технологии, методы и средства обеспечения безопасности человека и окружающей среды от техногенных и антропогенных воздействий в условиях <i>жестких</i> экономических, экологических, социальных и других ограничений	Требования ФГОС (ПК-3–7; ОПК-1–3, 5; ОК-4–6) ¹ , Критерий 5 АИОР ² (пп.5.2.1, 5.2.3), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P2	Проводить <i>инновационные</i> инженерные исследования опасных природных и техногенных процессов и систем защиты от них, включая <i>критический анализ данных из мировых информационных ресурсов, формулировку выводов в условиях неоднозначности</i> с применением <i>глубоких и принципиальных</i> знаний и <i>оригинальных</i> методов в области современных информационных технологий, современной измерительной техники и методов измерения.	Требования ФГОС (ПК-8–13; ОПК-1–3, 5; ОК-4, 9, 10, 11, 12), критерии АИОР Критерий 5 АИОР (пп. 5.2.2, 5.2.4), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P3	Организовывать и руководить деятельностью подразделений по защите среды обитания и безопасному размещению и применению технических средств в регионах, осуществлять взаимодействие с государственными службами в области экологической, производственной, пожарной безопасности, защиты в чрезвычайных ситуациях, находить и принимать управленческие решения с соблюдением профессиональной этики и норм ведения <i>инновационной</i> инженерной деятельности с учетом юридических аспектов в области техносферной безопасности	Требования ФГОС (ПК-4, 6, 14–18; ОПК-1–5; ОК-1, 7, 8), Критерий 5 АИОР (пп.5.2.5, 5.3.1–2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P4	Организовывать мониторинг в техносфере, составлять краткосрочные и долгосрочные прогнозы развития ситуации на основе его	Требования ФГОС (ПК-2, 19, 21, 22; ОПК-1–5; ОК-2), Критерий 5 АИОР

¹ Указаны коды компетенций по ФГОС ВО (направление 20.04.01 – Техносферная безопасность).

² Критерии АИОР (Ассоциации инженерного образования России) согласованы с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI

	результатов с использованием <i>глубоких фундаментальных и специальных</i> знаний, аналитических методов и <i>сложных</i> моделей в условиях <i>неопределенности</i> , анализировать и оценивать потенциальную опасность объектов экономики для человека и среды обитания и разрабатывать рекомендации по повышению уровня безопасности	(п.5.2.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P5	Проводить экспертизу безопасности и экологичности технических проектов, производств, промышленных предприятий и территориально-производственных комплексов, аудит систем безопасности, осуществлять мероприятия по надзору и контролю на объекте экономики, территории в соответствии с действующей нормативно-правовой базой	Требования ФГОС (ПК-20, 23–25; ОПК-1–3, 5), Критерий 5 АИОР (пп.5.2.5–6), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
<i>Общекультурные компетенции</i>		
P6	Работать в интернациональной профессиональной среде, включая разработку документации, презентацию и защиту результатов <i>инновационной инженерной деятельности с использованием иностранного языка</i>	Требования ФГОС (ОК-5, 6, 10–12; ОПК-3), Критерий 5 АИОР (п.5.3.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P7	Эффективно работать индивидуально, а также в качестве <i>руководителя группы</i> с ответственностью за работу коллектива при решении инновационных инженерных задач в области техносферной безопасности, демонстрировать при этом готовность следовать профессиональной этике и нормам, понимать необходимость и уметь <i>самостоятельно учиться</i> и повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности	Требования ФГОС ВО (ОК-1-3, 5, 8, 11, 12, ОПК 1-4, ПК-18) Критерий 5 АИОР (пп.5.3.3–6), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>

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

В.А. Перминов

04.02.2019 г.

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

магистерской диссертации

Студенту:

Группа	ФИО
1ЕМ71	Прониной Алёне Евгеньевне

Тема работы:

Влияние углеродных наполнителей на горючесть полимерных композитов

Утверждена приказом директора (дата, номер)

10395/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:

27.05.2019 г.

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Объект исследования – горючесть полимеров. Литературные данные, методические рекомендации по изготовлению образцов эпоксидных композитов и по исследованию параметров горючести
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	Аналитический обзор литературных источников; постановка задач исследования; выбор методов исследования; проведение анализа причин и последствий некачественного обучения; разработка структурно-методической схемы обучения; подготовка электронного курса; разработка методических материалов; составление разделов «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и

	ресурсосбережение», «Социальная ответственность», заключение по работе.
Перечень графического материала	Таблицы, рисунки
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент	Фадеева Вера Николаевна
Социальная ответственность	Гуляев Милий Всеволодович
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
Экспериментальная часть	

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 ОКД	Назаренко Ольга Брониславовна	д.т.н.		04.02.2019

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1ЕМ71	Пронина Алена Евгеньевна		04.02.2019

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 2018/2019 учебного года

Форма представления работы:
магистерская диссертация

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

Срок сдачи студентом выполненной работы: 27.05.2019 г.

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
11.03.2019 г.	Разработка раздела «Литературный обзор»	20
25.03.2019 г.	Подготовка образцов для испытания	10
08.04.2019 г.	Проведение экспериментальных исследований	25
22.04.2019 г.	Анализ полученных данных, разработка раздела «Результаты»	15
10.05.2019 г.	Разработка разделов «Социальная ответственность» и «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	10
27.05.2019 г.	Оформление и представление ВКР	20

Составил преподаватель:

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

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП 20.04.01 Техносферная безопасность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Перминов В.А.	д.ф.-м.н.		04.02.2019

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

Студенту:

Группа	ФИО
1ЕМ71	Прониной Алёне Евгеньевне

Институт	ИНК	Кафедра	ЭБЖ
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	Техносферная безопасность

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ)	Оклад руководителя - 36800 руб. Оклад студента - 17000 руб.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Премияльный коэффициент руководителя 30%, премияльный коэффициент инженера 20%, надбавки руководителя 30%, надбавки руководителя 30%, дополнительной заработной платы 12%, накладные расходы 16%, районный коэффициент 30%.
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды 30 %

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Анализ конкурентных технических решений.
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований	Формирование плана и графика разработки. Формирование бюджета затрат на НИ: материальные затраты, заработная плата, отчисления на социальные цели, накладные расходы.
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	Определение эффективности исследования.

Перечень графического материала:

1. Оценочная карта конкурентных технических решений
2. График Ганта
3. Расчет бюджета затрат НИ

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Фадеева Вера Николаевна	к.ф.н		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1ЕМ71	Пронина Алена Евгеньевна		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

Группа	ФИО
1ЕМ71	Прониной Алене Евгеньевне

Школа	ИШНКБ	Отделение (НОЦ)	ОКД
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	20.04.01 Техносферная безопасность

Тема ВКР:

Влияние углеродных наполнителей на горючесть эпоксидных композитов	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Объектом исследования является влияние углеродных наполнителей на горючесть эпоксидных композитов. Испытательная пожарная лаборатория по томской области. Теплофизическая лаборатория.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:	Рассмотреть специальные правовые нормы трудового законодательства; организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.
2. Производственная безопасность:	Проанализировать потенциально возможные вредные и опасные факторы при исследовании горючести эпоксидных композитов: – поверхности нагрева; – недостаточная освещенность рабочей зоны; – загазованность рабочей зоны; – неудовлетворительный микроклимат – поражение электрическим током. Разработать мероприятия по снижению воздействия вредных и опасных факторов.
3. Экологическая безопасность:	Указать область воздействия на атмосферу, гидросферу и литосферу.
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	Перечислить возможные ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения; Указать наиболее типичную ЧС.

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Гуляев М.В.	-		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1ЕМ71	Пронина Алена Евгеньевна		

Реферат

Выпускная квалификационная работа 95 с., 4 рис., 20 табл., 39 источников.

Ключевые слова: полимер, пожароопасность, исследование, горючесть.

Объектом исследования является горючесть полимеров.

Цель работы – исследовать влияние углеродных наполнителей на показатели горючести эпоксидных композитов.

В процессе исследования проведен анализ литературы и научных статей, посвященных тематике пожароопасности, исследованиям снижения горючести полимерных материалов, характеристикам выбранных для эксперимента материалов.

Эксперимент проведен согласно ГОСТ 12.1.044-89.

Результатом исследования стали данные, полученные эмпирическим путем, а именно – температуры воспламенения образцов, их особенности горения. Подтверждена выдвинутая гипотеза.

Основные данные исследования: $t_{всп}$ контрольных (без наполнителя) образцов 303°C , $t_{всп}$ эпоксидных композитов от 317°C до 326°C .

Область применения – исследования в сфере пожаробезопасности.

Теоретическая и практическая значимость работы – результаты исследования могут быть применены как опорные теоретические материалы при исследованиях горючести полимеров.

Перспективы дальнейшего исследования – исследование требует дальнейших разработок и дальнейшего более глубокого изучения.

Определения, обозначения, сокращения

Интеркалированный графит (далее ИГ) – полученное внедрением в межслоевое пространство кристаллической решетки графита определенных ионов и молекул соединение внедрения графита (СВГ).

Интеркалирование кислотами – обратимое включение молекулы или группы между другими молекулами или группами.

Терморасширенный графит (далее ТРГ) – интеркалированный графит, подвергнутый термообработке при температуре от 900 °С до 1500 °С.

Антипирен – компонент, добавляемый в материал с целью огнезащиты.

Ингибирование процесса горения – замедление процесса горения.

Полиэтиленполиамин (далее ПЭПА) – отвердитель эпоксидно-диановых смол.

Многослойные нанотрубки (далее МУНТ) – искусственно созданные в лабораторных условиях одно или многостенные полые цилиндрические структуры, получаемые из атомов углерода и обладающие исключительными механическими, электрофизическими и физическими свойствами.

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ	14
1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИССЛЕДОВАНИЯ	16
1.1. Пожароопасность полимеров	16
1.2. Полимерные материалы и их горючесть	17
1.3. Поражающие факторы при горении полимерных материалов.....	17
1.3.1. Подробное описание токсичных продуктов горения полимерных материалов.....	18
1.4. Горение полимерных материалов	20
1.5. Методы исследования горючести полимеров	22
1.6. Методы понижения горючести полимерных материалов	23
1.7. Влияние наполнителей на снижение горючести	26
1.8.1. Терморасширенный графит.....	29
1.8.1.1. Изготовление ТРГ	30
1.8.1.2. Применение ТРГ	31
1.8.2. Многослойные углеродные нанотрубки.....	32
1.8.2.1. Структура многослойных нанотрубок.....	32
1.8.2.2. Получение углеродных нанотрубок.....	33
1.8.3. Токсичность нанотрубок	34
2. Экспериментальная часть	35
2.1. Материалы и методы исследования.....	35
2.1.1. Характеристики материалов.....	35
2.1.2. Место проведения эксперимента	36
2.1.3. Метод проведения эксперимента	36
2.1.3.1. Изготовление образцов.....	37
2.2. Ход исследования	38
2.3. Результаты	39
3. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ.....	45

3.1. Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	45
3.1.1. Потенциальные потребители результатов исследования	45
3.1.2. Анализ конкурентных технических решений	45
3.2. Оценка готовности проекта к коммерциализации	47
3.3. Методы коммерциализации результатов науднотехнического исследования	49
3.4. Планирование научно-исследовательской работы	49
3.4.1. Определение трудоемкости выполнения работ	50
3.4.2. Разработка графика проведения научного исследования	54
3.4.3. Бюджет научно-технического исследования (НТИ)	59
3.4.3.1. Расчет затрат на сырье и материалы НТИ	59
3.4.3.2. Основная заработная плата исполнителей темы	60
3.4.3.2.1. Дополнительная заработная плата научно-производственного персонала	62
3.4.3.2.2. Отчисления на социальные нужды	63
3.4.3.2.3. Накладные расходы	63
3.4.3.3. Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта ..	63
3.5. Оценка эффективности исследования	63
3.6. Определение ресурсной эффективности исследования	64
4. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ	66
4.1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	67
4.2. Производственная безопасность	67
4.2.1. Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть в лаборатории при проведении исследований.	68
4.2.2. Разработка мероприятий по защите исследователя от действия опасных и вредных факторов.	68
4.3. Экологическая безопасность	74
4.3.1. Влияние на атмосферу	74
4.3.2. Разработка мероприятий по защите окружающей среды	75
4.4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях	75

4.4.1. Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований и обоснование мероприятий по предотвращению ЧС	76
4.4.2. Разработка мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС	77
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	80
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	81

ВВЕДЕНИЕ

Полимерные материалы уже многие годы используются в промышленности в качестве материала для изготовления различных изделий хозяйственного и не только назначения. Например, автомобильных компонентов, половых покрытий, внутренней отделки помещений, строительных конструкций. Более того полимерные материалы используются как соединительные материалы – мастика, клей, лаки, краски.

Малая объемная масса полимерных материалов и их химическая стойкость к воде, органическим растворителям и растворам солей, а также легкость в обработке позволяет широко использовать материалы из полимеров для изготовления разнообразных изделий.

Основной недостаток, ограничивающий область применения полимерных материалов, это их высокая пожарная опасность. При оценке статистики пожаров в мире можно сделать вывод, что увеличение количества пожаров и материального ущерба можно соотнести с увеличением потребления полимерных материалов в строительстве и быту. Более того, отравление токсинами, выделяющимися при сгорании полимеров, является причиной гибели людей в половине случаев [1].

Актуальность выбранной темы обусловлена необходимостью изучения и снижения горючести полимерных материалов, т. к. современный мир нуждается в альтернативных источниках материальных благ, в качестве которых можно рассматривать полимерные материалы.

В качестве веществ, снижающих горючесть полимеров, использованы углеродные наполнители, а именно – терморасширенный графит и многослойные углеродные нанотрубки. Такие наполнители выбраны благодаря их свойствам: широкий диапазон рабочих температур и доступность в разработке. Следует отметить, что ТРГ не является типичным антипиреном для

полимерных композитов, в то время как МУНТ уже используются для этих целей.

Гипотеза исследования – углеродные наполнители способствуют снижению горючести полимерных композитов.

Цель работы – исследовать влияние углеродных наполнителей на температуру воспламенения эпоксидных композитов.

Задачи:

1. Провести литературный обзор по вопросам пожароопасности полимерных материалов и методам снижения их горючести.

2. Изучить методики определения показателя горючести «Температура воспламенения».

3. Провести экспериментальные исследования горючести образцов эпоксидных композитов, наполненных терморасширенным графитом и многослойными углеродными нанотрубками.

4. Оценить влияние углеродных наполнителей на горючесть эпоксидных композитов.

Предмет исследования – влияние углеродных наполнителей на пожароопасность эпоксидных композитов.

Практическая значимость результатов исследования – результаты могут быть использованы производителями полимерных материалов при непосредственном производстве полимеров, также результаты исследования можно использовать как опорный материал для дальнейшего изучения горючести полимеров, методов понижения горючести и характеристик углеродных наполнителей.

1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

1.1. Пожароопасность полимеров

В связи с повсеместным использованием различных полимерных материалов в быту и строительстве остро встала проблема их пожароопасности. С самого начала использования полимерных материалов ученые задались вопросом изучения их пожарной опасности, к примеру, в статье [2] представлено всестороннее обсуждение воспламеняемости органических неорганических нанокompозитов на основе различных методов испытаний на огнестойкость. В частности, авторы статьи провели ряд испытаний, направленных на изучение не только горючести полимерных материалов, но и на изучение условий, при которых достигаются пиковые значения горючести.

Большинство полимеров – органические вещества, которые при достижении температур более 500 °С воспламеняются и горят [3].

В общем случае пожарная опасность полимерных материалов определяется следующими характеристиками:

- дымовыделение
- возгораемость;
- токсичность продуктов горения и пиролиза;
- огнестойкость конструкции [1].

Перечисленные характеристики пожарной опасности и горючести не являются абсолютными константами, и часто бывает, что улучшение или ухудшение одного из свойств полимера приводит к обратному действию на другую характеристику. Вещества, вводимые в полимер в качестве добавки, понижающей пожарную опасность, нередко влияют на физико-химические, диэлектрические и другие эксплуатационные и технологические свойства, а также это повышает стоимость материала.

1.2. Полимерные материалы и их горючесть

Любая классификация чего-либо нуждается в обосновании. В данном случае классификация полимеров по их горючести может помочь ответить на такие вопросы как выбор методов снижения горючести, поражающие факторы и т.д.

Строго классифицировать полимерные материалы по их горючести довольно сложно, в первую очередь это связано с тем, что воспламенение и горение полимерных материалов зависят не только от самого материала (его природы), но и от температуры источника зажигания, условий горения, наличия вблизи объекта изучения легковоспламеняемых материалов и многих других причин (формы объекта, конструкции, внешних условий).

Несмотря на все нюансы и сложности группировки материалов по их горючести, полимерные материалы классифицируют:

- температурные;
- кинетические;
- концентрационные;
- тепловые [3].

1.3. Поражающие факторы при горении полимерных материалов

Существуют основные поражающие факторы при горении полимерных материалов, это:

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

В условиях пожара дым опасен для человека именно в совмещенном действии. Дым – это сложная система, совокупность дисперсной и газовой. Дисперсную фазу составляют твердые частицы, газовую составляют

газообразные продукты неполного горения. Эти среды содержат продукты горения и разложения, что является основной причиной летальных исходов при пожарах.

Немало важно, что в дыму содержатся частицы сажи и золы, это снижает видимость в задымленном помещении, в таких условиях возможность покинуть помещение самостоятельно снижается, равно как и эффективность тушения пожара. Более того, если в задымленном помещении видимость становится менее 10 – 12 м, у человека могут наблюдаться панические атаки. Но психологическое влияние задымленности помещения – один из наименее вредных факторов пожара. Содержащиеся в дыму твердые нерастворимые частицы способны оседать в легких и бронхах, затрудняя дыхание, а растворимые – попадать в кровь. 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 [1].

Однако образование дыма не единственная опасность при горении полимеров. Самые разнообразные токсины содержатся в продуктах горения полимерных материалов.

Наиболее часто образующиеся при горении полимеров продукты – это оксиды углерода, хлор, цианистый водород, альдегиды, окислы азота.

1.3.1. Подробное описание токсичных продуктов горения полимерных материалов

Оксид углерода (IV) – газ без цвета, запаха и вкуса, тяжелее воздуха, входит в состав воздуха. Экспериментально доказано, что при присутствии кислорода углерод полимерных материалов превращается в оксид углерода (IV).

В реальных же условиях горения часть углерода превращается в разнообразные вещества. Чаще всего это связано с недостатком кислорода, поступающего в горение, а также термической диссоциацией оксида углерода (IV). Часть углерода при его горении образует дисперсную фазу дыма, а также образует коксовый остаток. Однако только при высоких концентрациях проявляются его токсические свойства, так же CO_2 – это сильный дыхательный стимулятор [4].

Оксид углерода (II) – газ без цвета, запаха, вкуса и раздражающих свойств, также мало растворим в воде и легче воздуха. Монооксид углерода – продукт неполного сгорания углеродсодержащего полимера. В литературе описывается много случаев отравления людей в результате диффузии оксида углерода (II) на большие расстояния от мест его образования. При отравлении CO образуется устойчивый карбоксигемоглобин, из-за чего нарушается нормальная функция гемоглобина [4].

Хлороводород – бесцветный, термически устойчивый газ с резким запахом, легко растворяется в воде с образованием хлороводородной кислоты. продукт горения хлорсодержащих полимеров. Хлороводород не только токсичный газ, но и вызывает коррозию металлов, разрушение бетона.

Сероводород – газ с характерным резким запахом тухлых яиц. В небольших концентрациях действует на слизистые оболочки, вызывает жжение, светобоязнь, слезотечение. При воздействии больших концентраций наступают судороги и остановка дыхания.

Сернистый газ – бесцветный газ с запахом жженных спичек, тяжелее воздуха. Во время пожаров образуется при горении серосодержащих полимеров или других материалов. Воздействие на организм человека проявляется в раздражении верхних дыхательных путей, а при больших концентрациях – слизистой оболочки легких.

Оксид азота (IV) – наиболее опасный оксид азота, газ с резким запахом. Соединение, при взаимодействии с водой, образует азотную и азотистую

кислоты. Обладает выраженным раздражающим действием на дыхательные пути, в особо тяжелых случаях его воздействие приводит к отеку легких.

Альдегиды. Альдегиды действуют на человеческий организм как наркотики. Первичные и самые очевидные признаки воздействия – это раздражение дыхательных путей и слизистых оболочек. Акролеин ацетальдегид C_2H_4O , формальдегид CH_2O – наиболее часто образующиеся альдегиды при разложении и горении полимерных материалов.

1.4. Горение полимерных материалов

Любые процессы имеют свои отличительные особенности. Горение – это сложный физико – химический процесс, при котором протекают процессы физические (тепло- и массопередача) и химические реакции. Горение полимеров, как и любое другое горение приводит к двум видам продуктов:

- твердые продукты;
- газообразные вещества.

Выделяют следующие зоны горения полимерных материалов:

1. зона прогрева полимерного материала;
2. зона разложения конденсированной фазы;
3. предпламенная зона;
4. зона пламенная (основное тепловыделение);
5. зона продуктов сгорания (возможно дополнительное окисление продуктов реакции, их догорание).

В первой зоне происходит пиролиз с малой долей окислительных процессов слоев, прилежащих к поверхностному. Во второй зоне происходят процессы термоокислительной деструкции на поверхностном слое. В предпламенной, третьей зоне, образовавшиеся продукты горения и разложения полимерного материала перемешиваются с нагретым воздухом, окисляются. После накопления достаточной для распространения пламени концентрации

продуктов разложения полимерного материала наступает четвертая зона – зона пламени. Здесь выделяется основная часть тепловой энергии. В пятой зоне завершается большинство окислительных процессов, смешиваются продукты горения и холодный воздух. Энергия за счет конвекции и излучения из зоны пламени поступает к неповрежденным элементам полимерного материала. Такое деление на зоны целесообразно проводить при учете особенностей процессов, протекающих и различающихся по механизму [4].

Специфическая особенность химии пламени – сложное пространственное распределение температур в области и концентраций исходных, промежуточных и конечных продуктов, а для большинства полимеров – наличие продуктов деструкции как в газовой, так и в конденсированной, предпламенной областях. Все эти особенности весьма затрудняют эксперименты, исследования и разработку теорий процессов горения полимеров, которые могли бы учесть все нюансы конкретных систем [1].

Анализируя процессы горения, можно понять возможные варианты снижения горючести материалов из полимера. Обычно невозможно добиться полного достижения негорючести органического полимера, чтобы материал не сгорал при интенсивном горении (пожаре). Но следует отметить, что большинство бытовых и производственных пожаров возникает из-за малых источников зажигания, таких как спички, короткое замыкание, свечи, сигареты и т.д. Учитывая этот факт, можно сделать вывод, что основная задача не сделать полимерный материал полностью негорючим, а снизить его горючесть таким образом, чтобы он медленнее загорался, скорость распространения пламени по материалу была наименьшей, а для возгорания требовались более жесткие условия.

1.5. Методы исследования горючести полимеров

Кинетические методы исследования горючести. На данный момент не существует единого кинетического метода определения горючести полимерных материалов. Определение кинетических показателей горючести обычно проводят при помощи методик, позволяющих весьма доступно и просто измерить скорость горения и воспламенения. Этими методами пользуются для предварительной оценки в первую очередь потому, что значения величин, характеризующих скорость горения и воспламенения, зависят от влажности, температуры и конвективных потоков воздуха.

«Определение стойкости к действию накала» – один из таких методов. Горючесть полимерного материала определяется качественными показателями от 0 (горючий пластик) до 5 (негорючий), получаемыми замером длины обогреваемой части образца и потери массы образца, спустя 180 секунд соприкосновения с накалившимся стержнем []. Чаще всего для оценки горючести полимерных материалов используют «огневую трубу» и «распространение пламени». Первый метод – для горючих полимеров, второй – для легковоспламеняющихся. Метод «огневой трубы» заключается в определении скорости и характера горения по времени самостоятельного горения и изменения массы при горении. Метод «распространения пламени» – по скорости распространения пламени вдоль горизонтально расположенного образца.

Тепловые методы исследования горючести. Температурные методы исследования горючести. В качестве показателей горючести в температурных методах используются значения температур воспламенения и самовоспламенения образцов полимеров и полимерных материалов, а также время самовоспламенения. Такие методы позволяют более точно разграничить материалы на сгораемые, трудносгораемые и несгораемые.

Тепловыми показателями горючести являются удельные теплоты сгорания, критерий эффективности антипиренов и др. Отношение теплоты

сгорания к теплоте воспламенения позволяет определить самозатухающие материалы – это значение у таких материалов меньше единицы. В зависимости от условий испытаний вместо теплоты воспламенения иногда используется на практике теплота испарения горючих продуктов из материала, которая равноценна теплоте газификации.

Несмотря на более точные значения показателей горючести, эти методы сложны и не дают необходимого представления о горючести материалов.

Значение температур воспламенения и самовоспламенения используют для сравнительной оценки огнестойкости различных полимеров [6].

1.6. Методы понижения горючести полимерных материалов

Внесение антипиренов зависит не только от свойств этого наполнителя и материала, но и от методики получения материалов, условий введения антипиренов в полимер, последующей обработки и изготовления изделия.

Однако несмотря на разнообразие и многочисленность методик снижения горючести полимерных материалов, существуют определенные общие принципы:

1. изменение значения соотношения негорючих и горючих продуктов разложения полимера в пользу негорючих;
2. снижение значения скорости превращения продуктов горения полимеров в газообразные соединения;
3. изменение за счет увеличения разного рода теплопотерь теплового баланса пламени;
4. создание барьер из образовавшегося кокса (и т.п.), из-за чего идет снижение потока тепла от пламени на полимерный материал [7].

Авторы статьи [8] рассмотрели отдельные подходы к методам снижения пожароопасности полимеров, что является ключевым вопросом для многих промышленных применений. Среди множества подходов использование

синергии в не содержащих галогенов многокомпонентных системах является одним из наиболее благоприятных. В этой работе используются различные методы, в том числе конический калориметр, термогравиметрия, при этом основное внимание уделяется твердофазному анализу твердых остатков.

Прикрепление полимерного материала к поверхности теплопроводящего (металлического и т.д.) материала – наиболее простой и распространенный метод изменения теплового баланса, увеличения тепловых потерь. Следует заметить, что если изделие достаточно массивно по размеру, а его толщина не велика, то горючесть этой конструкции может быть больше, чем горючесть самого полимерного материала. Чем тоньше слой полимера, тем большие потери тепла происходят через полимер, а, следовательно, для самостоятельного горения потребуются более жесткие условия.

Также путем химического ингибирования может быть снижена скорость самой химической реакции в газовой фазе. Этот способ особенно эффективен, если цепной процесс в реакции газового пламени интенсивен. Стоит учесть, что метод химического ингибирования не универсальный и не может быть применен к любому полимерному материалу, т.к. не для каждого полимера характерен большой вклад цепного процесса горения, а также этот метод нуждается в более подробном исследовании, и имеющихся экспериментальных данных не достаточно.

Воздействие на деструкцию полимеров в сторону увеличения коксового остатка – также один из методов снижения горючести полимерных материалов. Коксование в конденсированной фазе – незаменимый процесс, оказывающий влияние на весь механизм горения, и для многих углеводородных полимеров существует тенденция: материал менее горюч, чем больше кокса остается при пиролизе этого материала.

Популярный метод и часто используемый снижения горючести полимерных материалов – введение в полимер инертных наполнителей. Инертные наполнители – добавки, не оказывающие существенного влияния на

количество и состав продуктов пиролиза полимерного материала в его газовой фазе [7].

В статье [9] рассказано, что для целей пожаробезопасного строительства необходимо разработать и изучить влияние наполнителей на воспламеняемость строительных материалов, в том числе композиционных материалов с полимерной матрицей. В настоящей работе демонстрируются результаты такого исследования. Авторы рассмотрели влияние химического состава, количества минеральных наполнителей на горючесть, дымообразующую способность и предельный кислородный индекс строительных материалов на основе различных полимерных связующих. Экспериментальные данные показывают, что основным параметром, определяющим влияние минеральных наполнителей на воспламеняемость композитов, является теплосмкость, поглощаемая наполнителем. Выявлена зависимость между предельным кислородным индексом и удельной теплосмкостью минеральных наполнителей для композитов с эпоксидными матрицами.

Один из современных и наиболее распространенных методов снижения горючести полимеров – введение антипиреновых добавок в материал в виде микрокапсул. Суть: оболочка размером в десятки и сотни микрон капсулы изготавливается из полимера. Такие антипирены бывают:

- высококипящие;
- низкокипящие.

Распределение на высококипящие и низкокипящие антипирены происходит в зависимости от их температуры кипения. У высококипящих она выше температуры вскрытия капсулы, у низкокипящих – ниже. Действие заключено в увеличении коксового остатка, его пористости, снижении проницаемости кокса продуктов горения полимерного материала. Основной эффект капсул состоит в повышении совместимости антипирена с полимером и повышении его физико-химических свойств [7].

1.7. Влияние наполнителей на снижение горючести

Принцип действия любого антипирена заключается в изоляции (исключении) одного из главных условий горения – тепла, окислителя или горючего вещества. В настоящее время существует большое количество различных антипиренов, при выборе которых оценивают исходный материал и требования, предъявляемые к нему при данных назначениях. Учитываются не только требования к эксплуатационным характеристикам, а также и к параметрам его улучшения и преобразования в изделие.

Существуют определенные механизмы ингибирования процессов горения антипиренами (наполнителями).

Первый вариант – путем образования способных реагировать со свободными радикалами веществ с образованием менее реакционных радикалов.

Галогены (фтор, хлор, бром, йод), фосфор, бор и азот, вводимые в полимер, способствуют угнетению процессов горения этого полимера. Это связано с протеканием реакций гибели гидроксильных радикалов, атомов водорода, кислорода.

Однако не все галогены эффективны, их действенность убывает для однотипных соединений. Широкое применение в связи со своей наибольшей эффективностью получили соединения с пониженной энергией связи углерод – галоген. Галогенсодержащие алифатические соединения – типичный представитель таковых. Чаще это хлорированный парафин (содержание хлора до 70%), реже – ароматические бром и хлор, в состав которых входят такие соединения как тетрахлорфталиевый ангидрид, декабромдифенилоксид. У ароматических соединений есть существенный недостаток, они в меньшей степени снижают горючесть полимера, однако благодаря этому они оказывают наименьшее деструктирующее воздействие на композит.

Органические соединения фосфора считаются отличным ингибитором процессов горения полимеров. Это объясняется весьма просто: при пиролизе

полимерных материалов, содержащих соединения фосфора, происходит образование фосфорной кислоты, которая в свою очередь катализирует способствующих карбонизации процессов дегидрирования и дегидратации. Ингибирование процесса происходит непосредственно в газовой фазе за счет дезактивации активных радикалов в самом пламени [11].

Второй путь – образование изолирующего от нагревания (непроницаемого для кислорода) слоя на поверхности полимера.

Силикаты (алюмосиликаты), бораты металлов, фосфаты, их органические производные обладают способностью влиять на процесс горения полимеров путем образования на его поверхности защитных слоев. Состав этих слоев – в большинстве своем это нелетучие остатки (такие как окислы металлов), образующиеся при разложении неорганических соединений. Созданные антипиренами защитные слои представляют собой физический барьер перед действием пламени, а также затрудняющий диффузию газов в пламя. Метаборат бария, тетрафторборат аммония и борат цинка – типичные антипирены такого действия [11].

Третий – выделение препятствующих подводу кислорода в зону горения инертных газов. Применение неорганических галогенов в качестве антипиренов замедляет процесс горения. Например, NH_4Br и NH_4Cl при высоких температурах разлагаются на газообразные HBr и HCl , которые подавляют горение [11].

Четвертый вариант ингибирования – поглощение выделившегося тепла при разложении или взаимодействии антипиренов с продуктами их деструкции с другими веществами.

В группу веществ-антипиренов входят вещества, которые разлагаются с образованием негорючих продуктов горения. Гидроокиси алюминия, цинка, магния, гидратированные карбонаты металлов, дициандиамид, мочевины и многие другие вещества относятся к ним. Основным смыслом действия этих антипиренов заключен в физическом влиянии на тепловой баланс процесса

горения. На любые процессы затрачивается энергия, так же и на деструкцию антипирена затрачивается тепло. В результате чего снижается температура конденсированной фазы. Присутствие негорючих продуктов разложения и горения объясняют понижение температуры пламени и уменьшение теплового потока на поверхности материала, потому что эти продукты разбавляют топливо в пламенной зоне реакции. Замедляется процесс горения.

Тригидрат оксида алюминия (гипс) $Al(OH)_3$ – распространённый и относительно дешёвый антипирен.

И наконец, пятый – изоляция пламени за счёт уменьшения температуры ниже критической точки и увеличения потребности в дополнительных энергозатрат на нагревание наполнителя.

Внедрение негорючих антипиренов в полимерные материалы помогает снизить процент горючей части в образце, а также позволяет влиять на теплофизические характеристики полимера и на условия тепло- и массообмена при горении полимера. Обычно применяются дисперсные наполнители (песок, мел и т.д.), и возможны волокнистые (асбест, стеклянные волокна) в некотором количестве [11].

Следует отметить, что любой механизм действия антипиренов не сводится к одному проявлению, а является совокупностью различных аспектов и явлений.

Однако возможная опасность для окружающей среды и здоровья людей имеет место быть, существует опасность обратного действия внесенных добавок в полимер. Поэтому авторы статьи [12] задались этим вопросом. В статье сказано, что обнаружено – мелкодисперсные металлы (нанометаллы) при низком добавлении повышают воспламеняемость чистого полипропилена. Нанометаллы не оказывают серьезного влияния на воспламеняемость чистых эпоксидных смол. С другой стороны, было показано, что нанометаллы являются очень эффективными совместными добавками в сочетании с некоторыми

антипиренсодержащими антипиренами как в полипропиленовых (термопластичных), так и в эпоксидных смолах (термореактивных).

1.8. Используемые в исследовании углеродные наполнители

1.8.1. Терморасширенный графит

Терморасширенный графит (ТРГ) не является типичным антипиреном, однако имеет свойства снижать горючесть полимеров. Это обусловлено наличием у ТРГ таких эксплуатационных свойств как уплотняющая способность, широкий диапазон рабочих температур, высокая химическая стойкость.

Терморасширенный графит – не содержащий смол и неорганических наполнителей графитовый материал, не плавится. Подвержен возгону при температурах выше 3300 °С.

Изготавливается ТРГ из натурального графита через синтез интеркалированного графита. Это объясняет относительно низкую цену. В процессе изготовления графит сохраняет свои свойства и приобретает новые, например, более развитая поверхность, способность формования без добавления вспомогательных средств [13].

Терморасширенный графит (ТРГ) – подвергнутый термообработке при температуре от 900 °С до 1500 °С интеркалированный графит. Интеркалированный графит (ИГ) – полученное внедрением в межслоевое пространство кристаллической решетки графита определенных ионов и молекул соединение внедрения графита (СВГ).

1.8.1.1. Изготовление ТРГ

В качестве агентов для ИГ могут быть использованы различные вещества в зависимости от назначения изделия. Например, сильные кислоты – серная, азотная, фосфорная, хлорная кислоты, смесь серной и уксусной кислот. Щелочные металлы, хлориды и фториды некоторых металлов и другие вещества. Выбор веществ для интеркалирования напрямую связан с желаемым результатом в конце – некоторые соединения повышают тепло- или электропроводимость, твердость, но основная функция – увеличение межслоевого расстояния графитовой решетки.

Графит интеркалируют кислотами в присутствии окислителей (бихромат калия, перекись водорода, оксид хрома (VI), персульфат аммония, перманганат калия). Процесс прост: молекулы и ионы кислот внедряются между слоями кристаллической решетки. Это позволяет увеличивать межслоевое расстояние матрицы.

На первой стадии внедрения достигается максимальная концентрация вещества, а углеродные слои чередуются со слоями кислоты. На второй ступени слои кислоты (внедренного вещества) чередуются уже с двумя углеродными слоями, а на третьей – с тремя. Всего количество ступеней может быть неограниченное количество, но чаще всего их до 10-11 [15]. Соединения внедрения графита не называют карбидами или просто соединениями углерода потому, что в реакциях синтеза графитовые слои ведут себя как огромные молекулы, которые способны сохранять свою индивидуальность даже после разложения соединения [16].

При быстром нагреве до высоких температур большинство ИГ образуют ТРГ [15]. Нагревание проходит в большинстве своем в муфельной печи. Терморасширенный графит, предназначенный для изготовления графитовых уплотнений, изготавливают из непрореагированного и просушенного интеркалированного серной кислотой графита.

Механизм термического расширения проходит до температур 400 - 600 °С, при этом частицы приобретают форму «лепестков», которая способствует удалению летучих продуктов горения и разложения с поверхности и небольшому удалению продуктов из более глубоких слоев. С ростом температуры процесс переносится с поверхности вглубь, при этом происходит изменение формы [15].

На выходе получается ТРГ – эластичный, упругий, термостойкий материал. Самое ценное качество терморасширенного графита – все его свойства практически независимы от температуры в пределах диапазона рабочих температур.

1.8.1.2. Применение ТРГ

В настоящее время применение графита столь обширно, что целесообразно остановиться лишь на нескольких, более значимых сферах [19, 20]:

- металлургия (для изготовления плавильных тиглей и лодочек, испарителей, чехлов для термопар и т.д.);
- атомная техника (блоки, втулки, конструкционный материал и т.д.);
- химическое машиностроение (теплообменники, трубопроводы и т.д.).

Для промышленного использования полученный ТРГ прессуют или прокатывают на валковых машинах, получая листовой материал пригодный для изготовления уплотнений. На этом этапе ТРГ можно армировать (металлом, стекловолокном, полимерным волокном) и ввести наполнители. Таким образом, получается прочный, эластичный, упругий, химически инертный и негорючий материал и высокой термостойкостью и термостабильностью. Также ТРГ иногда используется как наполнитель пластмасс.

1.8.2. Многослойные углеродные нанотрубки

Углеродные нанотрубки или тубулярная наноструктура – это искусственно созданные в лабораторных условиях одно или многостенные полые цилиндрические структуры, получаемые из атомов углерода и обладающие исключительными механическими, электрофизическими и физическими свойствами [20].

Однослойные нанотрубки – это цилиндрические структура, а многослойные – это несколько вложенных в друг друга однослойных трубки. Многослойные нанотрубки отличаются от однослойных значительно более широким разнообразием форм и конфигураций. Разнообразие структур проявляется как в продольном, так и в поперечном направлении [21].

1.8.2.1. Структура многослойных нанотрубок

Структура типа «матрёшки» представляет собой совокупность коаксиально вложенных друг в друга цилиндрических трубок. Другая разновидность этой структуры представляет собой совокупность вложенных друг в друга коаксиальных призм. Наконец, последняя из приведённых структур напоминает свиток. Реализация той или иной структуры многослойных нанотрубок в конкретной экспериментальной ситуации зависит от условий синтеза. Анализ имеющихся экспериментальных данных указывает, что наиболее типичной структурой многослойных нанотрубок является структура с попеременно расположенными по длине участками». При этом «трубки» меньшего размера последовательно вложены в трубки большего размера [22].

1.8.2.2. Получение углеродных нанотрубок

Нанотрубки получают высокотемпературным и низкотемпературным способами.

К высокотемпературным можно отнести способы лазерной абляции, соляной технологии или электродугового разряда. Низкотемпературный способ вобрал в себя химическое осаждение из паровой фазы с использованием каталитического разложения углеводородов, газофазное каталитическое выращивание из монооксида углерода, производство путём электролиза, термообработка полимера, местный низкотемпературный пиролиз или местный катализ. Все способы сложны для понимания, высокотехнологичны и очень затратны. Производство нанотрубок может себе позволить только крупное предприятие с мощной научной базой.

Упрощённо, процесс получения нанотрубок из углерода дуговым способом выглядит следующим образом:

В нагретый до определённой температуры с замкнутым контуром реактор через инъекционный аппарат вводится плазма в газообразном состоянии. В реакторе, в верхней и нижней части, устанавливаются магнитные катушки, одна из которых является анодом, а другая катодом. На магнитные катушки подаётся постоянный электрический ток. На находящуюся в реакторе плазму воздействуют электрической дугой, которую вращают и магнитным полем. Под действием высокотемпературной электроплазменной дуги с поверхности анода, который состоит из углеродсодержащего материала (графита), испаряется или «выщёлкивается» углерод и конденсируется на катоде в виде углеродистых нанотрубок, содержащихся в осадке. Для того чтобы атомы углерода имели возможность конденсироваться на катоде, температуру в реакторе снижают. Даже краткое описание этой технологии позволяет оценить всю сложность и затратность получения нанотрубок. Пройдёт ещё немало времени, прежде

чем процесс производства и применения станет доступным для большинства предприятий [23].

1.8.3.Токсичность нанотрубок

Благодаря экспериментальным данным было установлено, что многослойные углеродные нанотрубки схожи по отклику с асбестом. Именно при добыче и переработке асбеста у рабочих обнаруживаются опухоли и рак легких, обычно вероятность возникновения этих заболеваний в несколько раз выше, чем у основного населения. Опасность асбестовых волокон зачислит от вида асбеста, от размера и типа волокон. Также и углеродные нанотрубки. Малый вес и размер позволяет нанотрубкам проникать в дыхательные пути, чем вызывают ряд заболеваний [24].

2. Экспериментальная часть

2.1. Материалы и методы исследования

2.1.1. Характеристики материалов

По химическому строению эпоксидная смола – это синтетический олигомер. В чистом виде эпоксидная смола не используется, а свои уникальные свойства она проявляется только после реакции полимеризации при соединении с отвердителем. Эпоксидные смолы обладают устойчивостью к воздействию кислот, щелочей, галогенов, растворяются в ацетоне и сложных эфирах без образования пленки. Отвержденные эпоксидные составы не выделяют летучие вещества и отличаются незначительной усадкой.

В данной работе применялась эпоксидная смола ЭД-20, по химическому составу она представляет собой олигомер на основе диглицидилового эфира дифенилолпропана и на практике – модель типичного полимера.

Эпоксидная смола ЭД-20 не является взрывоопасной, но горит в источнике огня. Содержит летучие вещества (толуол и эпихлоргидрин) в микроскопических дозах. По степени воздействия на организм человека эти соединения относятся ко 2-му классу опасности.

В настоящей работе в качестве отвердителя использован полиэтиленполиамин (ПЭПА).

ПЭПА представляет собой маслянистую жидкость светло-желтого или бурого цвета. Его легко отличить по специфическому запаху. ПЭПА полностью растворяется в воде и в спирте, не оставляя никакого осадка. Отвердитель активно поглощает влагу из воздуха, поэтому хранить полиэтиленполиамин следует в герметичной таре. В процессе применения эпоксидная смола смешивается с отвердителем в пропорциях, оговоренных в сопроводительной инструкции. Отвердитель ПЭПА – это вещество, относящееся к 3 классу опасности, поэтому очень важно соблюсти требования транспортировки и применять штатную транспортировочную тару.

Наполнителями в данной работе выступают многослойные углеродные нанотрубки (МУНТ) и терморасширенный графит (ТРГ).

2.1.2. Место проведения эксперимента

Эксперимент проведен на базе ФГБУ «Судебно-экспертного учреждения федеральной противопожарной службы «Испытательная пожарная лаборатория» по Томской области»

ФГБУ СЭУ ФПС ИПЛ по Томской области – учреждение Государственной противопожарной службы. Основные функции учреждения:

1. организация и производство судебных экспертиз;
2. профессиональная подготовка и специализация экспертов;
3. научно-техническая деятельность в области изучения необходимых для достижения поставленных целей.

2.1.3. Метод проведения эксперимента

Для эксперимента был выбран метод экспериментального определения температуры воспламенения твердых веществ и материалов [21]. Этот метод подразумевает проведение эксперимента в диапазоне температур от 25 до 600°C.

Прибор ОТП, используемый в эксперименте – это вертикальная электропечь с двумя коаксиально расположенными цилиндрами из кварцевого стекла. Один из цилиндров внутренним диаметром (80 ± 3) мм, высотой 240 мм является реакционной камерой; второй цилиндр такой же высоты имеет внутренний диаметр (101 ± 3) мм. На цилиндры навиты спиральные электронагреватели общей мощностью не менее 2 кВт, что позволяет создавать температуру рабочей зоны 600°C за время не более 40 мин [3].

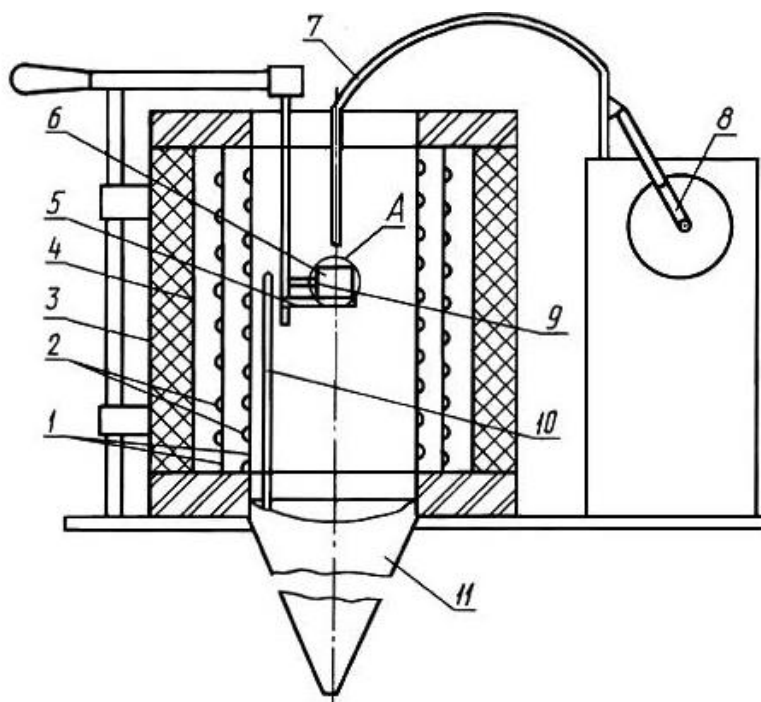


Рисунок 1 – Схема прибора для определения температуры воспламенения (1 - стеклянные цилиндры; 2 - спиральные электронагреватели; 3 - теплоизоляционный материал; 4 - стальной экран; 5 - держатель образца; 6 - контейнер; 7 - газовая горелка; 8 - электропривод горелки; 9, 10 - термоэлектрические преобразователи; 11 – ламинатор)

2.1.3.1. Изготовление образцов

Образцы, содержащие 22,4-23,6% эпокси-групп при средней молекулярной массе в 340 г/моль, были изготовлены в Новосибирском государственном техническом университете в соответствии с ГОСТ 12.1.044-89 [21]. Технология изготовления заключается в формовании и отверждении

эпоксидной смолы при постепенном и равномерном внесении в нее ТРГ разных процентах от массы. В данном эксперименте использованы концентрации 0,25 и 0,5 мас. %. Образцы изготавливались цилиндрической формы с диаметром 45 ± 3 мм и высотой 50 ± 3 мм [21].

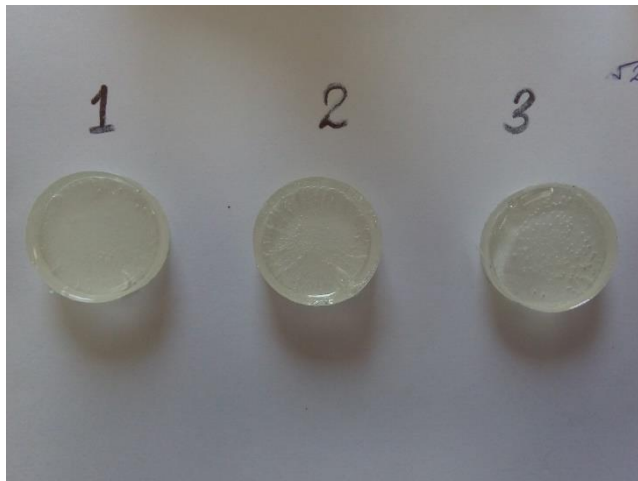


Рисунок 2 – образцы, используемые в эксперименте, до испытания

2.2. Ход исследования

Согласно ГОСТ 12.1.044-89 [21] эксперимент включал в себя три серии испытаний. Для каждого испытания были изготовлены пять образцов. Перед испытанием каждый образец взвешивали, определяя его массу с точностью до 0,1 г.

После обработки образцов температурой их вторично взвешивали, чтобы определить разницу в массе до сжигания и после. В ходе проведения эксперимента помимо обязательных показателей регистрировались еще и особенности горения.

При испытании регистрировали следующие показатели: массу образца до испытания m_0 ; массу образца после испытания m_1 ; максимальную температуру печи $T_{\max}$; конечную температуру печи T_k ; температуру воспламенения $T_{\text{воспл}}$, а также рассчитывали среднюю температуру воспламенения $T_{\text{ср}}$.



Рисунок 3 – образцы, используемые в эксперименте, после испытания

2.3. Результаты

Таблица 1 – Результаты определения характеристик горючести образцов, наполненный ТРГ

№ обр.	T_{max}	$T_{\text{воспл}}$	$T_{\text{ср}}$	m_0	m_1
	°C	°C	°C	г	г
Контрольный образец без наполнителя (ПЭПА)					
1	400	304	305	5,66	-
2		302		4,45	-
3		303		4,4	-
4		311		5,81	-
5		303		6,39	2,91
Серия 1 (отвердитель ПЭПА, ТРГ 0,5 масс.%)					
1	400	315	319	6,02	3,62
2		318		6,05	6
3		320		6,03	6,02
4		312		6,06	5,97

Продолжение таблицы 1

5		331		6	4,35
Серия 2 (отвердитель ПЭПА, ТРГ 1 масс.%)					
1	400	319	325	5,95	5,97
2		321		6,01	4,87
3		323		6,02	5,99
4		329		6,01	4,16
5		333		5,94	5,93
Серия 3 (отвердитель ПЭПА, ТРГ 1,5 масс.%)					
1	400	328	326	6,01	3,86
2		332		6,01	4,42
3		322		5,99	5,01
4		325		6,02	5,73
5		322		6,03	3,93
Серия 4 (отвердитель ПЭПА, ТРГ 2 масс.%)					
1	400	326	326	6,03	5,84
2		335		6	4,4
3		326		6,01	5,98
4		321		6,04	4,8
5		322		6,01	6
Серия 5 (отвердитель ПЭПА, ТРГ 2,5 масс.%)					
1	400	309	321	6,03	5,26
2		309		6	5,98
3		337		6,03	5,28
4		316		6,03	5,91
5		336		6,03	3,52

Таблица 2 – Результаты определения характеристик горючести образцов, наполненный МУНТ

№ обр.	T_{max}	$T_{\text{воспл}}$	$T_{\text{ср}}$	m_0	m_1
	°C	°C	°C	г	г
Контрольный образец без наполнителя (ПЭПА)					
1	400	304	305	5,66	-
2		302		4,45	-
3		303		4,4	-
4		311		5,81	-
5		303		6,39	2,91
Серия 0 (ПЭПА, МУНТ 0,5 масс.%)					
1	400	312	310	6,02	3,66
2		315		6	4,47
3		303		6,03	5,07
Серия 6* (ПЭПА, МУНТ 0,25 масс.%)					
1	400	338	335	6,06	3,52
2		342		6	5,54
3		324		6	5,22
Серия 6* (ПЭПА, МУНТ 0,1 масс.%)					
1	400	308	316	6	5,17
2		321		6,02	5,09
3		319		6,01	4,74
4		312		5,95	5,95
5		322		6	5,46
Серия 7* (ПЭПА, МУНТ 0,05 масс.%)					
1	400	330	328	6,02	5
2		328		6,01	5,88
3		333		5,99	5,99
4		319		6,01	5,96

Продолжение таблицы 2

5		329		5,96	4,48
Серия 8* (ПЭПА, МУНТ 0,01 масс.%)					
1	400	323	318	5,99	5,94
2		330		6,05	4,81
3		310		6,05	6,03
4		316		6,13	5,13
5		313		6,01	6

Анализируя полученные данные (табл.1 и табл. 2) и сравнивая характеристики горючести композитов с контрольным ненаполненным образцом можно установить, что наблюдается тенденция в увеличению температуры воспламенения у композитов, наполненных углеродными наполнителями.

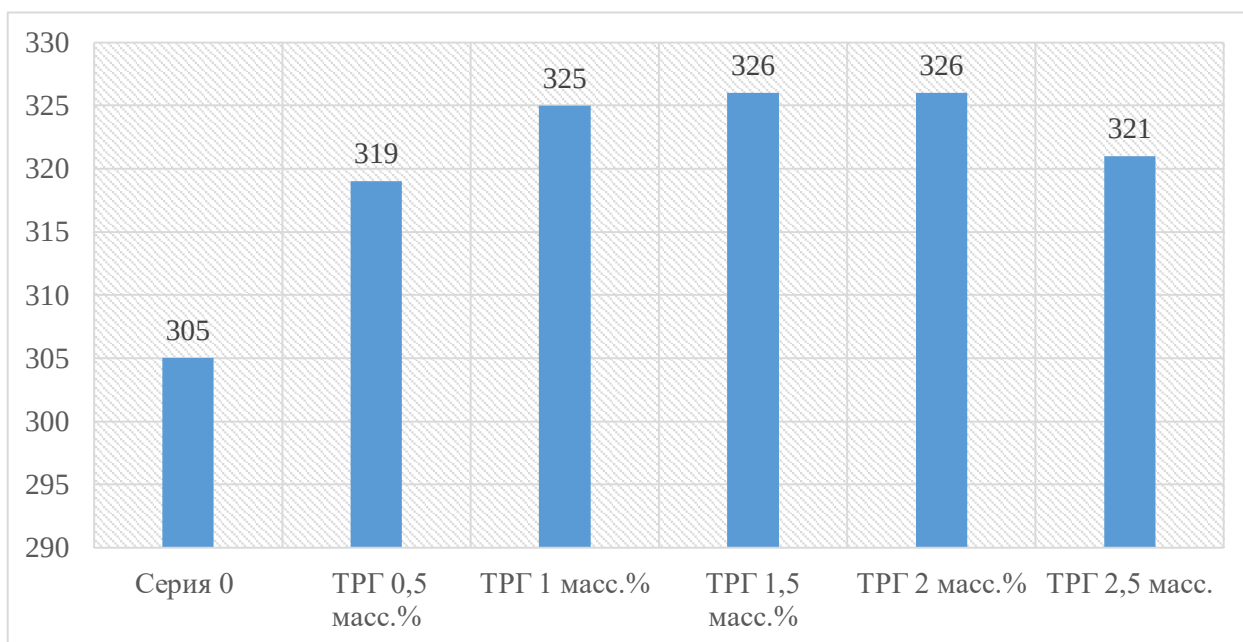


Рисунок 4 – Гистограмма температур воспламенения образцов, наполненных ТРГ

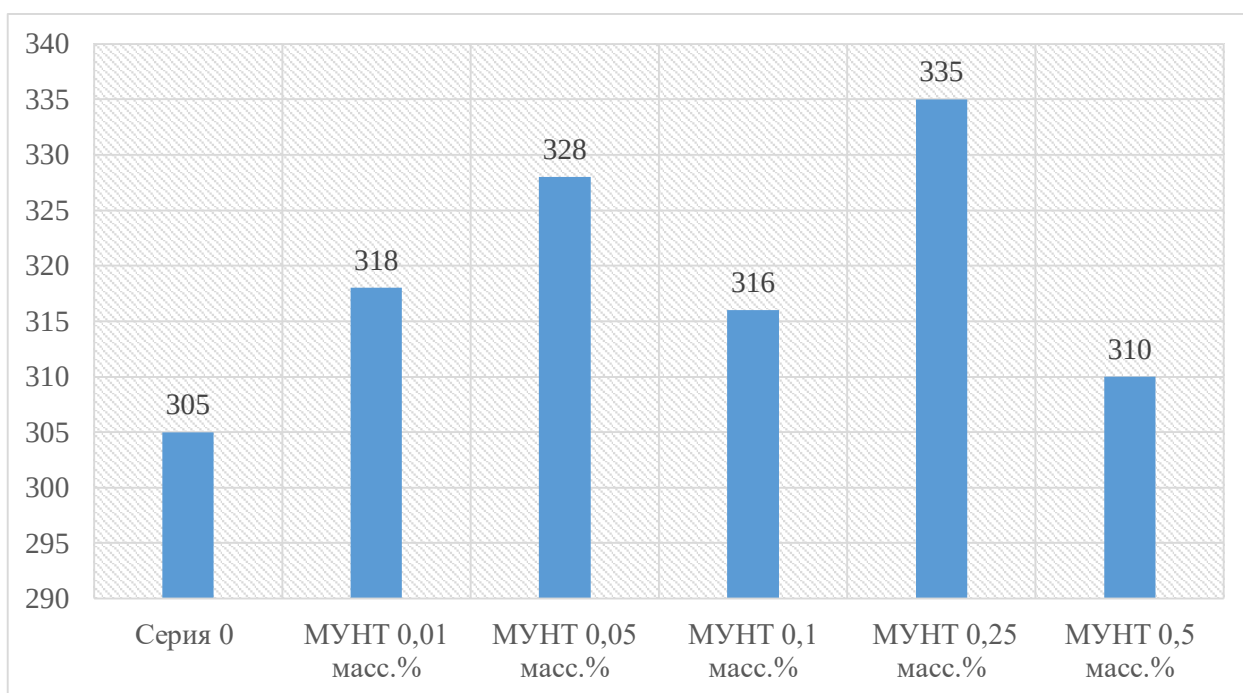


Рисунок 5 – Гистограмма температур воспламенения образцов, наполненных МУНТ

Следует отметить, что в случае с композитами ТРГ при концентрации наполнителя в 1,5 и 2 % масс. наблюдается большая термоустойчивость, чем при других концентрациях. Что касается композитов МУНТ пиковыми точками температуры воспламенения являются концентрации 0,25 и 0,05 % масс.

Это не только иллюстрирует эффективность углеродных наполнителей (ТРГ и МУНТ) в качестве наполнителя для полимерных материалов, но и интересную закономерность – при больших концентрациях температура воспламенения уменьшается. Это объясняется явлением агломерации (увеличивается масса горючего вещества и, как следствие, теплопроводимость).

Также при испытаниях было отмечено, что нагрев, горение контрольного образца и композитов ТРГ протекают с различием. В первом случае при горении образца по достижении 260°C наблюдалось обильное дымовыделение и потрескивание, присутствовал запах. Во втором случае – дымовыделение происходило на более высоких температурах (290-295°C), образцы нагревались медленнее, и что примечательно – воспламенялись в месте, где концентрация наполнителя была меньше (т.к. образцы изготовлены вручную, не удалось

добиться идеально равномерного распределения наполнителя по эпоксидной смоле), что тоже является доказательством эффективности ТРГ.

Для композитов МУНТ такие особенности горения не характерны. Нагрев происходит постепенно, после испытаний образцы не вспучены, не расплавлены. Однако, при горении композитов наблюдалось едкое и обильное дымовыделение.

3. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

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

3.1.1. Потенциальные потребители результатов исследования

Исследования в области пожаробезопасности в настоящее время очень важны, это легко объясняется тем, что сейчас идет быстрый процесс развития техносферы, и человек все чаще встречается с опасностями антропогенной среды, такими как пожары. В современном мире натуральные материалы используются в быту и строительстве почти в равных долях с синтетическими, например, полимерными. Поэтому так важно проводить исследования в области пожароопасности и снижения горючести полимеров и полимерных композитов.

Введение в полимер антипиренов – эффективный способ снижения горючести полимеров. Однако выбор антипиренов является сложным, в первую очередь потому что существует много их вариаций, и каждый тип антипиренов имеет свои характеристики и, что не мало важно, стоимость.

В работе рассмотрено исследование влияния терморасширннного графика, как антипирена, на горючесть полимерных композитов. Потенциальными заказчиками результатов ВКР могут быть производители полимерных материалов, а также представители пожарных испытательных лабораторий, занимающиеся исследованиями в области пожаробезопасности.

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

Для анализа методов снижения пожароопасности полимеров альтернативными антипиренами была выбрана оценочная карта. 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 Г – гидроксид магния, и как Т – ТРГ.

Таблица 3 – Оценочная карта сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		БуГ	БГ	БТ	КуГ	КГ	КТ
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Эффективность	0,18	3	2	5	0,54	0,36	0,9
2. Безопасность	0,13	3	4	5	0,39	0,52	0,65
3. Сложность производства	0,08	2	5	3	0,16	0,4	0,24
4. Сложность исходных материалов	0,09	2	4	3	0,18	0,36	0,27
5. Специальное оборудование для производства	0,1	2	5	3	0,2	0,5	0,3
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Конкурентоспособность продукта	0,08	2	4	5	0,16	0,32	0,4
2. Цена	0,12	2	5	4	0,24	0,6	0,48
3. Предполагаемый срок исследований	0,04	2	4	4	0,08	0,16	0,16
4. Финансирование научной разработки	0,09	4	2	3	0,36	0,18	0,27
5. Наличие сертификации разработки	0,09	3	2	5	0,27	0,18	0,45
Итого	1	25	37	40	2,58	3,58	4,12

Анализируя данные, приведенные в таблице, можно сделать вывод, что использование ТРГ является наиболее эффективным. Низкая

конкурентоспособность других антипиренов обусловлены их меньшей эффективностью и безопасностью.

3.2. Оценка готовности проекта к коммерциализации

Таблица 4 – Карта оценки готовности проекта к коммерциализации

№ п/п	Наименование	Степень проработанности научного проекта	Уровень имеющихся знаний у разработчика
1	Определен имеющийся научнотехнический задел	5	4
2	Определены перспективные направления коммерциализации научно технического задела	3	3
3	Определены отрасли и технологии (товары, услуги) для предложения на рынке	4	3
4	Определена товарная форма научно-технического задела для представления на рынке	4	3
5	Определены авторы и осуществлена охрана их прав	2	4

Продолжение таблицы 4

6	Проведена оценка стоимости интеллектуальной собственности	2	2
7	Проведены маркетинговые исследования рынков сбыта	3	1
8	Разработан бизнес-план Коммерциализации научной разработки	1	1
9	Определены пути продвижения научной разработки на рынок	3	2
10	Разработана стратегия (форма) реализации научной разработки	3	3
11	Проработаны вопросы использования услуг инфраструктуры поддержки, получения льгот	1	1
12	Проработаны вопросы международного сотрудничества и выхода на зарубежный рынок	1	1
13	Проработаны вопросы Финансирования коммерциализации научной разработки	1	1

Продолжение таблицы 4

14	Имеется команда для коммерциализации научной разработки	4	4
15	Проработан механизм реализации научного проекта	3	4
Итого баллов		40	37

Разработка согласно результатам анализа является перспективной, а знания разработчиков достаточны для выполнения проекта

3.3. Методы коммерциализации результатов науднотехнического 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.

3.4. Планирование научно-исследовательской работы

Работа над научно-исследовательским проектом по исследованию горючести полимерных композитов состоит из 10 этапов, составляющих структуру исследования. Перечень этапов, работ и распределение исполнителей представлено в таблице 5.

Таблица 5 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Научный руководитель
Выбор направления исследований	2	Календарное планирование работ по теме	Студент
	3	Подбор и изучение материалов по теме	Студент
	4	Выбор направления исследований	Студент
Теоретические исследования	5	Проведение анализа литературы по теме ВКР	Студент
	6	Проведение исследования, выполнение поставленных руководителем задач	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
Обобщение и оценка результатов	11	Работа над выводами по проекту	Студент
	12	Оценка эффективности полученных результатов	Студент, научный руководитель
Оформление отчета по НИР	13	Составление пояснительной записки к работе	Студент

3.4.1. 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.

$$t_{\text{ож}i} = \frac{3t_{\text{мин}i} + 2t_{\text{макс}i}}{5}, \quad (1)$$

где $t_{\text{ож}i}$ – 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:

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

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

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

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

$$t_{\text{ож.3}} = \frac{3 * 3 + 2 * 5}{5} = 3,8 \text{ чел. – дн.}$$

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

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

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

$$t_{\text{ож.5}} = \frac{3 * 8 + 2 * 14}{5} = 10,4 \text{ чел. – дн.}$$

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

$$t_{\text{ож.6}} = \frac{3 * 4 + 2 * 10}{5} = 6,4 \text{ чел. – дн.}$$

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

$$t_{\text{ож.7}} = \frac{3 * 7 + 2 * 10}{5} = 8,2 \text{ чел. - дн.}$$

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

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

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

$$t_{\text{ож.9}} = \frac{3 * 7 + 2 * 14}{5} = 9,8 \text{ чел. - дн.}$$

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

$$t_{\text{ож.10}} = \frac{3 * 9 + 2 * 14}{5} = 11 \text{ чел. - дн.}$$

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

$$t_{\text{ож.11}} = \frac{3 * 6 + 2 * 12}{5} = 8,4 \text{ чел. - дн.}$$

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

$$t_{\text{ож.12}} = \frac{3 * 5 + 2 * 10}{5} = 7 \text{ чел. - дн.}$$

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

$$t_{\text{ож.13}} = \frac{3 * 12 + 2 * 15}{5} = 13,2 \text{ чел. - дн.}$$

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях T_p , учитывающая

параллельность выполнения работ несколькими исполнителями.

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i}, \quad (2)$$

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

$t_{ожі}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной 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:

$$T_{p3} = \frac{3,8}{1} = 4 \text{ раб. дн.}$$

Продолжительность 4-й работы:

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

Продолжительность 5-й работы:

$$T_{p5} = \frac{10,4}{1} = 10 \text{ раб. дн.}$$

Продолжительность 6-й работы:

$$T_{p6} = \frac{6,4}{1} = 6 \text{ раб. дн.}$$

Продолжительность 7-й работы:

$$T_{p7} = \frac{8,2}{2} = 4 \text{ раб. дн.}$$

Продолжительность 8-й работы:

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

Продолжительность 9-й работы:

$$T_{p9} = \frac{9,8}{1} = 10 \text{ раб. дн.}$$

Продолжительность 10-й работы:

$$T_{p10} = \frac{11}{2} = 6 \text{ раб. дн.}$$

Продолжительность 11-й работы:

$$T_{p11} = \frac{8,4}{2} = 4 \text{ раб. дн.}$$

Продолжительность 12-й работы:

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

Продолжительность 13-й работы:

$$T_{p13} = \frac{13,2}{1} = 13 \text{ раб. дн.}$$

Таким образом, наиболее трудоемкими и продолжительными этапами работы ожидаются этапы 5, 6, 9, 12 и 13.

3.4.2. Разработка графика проведения научного исследования

С целью 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:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}} \quad (3)$$

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:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} \quad (4)$$

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.

Коэффициент календарности в 2017 году составил:

$$k_{\text{кал}} = \frac{365}{365 - 118} = 1,477$$

Продолжительность выполнения 1-й работы в календарных днях

$$T_{k1} = 2 * 1,477 = 3 \text{ кал. дн.}$$

Продолжительность выполнения 2-й работы в календарных днях

$$T_{k4} = 2 * 1,477 = 3 \text{ кал. дн.}$$

Продолжительность выполнения 3-й работы в календарных днях

$$T_{k2} = 4 * 1,477 = 6 \text{ кал. дн.}$$

Продолжительность выполнения 4-й работы в календарных днях

$$T_{k3} = 1 * 1,477 = 1 \text{ кал. дн.}$$

Продолжительность выполнения 5-й работы в календарных днях

$$T_{k5} = 10 * 1,477 = 15 \text{ кал. дн.}$$

Продолжительность выполнения 6-й работы в календарных днях

$$T_{k6} = 6 * 1,477 = 9 \text{ кал. дн.}$$

Продолжительность выполнения 7-й работы в календарных днях

$$T_{k7} = 4 * 1,477 = 6 \text{ кал. дн.}$$

Продолжительность выполнения 8-й работы в календарных днях

$$T_{k8} = 2 * 1,477 = 3 \text{ кал. дн.}$$

Продолжительность выполнения 9-й работы в календарных днях

$$T_{k9} = 10 * 1,477 = 15 \text{ кал. дн.}$$

Продолжительность выполнения 10-й работы в календарных днях

$$T_{k10} = 6 * 1,477 = 9 \text{ кал. дн.}$$

Продолжительность выполнения 11-й работы в календарных днях

$$T_{k11} = 4 * 1,477 = 6 \text{ кал. дн.}$$

Продолжительность выполнения 12-й работы в календарных днях

$$T_{k12} = 7 * 1,477 = 10 \text{ кал. дн.}$$

Продолжительность выполнения 13-й работы в календарных днях

$$T_{k13} = 13 * 1,477 = 20 \text{ кал. дн.}$$

Таблица 6 – Временные показатели проведения научного исследования

№	Название	Трудоёмкость работ			Исполнители	Длительность	Длительность работ в календарных днях,
		t _{min} ,	t _{max} ,	t _{ож} ,			
1	Составление и утверждение технического задания	1	3	1,8	Научный руководитель	2	3
2	Календарное планирование работ по теме	2	3	2,4	Студент	2	3
3	Подбор и изучение материалов по теме	3	5	3,8	Студент	4	6
4	Выбор направления исследований	1	2	1,4	Студент	1	1
5	Проведение анализа литературы по теме ВКР	8	14	10,4	Студент	10	15
6	Проведение исследования, выполнение поставленных руководителем задач	4	10	6,4	Студент	6	9
7	Согласование полученных данных с научным руководителем	7	10	8,2	Студент, научный руководитель	4	6
8	Подготовка образцов для исследования	1	3	1,8	Студент	2	3
9	Проведение эксперимента	7	14	9,8	Студент	10	15
10	Оценка полученных данных	9	14	11	Студент, научный руководитель	6	9
11	Оценка эффективности полученных результатов	6	12	8,4	Студент, научный руководитель	4	6
12	Работа над выводами по проекту	5	10	7	Студент	7	10
13	Составление пояснительной записки к работе	12	15	13,2	Студент	13	20

Таблица 7 – Календарный план-график выполнения ВКР

№	Вид работ	Исполнители	Кал. дн.	Продолжительность выполнения работ											
				февраль			март			апрель			май		
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	Составление и утверждение технического задания	Научный руководитель	3												
2	Календарное планирование работ по теме	Студент	3												
3	Подбор и изучение материалов по теме	Студент	6												
4	Выбор направления исследований	Студент	1												
5	Проведение анализа литературы по теме ВКР	Студент	15												
6	Проведение исследования, выполнение поставленных руководителем задач	Студент	9												
7	Согласование полученных данных с научным руководителем	Студент, научный руководитель	6												
8	Подготовка образцов для исследования	Студент	3												
9	Проведение эксперимента	Студент	15												
10	Оценка полученных данных	Студент, научный руководитель	9												
11	Оценка эффективности полученных результатов	Студент, научный руководитель	6												
12	Работа над выводами по проекту	Студент	10												
13	Составление пояснительной записки к работе	Студент	20												

Построенный календарный план-график показывает, что наиболее продолжительными этапами работы являются: «Проведение анализа литературы по теме ВКР» (15 дней), «Проведение теоретических расчетов и обоснований» (9 дней), «Проведение эксперимента» (15 дней), «Работа над выводами по проекту» и «Составление пояснительной записки к работе» (10 и 20 дней). В ходе НИР руководитель темы участвует в работе в течении 24 календарных дней, студент – в течении 103 календарных дней.

Общая продолжительность работ в календарных днях составила 106 дней.

3.4.3. Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

3.4.3.1. Расчет затрат на сырье и материалы НТИ

При написании ВКР требуются материалы, представленные в таблице 9.

Таблица 9 – Стоимость материалов

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы, (З_м), руб.
Ручка	шт.	5	24	120
Карандаш	шт.	1	30	30
Ластик	шт.	1	15	15
Маркеры	шт.	3	90	270
Степлер	шт.	1	250	250
Скобы для степлера	шт.	2	45	90
Бумага офисная	л.	500	0,4	200
Термопаста для ноутбука	шт.	1	500	500
Картридж	шт.	1	1000	1000
Итого				2475

3.4.3.2. Основная заработная плата исполнителей темы

Заработная плата научного руководителя и студента включает основную заработную плату и дополнительную заработную плату:

$$З_{зп} = З_{осн} + З_{доп} \quad (5)$$

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

$З_{доп}$ – дополнительная заработная плата (15 % от $З_{осн}$).

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

$$З_{осн} = З_{дн} \cdot T_p \quad (6)$$

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

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

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$З_{дн} = \frac{З_m \cdot M}{F_d} \quad (7)$$

где $З_m$ – 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 научно-технического персонала, раб. дн.

Месячный должностной оклад работника:

$$З_m = З_{тс} \cdot (1 + k_{пр} + k_d) \cdot k_p \quad (8)$$

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

$k_{пр}$ – премиальный коэффициент;

k_d – коэффициент доплат и надбавок;

k_p – районный коэффициент.

Месячный должностной оклад руководителя темы, руб.:

$$З_m = 36800 * (1 + 0,3 + 0,3) * 1,3 = 76544$$

Месячный должностной оклад дипломника, 17000 руб.

$$З_m = 17000 * (1 + 0,2 + 0,2) * 1,3 = 30940$$

Таблица 9 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель темы	Инженер (дипломник)
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней		
- выходные дни	105	105
- праздничные дни	14	14
Потери рабочего времени		
- отпуск	28	28
- невыходы по болезни	15	5
Действительный годовой фонд рабочего времени	203	213

Среднедневная заработная плата научного руководителя, руб.:

$$З_{дн} = \frac{76544 * 10,4}{203} = 3921$$

Среднедневная заработная плата студента, руб.:

$$З_{дн} = \frac{30940 * 11,2}{213} = 1627$$

Рассчитаем рабочее время:

Руководитель: $T_p = 16$ раб.дней

Студент: $T_p = 69$ раб.дней

Основная заработная плата научного руководителя составила:

$$З_{осн} = 3921 * 16 = 62736 \text{ руб.}$$

Основная заработная плата студента составила:

$$З_{осн} = 1627 * 69 = 112263 \text{ руб.}$$

Таблица 10 – Расчет основной заработной платы научного руководителя и студента

Исполнители	З _{тс} ,	k _{пр}	k _д	k _р	З _м ,	З _{дн} ,	Т _р ,	З _{осн} ,
	руб				руб	руб	раб.дн.	руб
Научный руководитель	36800	0,3	0,3	1,3	76544	3921	16	62736
Студент	17000	0,2	0,2	1,3	30940	1627	69	112263
Итого З_{осн}								174999

3.4.3.2.1. Дополнительная заработная плата научно-производственного персонала

Дополнительная заработная плата рассчитывается исходя из 10-15% от основной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнение темы:

$$З_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot З_{\text{осн}} \quad (9)$$

где $З_{\text{доп}}$ – дополнительная заработная плата, руб.;

$k_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной зарплаты, 0,12;

$З_{\text{осн}}$ – основная заработная плата, руб.

Дополнительная заработная плата научного руководителя:

$$З_{\text{доп}} = 62736 \cdot 0,12 = 7528 \text{ руб.}$$

Дополнительная заработная плата студента:

$$З_{\text{доп}} = 112263 \cdot 0,12 = 13472 \text{ руб.}$$

Таблица 11 – Дополнительная заработная плата исполнителей НТИ

Заработная плата	Руководитель	Студент
Основная зарплата	62736	112263
Дополнительная зарплата	7528	13472
Итого, руб	195999	

3.4.3.2.2. Отчисления на социальные нужды

Статья включает в себя отчисления во внебюджетные фонды.

$$C_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}) \quad (10)$$

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

$$C_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} * (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}) = 0,3 * 195999 = 58800 \text{ руб}$$

3.4.3.2.3. Накладные расходы

$$З_{\text{накл}} = (\text{сумма статей } 1 \div 7) * k_{\text{нр}} \quad (11)$$

Накладные расходы составили:

$$З_{\text{накл}} = (2475 + 195999) * 0,16 = 31756 \text{ руб}$$

3.4.3.3. Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Таблица 12 – Расчет бюджета затрат ВКР

Наименование статьи	Сумма, руб.	Доля от общих затрат, %
1. Материальные затраты НТИ	2475	1
2. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	174999	61
3. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	21000	7
4. Отчисления на социальные нужды	58800	20
5. Накладные расходы	31756	11
6. Бюджет затрат НТИ	289030	100

3.5. Оценка эффективности исследования

Данная работа эффективна в первую очередь потому, что любые инновационные исследования в области пожаробезопасности имеют большой потенциал в будущем применении. Результаты исследования влияния ТРГ в качестве антипирена на горючесть полимерных материалов могут применены во многих областях, таких как производство этих материалов, а также научно-исследовательские испытания пожароопасности. По окончании раздела были:

1. определены потенциальные потребители результатов исследования;
2. проведен анализ конкурентных технических решений;
3. спланировано научно-техническое исследование (исследование состоит 13 основных этапов. Для иллюстрации календарного графика была использована диаграмма Ганта. Общая продолжительность исследования составила 106 дней, определен бюджет научно-исследовательской работы, он составил 289030руб.

3.6. Определение ресурсной эффективности исследования

Таблица 13 – Карта сравнительного анализа конкурентоспособности наполнителей, используемых для полимерных композитов

	Вес критерия	ТРГ	МУНТ	Металлы
Легкость в разработке	0,2	3	5	4
Доступность сырья	0,1	4	4	4

Продолжение таблицы 13

Необходимость специфической информационной базы	0,1	3	3	2
Необходимость специфической технической базы	0,1	3	4	2
Дороговизна	0,5	5	3	3
Итого	1			

Интегральный показатель ресурсоэффективности для ТРГ и МУНТ равен 4,1 и 3,6 соответственно. Для металлических наполнителей – 3,1.

Следовательно, сравнительная эффективность проекта составила 1,3 и 1,16 по ТРГ и МУНТ соответственно.

Эти показатели иллюстрируют эффективность углеродных наполнителей для полимерных материалов в сравнении с аналогами, например, металлами.

Анализ, проведенный в разделе финансового менеджмента, показал, что разработка имеет перспективы использования. Разработка проекта не несет больших затрат, при этом имеются возможности к коммерциализации и получению прибыли от результатов научного исследования. Также рассмотрены наиболее целесообразные способы коммерциализации, сегменты рынка потребителей заинтересованных в разработке.

4. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

Научно-исследовательская работа направлена на исследования влияния углеродных наполнителей на горючесть полимерных композитов. Пожароопасность полимеров нуждается в подробном рассмотрении и изучении в первую очередь потому, что уже многие годы на ряду с натуральными, а зачастую и в большей мере, при строительстве и в быту используются полимерные материалы и изделия из них. В связи с этим уже не один год ведутся разработки новых и усовершенствования старых методик снижения горючести полимерных материалов. Введение в полимер углеродных наполнителей – один из наиболее популярных и надежных способов ингибирования процессов горения. Цель работы – исследовать влияния углеродных наполнителей на горючесть полимеров.

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.

4.1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Работа в испытательных пожарных лабораториях сопряжена со множеством вредных и опасных факторов, в следствие 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;
4. процентная надбавка на особые условия труда в размере 20% от должностного оклада работника.

Кроме того, на предприятии должны быть организованы безопасные условия труда, а также должны проводиться регулярные инструктажи и обучение персонала.

4.2. Производственная безопасность

Исследование горючести полимерный композитов производится на установке ОТП. Прибор ОТП, используемый в эксперименте, представляет собой вертикальную электропечь с двумя коаксиально расположенными цилиндрами, выполненными из кварцевого стекла.

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

При проведение эксперимента по определению горючести эпоксидных композитов работники испытательной пожарной лаборатории МЧС могут подвергнуться многим опасным и вредным факторам. Подробное описание в таблице 1. В соответствии с ГОСТ 12.0.003-2015 [22] существует классификация вредных и опасных факторов при выполнении работ.

Таблица 14 – Вредные и опасные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Изготовление наполнителя	Изготовление образцов	Проведение эксперимента	
1.Микроклимат	+	+	+	СанПиН 2.2.4.548-96 СП 52.13330.2011, СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03, СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03, ГН 2.2.5.1313-03, Р 2.2.2006-05, ГОСТ 12.4.011-89, ПНД Ф 12.13.1-03, ГОСТ Р 12.1.019-2009
2.Химический ожог	+			
3.Термический ожог			+	
4.Недостаточная освещенность рабочей зоны	+	+	+	
5.Повышенная загазованность рабочей зоны		+	+	
6. Электробезопасность			+	

4.2.2. Разработка мероприятий по защите исследователя от действия опасных и вредных факторов.

Микроклимат. В помещениях общественных зданий следует обеспечивать оптимальные или допустимые параметры микроклимата. Микроклимат производственных помещений – это климат внутренней среды этих помещений, который определяется действующими на организм человека сочетаниями температуры, влажности и скорости движения воздуха

Оптимальные величины показателей микроклимата необходимо соблюдать на рабочих местах производственных помещений, на которых выполняются работы, связанные с нервно-эмоциональным напряжением (на постах управления технологическими процессами, в залах вычислительной техники и др.).

Согласно нормативно-технической документации при нормировании параметров микроклимата выделяют холодный период года, характеризуемый среднесуточной температурой наружного воздуха, равной $+10^{\circ}\text{C}$ и ниже и теплый период года, характеризуемый среднесуточной температурой наружного воздуха выше $+10^{\circ}\text{C}$. Разграничение работ по категориям осуществляется на основе интенсивности общих энерготрат организма в ккал/ч (Вт) [27].

Лаборатория является помещением I а категории (с интенсивностью энерготрат до 120 ккал/ч, производимые сидя и сопровождающиеся незначительным физическим напряжением)

Допустимые величины интенсивности теплового облучения работающих на рабочих местах от производственных источников, нагретых до темного свечения (материалов, изделий и др.).

Таблица 15. Допустимые величины интенсивности теплового облучения

Облучаемая поверхность тела, %	Интенсивность теплового облучения, Вт/м ² , не более
50 и более	35
25-50	70
не более 25	100

Для создания и автоматического поддержания в лаборатории независимо от наружных условий оптимальных значений температуры, влажности, чистоты и скорости движения воздуха, в холодное время года используется водяное отопление, в теплое время года применяется кондиционирование воздуха. Кондиционер представляет собой вентиляционную установку, которая с помощью приборов автоматического регулирования поддерживает в помещении заданные параметры воздушной среды.

Согласно [27] в теплофизической лаборатории ИПЛ МЧС микроклимат удовлетворителен.

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.

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 % [28]. Для минимизации пульсации света применяют разнофазное подключение светильников.

Таблица 16. Нормируемые показатели естественного, искусственного и совмещенного освещения помещений жилых зданий [30]

Помещение	Рабочая поверхность и плоскость нормирования КЕО и освещенности и высота плоскости над полом, м	Естественное освещение		Совмещенное освещение		Искусственное освещение		
		КЕО e_n , %		КЕО e_n , %		Освещенность рабочих поверхностей, лк	Показатель дискомфорта M , не более	Коэффициент пульсации освещенности, K_p , %
		При верхнем или комбинированном	При боковом освещении	При верхнем или комбинированном	При боковом освещении			
Лаборатори	$\Gamma-0,0$	3,0	1,0	1,8	0,6	300	-	-

Согласно [30] освещение в ИПЛ при МЧС по Томской обл. соответствует классу 2.

Искусственное освещение в помещениях должно осуществляться системой общего равномерного освещения. В производственных и административно-общественных помещениях, в случаях преимущественной работы с документами, следует применять системы комбинированного освещения (к общему освещению дополнительно устанавливаются светильники местного освещения, предназначенные для освещения зоны расположения документов).

В качестве источников света при искусственном освещении следует применять преимущественно светодиодные светильники. При устройстве отраженного освещения в производственных и административно-общественных помещениях допускается применение металлогалогенных

ламп. В светильниках местного освещения допускается применение ламп накаливания, в том числе галогенные [30].

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.

Таблица 17 – Вещества, находящиеся в воздухе [31]

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

В соответствии с Р 2.2.2006-05 [36] 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).

Химический ожог. Химический ожог возможен на первом этапе проведения эксперимента (Изготовление ТРГ) при неправильном обращении с кислотами или нарушении техники безопасности и других инструкций.

Превентивными мерами в соответствии с ПНД Ф 12.13.1-03 и можно считать проведение инструктажей (вводные, первичные и т.д.), мониторинг соблюдения правил хранения и использования химических веществ, использование средств индивидуальной защиты (ГОСТ 12.4.011-89 ССБТ [29]).

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), чтобы исключить возможные ожоги.

Электробезопасность. При исследовании горючести полимерных материалов на установке ОТП, одним из источников потенциально опасных факторов является ЭВМ и возможность поражения электрическим током. Использование данного оборудования может привести к наличию таких вредных факторов, как повышенный уровень статического электричества, повышенный уровень электромагнитных полей, повышенная напряженность электрического поля.

К основной документации, которая регламентирует вышеперечисленные вредные факторы относится СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 «Гигиенические требования к электронно-вычислительным машинам и организации работы»:

ЭВМ должны соответствовать требованиям настоящих санитарных правил и каждый их тип подлежит санитарно-эпидемиологической экспертизе с оценкой в испытательных лабораториях, аккредитованных в установленном порядке.

Допустимые уровни электромагнитных полей (ЭМП) в ИПЛ МЧС, создаваемых ЭВМ, не должны превышать значений, представленных в таблице 18.

Таблица 18 – Допустимые уровни ЭМП, создаваемых ЭВМ

Наименование параметров	Диапазон	ДУ ЭМП
Напряженность электрического поля	в диапазоне частот 5 Гц - 2 кГц	25 В/м
	в диапазоне частот 2 кГц - 400 кГц	2,5 В/м
Плотность магнитного потока	в диапазоне частот 5 Гц - 2 кГц	250 нТл
	в диапазоне частот 2 кГц - 400 кГц	25 нТл
Поверхностный электростатический потенциал экрана видеомонитора		500В

4.3. Экологическая безопасность

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

4.3.1. Влияние на атмосферу

Основной вред окружающей среде причиняется при горении или производстве полимерных материалов, т.к. при этих процессах в атмосферу выбрасывается большое количество вредных веществ. В лучшем случае продукты сжигания – это 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 нормативной документацией на выбросы наложены ограничения. Как говорилось ранее продукты при разложении разных

полимерных материалов различны и поэтому следует привести ПДК «постоянных» загрязнителей. Для органических полимеров это оксид углерода (IV, II), альдегиды, акролеин.

Таблица 19 – ПДК для вредных веществ

Соединение	ПДК _{м.р.}	ПДК _{с.с.}
	Мг/м ³	Мг/м ³
C_3H_4O (акролеин)	0,03	0,03
CO	5	3
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.

4.3.2. Разработка 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.

4.4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях

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.

4.4.1. Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований и обоснование мероприятий по предотвращению ЧС

Согласно ГОСТ Р 22.0.02-94 ЧС - это нарушение нормальных условий жизни и деятельности людей на объекте или определенной территории (акватории), вызванное аварией, катастрофой, стихийным или экологическим бедствием, эпидемией, эпизоотией (болезнь животных), эпифитотией (поражение растений), применением возможным противником современных средств поражения и приведшее или могущее привести к людским или материальным потерям".

С точки зрения выполнения проекта характерны следующие виды ЧС:

1. Пожары, взрывы;
2. Внезапное обрушение зданий, сооружений;
3. Геофизические опасные явления (землетрясения);
4. Метеорологические и агрометеорологические опасные явления;

Так как объект исследований представляет из себя математическую модель, работающий в программном приложении, то наиболее вероятной ЧС в данном случае можно назвать пожар в аудитории с серверным оборудованием. В серверной комнате применяется дорогостоящее оборудование, не горючие и не выделяющие дым кабели. Таким образом возникновение пожаров происходит из-за человеческого фактора, в частности, это несоблюдение правил пожарной безопасности. К примеру, замыкание электропроводки - в большинстве случаев тоже человеческий фактор. Соблюдение современных норм пожарной безопасности позволяет исключить возникновение пожара в серверной комнате.

- Согласно СП 5.13130.2009 предел огнестойкости серверной должен быть следующим: перегородки - не менее EI 45, стены и перекрытия - не менее REI 45. Т.е. в условиях пожара помещение должно оставаться герметичным в течение 45 минут, препятствуя дальнейшему распространению огня.
- Помещение серверной должно быть отдельным помещением, функционально не совмещенным с другими помещениями. К примеру, не допускается в помещении серверной организовывать мини-склад оборудования или канцелярских товаров.
- При разработке проекта серверной необходимо учесть, что автоматическая установка пожаротушения (АУПТ) должна быть обеспечена электропитанием по первой категории (п. 15.1 СП 5.13130.2009).
- Согласно СП 5.13130.2009 в системах воздуховодов общеобменной вентиляции, воздушного отопления и кондиционирования воздуха защищаемых помещений следует предусматривать автоматически закрывающиеся при обнаружении пожара воздушные затворы (заслонки или противопожарные клапаны).

4.4.2. Разработка мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС

Согласно ГОСТ Р 22.0.07-95 [38] основные поражающие факторы при данном развитии событий (утечка гада и возможный последующий взрыв) – это токсическое действие, воздушная ударная волна и механическое травмирование посредством осколков, обломков и т.д. 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 [38].

В случае развития ЧС (утечка газа) следует перекрыть газопроводный кран, проветрите помещение (задействовать все вытяжки в помещении), вызовите 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.

Пожарная безопасность должна обеспечиваться системами предотвращения пожара и противопожарной защиты, в том числе организационно-техническими мероприятиями.

Под пожарной профилактикой понимается обучение пожарной технике безопасности и комплекс мероприятий, направленных на предупреждение пожаров.

Задачи пожарной профилактики можно разделить на три комплекса мероприятий:

- обучение, в т.ч. распространение знаний о пожаробезопасном поведении (о необходимости установки домашних индикаторов задымленности и хранения зажигалок и спичек в местах, недоступных детям);
- пожарный надзор, предусматривающий разработку государственных норм пожарной безопасности и строительных норм, а также проверку их выполнения;
- обеспечение оборудованием и технические разработки (установка переносных огнетушителей и изготовление зажигалок безопасного пользования).

Согласно НПБ 104-03 «Проектирование систем оповещения людей о пожаре в зданиях и сооружениях» для оповещения о возникновении пожара в каждом помещении должны быть установлены дымовые оптико-электронные автономные пожарные извещатели, а оповещение о пожаре должно осуществляться подачей звуковых и световых сигналов во все помещения с постоянным или временным пребыванием людей.

Также помещения должны быть оснащены средствами пожаротушения, а именно огнетушителями типа ОУ-2, ОУ-5 или ОП-5 (предназначены для тушения любых материалов, предметов и веществ, применяется для тушения ПК и оргтехники).

Согласно НПБ 105-03 помещение, ИПЛ МЧС, относится к типу В1 – пожароопасное:

Таблица 20. Категории помещений по взрывопожарной и пожарной опасности

Категория помещения	Характеристика веществ и материалов, находящихся (обращающихся) в помещении
В1 пожароопасные	Горючие и трудногорючие жидкости, твердые горючие и трудногорючие вещества и материалы (в том числе пыли и волокна), вещества и материалы, способные при взаимодействии с водой, кислородом воздуха или друг с другом только гореть, при условии, что помещения, в которых они имеются в наличии или обращаются, не относятся к категориям А или Б

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе проведения исследовательской работы был проведен подробный анализ литературы на выбранную тему, и проработаны многие теоретические аспекты. На основе полученных данных была выдвинута гипотеза, что углеродные наполнители могут снижать горючесть полимерных материалов.

Руководствуясь литературой, был проведен эксперимент, по итогам которого стало ясно, что использование ТРГ и МУНТ, в качестве наполнителей для полимерных материалов, в целях понижения горючести этих материалов целесообразно. Несмотря на то, что ТРГ является нетипичным антипиреном, очевидно, что он, как наполнитель, может влиять на горючесть полимерных материалов. МУНТ же используется как наполнитель для полимеров уже многие годы и был выбран, как противоположный – классический антипирен.

Стоит отметить, что исследования в области снижения горючести любых, в том числе и полимерных материалов могут способствовать спасению многих жизней. Очевидно, что чем медленнее нагреваются строительные материалы, если невозможно предотвратить их возгорание, тем больше времени у людей на эвакуацию.

Результаты данной исследовательской работы могут помочь в вопросе снижения горючести материалов и могут быть использованы любыми специалистами, занимающимися данной темой.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пожароопасность полимерных материалов / Щеглов П.П., Иванников В.Л. – М., 1992. – 110 с.
2. Flammability of polymer-clay and polymer-silica nanocomposites / Yang F., Yngard R., Nelson G.L. // Journal of Fire Sciences – 2005. – 226 с.
3. Горючесть и огнестойкость полимерных материалов / Колодов В.И. – М. – 1976. – 160 с.
4. Токсичные компоненты пожаров / Маркизова Н.Ф., Преображенская Т.Н., Башарин В.А., Гребенюк А.Н., – Спб. – 2008. – 208 с.
5. ГОСТ 10456-80 Пластмассы. Метод определения поведения пластмасс при контакте с раскаленным стержнем. – Введ. 1980-02-25. – М.: Изд-во стандартов, 1980. – 6 с.
6. Эпоксидные полимеры и композиции / Чернин И.З., Смехов Ф.М., Жердев Ю.В. – М. – 1982. – 232 с.
7. Компоненты, обладающие свойствами понижать горючесть полимерных материалов // Копилка знаний URL: <http://fan-5.ru/entry/work215497.php>
8. Interaction in multicomponent flame-retardant polymers: solid-state nmr identifying the chemistry behind it / Sut A., Scharitel B., Greiser S., Jager C. // Polymer Degradation and Stability. – 2015. – 125 с.
9. Flammability of the disperse-filled polymer composites / Askadsky A., Ushkov V., Smirnov V., Voronin V // 2016. – 208 с.
10. Characterizing particle emissions from burning polymer nanocomposites / Nyden M.R., Harris R.H., Kim Y.S., Davis R.D., Marsh N.D., Zammarano M. // 100 Bureau Drive – 2010. – 719 с.
11. Основные классы антипиренов // Полимерные композиционные материалы URL: <http://p-km.ru/polimernye-kompozity-s-ponizhennojgoryuchestyu/osnovnye-klassy-antipirenov.html>

12. The effect of nanometals on the flammability and thermooxidative degradation of polymer materials / Antonov A., Yablokova M., Costal L., Balanovich A., Levchik G., Levchik S. // Molecular crystals and liquid crystals science and technology, section A: Molecular crystals and liquid crystals – 2000. – 210 с.
13. Анализ дериватограмм окисленного и вспученного графита / К.Е. Махорин, Н.Н. Заяц, С.С. Дончак, А.С. Сидоренко, И.Я. Пищай // Хим. технология. – 1990. – 47 с.
14. Графит и его кристаллические соединения / Уббелоде А.Р., Льюис Ф.А. // Пер. с англ. – М. – 1965. – 256 с.
15. Углерод, межслоевые соединения и композиты на его основе / Фиалков А.С. – М. – 1997. – 718 с.
16. Графит и его соединения включения / Дядин Ю.А. // Соросовский образовательный журнал – 2000. – 180 с.
17. Оценка процесса формования терморасширенного графита деформационно-спектральным / Никитин Ю.А., Черныш И.Г., Пятковский М.Л. // Цветные металлы. – 1992. – 40 с.
18. Генетическая классификация месторождений графита / Мазор Ю.Р., Богомолов А.Х., Пронина Н.В. // Докл. АН СССР – 1982. – 400 с.
19. Графит // Минералы URL: www.XuMuK.ru/encyklopedia. Минералы: Справочник. Т. 1 // Вестн. АН СССР. – 1961. – 151 с.
20. Laboratory Grows World Record Length Carbon Nanotube thesaurus.rusnano.com.
21. Углеродные нанотрубки и их эмиссионные свойства, А. В. Елецкий, УФН, апрель 2002 г., т. 172, № 4, ст. 408
22. З. Я. Косаковская, Л. А. Чернозатонский, Е. А. Фёдоров. Нановолоконная углеродная структура. Письма в ЖЭТФ 56 26 (1992)
23. Guo T, Nikolaev P, Rinzler D, Tomanek D.T, Colbert D.T, Smalley R. «Self-Assembly of Tubular Fullerenes» // J. Phys. Chem. 99: 10694-7 (1995).

24. V. Ivanov et al. «Catalytic production and purification of nanotubes having fullerene-scale diameters». Carbon 33, 12, (1995) 1727—1738.
25. ГОСТ 12.1.044-89 ССБТ Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения. – Введ. 1989-12-12. – М.: Стандартинформ, 2006. – 100 с.
26. ГОСТ 12.0.003-2015. ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация. – Введ. 2017-03-01. – М.: Стандартинформ, 2016. – 3 с.
27. СанПиН «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений» от 01.10.1996 № СанПиН 2.2.4.548–96 // Российская газета.
28. ГОСТ 12.1.005-88. ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны. – Введ 1989-01-01. – М.: Стандартинформ, 2008. – 78 с.
29. СП 52.13330.2011 Естественное и искусственное освещение.
30. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещённому освещению жилых и общественных зданий.
31. ГН 2.2.5.1313-03 Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны.
32. Р 2.2.2006-05. Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда.
33. ГОСТ 12.4.011-89 ССБТ. Средства защиты работающих. Общие требования и классификация. – Введ. 1990-07-01. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2001. – 8 с.
34. ПНД Ф 12.13.1-03. Методические рекомендации. Техника безопасности при работе в аналитических лабораториях (общие положения).

35. ГОСТ Р 12.1.019-2009 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты. – Введ. 2011-01-01. – М.: Стандартиформ, 2010. – 33 с.

36. ГН 2.2.5.1313–03. Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны. Гигиенические нормативы.

37. ГН 2.1.6.1338 – 03. Предельно-допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест.

38. ГОСТ Р 22.0.07-95 Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Источники техногенных чрезвычайных ситуаций. Классификация и номенклатура поражающих факторов и их параметров. – Введ. 1997-01-01. – М.: ИПК Издательство стандартов, 1996. – 10 с.

39. Закон Российской Федерации «О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера» от 21.12.1994 № 68-ФЗ // Собрание законодательства Российской Федерации.

Приложение А

The effect of carbon fillers on the flammability of polymer composites

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1ЕМ71	Пронина А.Е.		

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
Старший преподаватель	Ажель Ю.П.	-		

2. Experimental part

2.1. Research methods and materials

2.1.1. Materials characteristics

The chemical composition of epoxy is a synthetic oligomer. Only after polymerization, when combined with a hardener, it can evince properties, but is not used in its pure form. Epoxy resins are resistant to acids, alkalis, halogens, dissolve in acetone and esters without forming a film. Solidified epoxy compounds do not emit volatile substances and are characterized by slight shrinkage.

ED-20 epoxy resin was used in this work. It is an oligomer based on diphenylolpropane diglycidyl ether. In practice, epoxy is a typical polymer model.

ED-20 epoxy resin is not explosive, but it burns in the source of fire. Contains volatile substances (toluene and epichlorohydrin) in microscopic doses. According to the degree of impact on the human body, these compounds belong to the 2nd class of danger.

In the present work, polyethylene polyamine (PEPA) was used as a hardener.

PEPA is a light yellow or brown oily liquid. It is easy to distinguish by specific smell. PEPA is completely dissolved in water and alcohol, leaving no residue. The hardener actively absorbs moisture from the air, therefore, polyethylenepolyamine should be stored in an airtight container. In the process of applying the epoxy resin is mixed with the hardener in the proportions specified in the accompanying instructions. PEPA hardener is a substance belonging to hazard class 3, therefore it is very important to comply with the requirements of transportation and use a regular shipping container.

In this work, multilayer carbon nanotubes (MWCNTs) and thermally expanded graphite (TRGs) act as fillers.

2.1.2. Venue experiment

The experiment was conducted on the basis of the Federal State Budgetary Institution "Forensic expert institution of the federal fire service" Testing fire laboratory "in the Tomsk region"

FSBI SEP FPS IPL in the Tomsk region - the establishment of the State Fire Service. The main functions of the institution:

1. organization and production of forensic examinations;
2. professional training and expert specialization;
3. scientific and technical activity in the field of study necessary to achieve the goals.

2.2. Experiment method

For the experiment, a method was chosen to experimentally determine the flash point of solids and materials. This method involves conducting an experiment in the temperature range from 25 to 600 ° C.

The OTP device used in the experiment is a vertical electric furnace with two coaxially arranged quartz glass cylinders. One of the cylinders with an internal diameter of (80 ± 3) mm and a height of 240 mm is the reaction chamber; The second cylinder of the same height has an internal diameter of (101 ± 3) mm. Spiral electric heaters with a total capacity of at least 2 kW are wound on the cylinders, which allows you to create a working area temperature of 600 ° C for no more than 40 minutes.

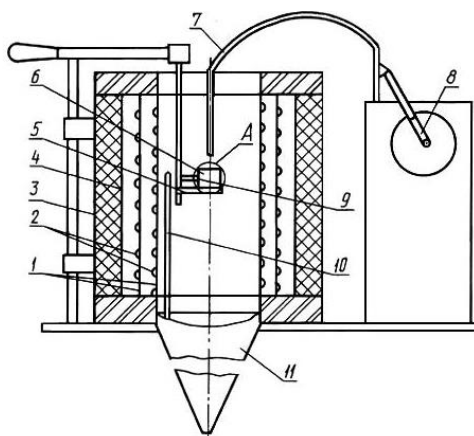


Figure 1 – Scheme of the device for determining the ignition temperature (1 – glass cylinders; 2 – spiral electric heaters; 3 – thermal insulation material; 4 – steel

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

2.2.1. Sample making

Samples containing 22.4-23.6% of epoxy groups with an average molecular weight of 340 g / mol were manufactured at the Novosibirsk State Technical University in accordance with GOST 12.1.044-89. Manufacturing technology consists in molding and curing epoxy resin with a gradual and uniform interplay of TRGs in it with different percentages by weight. In this experiment, concentrations of 0.25 and 0.5 wt. % Samples were made cylindrical with a diameter of 45 ± 3 mm and a height of 50 ± 3 mm.



Figure 2 – samples used in the experiment, before testing

2.2.2. Research progress

According to GOST 12.1.044-89, the experiment included three test series. For each test, five samples were made. Before testing, each sample was weighed, determining its mass with an accuracy of 0.1 g.

After processing the samples, the temperature was weighed again to determine the difference in mass before and after burning. In the course of the experiment, in addition to the required indicators, the features of combustion were also recorded.

During the test, the following indicators were recorded: the mass of the sample before the test was m_0 ; sample mass after testing m_1 ; maximum furnace

temperature $T_{\max}$; final temperature of the furnace T_k ; ignition temperature T_{wospl} , and also calculated the average ignition temperature T_{cp} .



Figure 3 – samples used in the experiment after the test

2.3. Results

Table 1 – Results of the determination of the characteristics of the flammability of samples filled TRG

№ обр.	$T_{\max}$	$T_{\text{воспл}}$	T_{cp}	m_0	m_1
	°C	°C	°C	г	г
Control sample without filler (PEPA)					
1	400	304	305	5,66	-
2		302		4,45	-
3		303		4,4	-
4		311		5,81	-
5		303		6,39	2,91
Series 1 (hardener PEPA, TRG 0.5 wt.%)					
1	400	315	319	6,02	3,62
2		318		6,05	6
3		320		6,03	6,02
4		312		6,06	5,97
5		331		6	4,35
Series 2 (hardener PEPA, TRG 1 wt.%)					
1	400	319	325	5,95	5,97
2		321		6,01	4,87

3		323		6,02	5,99
4		329		6,01	4,16
5		333		5,94	5,93
Series 3 (hardener PEPA, TRG 1.5 wt.%)					
1	400	328	326	6,01	3,86
2		332		6,01	4,42
3		322		5,99	5,01
4		325		6,02	5,73
5		322		6,03	3,93
Series 4 (hardener PEPA, TRG 2 wt.%)					
1	400	326	326	6,03	5,84
2		335		6	4,4
3		326		6,01	5,98
4		321		6,04	4,8
5		322		6,01	6
Series 5 (hardener PEPA, TRG 2.5 wt.%)					
1	400	309	321	6,03	5,26
2		309		6	5,98
3		337		6,03	5,28
4		316		6,03	5,91
5		336		6,03	3,52

Table 1 – Results of the determination of the characteristics of the flammability of the samples, filled with MCNT

№ обр.	$T_{\max}$ °C	$T_{\text{воспл}}$ °C	$T_{\text{ср}}$ °C	m_0 г	m_1 г
Control sample without filler (PEPA)					
1	400	304	305	5,66	-
2		302		4,45	-
3		303		4,4	-

4		311		5,81	-
5		303		6,39	2,91
Series 0 (PEPA, MUNT 0.5 wt.%)					
1	400	312	310	6,02	3,66
2		315		6	4,47
3		303		6,03	5,07
Series 6 * (PEPA, Munt 0.25 wt.%)					
1	400	338	335	6,06	3,52
2		342		6	5,54
3		324		6	5,22
Series 6 * (PEPA, Munt 0.1 mass.%)					
1	400	308	316	6	5,17
2		321		6,02	5,09
3		319		6,01	4,74
4		312		5,95	5,95
5		322		6	5,46
Series 7 * (PEPA, Munt 0.05 wt.%)					
1	400	330	328	6,02	5
2		328		6,01	5,88
3		333		5,99	5,99
4		319		6,01	5,96
5		329		5,96	4,48
Series 8 * (PEPA, MUNT 0.01 wt.%)					
1	400	323	318	5,99	5,94
2		330		6,05	4,81
3		310		6,05	6,03
4		316		6,13	5,13
5		313		6,01	6

Analyzing the data obtained (Table 1 and Table 2) and comparing the flammability characteristics of the composites with the control unfilled sample, it can be established that there is a tendency to increase the ignition temperature of the composites filled with carbon fillers.

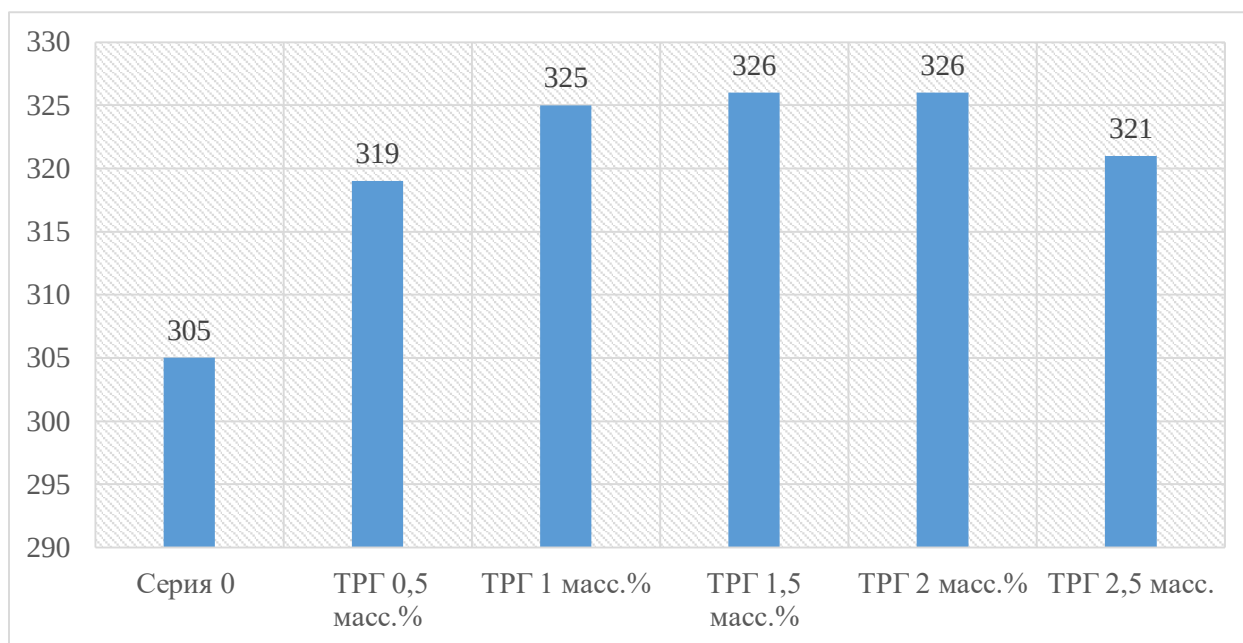


Figure 4 – Histogram of ignition temperatures of samples filled with TRG

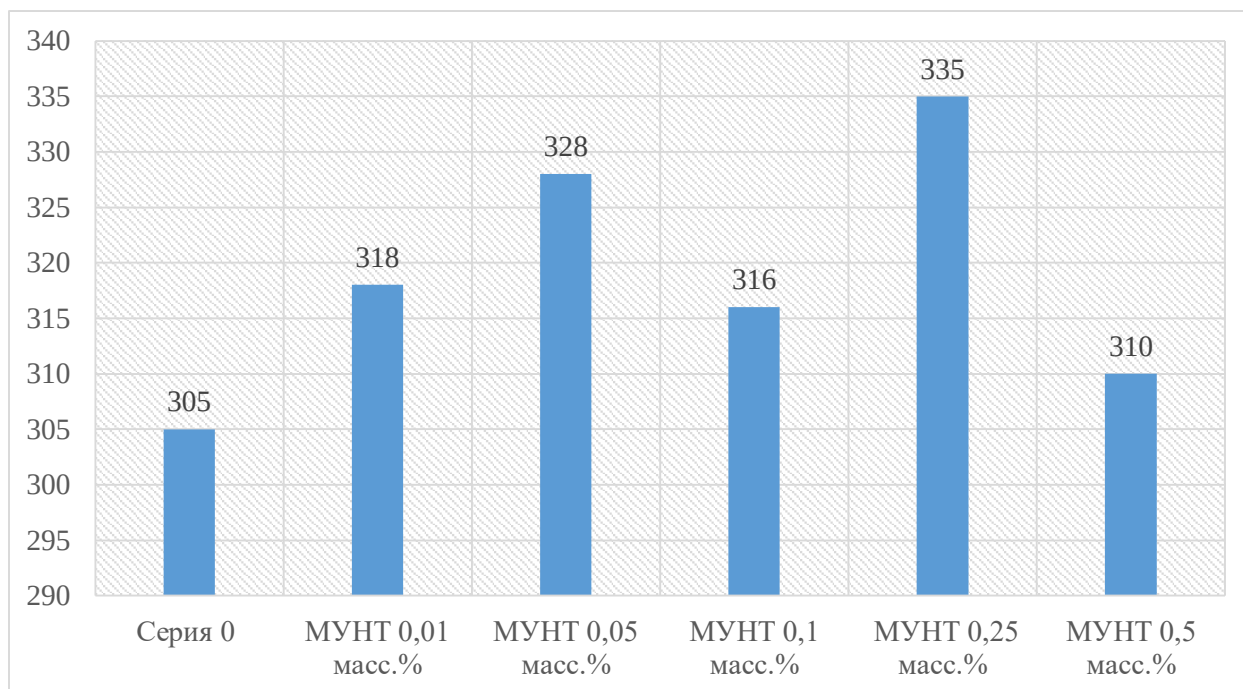


Figure 5 – Histogram of ignition temperatures of samples filled with MCNT

It should be noted that in the case of composites TRG at a concentration of filler in 1.5 and 2% of the mass. there is a greater heat resistance than at other

concentrations. With regards to the MWCNT composites, peak ignition temperature points are concentrations of 0.25 and 0.05% by weight.

This not only illustrates the effectiveness of carbon fillers (TRGs and MWCNTs) as a filler for polymeric materials, but also an interesting pattern — at high concentrations, the ignition temperature decreases. This is due to the phenomenon of agglomeration (increases the mass of combustible material and, consequently, heat conduction).

Also during the tests it was noted that the heating, burning of the control sample and TRG composites proceed with distinction. In the first case, when the sample was burned, upon reaching 260 ° C, abundant smoke emission and crackling were observed, and odor was present. In the second case, the smoke emission occurred at higher temperatures (290-295 ° C), the samples heated more slowly, and what is remarkable - they ignited in a place where the concentration of the filler was less (because the samples were made by hand, it was not possible to achieve a perfectly uniform distribution filler on epoxy resin), which is also proof of the effectiveness of TRG.

For MWCNT composites, such burning features are not typical. Heating occurs gradually, after testing, the samples are not swollen, not melted. However, when burning composites, a caustic and heavy smoke emission was observed.

Conclusion

In the course of the research work, a detailed analysis of the literature on the chosen topic was carried out, and many theoretical aspects were worked out. Based on the data obtained, it was hypothesized that carbon fillers can reduce the flammability of polymeric materials.

Guided by the literature, an experiment was conducted, according to the results of which it became clear that the use of TEG and MWCNT as fillers for polymeric materials in order to reduce the flammability of these materials is appropriate. Despite the fact that TRG is an atypical flame retardant, it is obvious that, as a filler, it can influence the flammability of polymeric materials. Munt is

used as a filler for polymers for many years and was chosen as the opposite - the classic flame retardant.

It should be noted that research in the field of reducing the Flammability of any, including polymeric materials can help save many lives. It is obvious that the slower building materials heat up, if it is impossible to prevent their burning, the more time people have to evacuate.

The results of this research work can help in reducing the flammability of materials and can be used by any professionals involved in this topic.