

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

---

Институт неразрушающего контроля  
Направление подготовки 20.03.01 «Техносферная безопасность»  
Кафедра экологии и безопасности жизнедеятельности

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

Тема работы
<b>Влияние терморасширенного графита на показатели горючести эпоксидных композитов</b>

УДК 614.841.411:678.686-032.36

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1Е31	Пронина Алена Евгеньевна		

Руководитель

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

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Шулинина Юлия Викторовна	-		

По разделу «Социальная ответственность»

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

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ЭБЖ ИНК ТПУ	Романенко Сергей Владимирович	Д.Х.Н.		

Томск – 2017 г.

## Планируемые результаты обучения

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
<b>Профессиональные компетенции</b>	
P1	Способность понимать и анализировать социальные и экономические проблемы и процессы, применять базовые методы гуманитарных, социальных и экономических наук в различных видах профессиональной и социальной деятельности.
P2	Демонстрировать понимание сущности и значения информационных технологий в развитии современного общества и для ведения практической инновационной инженерной деятельности в области техносферной безопасности
P3	Способность эффективно работать самостоятельно, в качестве члена и руководителя интернационального коллектива при решении междисциплинарных инженерных задач с осознанием необходимости интеллектуального, культурного, нравственного, физического и профессионального саморазвития и самосовершенствования
P4	Осуществлять коммуникации в профессиональной среде и в обществе в целом, разрабатывать документацию, презентовать и защищать результаты инновационной инженерной деятельности, в том числе на иностранном языке.
<b>Универсальные компетенции</b>	
P5	Способность применять основные законы естественнонаучных дисциплин, методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования с целью выбора и оптимизации устройств, систем и методов защиты человека и природной среды от опасностей.
P6	Уметь выбирать, применять, оптимизировать и обслуживать современные системы обеспечения техносферной безопасности на предприятиях и в организациях – потенциальных работодателях, в том числе при реализации инновационных междисциплинарных проектов
P7	Уметь организовать деятельность по обеспечению техносферной безопасности на предприятиях и в организациях – потенциальных работодателях, в том числе при реализации инновационных междисциплинарных проектов
P8	Уметь оценивать механизм, характер и риск воздействия техносферных опасностей на человека и природную среду
P9	Применять методы и средства мониторинга техносферных опасностей с составлением прогноза возможного развития ситуации

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



Институт неразрушающего контроля  
 Направление подготовки (специальность) 20.03.01 «Техносферная безопасность»  
 Кафедра экологии и безопасности жизнедеятельности

УТВЕРЖДАЮ:  
 Зав. кафедрой  
 \_\_\_\_\_ С.В. Романенко  
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ  
 на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

бакалаврская работа

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

Студенту:

Группа	ФИО
1Е31	Прониной Алене Евгеньевне

Тема работы:

Влияние терморасширенного графита на показатели горючести эпоксидных композитов	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	

Срок сдачи студентом выполненной работы:

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<b>Исходные данные к работе</b>	Объект исследования – пожароопасность полимеров. Литературные данные, методические рекомендации по изготовлению образцов эпоксидных композитов и по исследованию параметров горючести.
<b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>	Аналитический обзор по литературным источникам в области пожароопасности полимерных материалов, изучение свойств исходных веществ, исследование горючести эпоксидных композитов, анализ полученных результатов, разработка разделов «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение», «Социальная ответственность», выводы по работе.
<b>Перечень графического материала</b>	<b>Таблицы, рисунки</b>

<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b>	
<b>Раздел</b>	<b>Консультант</b>
<b>Социальная ответственность</b>	<b>Романцов Игорь Иванович</b>
<b>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</b>	<b>Шулинина Юлия Игоревна</b>
<b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b>	

<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	
---	--

**Задание выдал руководитель:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Профессор	Назаренко Ольга Брониславовна	д.т.н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
1Е31	Пронина Алена Евгеньевна		

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

---

Институт неразрушающего контроля  
Направление подготовки (специальность) 20.03.01. «Техносферная безопасность»  
Уровень образования бакалавриат  
Кафедра экологии и безопасности жизнедеятельности  
Период выполнения (осенний / весенний семестр 2016/2017 учебного года)

Форма представления работы:

бакалаврская работа
---------------------

(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

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

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
16.03.2017	Обзор литературы по теме исследования	10
01.04.2017	Экспериментальная часть	50
10.05.2017	Анализ результатов исследования	30
25.05.2017	Оформление результатов исследования	10

Составил преподаватель:

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

**СОГЛАСОВАНО:**

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ЭБЖ ИНК ТПУ	Романенко Сергей Владимирович	д.х.н.		

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

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
1Е31	Прониной Алене Евгеньевне

<b>Институт</b>	<b>ИНК</b>	<b>Кафедра</b>	<b>ЭБЖ</b>
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	20.03.01 Техносферная безопасность

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

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

**Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:**

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

**Перечень графического материала:**

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

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	
---	--

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Ассистент	Шулинина Юлия Игоревна	-		

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
1Е31	Пронина Алена Евгеньевна		

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
1Е31	Прониной Алене Евгеньевне

Институт	ИНК	Кафедра	ЭБЖ
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	20.03.01 Техносферная безопасность

### Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Объект исследования: рабочее место лаборанта Область применения: исследование горючести полимерных композитов
--	--

### Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p><b>1. Производственная безопасность</b></p> <p>1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <p>1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p>	<p>При изучении места исследования должны быть определены вредные и опасные факторы.</p> <p>Вредные факторы: микроклимат, недостаточная освещенность и/или пульсации света, повышенная загазованность воздуха рабочей зоны.</p> <p>Опасные факторы: химический ожог, термический ожог, поражение эл. током.</p> <p>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</p> <p>Средства защиты: респираторы, перчатки, специальная одежда.</p>
<p><b>2. Экологическая безопасность:</b></p>	<p>Рассмотреть, как продукты разложения полимерных материалов влияют на окружающую среду.</p>
<p><b>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b></p>	<p>Рассмотреть наиболее вероятный вариант развития ЧС и привести примеры превентивных мер: взрыв газа после его утечки.</p>
<p><b>4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b></p>	<p>Работникам предоставляется:</p> <p>лечебно-профилактическое обслуживание и периодические медицинские осмотры работающих во вредных условиях труда;</p> <p>обеспечение работников средствами индивидуальной защиты, смывающими и обезвреживающими средствами в соответствии с установленными нормами;</p> <p>санитарно-бытовые помещения и устройства;</p> <p>процентная надбавка на особые условия труда в размере 20% от должностного оклада работника.</p>

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

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Романцов Игорь Иванович	к.т.н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1Е31	Пронина Алена Евгеньевна		



## Реферат

Выпускная квалификационная работа 75 с., 4 рис., 13 табл., 35 источников.

Ключевые слова: полимер, пожароопасность, исследование, горючесть.

Объектом исследования является пожароопасность полимеров.

Цель работы – исследовать влияние терморасширенного графита 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:  $t_{\text{восп}}$  контрольных (без наполнителя) образцов 303°C,  $t_{\text{восп}}$  эпоксидных композитов от 317°C до 324°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.

## Оглавление

Реферат .....	9
Определения, обозначения, сокращения .....	10
Оглавление.....	11
Введение.....	14
1. Литературный обзор.....	16
1.1. Пожароопасность полимеров .....	16
1.1.1. Классификация полимерных материалов по их горючести.....	17
1.2. Поражающие факторы при горении полимерных материалов.....	18
1.2.1. Подробное описание токсичных продуктов горения полимерных материалов .....	19
1.3. Горение полимерных материалов .....	21
1.4. Методы исследования горючести полимеров .....	23
1.5. Методы понижения горючести полимерных материалов.....	25
1.6. Влияние наполнителей на снижение горючести.....	27
1.6.1. Терморасширенный графит.....	31
1.6.1.1. Историческая справка .....	31
1.6.1.2. Изготовление ТРГ .....	32
1.6.1.3. Формование ТРГ.....	33
1.6.1.4. Применение ТРГ.....	34
2. Экспериментальная часть .....	36
2.1. Материалы и методы исследования .....	36
2.1.1. Характеристики материалов.....	36
2.1.2. Место проведения эксперимента.....	37
2.1.3. Метод проведения эксперимента.....	37
2.1.3.1. Изготовление образцов.....	38
2.2. Ход исследования .....	39
2.3. Результаты.....	40
3. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	43

3.1. Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения .....	43
3.1.1. Потенциальные потребители результатов исследования.....	43
3.1.2. Анализ конкурентных технических решений .....	44
3.2. Планирование научно-исследовательской работы .....	45
3.2.1. Определение трудоемкости выполнения работ .....	46
3.2.2. Разработка графика проведения научного исследования .....	50
3.2.3. Бюджет научно-технического исследования (НТИ).....	55
3.2.3.1. Расчет затрат на сырье и материалы НТИ .....	55
3.2.3.1.1. Основная заработная плата исполнителей темы.....	56
3.2.3.1.2. Дополнительная заработная плата научно-производственного персонала .....	58
3.2.3.1.3. Отчисления на социальные нужды.....	59
3.2.3.1.4. Накладные расходы.....	59
3.2.3.1.5. Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта	60
3.3. Оценка эффективности исследования.....	60
4. Социальная ответственность .....	61
4.1. Промышленная безопасность.....	62
4.1.1. Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть в лаборатории при проведении исследований. ....	62
4.1.2. Обоснование мероприятий по защите исследователя от действия опасных и вредных факторов. ....	62
4.1.2.1. Микроклимат .....	62
4.1.2.2. Освещенность .....	63
4.1.2.3. Повышенная загазованность воздуха рабочей зоны .....	64
4.1.2.4. Химический ожог .....	64
4.1.2.5. Термический ожог.....	65
4.1.2.6. Поражение электрическим током.....	65
4.2. Экологическая безопасность .....	66
4.2.1. Анализ влияния процесса исследования на окружающую среду .....	66
4.2.1.1. Влияние на атмосферу .....	66

4.2.2. Обоснование мероприятий по защите окружающей среды.....	67
4.3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях .....	67
4.3.1. Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть в лаборатории при проведении исследований .....	67
4.3.2. Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС .....	68
4.4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.....	69
4.4.1. Специальные правовые нормы трудового законодательства .....	69
Заключение .....	70
Список публикаций.....	71
Список литературы .....	72

## Введение

Полимерные материалы уже многие годы используются в промышленности и быту для изготовления изделий хозяйственного назначения, автомобильных и электронных компонентов, половых покрытий и внутренней отделки потолков и стен, строительных конструкций (оргстекло, стеклопластики, пенопласты и пр.), в качестве погонажных изделий (трубы, оконные профили, плинтусы), а также как соединительные полимерные материалы (мастика, клей), лаки и 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].

Таким образом, **актуальность** выбранной темы обуславливается необходимостью изучения и снижения пожароопасности полимерных материалов, т. к. современный мир нуждается в альтернативных источниках материальных благ, в качестве которых можно рассматривать полимерные материалы.

**Гипотеза исследования** – ТРГ, при использовании его как наполнителя для полимерных материалов, может понижать горючесть этих материалов.

**Цель работы** – исследовать влияние ТРГ на показатели горючести эпоксидных композитов.

### **Задачи:**

1. Провести литературный обзор по вопросам пожароопасности полимерных материалов и методам снижения их горючести.
2. Изучить методики определения показателей «Группа горючести» и «Температура воспламенения».
3. Провести экспериментальные исследования горючести образцов эпоксидных композитов, наполненных ТРГ.
4. Оценить влияние ТРГ на горючесть эпоксидных композитов.

**Объект исследования** – пожароопасность полимеров.

**Предмет исследования** – исследование влияния ТРГ на пожароопасность эпоксидных композитов.

**Практическая значимость результатов ВКР** – результаты ВКР 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 ТРГ.

**Реализация и апробация работы** – выбранная тема обсуждалась на XVIII научно-практической конференции в НИ ТПУ «Химия и химическая технология в XXI».

# 1. Литературный обзор

## 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 температурах выше 500 °С воспламеняются и горят [3].

В общем случае пожарная опасность полимерных материалов определяется следующими характеристиками:

- горючесть, процесс поддержания и распространения горения;
- дымовыделение;
- токсичность продуктов горения и пиролиз – разложение вещества под действием высоких температур;
- огнестойкость конструкции – способность изделия сохранять свои физико-механические и функциональные под воздействием высоких температур и пламени [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.

### **1.1.1. Классификация полимерных материалов по их горючести**

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 по ряду показателей, которые можно объединить в четыре группы:

- температурные (по температурам самовоспламенения и воспламенения и др.;
  - кинетические (по скорости распространения пламени, скорости горения и т. д.;
  - концентрационные (по содержанию горючего вещества и окислителя необходимого для горения);
  - тепловые (по показателя возгораемости, теплотам сгорания и т. д.)
- [3].

## 1.2. Поражающие факторы при горении полимерных материалов

Существуют основные поражающие факторы при горении полимерных материалов, это:

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

Дым в условиях пожара опасен для человека в совмещенном действии. Дым – это совокупность дисперсной и газообразной фаз, иными словами это сложная система. Дисперсная фаза дыма – твердые частицы сажи, золы и смоляные частицы, дисперсионная среда – это газ, а именно – газообразные продукты полного и неполного горения: оксид углерода (IV), оксид углерода (II), водород, углеводороды, азот, водяной пар и др. Газообразная и дисперсная среды содержат продукты горения и разложения, это и является основной причиной летальных исходов при пожарах.

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

полимерным материалом будет считаться тот, что образует меньшее количество дыма [1].

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

По специфичности продуктов разложения и горения широко применяемые полимерные материалы можно разделить на следующие группы: полимерные материалы, образованные углеродом, водородом и кислородом; галогенсодержащие полимерные материалы; азотсодержащие полимерные материалы. Такое разделение позволяет дифференцированно подойти к вопросам кинетики, состава продуктов разложения и горения, а также дымообразующей способности [1].

Потенциально опасные и наиболее часто образующиеся продукты горения полимеров – это оксиды углерода (IV, II), хлор, сернистый газ, цианистый водород, хлороводород, окислы азота, альдегиды.

### **1.2.1. Подробное описание токсичных продуктов горения полимерных материалов**

Оксид углерода (IV) – газ без цвета, запаха и вкуса, тяжелее воздуха, входит в состав воздуха. Эксперименты показывают, что при наличии кислорода воздуха углерод полимерного вещества в основном превращается в оксид углерода (IV). В реальных условиях горения часть углерода, входящего в состав полимерного материала, превращается в самые разнообразные вещества. Это связано чаще всего с недостатком кислорода, поступающего на горение, а также термической диссоциацией оксида углерода (IV) при высоких температурах на оксид углерода (II) и кислород. Часть углерода полимера при его горении образует дисперсную фазу дыма. Кроме того, углерод полимера входит в состав углеродистого остатка (коксового остатка). 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 полимерного материала. Оксид углерода легко проходит через пористые материалы. 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 является токсичным газом, но и вызывает коррозию металлов, разрушение бетона, цемента.

Сероводород – бесцветный газ с характерным резким запахом тухлых яиц. В небольших концентрациях  $H_2S$  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  $SO_2$  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. 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.

### 1.3. Горение полимерных материалов

Градации материалов из полимера по тем или иным группам возгораемости связано с устойчивостью, скоростью горения и воспламенения этих материалов. В свою очередь, это обусловлено характером горения полимерных материалов [3].

Любые процессы имеют свои отличительные особенности. Горение – это физико-химический процесс, объединяющий в себе как физические процессы тепло- и массопередачи, так и химические реакции. Горение полимеров ничем не отличается от любого другого, поэтому в любом случае реакции в конденсированной фазе 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, в которой происходит дополнительный крекинг горючих газов, частичное их окисление;
4. зона пламенная, здесь происходит основное тепловыделение;
5. зона продуктов сгорания, в которой возможно дополнительное окисление продуктов реакции, их догорание.

В первой зоне наблюдается пиролиз при малой доле окислительных процессов слоев, прилежащих к поверхностному слою, полимерного материала. Во второй зоне на поверхностном слое полимерного материала происходят

процессы термоокислительной деструкции. Третья зона (предпламенная), здесь образовавшиеся продукты горения и разложения полимерного материала смешиваются с нагретым воздухом, окисляются под действием свободных радикалов и кислорода, присутствующих в пламени. Зона пламени – четвертая зона начинается там, где накапливается достаточная для распространения пламени концентрация продуктов разложения полимерного материала, в этой зоне выделяется основная часть тепловой энергии и максимальная температура. В пятой зоне происходит догорание продуктов разложения, здесь завершается большинство окислительных реакций, смешиваются продукты реакции и холодный окружающий воздух, а энергия за счет конвекции и излучения из зоны пламени поступает к неповрежденным местам полимерного материала.

Деление на пространственные зоны целесообразно проводить с учетом особенностей протекающих и значительно различающихся по механизму в той или иной зоне процессов. По этому принципу можно выделить проходящие в твердой фазе процессы, где проходит «подготовка» полимерного материала к горению, и процессы, протекающие в газовой фазе, где распространяется пламя [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.

#### **1.4. Методы исследования горючести полимеров**

Кинетические методы исследования горючести. В настоящее время нет единого кинетического метода определения горючести полимерных материалов. Определение показателей горючести, классифицируемых как кинетические, проводят при помощи сравнительно простых методик, привлекающих экспертов своей доступностью и простотой измерения скорости горения и воспламенения. Значения величин, характеризующих скорость горения или воспламенения, зависят от влажности, температуры и конвективных потоков воздуха, потому этими методами пользуются для предварительной оценки горючести полимерных материалов.

Одним из методов является «Определение стойкости к действию накала» [5]. 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 для предварительной оценки горючести пластиков в России используют экспресс методы: «огневая труба» и «распространение пламени». Первый – для горючих полимерных материалов, второй – для легковоспламеняющихся полимерных материалов.

Метод «огневой трубы» связан с определением скорости и характера горения по времени самостоятельного горения и по изменению массы в

процессе горения. Метод «распространения пламени» – по скорости распространения пламени вдоль горизонтально расположенного образца.

Кинетические методы определения горючести материалов являются качественными, а критерии, используемые для оценки горючести, довольно искусственны.

Тепловые методы исследования горючести. Тепловые методы позволяют более точно разграничить материалы на сгораемые, трудносгораемые и несгораемые.

К группе тепловых показателей горючести относятся удельные теплоты сгорания, критерий эффективности антипиренов и другие. Теплоты сгорания определяют в адиабатических калориметрах, сжигая материалы под давлением 3 атмосферы в кислородных бомбах.

При определении горючести материала как отношения теплоты сгорания к теплоте воспламенения можно выделить самозатухающие материалы, для которых указанное отношение меньше единицы. Вместо теплоты воспламенения (зависит от условий испытания) используют на практике теплоту испарения горючих продуктов из материала, которая равноценна теплоте газификации. Теплоту газификации определяют при воздействии на материал мощного потока лучистой энергии из уравнения теплового баланса, в которое входит импульс облучения, количество тепла, поглощаемое продуктами газификации, теплосодержание прогретого слоя, масса остатка после пиролиза, определяемые экспериментально.

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

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.



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

## **1.5. 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 «Interaction in multicomponent flame-retardant polymers: solid-state nmr identifying the chemistry behind it» [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 вектор деструкции 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 «Flammability of the disperse-filled polymer composites» [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 теплоемкость, поглощаемая наполнителем. Выявлена зависимость между предельным кислородным индексом и удельной теплоемкостью минеральных наполнителей для композитов с эпоксидными матрицами.

Самый современный и интенсивно развивающийся метод снижения горючести полимеров – введение антипиреновых добавок в материал в виде микрокапсул. Суть: оболочка капсулы изготавливается из полимера (желатина, поливинилового спирта и т.д.), ее размеры составляют десятки, сотни микрон. Используемые антипирены делятся на группы:

- высококипящие;
- низкокипящие.

Высококипящие антипирены – добавки, температура кипения которых выше температуры вскрытия капсулы. Низкокипящие антипирены – добавки, у которых температура кипения значительно ниже температуры вскрытия капсул. Механизм действия сводится к увеличению количества коксового остатка и его пористости, а также снижению проницаемости кокса для продуктов горения полимерного материала. Основной эффект капсул состоит в повышении совместимости антипирена с полимером и повышении его физико-химических свойств [7].

## **1.6. Влияние наполнителей на снижение горючести**

Принцип действия любого антипирена заключается в изоляции (исключении) одного из главных условий горения – тепла, окислителя или

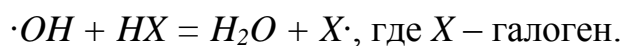
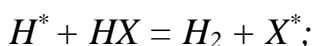
горючего вещества. В настоящее время существует большое количество различных антипиренов, при выборе которых оценивают исходным материал и требования, предъявляемые к нему при данных назначениях. Учитываются не только требования к эксплуатационным характеристикам, а также и к параметрам его улучшения и преобразования в изделие.

Существуют некоторые механизмы ингибирования процессов горения при помощи антипиренов:

1. Замедление проходящих при горении и разложении полимеров процессов 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.

Схема реакции:



Эффективность галогенсодержащих добавок убывает для однотипных соединений. Наиболее эффективными и находящими большое применение можно считать 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 разрушающее 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].

2. 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].

3. 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 высокой температуре разлагаются на газообразные  $HBr$  и  $HCl$ , которые подавляют горение [11].

4. 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, мочеви́на 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.

5. Изоляция пламени за счёт уменьшения температуры ниже критической точки и увеличения потребности в дополнительных энергозатратах 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 количестве  $> 20$  мас. % [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 «The effect of nanometals on the flammability and thermooxidative degradation of polymer materials» [12] задались этим вопросом. В статье сказано, что обнаружено – мелкодисперсные металлы (нанометаллы) при низком добавлении повышают воспламеняемость чистого

полипропилена, несмотря на сильное повышение выхода угля. 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 (терморезистивных). При удельном содержании металлов наблюдается резкий максимум зависимости индекса кислорода от концентрации огнезащитных добавок, что свидетельствует о наличии сильного синергетического эффекта.

### **1.6.1. Терморасширенный графит**

ТРГ не является 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.

ТРГ – полностью графитовый материал, не содержащий смол и неорганических наполнителей. Он не плавится, однако подвержен возгону при температурах выше 3300 °С.

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

#### **1.6.1.1. Историческая справка**

Применение графита было популярно еще очень давно. Есть подтверждения, что его использовали как пигмент для нанесения татуировок. В

Египте применяли в качестве украшений и для окрашивания керамики. Впервые промышленно разработанное месторождение графита было разработано в XV веке в Италии, и только в XVI веке в Англии открыто крупное месторождение. Само название «графит» происходит от греческого слова «писать». В 1841 г. П. Шауфхейтль впервые описал процесс получения биосульфата графита (интеркалированного графита серной кислотой), который используется по сей день [14]. Только через 100 лет начались интенсивные исследования по разработке и улучшению ИГ. Основные причины такого интереса к данной методике – высокотемпературная сверхпроводимость и способность к термоинициированному вспучиванию с образованием ТРГ. Возможность получения ТРГ привлекала ученых из-за его жаростойких и химически стойких характеристик. В 60-х годах началось усиленное промышленное производство ТРГ [14].

### **1.6.1.2. 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.

Интеркалирование кислотами проводят в присутствии окислителей, таких как бихромат калия, перекись водорода, оксид хрома (VI), персульфат аммония, перманганат калия и другие. Важно подчеркнуть, что интеркалирование щелочными металлами проводят под высоким давлением в замкнутых пространствах.



Сам процесс сводится к тому, что внедряются молекулы и ионы кислот в присутствии окислителя между слоями кристаллической решетки графита. Это приводит к увеличению межслоевого расстояния углеродной 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 (СВГ) 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. ТРГ, 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 ТРГ – все его свойства практически независимы от температуры в пределах диапазона рабочих температур.

### **1.6.1.3. Формование ТРГ**

Формование ТРГ происходит методом прокатки без добавления связующего в фольгу или картон необходимой толщины либо прессуют. Процесс формования ТРГ также проводится стадийно. Авторы статьи [17] изучили процесс одностороннего формования ТРГ деформационно-спектральным методом на образцах цилиндрической формы. Результаты исследования характеристик образцов (при изменении плотности от  $\sim 0,8$  г/см<sup>3</sup> до  $\sim 1,0$  г/см<sup>3</sup>) показали, что образуется однородный по всему объему материал.

Авторами [18] установлено, что морфология и дефектность структуры частиц ТРГ оказывают существенное влияние на кинетику процесса их деформирования и эти факторы необходимо учитывать при выборе технологических условий получения и формирования материалов из ТРГ.

Следует отметить, что, несмотря на схожесть принципиальной технологической схемы, техпроцессы промышленного производства ТРГ каждого производителя имеют свои особенности. Здесь имеют большую значимость критерии выбора сырья и технологического процесса, любые вариации того или иного фактора могут оказывать существенное влияние (и оказывают его, как показывает практика) на конечный продукт и его характеристики (структуру ТРГ, свойства и т.д.), несмотря на однотипность графитовых фольг.

#### **1.6.1.4. 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.

## **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 соблюдать требования транспортировки и применять штатную транспортировочную тару.

Наполнителями в данной работе выступают два разных ТРГ: ТРГ – 1, обработанный кислотой ( $HNO_3$ ) и ТРГ – 2, полученный путем термообработки оксида графита.

### **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, и метод не применяют для испытания металлических порошков.

Прибор ОТП, используемый в эксперименте, представляет собой вертикальную электропечь с двумя коаксиально расположенными цилиндрами, выполненными 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

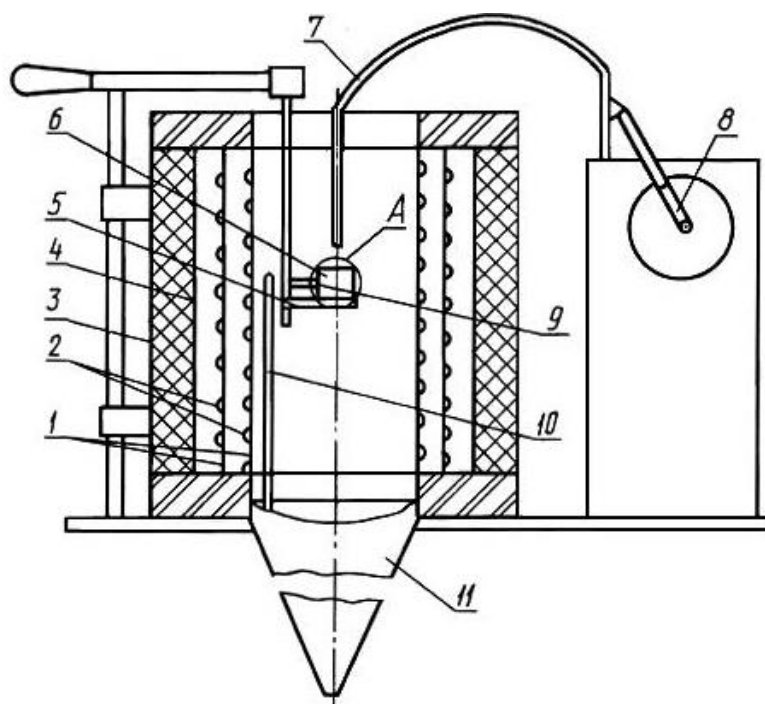


Рисунок 1 – Схема прибора для определения температуры воспламенения (1 - стеклянные цилиндры; 2 - спиральные электронагреватели; 3 - теплоизоляционный материал; 4 - стальной экран; 5 - держатель образца; 6 - контейнер; 7 - газовая горелка; 8 - электропривод горелки; 9, 10 - термоэлектрические преобразователи; 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 вмешивании в нее ТРГ разных процентах от массы. В данном эксперименте использованы концентрации 0,25 и 0,5 мас. %. Образцы изготавливались цилиндрической формы с диаметром  $45 \pm 3$  мм и высотой  $50 \pm 3$  мм [21].

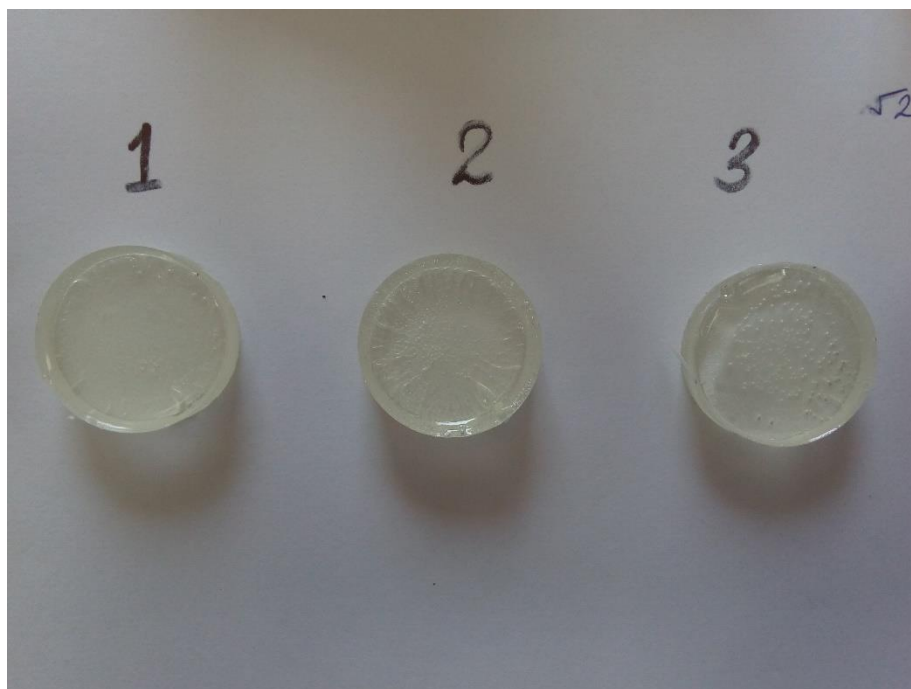


Рисунок 2 – образцы, используемые в эксперименте, до испытания

## 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

№ обр.	$T_{\max}$	$T_{\text{воспл}}$	$T_{\text{ср}}$	$m_0$	$m_1$
	°С	°С	°С	г	г
Контрольный образец без наполнителя (ПЭПА)					
1	400	298	303	6,01	расплавлен
2		298		6	4,68
3		312		6	5,51
Образец с ТРГ - 1 0,5 мас. %					
4	400	312	317	6	5,2
5		324		6	5,19
6		314		6	4,31
Образец с ТРГ - 1 0,25 мас. %					
7	400	317	324	6	4,79
8		327		6	3,8
9		327		6	5,08
Образец с ТРГ - 2 0,5 мас. %					
13	400	323	322	6	5,45
14		317		6	5,38
15		327		6	4,86
Образец с ТРГ - 2 0,25 мас. %					
16	400	322	319	6	4,2
17		319		6	5,52
18		317		6	4,69



Анализируя полученные данные (табл.1) и сравнивая характеристики горючести композитов с контрольным ненаполненным образцом можно установить, что наблюдается тенденция в увеличению температуры воспламенения у композитов, наполненных ТРГ. Следует отметить, что в случае с композитами ТРГ-1 при концентрации наполнителя в 0,25 наблюдается большая термоустойчивость, чем при концентрации 0,5. Это можно объяснить тем, что при больших концентрациях наполнителя он имеет свойство слипаться, чем увеличивают массу горючего вещества и теплопроводимость. Поэтому данный аспект следует подвергнуть более тщательному исследованию.

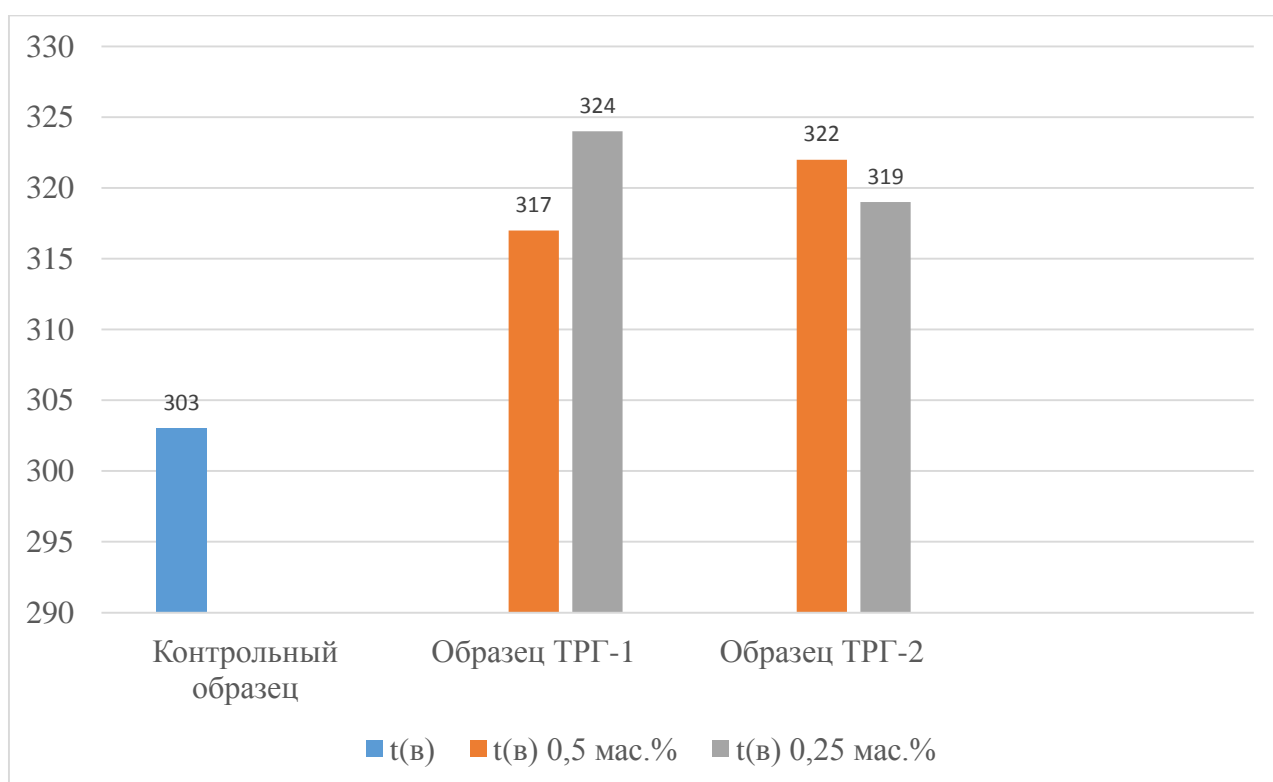


Рисунок 4 – гистограмма температур воспламенения образцов

Однако показательно, что применение ТРГ в качестве наполнителя эпоксидной матрицы способствует повышению температуры воспламенения.

Также при испытаниях было отмечено, что нагрев, горение контрольного образца и композитов протекают с различием. В первом случае при горении образца по достижении 260°С 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.

### **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 терморасширющего 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 2 – 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
<b>Технические критерии оценки ресурсоэффективности</b>							
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
<b>Экономические критерии оценки эффективности</b>							
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
<b>Итого</b>	<b>1</b>	<b>25</b>	<b>37</b>	<b>40</b>	<b>2,58</b>	<b>3,58</b>	<b>4,12</b>

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. 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 2.

Таблица 3 – 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

### 3.2.1. 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.

$$t_{ожі} = \frac{3t_{mini} + 2t_{maxi}}{5}, \quad (1)$$

где  $t_{ожі}$  – 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 Тр, 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.

### **3.2.2. 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 4 – Временные показатели проведения научного исследования

№	Название	Трудоёмкость работ			Исполнители	Длительность	Длительность работ в календарных днях,
		t <sub>min</sub> ,	t <sub>max</sub> ,	t <sub>ож</sub> ,			
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 5 – 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.

### **3.2.3. Бюджет научно-технического исследования (НТИ)**

#### **3.2.3.1. Расчет затрат на сырье и материалы НТИ**

При написании ВКР требуются материалы, представленные в таблице 4.

Таблица 6 – Стоимость материалов

<b>Наименование</b>	<b>Единица измерения</b>	<b>Количество</b>	<b>Цена за ед., руб.</b>	<b>Затраты на материалы, (З<sub>м</sub>), руб.</b>
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
<b>Итого</b>				<b>2475</b>

### 3.2.3.1.1. Основная заработная плата исполнителей темы

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d} \quad (7)$$

где  $Z_m$  – месячный должностной оклад работника, руб.;

$M$  – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

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

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

$F_d$  – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн.

Месячный должностной оклад работника:

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

где  $Z_{тс}$  – 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 7 – 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 8 – Расчет основной заработной платы научного руководителя и студента

Исполнители	$Z_{гс}$ ,	$k_{пр}$	$k_{д}$	$k_{р}$	$Z_{м}$ ,	$Z_{дн}$ ,	$T_{р}$ ,	$Z_{осн}$ ,
	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
<b>Итого <math>Z_{осн}</math></b>								<b>174999</b>

### 3.2.3.1.2. Дополнительная заработная плата научно-производственного персонала

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

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

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

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

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

Дополнительная заработная плата научного руководителя:

$$Z_{доп} = 62736 * 0,12 = 7528 \text{ руб.}$$

Дополнительная заработная плата студента:

$$Z_{доп} = 112263 * 0,12 = 13472 \text{ руб.}$$

Таблица 9 – Дополнительная заработная плата исполнителей НТИ

<b>Заработная плата</b>	<b>Руководитель</b>	<b>Студент</b>
Основная зарплата	62736	112263
Дополнительная зарплата	7528	13472
<b>Итого, руб</b>	<b>195999</b>	

### **3.2.3.1.3. Отчисления на социальные нужды**

Статья включает в себя отчисления во внебюджетные фонды.

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

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

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

### **3.2.3.1.4. Накладные расходы**

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

Накладные расходы составили:

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

### 3.2.3.1.5. Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Таблица 10 – 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

### 3.3. 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.

#### **4. Социальная ответственность**

Проблема пожароопасности полимеров нуждается в подробном рассмотрении и изучении в первую очередь потому, что уже многие годы наряду 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 ТРГ – один из наиболее популярных и надежных способов ингибирования процессов горения. Цель работы – исследовать влияния ТРГ 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. Промышленная безопасность

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

При проведении эксперимента по определению горючести эпоксидных композитов работники лаборатории могут 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 11 – Вредные и опасные факторы

Наименование видов работ	Факторы по ГОСТ 12.0.003-2015		Нормативные документы
	вредные	опасные	
1) Изготовление ТРГ	1) Микроклимат	1) Химический ожог	СанПиН 2.2.4.548-96 СП 52.13330.2011,
2) Изготовление образцов	2) Недостаточная освещенность и/или пульсации света	2) Термический ожог	СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03,
3) Проведение эксперимента	3) Повышенная загазованность воздуха рабочей зоны	3) Поражение эл. током	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

### 4.1.2. Обоснование мероприятий по защите исследователя от действия опасных и вредных факторов.

#### 4.1.2.1. Микроклимат

Учитывая специфику региона, где находится рассматриваемая лаборатория, можно смело утверждать, что имеют место быть большие

перепады температуры окружающей среды (от минус 40 в зимнее и до плюс 35 в летнее время). В связи с этим в лаборатории следует обеспечить хорошую теплоизоляцию лаборатории, а в летнее время – оборудовать помещение кондиционерами [23, 24].

#### **4.1.2.2. Освещенность**

При недостаточном освещении рабочего помещения у персонала ухудшается общее самочувствие, снижается работоспособность и сопротивляемость к простудным и другим заболеваниям, также снижается зрение и внимание. Недостаток естественного освещения в лаборатории (в связи с его отсутствием в темное время суток или по другой причине) должен компенсироваться посредством искусственного общего освещения. Общая освещенность в лаборатории должна быть не менее 400 лк [25, 26].

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

### 4.1.2.3. Повышенная загазованность воздуха рабочей зоны

Загазованность воздуха может быть объяснена тем, что при сжигании образцов из эпоксидной смолы выделяется некоторое количество продуктов деструкции и горения: оксиды углерода, альдегиды.

Таблица 12 – Вещества, находящиеся в воздухе [27]

№	Вещество	Класс опасности	ПДК мг/м <sup>3</sup>	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 [28] 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) [29].

### 4.1.2.4. 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 [30] 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]).

#### **4.1.2.5. 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) [29], чтобы исключить возможные ожоги.

#### **4.1.2.6. Поражение электрическим током**

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

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

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

Установка ОТП работает от источника тока, поражение электрическим током возможно только при условии несоблюдения техники безопасности или

неисправности самой установки. Для предотвращения поражения электрическим током должны регулярно проводиться инструктажи по технике безопасности, а также проводиться своевременное техническое обслуживание установки [31].

## **4.2. Экологическая безопасность**

### **4.2.1. Анализ влияния процесса исследования на окружающую среду**

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

#### **4.2.1.1. 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 [32-33] 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 13 – ПДК для вредных веществ

Соединение	ПДК <sub>м.р.</sub>	ПДК <sub>с.с.</sub>
	Мг/м <sup>3</sup>	Мг/м <sup>3</sup>
<i>C<sub>3</sub>H<sub>4</sub>O</i> (акролеин)	0,03	0,03
<i>CO</i>	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<sub>2</sub>*, 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.

#### **4.2.2. Обоснование мероприятий по защите окружающей среды**

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

### **4.3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях**

#### **4.3.1. Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть в лаборатории при проведении исследований**

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

### **4.3.2. Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС**

Согласно ГОСТ Р 22.0.07-95 [34] основные поражающие факторы при данном развитии событий (утечка газа 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 [35].

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.

## **4.4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности**

### **4.4.1. Специальные правовые нормы трудового законодательства**

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.

## **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 ТРГ может снижать горючесть полимерных материалов.

Руководствуясь литературой, был проведен эксперимент, по итогам которого стало ясно, что использование ТРГ, как наполнителя 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.

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 публикаций

1. Пронина А. Е. Влияние нанодисперсного наполнителя на механические свойства эпоксидных композитов после облучения электронами / А. Е. Пронина; науч. рук. О. Б. Назаренко // Инженерия для освоения космоса: сборник научных трудов IV Всероссийского молодежного форума с международным участием, г. Томск, 12-14 апреля 2016 г. — Томск: Изд-во ТПУ, 2016. — [С. 102-105].

2. Пронина А. Е. Влияние скорости нагрева полимеров при термическом анализе на характеристики термоокислительной деструкции / А. Е. Пронина; науч. рук. О. Б. Назаренко // Неразрушающий контроль: сборник трудов VI Всероссийской научно-практической конференции "Неразрушающий контроль: электронное приборостроение, технологии, безопасность", Томск, 23-27 мая 2016 г.: в 3 т. — Томск: Изд-во ТПУ, 2016. — Т. 1. — [4 с.].

3. Пронина А.Е., Бердюгина И.С., Баннов А.Г. Характеристики горючести эпоксидных композитов, наполненных терморасширенным графитом / А.Е. Пронина; О.Б. Назаренко // XVIII научно-практической конференции в НИ ТПУ «Химия и химическая технология в XXI», Томск, 29 мая – 1 июня 2017 г. – Томск: Изд-во ТПУ, 2017 – [494-495 с.].

## 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/work-215497.php>
8. Interaction in multicomponent flame-retardant polymers: solid-state nmr identifying the chemistry behind it / Sut A., Schartel 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-ponizhennoj-goryuchestyu/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 формирования 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](http://www.XuMuK.ru/encyklopedia).

20. Минералы: Справочник. Т. 1 // Вестн. АН СССР. – 1961. – 151 с.

21. 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.

22. ГОСТ 12.0.003-2015. ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация. – Введ. 2017-03-01. – М.: Стандартинформ, 2016. – 3 с.

23. СанПиН «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений» от 01.10.1996 № СанПиН 2.2.4.548–96 // Российская газета.

24. ГОСТ 12.1.005-88. ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны. – Введ 1989-01-01. – М.: Стандартиформ, 2008. – 78 с.
25. СП 52.13330.2011 Естественное и искусственное освещение.
26. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещённому освещению жилых и общественных зданий.
27. ГН 2.2.5.1313-03 Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны.
28. Р 2.2.2006-05. Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда.
29. ГОСТ 12.4.011-89 ССБТ. Средства защиты работающих. Общие требования и классификация. – Введ. 1990-07-01. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2001. – 8 с.
30. ПНД Ф 12.13.1-03. Методические рекомендации. Техника безопасности при работе в аналитических лабораториях (общие положения).
31. ГОСТ Р 12.1.019-2009 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты. – Введ. 2011-01-01. – М.: Стандартиформ, 2010. – 33 с.
32. ГН 2.2.5.1313–03. Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны. Гигиенические нормативы.
33. ГН 2.1.6.1338 – 03. Предельно-допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест.
34. 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.

35. 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.