

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

Институт Энергетический
Направление подготовки Электроэнергетика и электротехника
Кафедра Электротехнических комплексов и материалов

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

| Тема работы |
|--|
| Повышение пожарной безопасности силовых кабелей |

УДК 614.842.83:621.315.2.016.2

Студент

| Группа | ФИО | Подпись | Дата |
|--------|-------------------------------|---------|------|
| 5ГМ4В | Данзанова Саяна Александровна | | |

Руководитель

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-----------------------|--------------|---------------------------|---------|------|
| Старший преподаватель | Шуликин С.Н. | | | |

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-----------------|--------------|---------------------------|---------|------|
| Доцент, каф Мен | Фигурко А.А. | К.Э.Н. | | |

По разделу «Социальная ответственность»

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

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

| Зав. кафедрой | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|--|----------------|---------------------------|---------|------|
| Электротехнических комплексов и материалов | Гарганеев А.Г. | Д.Т.Н., профессор | | |

Томск – 2016 г.

Планируемые результаты обучения по ООП

| Код результата | Результат обучения |
|----------------|--|
| | <i>Профессиональные компетенции</i> |
| P1 | <i>Применять углубленные естественнонаучные, математические, социально-экономические и профессиональные знания</i> в междисциплинарном контексте в инновационной инженерной деятельности в области электроэнергетики и электротехники. |
| P2 | Ставить и <i>решать инновационные задачи</i> инженерного анализа в области электроэнергетики и электротехники с использованием глубоких фундаментальных и специальных знаний, аналитических методов и сложных моделей в условиях неопределенности. |
| P3 | Выполнять <i>инженерные проекты</i> с применением оригинальных методов проектирования для достижения новых результатов, обеспечивающих конкурентные преимущества электро-энергетического и электротехнического производства в условиях жестких экономических и экологических ограничений. |
| P4 | Проводить инновационные <i>инженерные исследования</i> в области электроэнергетики и электротехники, включая критический анализ данных из мировых информационных ресурсов. |
| P5 | Проводить <i>технико-экономическое обоснование</i> проектных решений; выполнять организационно-плановые расчеты по созданию или реорганизации производственных участков, планировать работу персонала и фондов оплаты труда; определять и обеспечивать эффективные режимы технологического процесса. |
| P6 | Проводить <i>монтажные, регулировочные, испытательные, наладочные работы</i> электро-энергетического и электротехнического оборудования. |
| P7 | <i>Осваивать новое</i> электро-энергетическое и электротехническое оборудование; проверять техническое состояние и остаточный ресурс оборудования и организовывать профилактический осмотр и текущий ремонт. |
| P8 | Разрабатывать рабочую <i>проектную и научно-техническую документацию</i> в соответствии со стандартами, техническими условиями и другими нормативными документами; организовывать метрологическое обеспечение электро-энергетического и электротехнического оборудования; составлять <i>оперативную документацию</i> , предусмотренную правилами технической эксплуатации оборудования и организации работы. |
| | <i>Универсальные компетенции</i> |
| P9 | <i>Совершенствовать</i> и развивать свой интеллектуальный и общекультурный уровень, добиваться <i>нравственного и физического совершенствования</i> своей личности, обучению новым методам исследования, к изменению научного и научно-производственного профиля своей профессиональной деятельности. |
| P10 | <i>Свободно пользоваться русским и иностранным языками</i> как средством делового общения, способностью к активной социальной мобильности. |
| P11 | <i>Использовать</i> на практике <i>навыки и умения</i> в организации научно-исследовательских и производственных работ, в <i>управлении</i> коллективом, использовать знания правовых и этических норм при оценке последствий своей профессиональной деятельности. |
| P12 | <i>Использовать</i> представление о методологических основах <i>научного познания и творчества</i> , роли научной информации в развитии науки, готовностью вести работу с привлечением <i>современных информационных технологий</i> , синтезировать и критически резюмировать ин-формацию. |

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

Институт Энергетический
 Направление подготовки (специальность) Электроэнергетика и электротехника
 Кафедра Электротехнических комплексов и материалов

УТВЕРЖДАЮ:
 Зав. кафедрой
 _____ Гарганеев А.Г.
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ
 на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

| |
|--------------------------|
| Магистерской диссертации |
|--------------------------|

Студенту:

| Группа | ФИО |
|--------|--------------------------------|
| 5ГМ4В | Данзановой Саяне Александровне |

Тема работы:

| |
|---|
| Повышение пожаробезопасности силовых кабелей |
|---|

| | |
|---|-----------------------|
| Утверждена приказом директора (дата, номер) | от 22.01.2016, №273/с |
|---|-----------------------|

| | |
|--|---------------|
| Срок сдачи студентом выполненной работы: | 01.06.2016 г. |
|--|---------------|

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

| | |
|--|---|
| <p>Исходные данные к работе</p> <p><i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p> | <p>Объектом исследования является ПВХ – пластикат. В результате исследования должны быть определены количественные соотношения антипиренов, обеспечивающие высокое значение кислородного индекса для поливинилхлоридного пластика.</p> |
| <p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p> | <ol style="list-style-type: none"> 1. Изучение изменения механических и термоокислительных свойств кабельных ПВХ-пластикатов, при использовании неорганических антипиренов, воздействующих на процессы горения. 2. Оценка совместного воздействия дисперсных антипиренов на снижение горючести ПВХ-пластикатов. 3. Модификация ПВХ-пластиката. Разработка рецептур. 4. Испытания силовых кабелей на |

| | |
|--|--|
| | <p>нераспространение горения с изоляцией и оболочкой из модифицированного ПВХ-пластиката.</p> <p>5. Рассмотрение альтернативных способов повышения пожаробезопасности силовых кабелей.</p> <p>6. Выполнение задания по финансовому менеджменту.</p> <p>7. Выполнение задания по социальной ответственности.</p> <p>8. Выполнение раздела на английском языке</p> |
|--|--|

Перечень графического материала Презентация в Microsoft Power Point 2010

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы

| Раздел | Консультант |
|---|-----------------------------|
| «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» | Фигурко Аркадий Альбертович |
| «Социальная ответственность» | Романцов Игорь Иванович |
| «Раздел на английском языке» | Федоринова Зоя Владимировна |

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

1. Литературный обзор
2. Повышение пожаробезопасности силовых кабелей
3. Финансовый менеджмент
4. Социальная ответственность
5. Приложение А

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

Задание выдал руководитель:

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-----------------------|---------------------------|------------------------|---------|------|
| Старший преподаватель | Шуликин Сергей Николаевич | | | |

Задание принял к исполнению студент:

| Группа | ФИО | Подпись | Дата |
|--------|-------------------------------|---------|------|
| 5ГМ4В | Данзанова Саяна Александровна | | |

Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит 126 с., 13 рисунков, 28 таблиц, 51 источник, 1 приложение.

Ключевые слова: пожаробезопасность, снижение горючести, ПВХ-пластикат, антипирены, кислородный индекс, силовой кабель.

Объектом исследования является поливинилхлоридный пластикат.

Целью работы – является модификация кабельных ПВХ пластикатов повышенной пожаробезопасности, с учетом их эксплуатационных свойств.

В результате исследования определены количественные соотношения содержания антипиренов (гидроксидов магния, гидроксид алюминия и бората цинка с трехокисью сурьмы), обеспечивающие высокое значение кислородного индекса для поливинилхлоридного пластиката.

Полученные результаты могут быть использованы в создании рецептур кабельных пластикатов пониженной пожароопасности.

В процессе исследования проводились натурные испытания силовых кабелей на нераспространение горения согласно ГОСТ ИЕС 60332-1-1-2011.

Область применения: организация промышленного производства пластикатов повышенной пожаробезопасности на кабельных предприятиях.

Выпускная квалификационная работа выполнена в текстовом редакторе Microsoft Word 2010.

Определения, обозначения, сокращения, нормативные ссылки.

В настоящей работе использованы ссылки на следующие стандарты: ГОСТ 24632-81 Материалы полимерные. Метод определения дымообразования, ГОСТ 16442-80, ГОСТ 16442-80 Кабели силовые с пластмассовой изоляцией, ГОСТ ИЕС 60332-1-1-2011 Испытание на нераспространение горения одиночного вертикально расположенного изолированного провода или кабеля.

В данной работе применены следующие термины с соответствующими определениями:

негорючесть: Это способность материала выдерживать без разрушения воздействия высоких температур и открытого пламени.

воспламенение: Пламенное горение вещества, инициированное источником зажигания и продолжающееся после его удаления.

Обозначения и сокращения:

ПВХ - поливинилхлорид

КИ - кислородный индекс

ДОФ – диоктилфталат

ДАФ – диалкилфталат

ПФА – полиофасфат аммония

ТГА – тригидрат алюминия

ПП – пониженной пожароопасности

И – изоляция

О – оболочка

ПЭВМ- персональная электронная вычислительная машина

Оглавление

| | |
|---|-----|
| Введение..... | 8 |
| 1.Литературный обзор..... | 10 |
| 1.1. Полимерные материалы силовых кабелей..... | 10 |
| 1.1.1. Поливинилхлоридный пластикат..... | 11 |
| 1.1.2. Конструкция силовых кабелей..... | 17 |
| 1.2. Процесс горения полимерных материалов..... | 20 |
| 1.2.1. Горение поливинилхлорида..... | 22 |
| 1.2.2. Дымообразование при горении ПВХ..... | 23 |
| 1.3. Действие антипиренов..... | 25 |
| 1.3.1 Галогеносодержащие антипирены..... | 25 |
| 1.3.2 Фосфорсодержащие антипирены..... | 28 |
| 1.3.3 Неорганические соединения..... | 29 |
| 1.3.4. Микрокапсулированные антипирены..... | 33 |
| 1.3.5 Интумесцентные системы..... | 35 |
| 1.4. Методы испытания показателей пожаробезопасности материалов оболочек..... | 37 |
| 1.4.1. Метод кислородного индекса..... | 37 |
| 1.4.2. Метод дымообразования..... | 39 |
| 1.4.3. Определение величины карбонизированного остатка..... | 40 |
| 2 Повышение пожаробезопасности силовых кабелей..... | 41 |
| 2.1. Исследование влияния гидроксидов металлов на свойства ПВХ – пластикатов..... | 43 |
| 2.2. Исследование влияния смесей различных антипиренов на свойства ПВХ - пластикатов повышенной пожаробезопасности..... | 45 |
| 2.3. Модификация рецептур негорючести ПВХ-пластиката для кабельной изоляции, оболочки и заполнения..... | 49 |
| 2.4. Конструкции исследуемых кабелей..... | 52 |
| 2.5. Результаты испытаний..... | 52 |
| 3.Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение..... | 56 |
| 4.Социальная ответственность..... | 79 |
| Заключение..... | 99 |
| Список использованных источников..... | 100 |
| Приложение А..... | 105 |

Введение

Надежность работы электротехнических устройств зависит во многом от надежности кабельных изделий (КИ). Электрическая изоляция и защитные покрытия кабелей выполняются в основном из органических полимерных композиций на основе поливинилхлорида (ПВХ), полиэтилена (ПЭ) и др. [1]. Кабели и провода по главным характеристикам, определяющим пожарную опасность, занимают первое место среди электротехнических изделий. Кабельные изделия являются причиной пожаров, а так же при прокладке в зданиях и сооружениях туннелях и коммуникациях быстро распространяют пламя, и способствуют распространению пожара на большие расстояния [2]. В связи с этим, производство пожаробезопасных кабелей является предельно актуальной задачей.

Одним из самых распространенных материалов, применяющихся в качестве изоляции и оболочки КИ на среднее и низкое напряжение, является ПВХ-пластикат. По параметрам, характеризующим пожароопасность полимерных материалов, ПВХ композиции для кабелей «нг» отличаются более высокими значениями кислородного индекса, низкими значениями параметра дымообразования, выделения хлористого водорода и пониженной токсичностью продуктов горения по сравнению с ПВХ композициями для кабелей общепромышленного исполнения.

На основе обзора отечественной и зарубежной литературы видно, что на сегодняшний день имеется большой объем информации, посвященной снижению горючести полимерных материалов. в качестве антипиренов и наполнителей предложены органические и неорганические соединения, однако задача обеспечения необходимого комплекса свойств ПВХ пластикатов пониженной пожароопасности полностью не решена. Высокая степень наполнения ПВХ композиций (60% и выше) затрудняет получение материалов, отвечающих современным требованиям по технологичным и эксплуатационным характеристикам.

В этой связи, модификация рецептур кабельных пластиков пониженной пожароопасности, с изучением влияния компонентов на эксплуатационные свойства ПВХ пластиков, является научно и практически значимой задачей.

Целью работы является модификация кабельных ПВХ пластиков повышенной пожаробезопасности, с учетом их эксплуатационных свойств.

В работе поставлены следующие задачи:

Изучение изменения механических и термоокислительных свойств кабельных ПВХ-пластиков, при использовании неорганических антипиренов, воздействующих на процессы горения.

Оценка совместного воздействия дисперсных антипиренов на снижение горючести ПВХ-пластиков.

Модификация ПВХ-пластиката. Разработка рецептур.

Испытания силовых кабелей на нераспространение горения с изоляцией и оболочкой из модифицированного ПВХ-пластиката.

Рассмотрение альтернативных способов повышения пожаробезопасности силовых кабелей.

Научная новизна работы заключается в том, что использование в ПВХ-пластикатах тройной смеси гидроксидов магния, алюминия и бората цинка с трехокисью сурьмы при соотношении в массовых долях 50:50:22, наблюдается синергический эффект, что приводит к возрастанию кислородного индекса, снижению дымообразования и выделения хлористого водорода.

Практическая значимость работы заключается в том, что определены количественные соотношения антипиренов с различными механизмами действия.

Апробация работы. Проведены натурные испытания конструкции, на основе модифицированного ПВХ-пластиката.

1. Литературный обзор

1.1. Полимерные материалы силовых кабелей

Полимеры представляют собой химические соединения или смеси соединений, состоящих из относительно большого количества повторяющихся структурных звеньев (низкой относительной молекулярной массой). Соединение молекул достигается посредством процесса полимеризации. Термин происходит от древнегреческих слова «πολύ» («поли», означающих «много») и «μέρος» («мерос» означает «часть»), и относится к процессу, с помощью которого образуются молекулы с высокой молекулярной массой. Полимеры, таким образом, состоит из «цепочек» атомов, связанных друг с другом. Основным недостатком полимеров является легкая воспламеняемость и горючесть

Главными полимерными материалами для производства кабельной продукции в мире на сегодняшний день являются полиолефины: около 10% изготавливаемого в мире ПЭ (5 млн. тонн в год) используется на выпуск широкого ассортимента кабельных материалов. [3]. В России основной изоляционный материал для кабелей, предназначенных для использования с напряжением до 6 кВ и в рабочем интервале температур от -40 0С до +100 0С, является ПВХ-пластикат. При больших напряжениях тока изоляция из ПВХ неэффективна из-за высоких значений тангенса угла диэлектрических потерь и диэлектрической проницаемости.

Около 75% российского рынка кабельных ПВХ-пластикатов составляют разработанные более 30 лет назад пластикаты промышленного назначения для оболочки и изоляции кабелей и проводов типа И40-13А, 0-40, ОМ-40, ИО45-12, а также негорючие марки НГП 40-32 и 30-32. В последнее время наиболее динамично развивается производство пластикатов пониженной горючести. В последние 10— 15 лет вопрос замены ПВХ-пластикатов без галогенсодержащими негорючими полимерами становится все более актуальным: ПВХ-материалы являются экологически небезопасными с точки

зрения утилизации. Состоявшийся в 1998 г. в Стамбуле Конгресс Международной федерации производителей кабелей, объединяющий более ста крупнейших кабельных компаний из 51 страны мира, констатировал, что в целях защиты экологии кабельной промышленности необходимо, значительно уменьшить применение ПВХ-материалов, а также исключить из серийных рецептур высокотоксичные соединения кадмия и свинца. В странах Евросоюза уже принят ряд законов, накладывающих ограничения на производство таких кабелей, в частности директива ЕС 2002/95, запрещающая использование опасных веществ в ПВХ-пластикатах.

1.1.1. Поливинилхлоридный пластикат

ПВХ–пластикаты широко используются для производства кабелей на среднее и низкое напряжение в качестве материала изоляции и оболочки.. ПВХ–пластикат представляет собой смесь полимера поливинилхлорида ($-\text{CH}_2-\text{CHCl}-$)_n с пластификаторами, наполнителями, стабилизаторами и другими компонентами. Поливинилхлорид – термопластичный синтетический полярный полимер. Наличие атомов хлора и отсутствие двойных связей делает поливинилхлорид более стойким к щелочам и кислотам и делает его негорючим материалом.

Для кабельных композитов используется ПВХ суспензионной полимеризации, в связи с тем, что полимер получается малоразветвленным с узким молекулярно массовым распределением. В кабельных пластикатах используется ПВХ, молекулярная масса которого составляет 60000...100000 [4].

ПВХ является термопластом, свойства которого сильно зависят от состава композиции. Добавление низкомолекулярных компонентов снижает диэлектрические свойства, но улучшает технологические и физико-механические свойства ПВХ–пластиката. Содержания пластификаторов, определяют физико-механические свойства. При эксплуатации и переработке пластичность и эластичность повышают пластификаторы. Мягкие композиции

обычно содержат до 70 частей пластификатора на 100 частей полимера. ПВХ композиции всегда содержат стабилизаторы и смазки (или ингредиенты, сочетающие в себе оба свойства). Также они могут содержать красители, антиоксиданты, огнезащитные добавки, модификаторы ударопрочности и перерабатываемости, а также другие ингредиенты [5].

О количественном содержании ингредиентов можно судить по рекомендуемому [6] составу кабельных ПВХ композиций, который представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Рекомендуемое содержание важнейших компонентов кабельного ПВХ пластиката (на 100 вес. частей полимера)

| Продукт | Количество вес.частей |
|-------------------------------|-----------------------|
| Суспензионный поливинилхлорид | 100 |
| Наполнители | 30...65 |
| Пластификаторы | 40...60 |
| Стабилизатор, и смазка | 5...8 |

Суспензионный ПВХ – это капиллярно-пористый порошкообразный материал, свойства которого (молекулярная масса, молекулярно-массовое распределение, строение цепи, размер частиц, морфология и др.) в значительной степени определяют его поведение при переработке и в процессе эксплуатации. По морфологическому признаку зерна массового и суспензионного порошкообразного ПВХ подразделяют на однородные (монолитные с существенным преобладанием прозрачных и непрозрачных зерен) и неоднородные, пористые.

Области применения поливинилхлорида зависят от метода его полимеризации и средней молекулярной массы, определяется по значению «константа Фикентчера» K_{ϕ} . «Константа Фикентчера» представляет собой условную величину $K_{\phi}=1000k$. Значение k определяют по следующему уравнению (1):

$$(\lg \eta_{\text{отн}}) / c = 75k^2 / (1 + 1,5kc) + k \quad (1)$$

где $\eta_{\text{отн}}$ – относительная вязкость при 298 К; c – концентрация ПВХ, обычно 0,5 или 1 г на 100 мл растворителя (чаще всего циклогексанол или дихлорэтан). $K_{\text{ф}}$ практическая постоянная величина для растворов ПВХ различных концентраций и незначительно зависит от температуры [7].

Пластификаторы – органические соединения, применяемые для модификации свойств полимеров: придания им эластичности, морозостойкости, снижение температуры переработки. Пластифицирующее действие заключается в том, что молекулы пластификатора, как правило, представляют собой сильно полярные соединения, которые по размеру на несколько порядков меньше макромолекул полимера. При введении пластификатора в полимер его молекулы образуют межмолекулярные связи с сегментами макромолекул полимера и, ослабляют межмолекулярные взаимодействия полимерных молекул. В результате понижается температура стеклования, и полимер приобретает большую пластичность. Чем выше содержание пластификатора, тем ниже температура стеклования.

Наиболее распространенным пластификатором, применяемым в кабельных ПВХ пластикатах, является диоктилфталат (ДОФ) [8]:

Диоктилфталат (диоктиловый эфир орто-фталевой кислоты, $C_6H_4(COOC_8H_{17})_2$) имеет молекулярную массу 390,56. Бесцветная жидкость, не растворяющаяся в воде, но растворима в бензине, хлороформе, петролейном эфире [9]. В зависимости от качества, цвет ДОФ может меняться от светло-желтого, до темно-коричневого. Темная окраска ДОФ говорит о том, что он не прошел специальной очистки, которая является весьма дорогостоящей стадией процесса его получения.

Эффективно диоктилфталат влияет на изменение морозостойкости материалов, т.е. повышает комплекс ключевых характеристик продукции, придавая ей дополнительную долговечность и надежность. При этом, благодаря низкой цене пластификатора, себестоимость конечных изделий и затраты на

производство практически не увеличиваются, что делает продукт более конкурентоспособным на фоне аналогов. Исходя из этого, пластификатор ДОФ с каждым годом приобретает все возрастающее значение применительно к определенным категориям изделий, становясь обязательным компонентом материалов для них. Диоктилфталат активно используется предприятиями кабельной промышленности для производства оболочек кабельно-проводниковой продукции, кабельных пластиков.

Важным показателем качества ДОФ являются его диэлектрические свойства (величина удельного объемного электрического сопротивления) и высокая температура кипения (таблица 2).

Таблица 2 – Физические свойства ДОФ [10]

| | Высший сорт | Первый сорт | Второй сорт |
|---|---|---------------------|---------------------|
| Внешний вид | Прозрачная жидкость без механических примесей | | |
| Плотность при 20 °С, г/см ³ , в пределах | 0,982...0,986 | | |
| Температура кипения, °С | 229 | | |
| Температура застывания, °С | -54 | | |
| Кислотное число, мг КОН/г, не более | 0,07 | 0,07 | 0,10 |
| Число омыления, мг КОН/г, в пределах | 284...290 | | |
| Температура вспышки, °С, не ниже | 205 | 205 | 205 |
| Удельное электрическое сопротивление, Ом·см, не более | $1,0 \cdot 10^{11}$ | $1,0 \cdot 10^{11}$ | $1,0 \cdot 10^{11}$ |
| Массовая часть летучих веществ, %, не более | 0,10 | 0,10 | 0,10 |

Другим достаточно распространённым в России пластификатором для кабельных ПВХ пластикатов является диалкилфталат (ДАФ). По своим свойствам он достаточно близок к ДОФ, однако имеет более низкие диэлектрические характеристики. Химическая формула: $C_{24}H_{38}O_4$. Физико-химические свойства диактилфталата: бесцветная горючая жидкость с молекулярной массой 390,56, плотностью 0,975 кг/см³, температурой воспламенения 163 °С и температурой самовоспламенения 380 °С.

При пластификации ПВХ лучшим пластификатором является диоктилсебацат (ди-(2-этилгексил)себацат) (ДОС). ДОС отличается самой низкой летучестью по сравнению с остальными промышленными пластификаторами – ДОФ и ДАФ. Это обуславливает наименьшую миграцию пластификатора из полимера, постоянство свойств полимерной композиции при длительной эксплуатации и её стойкость к растворителям. ПВХ композиции, содержащие ДОС, имеют значительно большую устойчивость к истиранию, чем пластифицированные мономерными пластификаторами (таблица 3).

Таблица 3 – Физические свойства ДОС

| | |
|--|-------|
| Внешний вид | |
| Плотность при 20 °С, г/см ³ | 0,916 |
| Молекулярная масса | 426,7 |
| Температура вспышки, °С | 215 |
| Температура плавления, °С | -67 |
| Кислотное число, мг КОН/г, не более | 0,05 |

Стабилизаторы – обеспечивают сохранность свойств материала при воздействии тепла, кислорода, УФ-излучения. По защитному действию стабилизаторы можно разделить на антиоксиданты, светостабилизаторы и термостабилизаторы. При выборе стабилизаторов помимо эффективности

учитывают совместимость с полимером, летучесть и экстрагируемость, способность окрашиваться, запах, токсичность, экономичность. Кроме того, стабилизаторы оказывают влияние на технологические режимы переработки и эксплуатационные характеристики готовых изделий. Стабилизаторы добавляют в относительно небольших дозах ~ 5 вес. % [4].

Эффективными стабилизаторами являются соединения тяжелых металлов. Важным свойством стабилизаторов является взаимное усиление их действия (синергизм), поэтому часто используется не один, а два и более вида.

Антиоксидант предназначены для защиты от окисления полимерных цепей, пластификаторов и модификаторов при высоких температурах в процессе переработки и для замедления деструкции во время хранения и эксплуатации изделия, в ПВХ содержание антиоксидантов составляет 5...8%. Они также применяются и для защиты полимера при работе в агрессивных средах.

Антиоксидант подавляет процесс окисления в полимере до тех пор, пока не утратится его активность. Далее развивается процесс окисления и приводит к разрушению полимера. Срок службы изделия завершается, по мере того, как защитные свойства антиоксиданта теряются либо в процессе окисления, либо в результате испарения, вымывания из полимера [11].

Наполнители вводят в ПВХ композицию для придания различных свойств: для улучшения механических свойств, снижения восприимчивости к воздействию атмосферных факторов и усиления огнестойкости непрозрачности, светостойкости, увеличения электрического сопротивления и др. Выбор наполнителя зависит от требований, предъявляемых к свойствам материала и его стоимости. При этом необходимо учитывать, что зависимость некоторых свойств пластмасс от содержания наполнителя проходит через максимум (например, прочность, электрическая проводимость).

Наполнителями могут быть как инертными (карбонат кальция, тальк), так и активными (аэросил, каолин), которые повышают прочность пластика при растяжении, стойкость к истиранию, прочность на разрыв. Главным требованием к качеству наполнителей является размер частиц (дисперсность), который не должен превышать 10 мкм.

Красители и смазки вводят для окрашивания пластика в различные цвета. Применяют красители: диоксид титана (около 1%) окрашивает в белый, а технический углерод (1...2%) – в черный цвет. Для того чтобы пластик приобрел другую окраску, в процессе его экструзионной переработки к основному сырью добавляют около 3% пластика с повышенным содержанием пигментов определенного цвета. Следует отметить, что окрашенный пластик характеризуется повышенной светостойкостью.

Смазывающие вещества вводят в композицию ПВХ для облегчения переработки при экструзии и улучшения качества поверхности кабельных изделий. В качестве смазывающих веществ используют воски, стеариновую кислоту, стеараты кальция и цинка. Их количество составляет 1...3% от массы пластика. Благодаря смазке уменьшается возможность перегрева материала вследствие трения и обеспечивается более равномерное распределение тепла в массе ПВХ, уменьшается вязкость [12].

1.1.2. Конструкция силовых кабелей

Сегодня самым востребованным изделием, прокладываемым для питания в открытых стационарных кабельных сооружениях и внутри помещений, является силовой кабель.

Силовые кабели состоят из одной, трех или четырех одно- или многопроволочных медных или алюминиевых жил, изолированных друг от друга и окружающей среды бумажно-пропитанной, резиновой, или пластмассовой изоляцией, герметизированных свинцовыми, алюминиевыми, пластмассовыми или резиновыми оболочками и защищенных, как правило

броней из стальных лент или оцинкованной стальной проволоки, а также защитными антикоррозийными покровами.

Изоляции жил кабелей изготавливаются из бумажных лент, пропитанных маслоканифольным составом, из поливинилхлоридного пластика, полиэтилена, сшитого полиэтилена, резины.

Буквенное обозначение определяет конструкцию кабелей, их брони, защитных оболочек и покровов. Кабели с алюминиевыми жилами обозначают буквой А. Наличие медных жил в маркировке кабеля не выделяется. Основные буквенные обозначения кабелей и их значения (таблица 4) [13].

Таблица 4 - Буквенные обозначения кабелей

| Буквенное обозначение | Значение буквенного обозначения |
|-----------------------|--|
| А | Алюминиевая жила |
| АС | Алюминиевая жила и свинцовая оболочка |
| АА | Алюминиевая жила и алюминиевая оболочка |
| Б | Броня из двух стальных лент с антикоррозионным защитным покровом |
| Бн | То же, но с негорючим защитным покровом(не поддерживающим горение) |
| Г | Отсутствие защитных покровов поверх брони или оболочки |
| Л(2л) | В подушке под броней имеется слой (два слоя) из пластмассовых лент |
| в(п) | В подушке под броней имеется выпрессованный шланг из поливинилхлорида (полиэтилена) |
| Шв(Шп) | Защитный покров в виде выпрессованного шланга (оболочки) из поливинилхлорида (полиэтилена) |
| К | Броня из круглых оцинкованных стальных проволок, поверх которых наложен защитный покров |

| | |
|----|---|
| Н | Не поддерживающий горения защитный покров |
| М | Маслонаполненный |
| П | Броня из оцинкованных плоских проволок, поверх которых наложен защитный покров |
| С | Свинцовая оболочка |
| О | Отдельные оболочки поверх каждой фазы |
| НР | Резиновая изоляция и оболочка из резины, не поддерживающая горение |
| В | Изоляция и оболочка из поливинилхлорида |
| П | Изоляция и оболочка из термопластичного полиэтилена |
| Пс | Изоляция и оболочка из самозатухающего полиэтилена (не поддерживающего горение) |
| Бб | Броня из профилированной стальной ленты |
| Пв | Изоляция из вулканизированного полиэтилена |

Для практической части были выбраны не распространяющие горения силовые кабели марки ВВГнг и ВВГнг-LS. Такие кабели не распространяют горение при прокладке в пучках (нормы МЭК 60332-3 категории А и В), однако при горении шланга из ПВХ выделяют большое количество плотного черного дыма и галогены (при возгорании кабелей, содержащих галогены, выделяется большое количество опасных газов, а также угарный газ).

В отечественной номенклатуре приняты следующие «индексы» для условного обозначения степени пожаробезопасности кабеля:

1. «нг» – означает, что у кабеля есть свойство нераспространения горения при групповой прокладке («в пучках»);

2. «нг-LS» – обозначение кабелей, не распространяющих горение при групповой прокладке с низким дымо- и газовыделением при горении («LS» – сокращение от английского «low smoke» «пониженное дымовыделение»);

3. «нг-HF» – обозначает, что кабель, не распространяет горение и не содержит галогенов в составе изоляции и оболочки («HF» – от английского «halogen free» – «без галогенов»);

4. «нг-FRLS» – обозначение огнестойких кабелей с низким дымо- и газовыделением при горении («FR» – сокращение от английского «fire resistant» – «огнестойкий»).

1.2. Процесс горения полимерных материалов

Существует большое и структурно сложное многообразие полимеров. Однако все они при определенных условиях горят, реагируя с кислородом воздуха, выделяя тепло и генерируя продукты горения. Окислительная реакция в пламени развивается в газовой фазе. Следовательно, для того чтобы жидкости или твердые тела воспламенились, они должны быть превращены в газообразные продукты. В случае жидкостей это осуществляется испарением с поверхности жидкости или кипением. Для большинства твердых тел необходимо термическое разложение (пиролиз), чтобы возникли вещества, имеющие достаточно низкий молекулярный вес для летучести. Для этого необходимо, чтобы температура поверхности твердого тела была достаточно высока для генерации веществ с энергией, превышающей энергию, необходимую только для испарения. Обычно температура поверхности горящих полимерных материалов должна приближаться к температуре, при которой происходят разрывы связей углерод-углерод и углерод-водород, то есть примерно 400 °С [14, 15].

Чтобы эффективно использовать полимеры, в базовые полимерные составы должны добавляться антипирены. Роль этих добавок состоит в следующем:

- замедлить горение и деструкцию полимера (пожаротушение);

- понизить выход дыма;
- избегать стекания капель горячего или горящего материала.

Как показано на рисунке 1, для поддержания горения необходимо наличие трех элементов – горючей среды, тепла и кислорода. Исключение любого из этих элементов из цикла может остановить горение. Тепло необходимое для инициирования горения (ΔH_1), и когда горение начнется, тепло будет высвобождаться (ΔH_2). Это будет связано с общим выделением тепла.

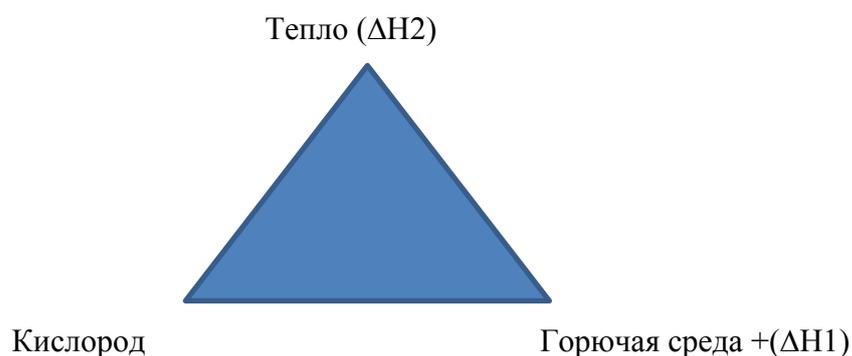


Рисунок 1 - Цикл горения

Существует несколько приемов прерывания цикла горения. Некоторые из материалов, применяемых в качестве антипиренов, поглощают тепло, тем самым снижая температуру среды ниже критической температуры воспламенения. Другие создают барьер из пара, который разбавляет концентрацию поступающего кислорода, необходимого для поддержания огня и, таким образом, замедляют кинетику горения. Еще один подход заключается в создании барьера горению с помощью материалов, которые осуществляют сшивание или набухают при нагревании, образуя рыхлую структуру, предотвращающую доступ кислорода к месту горения.

Разбавление доступного горючего материала (полимерной системы) может осуществляться применением таких материалов, как неорганические наполнители, которые создают уменьшенное количество более горючих органических полимеров. %гой класс антипиренов включает вещества, взаимодействующие с кислородом с образованием молекулярных продуктов,

которые эффективно снижают свободно-РЭДикальный характер действия кислорода и делают его менее агрессивным по отношению к источнику горения.

Физические характеристики материалов и их химический состав влияют на характер горения. Такие факторы, как площадь поверхности, доступность воздуха (кислорода) для вторжения в точку воспламенения, перенос тепла к пламени и от пламени, могут, среди прочего, влиять на скорость и распространение горения.

1.2.1. Горение поливинилхлорида

Непластифицированный поливинилхлорид относится к трудногорючим полимерам. Известно применение его как высокомолекулярного антипирена для полипропилена, полиметилкрилата и других, не имеющих галогенов полимеров.

Поливинилхлорид горит в пламени горелки, при этом образуя плотный дым [16]. При горении ПВХ, выделяющийся дым является опасным из-за большого наличия HCl, его отщепление осуществляется при термическом разложении ПВХ. Количественное выделение хлористого водорода, осуществляется в интервале температур от 225 до 275°C. Реакция дегидрохлорирования протекает с выделением малого количества бензола, появление которого возникает в основном из-за внутримолекулярной циклизации полиеновых фрагментов с разрывом углерод-углерод связи цепи. В процессе обугливания в интервале температур от 425 до 475 °C выделяется H₂ и происходят реакции внутри- и межмолекулярного взаимодействия полиеновых фрагментов, далее идет циклизация продуктов. Возникновение сшивок между цепями дает полностью карбонизированный (коксовый) остаток, при более высоких температурах. Физическая структура такого остатка имеет большое влияние на дальнейшее термическое разложение поливинилхлорида. При высокой пористости и низкой плотности карбонизированный слой становится хорошим теплоизолятором и заметно уменьшает тепловой поток от

газообразной зоны к конденсированной поверхности и вследствие этого замедляет термическое разложение. Скорость дегидрохлорирования зависит от молекулярной массы, кристалличности, присутствия кислорода, газообразного хлористого водорода и стабилизаторов. Присутствие кислорода ускоряет реакцию, дегидрохлорирования расщепляет главные цепи и уменьшает сшивание [17].

Совокупность свойств поливинилхлорида показывает, что он является уникальным полимером с неограниченной возможностью его видоизменения и переработки в обширный ассортимент изделий и материалов. Чтобы получить эластичные изделия в состав поливинилхлорида вводятся пластификаторы, самыми распространенными являются фталатные, например диоктилфталат. Содержание этих пластификаторов в поливинилхлориде приводит к тому, что увеличивается пожарная опасность материала, в связи с ростом горючести, воспламеняемости, дымообразующей возможности и токсичности продуктов горения [18].

В связи с этим, чистый ПВХ относительно негорюч, его использовали как пламягасящий компонент в некоторых термопластичных композициях, однако в эластичных композициях пластификатор превращает винил в угрозу. Неогнестойкие пластификаторы, такие как фталаты и адипинаты, если их содержание в композиции составляет 30 % и более, могут значительно увеличить горючесть материала.

1.2.2. Дымообразование при горении ПВХ

При горении полимеров нередко прослеживается неполное сгорание горючих веществ. Одним из явных признаков неполного сгорания является наличие сажи и дыма. При горении материала, выделяющийся дым образует взвесь конденсированных частиц в результате сгорания газообразных продуктов во взаимодействии с окружающей средой. Взвесь в зависимости от условия горения и состава полимерного материала может быть из твердых веществ или из жидких конденсированных капель продуктов сгорания.

Количество и природа дыма зависит от химического строения полимеров, содержания кислорода в окружающей среде, от компонентов входящих в состав вещества, а также от природы горения.

Существенно при тлеющем горении поливинилхлорида возникает плотный туман, имеющий маленькие капли соляной кислоты. При пламенном горении образуется дым, заключающийся из твердых частиц сажи и в малой части из конденсированных капель (HCl). Влага в окружающей среде присутствие влаги обеспечивает конденсацию хлористого водорода.

Важность в дымообразовании при горении полимеров является появление в пламени сажи (конденсированные частицы углерода). Особо важными химическими процессами, приводящими к появлению сажи в пламенах, являются:

- газофазное разложение алифатических углеводородов с образованием ацетилена;
 - радикальные реакции полимеризации с участием ацетилена, ведущие к низкомолекулярным полиинам, с последующим их преобразованием в ароматические углеводороды;
 - дегидрополиконденсация ароматических углеводородов с частичным разложением ароматических ядер до ацетилена и его производных;
 - хемионизация углеводородных соединений и их радикалов;
- рост углеродных гексагональных слоев в результате ионно-молекулярных радикальных или ионно-радикальных реакций с участием ацетилена, полиинов, C₂H и других радикалов;
- окисление предшественников сажевых частиц и выгорание последних [19].

Большую значимость играет величина дисперсности образовавшейся на последней стадии в под пламенной зоне сажи. Если сажа более мелкодисперсна, то ее поверхность становится больше и тем активнее она окисляется в пламени [20]. С возрастанием температуры и скорости прогрева,

исходных и промежуточных продуктов, возрастает количество продуктов перешедших в сажу, и уменьшается - в кокс.

Чтобы оценить дымообразующей способности используют оптические методы, которые основаны на оценке времени затемнения в камере и оптической плотности дыма.

1.3. Действие антипиренов

Антипиренами называют такие вещества, которые способны ингибировать процессы горения. Антипирены обладают доказанными положительными качествами. Их использование спасло несчетное число людей от смерти и травм.

Горение можно определить как быструю, неконтролируемую реакцию кислорода с подложкой. Особенностью этого процесса является то, что он, как правило, экзотермический и вследствие выделения тепла при горении реакция топлива с кислородом усиливается, превращаясь в самораспространяющуюся реакцию. Поскольку реакцию можно рассматривать как предельный случай окисления, процесс трудно контролировать и, если говорить о термоокислительной деструкции полимеров, то когда процесс начался, им крайне трудно управлять или его остановить. Таким образом, стратегия разработки антипиренов должна фокусироваться на предотвращении инициации реакции горения или на быстром вмешательстве, если горение уже началось.

1.3.1 Галогеносодержащие антипирены.

В качестве антипиренов обычно используются бромированные и хлорированные органические соединения. Бромированные антипирены более эффективны, в отличие от хлорсодержащих, потому, что продукты их горения менее летучи. Йодосодержащие материалы стараются не применять, поскольку они проявляют меньшую стабильность, чем бромированные и хлорированные аналоги. Выбор антипирена зависит от нескольких факторов, таких как тип

полимера, поведение галогенизированного антипирена в условиях переработки (стабильность, плавление, распределение и т.д.) и его влияние на свойства и долговременную стабильность конечного материала. Преимущество дает применение модифицирующих добавок, которые вводят галогенированное вещество в пламя в том же температурном диапазоне, в котором полимер разлагается на летучие горючие продукты.

Галогенизированные органические антипирены можно отнести скорее к модифицирующим добавкам, чем к функциональным наполнителям. Многие из них являются жидкостями, другие относятся к высокомолекулярным полимерам, а третьи проявляют определенную степень взаимной растворимости с полимерной матрицей; таким образом, они не попадают в круг вопросов, которые рассматриваются в этом пункте, посвященной твердым (преимущественно неорганическим) наполнителям, образующим отдельную, дисперсную фазу. Однако мы их кратко коснулись, поскольку они часто применяются для взаимного усиления в сочетании с более традиционными неорганическими наполнителями, такими как триоксид сурьмы и оксид молибдена, а иногда и с тригидратом алюминия.

Бромсодержащие антипирены могут использоваться во многих применениях полимеров в качестве эффективных антипиренов в газовой фазе. В широком смысле их можно разделить на алифатические и ароматические соединения. Как правило, алифатические соединения являются более эффективными антипиренами ввиду их более низких температур разложения по сравнению с ароматическими бромсодержащими антипиренами, которые являются более термически стойкими. В некоторых системах пониженная химическая лабильность ароматических систем может продлевать время их действия. Это может быть преимуществом в случае длительного горения или когда огонь удерживается, а более кинетически лабильные антипирены истощены [21].

Галогенизированные антипирены действуют, преимущественно, в газовой фазе посредством высвобождения летучих соединений брома, таких

как бромид водорода, НВг, который подавляет реакции, способствующие распространению пламени. Бромид водорода легко вступает в реакцию с возбужденными радикалами кислорода, гидроксильных и водорода с генерацией молекулярных соединений, имеющих слабую или не имеющих вовсе тенденции способствовать распространению пламени.

Выбор бромированного эпоксида зависит от молекулярного веса, который хорошо коррелирует с началом размягчения. В целом, чем ниже молекулярный вес, тем легче внедрение в полимеры. Однако это преимущество может быть уравновешено большей подвижностью добавки.

Использование хлорированных добавок в качестве антипиренов часто осуществляется в сочетании с другими материалами, например, добавками, содержащими фосфор или сурьму. Выбор хлорированной добавки зависит от стабильности материала, его летучести, содержания в нем хлора и от кинетики реакции в газовой фазе во время горения. Применение таких материалов, однако, уменьшается ввиду токсичности полихлорированных бифенилов и продуктов с подобным молекулярным строением

Примером хлорированных добавок служат хлорированные парафины, получаемые хлорированием нефтяных дистиллятов. Обычно они содержат от 30 до 70% хлора по весу и имеют длину от 10 до 30 углеродных единиц; они могут быть жидкими или твердыми. Эти материалы работают, выделяя хлорид водорода, который реагирует в газовой фазе, уменьшая концентрацию реакционно-способных гидроксильных, кислородных или водородных радикалов, распространяющих пламя. Главное применение хлорированных соединений связано с их использованием в качестве пластификаторов для гибкого ПВХ в сочетании с диоктилфталатом, где они улучшают огнестойкие свойства кабеля. Твердые сорта с высоким содержанием хлора используются в термопластах, например, полиэтилене низкой плотности для кабельной оболочки, в сочетании с триоксидом сурьмы. Другие примеры хлорированных добавок включают хлорированные алкилфосфаты, главным применением которых являются жесткие и гибкие пенополиуретаны, и хлорированные

циклоалифатические соединения, такие как додекахлордиметандибензоциклооктан. Последний применяется вместе с различными синергистами, например, с три оксидом сурьмы и боратом цинка, а также в многочисленных полимерах, включая полиамид, полиолефины и полипропилен.

1.3.2 Фосфорсодержащие антипирены

Фосфорсодержащие соединения могут быть органическими и неорганическими. Являются активными как в газовой так и в конденсированной фазе, изредка в обоих. В конденсированной фазе при разложении антипирена появляются остатки фосфорной кислоты, которые действуют как дегидратирующий агент, при этом образуя карбонизированные огнестойкого структуры.

Элемент фосфор (красный фосфор) известен как эффективный ингибитор горения. Фосфор содержится как в органических, так и неорганических материалах, проявляющих свойства антипиренов. Эфиры фосфатов широко используются в ПВХ или в полимерах, имеющих высокое содержание гидроксильных групп.

Механизм действия фосфора в значительной степени зависит от его химического окружения. В условиях, когда отсутствуют гетероэлементы, кроме кислорода образуются фосфор и фосфорные кислоты. Это ускоряет потерю летучих групп из сгораемой полимерной цепи и создает менее горючий паровой барьер.

Механизм действия в газовой фазе включает образование реакционно-способных веществ на основе фосфора, таких как $PO \bullet$, $P \bullet$ и HPO , которые способны удалять свободные радикалы, поддерживающие горение.

Полифосфат аммония (ПФА) является неорганической солью полифосфорной кислоты и аммиака. ПФА является стабильным, нелетучим материалом. Он медленно гидролизует при контакте с водой и образует первичный кислый фосфат аммония (ортофосфат). Этот процесс является

автокаталитическим, и он ускоряется при высоких температурах при продолжительном контакте с водой. Температура деструкции ПФА зависит от длины полимерной цепи. [22]. Длинноцепные ПФА начинают деструктироваться при температурах выше 300 °С с образованием полифосфорной кислоты и аммиака. Короткоцепные ПФА, определяемые как имеющие длину цепи ниже 100 мономерных единиц, начинают разлагаться при температурах, превышающих 150 °С.

Полифосфат аммония и системы на основе ПФА являются очень эффективными негалогенными антипиренами, которые применяются, главным образом, в полиолефинах (ПЭ, ПП), термореактивных эпоксидных системах, полиуретанах, ненасыщенных полиэфирных фенольных смолах и других материалах. ПФА — нетоксичный, экологически благоприятный материал, и он не генерирует добавочные порции дыма благодаря его вспучиванию. По сравнению с другими негалогенными системами ПФА может использоваться при небольших нагрузках. В термопластичных системах он лучше поддается переработке, лучше сохраняет механические свойства и обеспечивает хорошие электрические свойства. В реактопластах его можно использовать в комбинации с тригидратом алюминия (ТГА), что дает существенное снижение общего количества наполнителя.

1.3.3 Неорганические соединения

Гидроксиды металлов, в особенности, тригидрат алюминия и гидроксид магния делают вклад в действие некоторых антипиренов. Прежде всего, они разлагаются эндотермически и выделяют воду. Это явление часто называют «тепловым стоком». Пиролиз в конденсированной фазе в результате этого уменьшается. Выделение воды уменьшает количество кислорода, способного проникать в пламя, и позволяет избежать критического отношения горючее/кислород (физическое действие в газовой фазе). Оба механизма борются с воспламенением. В противопожарных испытаниях, применяемых в промышленности электрических/электронных кабелей, воспламенение было

значительно замедлено. Таким образом, гидроксиды металлов подходят для этих применений. Кроме того, после разложения возникает защитный слой на основе керамики, который улучшает изоляцию (физическое действие в конденсированной фазе) и усиливает эффект подавления дыма (химическое действие в конденсированной фазе). Защитный слой на основе керамики обеспечивает эффективную защиту полимера при горении, что приводит к значительному уменьшению выделяемого тепла.

Тригидрат алюминия хорошо известен как наиболее широко применяемый во всем мире антипирен. Его потребление достигает примерно 200 000 тонн в год, что составляет 43% объема всех химических огнезащитных средств (около 29% по стоимости). [23]. Среди выпускаемых сортов имеются сорта общего назначения (размер частиц от 5 до 80 мкм), для повышенной нагрузки (от 5 до 55 мкм), сверхтонкие (контролируемая площадь поверхности от 4-11 м²хг⁻¹), ультратонкие (15-35 м²хг⁻¹) и низкий электролитный уровень. Также известен как ТГА или «гидратированный алюминий» — технически это гидроксид алюминия, имеющий химическую формулу Al(OH)₃. Термин «гидрат» стал частью общеупотребительного названия из-за того, что при разложении в пламени выделяется химически связанная вода.

ТГА получил широкое распространение как антипирен в 1960-е годы, прежде всего, ввиду необходимости для потребителей следовать нормам безопасности при изготовлении основ ковровых покрытий и полиэфирных изделий, усиленных стекловолокном. ТГА привносит в эти изделия огнестойкость и подавляет выделение дыма. Конечные применения ТГА включают транспорт, строительство, электрические/электронные провода и кабели, предметы для отдыха и приборы.

При комнатной температуре ТГА очень стабилен, но когда температура превышает 205 °С, что может иметь место при пожаре, он начинает эндотермически деструктурировать с теплотой реакции -298 кДжмоль⁻¹.

Вода, которая выделяется при этой деструкции, растворяет газы, питающие горение. Это растворение замедляет горение полимера путем

образования парового барьера для проникновения к пламени кислорода. Горение полимеров также замедляется в результате того, что ТГА действует как тепловой сток и поглощает часть тепла горения. Также считается, что оксид алюминия (Al_2O_3), образующийся при этой деструкции, способствует формированию изолирующего барьера на поверхности горящего полимера, который изолирует от него пламя.

При использовании в усиленных реактопластах основные свойства, которые ТГА придает композитам, это пониженное горение и выделение дыма, теплопроводность, оптическая полупрозрачность и химическая стабильность. Кроме названных полезных свойств, применение ТГА в качестве наполнителя полимеров включает также снижение стоимости составов при приемлемом балансе функциональных свойств.

Тонко измельченный ТГА произведенный процессом осаждения или тонкого перетирания, и сорта поверхностно-обработанного ТГА можно использовать в производстве проводов и кабелей, главным образом это касается ПВХ. ТГА оказывает следующие воздействия, подавляющие горение:

- охлаждение полимера и уменьшение количества продуктов пиролиза;
- изоляция подложки посредством сочетания оксида алюминия (производного ТГА при удалении из него воды) с образующимся нагаром;
- растворение газообразных продуктов горения путем выделения водяного пара.

Кроме того:

- невымываемость благодаря нерастворимости в воде;
- нетоксичность;
- некоррозионность.

Так называемая «твердая поверхность» представляет собой твердый, беспоровый, поверхностный композитный материал, происходящий из ТГА и полиэфирных или акриловых смол, отверждаемых либо термически, либо

при комнатной температуре. Цвет и фактура изменяются по толщине с мягкой, глубокой туманностью и ощущением теплоты. Случайное повреждение поверхности может быть легко восстановлено для поддержания внешнего вида. Она может быть порезана, трассирована и фактурирована с созданием желаемых форм и рисунков. В результате высокой загрузки ТГА, которая часто превышает 60 %вес., материал эффективно сопротивляется горению, даже когда он приходит в контакт с раскаленным докрасна металлом.

Функции гидроксида магния аналогичны таковым ТГА. Он освобождает кристаллизационную воду при пожаре и образует барьер для доступа кислорода при горении. Материал также может поглощать тепло, хотя теплоемкость ниже, чем теплоемкость ТГА.

Гидроксид магния производится из ископаемых материалов, таких как магнезит, доломит или серпентинит, а также из солевого раствора/морской воды. Материал, используемый в качестве антипирена, обычно имеет высокую чистоту (>98,5%). Он чаще всего добывается из солевого раствора/морской воды, хотя продукты, получаемые из ископаемых, также могут быть очень чистыми. С гидроксидом магния связаны три основных процесса: извлечение из солевого раствора/морской воды; процесс Амана, включающий термодеструкцию солевого раствора с целью получения высокочистого оксида магния, который превращают в гидроксид магния; процесс *Magnifin*, в котором оксид магния извлекается из рудных жил и превращается в гидроксид магния.

Гидроксид магния представляет собой белый порошок. Средний размер частиц варьирует от 0,5 до 5 мкм, а характерная удельная площадь поверхности составляет 7-15 м² г⁻¹, в зависимости от размера и морфологии. Он применяется с высокими уровнями наполнения, как правило это 40-65 %вес. Ключевое отличие от ТГА состоит в более высокой температуре деструкции, составляющей примерно 320 °С. В этом заключается преимущество над ТГА, так как он может применяться при температурах, превышающих 200 °С. С химической точки зрения, гидроксид магния

является гораздо более щелочным материалом, чем ТГА. Гидроксид магния находит большое применение в производстве проводов и кабелей.

Борат цинка – это антипирен на основе бора, производимый в виде тонкого порошка. Наиболее распространенные сорта имеют строение $2Zn3OB_2O_3zH_2O$. Борат цинка используют в качестве антипирена в ПВХ, полиолефинах, эластомерах, полиамидах и эпоксидных смолах. В галогеносодержащих системах он применяется в сочетании с триоксидом сурьмы, тогда как в негалогенных системах он обычно используется в сочетании с другими антипиренами, такими как тригидрат алюминия, гидроксид магния и красный фосфор [24].

1.3.4. Микрокапсулированные антипирены

В последние годы интенсивное развитие получило введение антипиреновых добавок в полимерные композиции в виде микрокапсул. Оболочка капсулы изготовлена из полимера, например из желатина, поливинилового спирта, размеры ее составляют десятки или сотни микрон. [25]. Микрокапсулирование дает возможность использование таких антипиренов, которые в некапсулированном виде использовать нельзя. В основном это вещества с малой температурой кипения (например: фреоны и низкокипящие углеводороды). В связи с появлением технологии микрокапсулирования можно применять антипирены, которые в обычном виде не сочетаются с полимерной матрицей.

Микрокапсулирование представляет собой заключение мельчайших частиц жидкого, твердого или газообразного вещества в твердую оболочку. Данная оболочка отделяет закапсулированное в ней вещество от взаимодействия с окружающей средой. Она может изменить физические свойства модифицируемого материала: летучие вещества сделать нелетучими, растворимые — нерастворимыми, снизить токсичность.

Совершенно новый и весьма эффективный механизм действия обнаружен в конце 20 века [26]. Способы микрокапсулирования можно

разделить на физические и химические. Способы фазового разделения базируются на фазовых обращениях в полимерных растворах. Вещество находящееся в капсуле сначала диспергируется в растворе полимера и после, изменяя параметры раствора (температуру, pH- среды, концентрацию компонентов и т.д.), активизирует фазовое разделение. В итоге полимер отщепляется из раствора и адсорбируется на частицах капсулируемого вещества, образуя вокруг них микрооболочки. Полимеризационные методы основаны на полимеризации или поликонденсации мономеров или предполимеров на частицах капсулируемого вещества.

В физических способах для проведения процесса используют центрифуги, распылительные аппараты и т.д.. Для микрокапсулирования антипиренов обычно применяют методы фазового разделения и полимеризационные.

Метод микрокапсулирования имеет эффективный механизм действия на соединения второй группы. Соединениями второй группы являются, четыреххлористый углерод, тетрафтордибромэтан и другие фреоны - галоидуглеводороды. Данные соединения в микрокапсулированном варианте более эффективнее уменьшают горючесть полимерной композиции, чем введенные в чистом виде. Например, четыреххлористый углерод отличающийся низкой химической активностью при обычном способе введения соединения при микрокапсулировании становится очень эффективным антипиреном. Оптимальный размер микрокапсул зависит от природы антипирена и колеблется от 40 до 160 мкм [27].

Во многих полимерных материалах используется красный фосфор, как замедлитель горения, но он имеет один недостаток, при температурах переработки пластмасс при наличии остаточной влаги он может образовывать ядовитое вещество – фосфин. Использование данного антипирена в микрокапсулированном виде устраняет образование фосфина. При применении соответствующего материала оболочки можно регулировать и даже повысить физико-механические свойства полимерной композиции, т.к антипирен в

данном случае одновременно играет роль модификатора. При использовании микрокапсулированных антипиренов возможно создавать материалы с обогащенной антипиреном рабочей поверхностью, что повысит огнестойкость материалов без значительного изменения физико - механических свойств.

Микрокапсулирование дает возможность использования таких антипиренов, которые в некапсулированном виде невозможно применять. Это вещества имеющие низкую температуру кипения, такие как фреоны и низкокипящие углеводороды.

Применение антипиренов в микрокапсулированном виде для повышения огнестойкости полимеров позволяет свести к минимуму их миграцию, выпотевание и в некоторых случаях способствует улучшению физико-механических свойств.

Механизм действия различных антипиренов в микрокапсулированном виде при действии теплового потока разнообразен: от ничем не отличающегося от механизма при использовании некапсулированного антипирена до малоизученного, сложного механизма диспергирования сшитой матрицы за счет перегрева жидкого ядра в поверхностном слое при вскрытии микрокапсул. Такой механизм приводит к потере устойчивости в системе полимерный материал - окислительная среда -тепловой источник, что отражается на критических условиях горения и способствует снижению горючести такой композиции.

1.3.5 Интумесцентные системы

Применение огнезащитных вспучивающихся антипиренов, способных при высоких температурах увеличиваться в объеме с образованием пористого прококсированного слоя с низкой теплопроводностью за счет термической деструкции слоя материала покрытия, является эффективным способом защиты кабельных трасс, при возникновении пожаров [28].

Первые составы были основаны на полифосфате аммония и богатых азотом соединений. Обугленный слой, плотность которого, как правило,

уменьшается в зависимости от температуры, действует таким образом, как физический барьер, который препятствует тепло- и массообмену между газовой и конденсированной фазами. Полукокс препятствует диффузии кислорода к месту горения, предотвращая также достижения пламени горючих летучих веществ.

С учетом вышесказанного, становится очевидным, что вспучивающиеся антипирены действуют таким образом, что в конденсированной фазе, начинается прерывание самоподдерживающегося горения полимера на его ранней стадии (т.е. стадии термического разложения, в течение которого происходит формирование газообразного топлива). Как правило, вспучивающиеся системы состоят из трех компонентов: (1) источник кислоты (например, полифосфат аммония, полифосфат меламина), (2) карбонизации соединение (например, смолы, крахмал), и (3) вспенивающего агента (например, меламин, гуанидин, мочевины, хлорированный парафин).

Развитие набухшего полукокса, которое происходит в ходе многоступенчатых физических и химических процессов, является результатом взаимодействия этих компонентов: источник кислоты разлагается с образованием минеральной кислоты, который обезвоживает полиол, для получения углеродного полукокса (с помощью свободных радикалов), который в свою очередь, вспенивается с помощью негорючих газов. Самым важным шагом является изменение газов. Они должны быть освобождены во время термического разложения карбонизации агента для того, чтобы вызвать расширение обугленного слоя. Кроме того, генерация источника кислоты должно происходить при относительно низких температурах, в частности, температуру, при которой начинается разложение многоатомного материала.

Несмотря на то, что вспучивающиеся системы обеспечивают эффективную защиту полимерных материалов от огня, одной из основных проблем, которые могут возникнуть при использовании некоторых

замедлителей является их растворимость в воде, в связи с этим они могут вымываться из полимерной матрицы при нормальном использовании.

Другие недостатки этих систем связаны в основном с их термической стабильностью, высокой стоимости, а также их неэффективностью при использовании в малых количествах. Для повышения огневых свойств вспучивающихся составов, было предложено несколько синергетических агентов. Например, было обнаружено, что при добавлении, наряду с полифосфатом аммония, добавление небольшого количества цеолита в полиолефин, значительно улучшает огнезащитные свойства. Сочетание оксида цинка и борной кислоты, также улучшает огнезащитные свойства вспучивающихся систем [29].

Кроме того, для электрических кабелей в условиях эксплуатации слой огнезащитных вспучивающихся покрытий должен иметь достаточно высокую теплопроводность для работы кабелей без снижения токовой нагрузки.

1.4. Методы испытания показателей пожаробезопасности материалов оболочек

1.4.1. Метод кислородного индекса.

Для определения горючести полимерных материалов наиболее распространенным методом является кислородный индекс (КИ) (ГОСТ 12.1.044-89).

Кислородный индекс материала - определение минимального «предельного» процентного содержания кислорода в кислородно-азотной смеси, при котором поддерживается горение. Значение КИ выражается по формуле:

$$\text{КИ} = 100 \left(\frac{[\text{O}_2]}{[\text{O}_2] + [\text{N}_2]} \right) \quad (2)$$

Следовательно, чем выше значение КИ, тем более огнестойким считается материал. При условии, что воздух содержит 21% кислорода, полимерные материалы со значением КИ ниже 21 относятся к категории

горючих, в то время как те, с КИ выше 21 относятся к категории самозатухающим, поскольку их сгорания не поддерживаются при температуре окружающей среды без воздействия внешнего источника энергии.

Устройство состоит из стеклянной трубки, в которой образец установлен вертикально (рисунок 2).

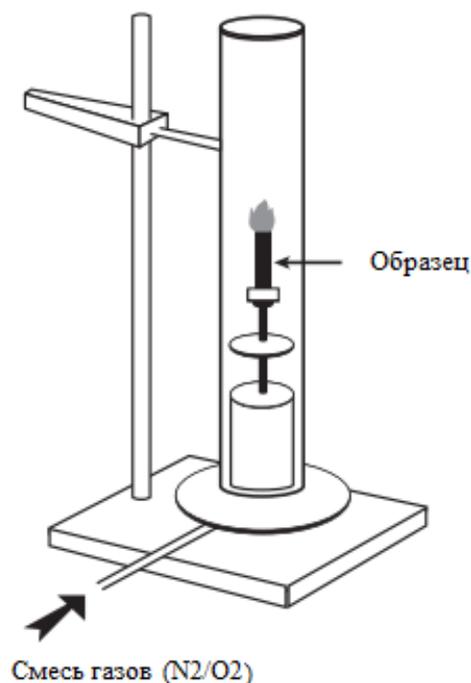


Рисунок 2 - Схематическое изображение определения КИ

Во время испытания, медленный поток кислородно-азотной смеси подается в нижнюю часть трубки. К верхней горизонтальной поверхности образца подводят пламя горелки, медленно перемещая так, чтобы пламя покрывало ее полностью и не касалось вертикальных поверхностей или граней образца. Длительность воздействия пламени на образец составляет 30 с, с короткими перерывами через каждые 5 с. Образец считают воспламененным, если после отвода горелки через 5 с вся его верхняя часть [30]. Метод определения КИ представляет собой не настоящий сценарий пожара, но по-прежнему остается одним из самых важных инструментов контроля качества, поскольку дает числовое значение пожароопасности материала.

1.4.2.Метод дымообразования

Количественную оценку дымообразования ПВХ пластикатов производят по ГОСТ 24632-81 в двух режимах: пламенного горения и тления.

Сущность метода состоит в измерении интенсивности светового потока, проходящего через задымленное пространство в испытательной камере при термическом разложении образца, и вычислении максимальной оптической плотности дыма. В режиме пламенного горения на образец воздействует тепловое излучение печи и пламя газовой горелки, в режиме тления - только тепловое излучение печи.

Образец взвешивают с погрешностью не более 0,1 г и устанавливают в держатель, плотно прижав его к кромкам держателя с помощью прижимной пластины, пружины и штыря. Излучающую печь выводят на рабочий режим, обеспечивающий плотность теплового потока 2,5 Вт/см².

Допускается проводить испытания при других плотностях теплового потока, но не более 4,0 Вт/см². Плотность теплового потока устанавливают с помощью радиометра. После установления заданной плотности теплового потока печи радиометр сдвигают в сторону, освобождая место для образца.

Включают фотометрическую систему, которая должна быть проверена и отрегулирована. При испытании в режиме пламенного горения горелку поджигают, устанавливают расход газа 3,0 см³/с по ротаметру и поворачивают ее в рабочее положение. В режиме тления горелка не работает.

Держатель с образцом устанавливают на расстоянии 45 мм против излучающего отверстия печи и одновременно, нажатием кнопки «начало отсчета времени» на диаграмме самописца отмечают начало испытаний.

Испытания заканчивают, когда дымообразование достигнет максимума, что соответствует минимуму светопропускания. После этого включают вентиляцию, открывают дверь камеры и вентилируют камеру до очищения от дыма. Затем вынимают держатель с образцом, освобождают остатки образца и помещают их на 3 ч в эксикатор, после чего взвешивают с погрешностью не

более 0,1 г. Плотность теплового потока печи контролируют радиометром непосредственно перед началом каждого испытания.

Максимальную удельную оптическую плотность дыма D_{\max} вычисляют по формуле:

$$D_{(\max, t-2 t-4)} = 132 \cdot \lg \frac{I_0}{I_{\min, t-2 t-4}} \quad (3)$$

где I_{\min} - величина, соответствующая минимальной интенсивности светового потока в течение испытания [31].

1.4.3. Определение величины карбонизированного остатка

Устойчивость полимерного материала к действию высокой температуры определяется по величине образующегося карбонизированного остатка (КО). Навеску полимерного образца массой 0,3-1 г, взвешенную с точностью до 0,001 г, помещают в предварительно подготовленные тигли и выдерживают их при заданной температуре в течение 30 мин, охлаждают и взвешивают. КО вычисляли по формуле:

$$КО = \frac{m_1 \cdot 100}{m_0}, \% \quad (4)$$

где m_1 - масса образца после сжигания, г;

m_0 - масса исходного образца, г.

2 Повышение пожаробезопасности силовых кабелей

ПВХ удерживает свои сильные позиции в производстве проводов и кабелей благодаря присущей ему огнестойкости. Помимо того, что ПВХ замедляет горение во фронте огня благодаря наличию в полимере хлора, он при горении образует уголь более устойчивый, чем большинство не содержащих галоген полимеров из-за образования хлористого водорода в процессе разложения. Полимеры большего молекулярного веса склонны образовывать более стойкое углеобразное покрытие; менее вероятно, что они будут капать в процессе горения в отличие от их низкомолекулярных аналогов.

Другие факторы также влияют на выбор полимера для производств огнестойких материалов. Часто в ПВХ добавляют различные добавки для улучшения его огнестойкости и уменьшения дымообразования. Содержание пламегасящих добавок, превышающее 50 частей на 100 частей полимера, не являются редкостью для производств кабелей общего назначения и являются обычными для производства сетевых кабелей. Использование полимеров малого молекулярного веса может улучшить как производительность, так и термостабильность при переработке таких композиций.

Одной из наиболее распространенных пламегасящих добавок, применяемых для ПВХ, является тригидрат алюминия. Он действует, высвобождая содержащуюся в нем гидратную воду при температурах 200 °С и выше [32]. В условиях высокого сдвига температура расплава высоконаполненных ТГА композиций может достаточно сильно возрасти с высвобождением части гидратной воды в процессе переработки, вплоть до «вспенивания» композиции, что может привести к экономии продукта, хотя контролирующие организации и покупатели не склонны одобрять такую практику.

Одним из путей снижения возможности высвобождения гидратной воды в процессе переработки является уменьшение молекулярного веса

ПВХ. Это в свою очередь уменьшит необходимое напряжение сдвига в процессе переработки. Уменьшенный сдвиг дает снижение температуры расплава, что сокращает (или исключает) возможность высвобождения воды из ТГА в процессе переработки. На сегодняшний день универсального антипирена, способного обеспечить соответствие кабельных пластикатов типа ПП всем предъявляемым к ним требованиям, не существует.

В качестве базовой рецептуры для получения модифицированных композитов был выбран ПВХ – пластикат марки И 40-13А, используемый всеми без исключения категориями отечественных кабельных заводов. Рецептура данного пластиката (таблица 2.1).

Таблица 2.1 – Рецептура ПВХ-пластиката марки И40-13А

| Наименование компонента | Количество, масс % | Обозначение документа |
|-------------------------------------|--------------------|---------------------------|
| ПВХ суспензионный | 62,112 | ТУ 2212-012-466963-2008 |
| Диоктилфталат (ДОФ) | 27,39 | ГОСТ 8728-88 |
| Свинец сернистокислый трехосновный | 2,49 | ТУ 2492-004-10269039-05 |
| Дифинилпропан (ДФП) | 0,0561 | ГОСТ 12138-86 |
| Мел природный тонкодисперсный | 6,17 | ТУ 5743-001-22242270-2002 |
| Кислота стеариновая | 0,0561 | ГОСТ 6484-96 |
| Кальция стеарат | 1,261 | ТУ 6-0917-317-96 |
| Эпоксидированное соевое масло (ЭСМ) | 0,365 | ТУ 6-10-722-72 |

Как видно из таблицы 2.1, содержание ПВХ матрицы в данной рецептуре составляет 62 масс.%, а наполнителя (карбоната кальция) 6,17

масс.%. Данный факт позволяет варьировать с составом исходного пластика в широких пределах [33].

2.1. Исследование влияния гидроксидов металлов на свойства ПВХ – пластикатов

Гидроксиды металлов являются основными антипиренами по объему применения (более 40% всего объема антипиренов). Это связано с тем, что гидроксиды металлов нетоксичны и имеют небольшую стоимость по сравнению с композициями на основе фосфора и галогенов. Антипирирующее действие гидроксида алюминия и магния состоит в поглощении подводимого тепла, затрачиваемого на испарение связанной воды, и снижении температуры пламени за счет освобожденной воды, которая также может препятствовать цепной реакции окисления в газовой фазе. Они также способствуют образованию обуглившегося вещества, уменьшая передачу поступающего тепла и заметно снижая образование дыма за счет поглощения углем дыма, проявляя себя еще и хорошими дымоподавителями. [34].

Действие гидроксидов алюминия, магния состоит в поглощении подводимого тепла, затрачиваемого на испарение связанной воды, и снижении температуры пламени за счет освобожденной воды, которая также может препятствовать цепной реакции окисления в газовой фазе. Они также способствуют образованию обуглившегося вещества, уменьшая передачу поступающего тепла и заметно снижая образования дыма. Различие данных соединений в том, что начало температурного разложения разное. У гидроксида алюминия происходит разложение при 180°C, а у гидроксида магния - при 320-340°C. Повышение пожароопасности ПВХ материалов возможно при использовании смеси данных антипиренов, так при горении будет перекрываться более широкий температурный диапазон их действия.

В таблице 2.2, приведены результаты исследования зависимости относительного удлинения при растяжении и кислородного индекса ПВХ – пластика марки И40-13А от содержания гидроксидов алюминия и магния.

Таблица 2.2 - Влияние гидроксида магния и гидроксида алюминия на относительное удлинение при растяжении и огнестойкость ПВХ-пластиката

| Свойства Содержание % | Кислородный индекс, % | | Относительное удлинение при растяжении, % | |
|--------------------------|--------------------------|---------------------|--|---------------------|
| | Mg(OH) ₂ | Al(OH) ₃ | Mg(OH) ₂ | Al(OH) ₃ |
| 0 | 25,0 | 25,0 | 240 | 240 |
| 6 | 25,2 | 25,5 | 225 | 233 |
| 8 | 25,7 | 25,9 | 228 | 230 |
| 10 | 26,1 | 26,5 | 230 | 224 |
| 15 | 26,9 | 26,8 | 210 | 220 |
| 25 | 27,2 | 27,1 | 200 | 213 |
| 30 | 27,4 | 27,3 | 190 | 200 |

Как видно из таблицы 6, введение в состав ПВХ-пластиката различных концентраций гидроксида магния и гидроксида алюминия оказывает практически одинаковое влияние на кислородный индекс. Повышение концентрации гидроксидов до 30 масс. % позволяет повысить кислородный индекс до значения 27%. Однако, тенденция повышения кислородного индекса начиная с 15 % содержания до 30% выражена незначительно. При этом наблюдается снижение относительного удлинения испытуемых образцов, что естественно при высоком содержании минеральных наполнителей. Поэтому нецелесообразно дальнейшее повышение содержания данных антипиренов в ПВХ-пластикате.

Для обеспечения комплекса свойств кабельного ПВХ-пластиката типа ПП, использование в качестве антипиренов только гидроксидов алюминия и магния не обеспечивает ряд присущих свойств кабельного пластиката типа ПП. Поэтому для достижения большего эффекта целесообразно применение смеси различных антипиренов.

2.2. Исследование влияния смесей различных антипиренов на свойства ПВХ - пластикатов повышенной пожаробезопасности

Далее было рассмотрено влияние на негорючесть ПВХ-пластиката оксида сурьмы и бората цинка как по отдельности, так и при совместном применении. Для этого, в рецептуру полученную на предыдущем этапе содержащую смесь гидроксидов алюминия, магния, вводили малые добавки указанных антипиренов.

Известно, что эффективное огнезащитное действие смесей оксида сурьмы с галогенсодержащими соединениями определяется соотношением сурьмы и галогенсодержащего полимера. Так, при добавлении в исследуемый пластикат до 10 масс. % оксида сурьмы кислородный индекс повышается до 28,5%. Как видно из рисунка 2.1, начиная с содержания в пластикате 4 - 6% оксида сурьмы КИ меняется незначительно, что позволяет считать данную концентрацию оптимальной.

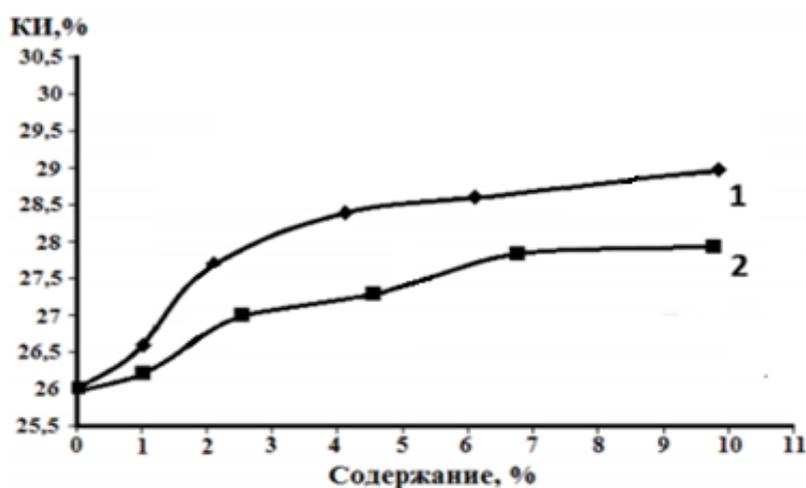


Рисунок 2.1 - Зависимость влияния оксида сурьмы (1) и бората цинка (2) на значение кислородного индекса ПВХ – пластиката.

Огнегасящие свойства бората цинка в основном являются следствием его способности образовывать прочное угольное покрытие после первоначального высвобождения содержащейся в нем кристаллизационной воды. Индивидуальное воздействие бората цинка на огнестойкость пластиката, как и ожидалось, ведет к повышению КИ (рисунок 3), но не настолько, чтобы

использовать его отдельно или полностью заменить им оксид сурьмы. Стоит отметить, что борат цинка как и оксид сурьмы оказывают влияние на кислородный индекс пластиката только до определенных концентраций. В случае бората цинка оптимальная концентрация его содержания в ПВХ пластикате, обеспечивающая повышение КИ составляет 7%. Известно, что борат цинка и трехокись сурьмы являются синергистами и их совместное использование значительно усиливает их эффективность. При введении в базовую рецептуру ПВХ-пластиката небольших концентраций смеси бората цинка и оксида сурьмы, наблюдается ощутимое повышение КИ. Как видно из таблицы 2.3, при соотношении 2/2 этих антипиренов в пластикате удается повысить КИ на 4 пункта по сравнению с исходным пластикатом.

Таблица 2.3 - Влияние концентрации антипиреновой смеси борат цинка - трехокись сурьмы на кислородный индекс ПВХ – пластиката

| № п/п | Концентрация ПВХ – пластиката, % | Концентрация смеси борат цинка/трехокись сурьмы, % | Кислородный индекс, % |
|-------|----------------------------------|--|-----------------------|
| 1 | 100 | 0 | 25,0 |
| 2 | 96 | 2/2 | 28,5 |
| 3 | 94 | 3/3 | 28,5 |
| 4 | 92 | 4/4 | 28,4 |

Дальнейшее повышение концентрации антипиренирующей смеси не оказывает влияния на значение КИ. Данный факт благоприятен тем, что эффект повышения огнестойкости достигнут практически при минимальном содержании оксида сурьмы, так как использование последнего, в мировой практике, считается нежелательным, из-за его токсичности, хотя однозначного подтверждения этому пока нет.

Обобщая полученные данные по влиянию исследуемых антипиренов по отдельности на огнестойкость пластиката, можно сказать, что, несмотря, на

достигнутые положительные эффекты, этого недостаточно для получения огнестойкого ПВХ-пластиката, соответствующего требуемым в настоящее время стандартам к пожаробезопасной кабельной продукции. Поэтому с учетом полученных результатов представляло интерес рассмотрение совместного влияния исследованных антипиренов на огнестойкость ПВХ – пластиката. В таблице 2.4 приведены данные по влиянию на КИ следующих смесей антипиренов:

- 1) гидроксид магния (83м.ч.) + оксид сурьмы + борат цинка(17 м. ч.) на 100 м. ч. ПВХ;
- 2) гидроксид алюминия(83м.ч.)%+оксид сурьмы + борат цинка (17 м. ч.) на 100 м. ч. ПВХ;
- 3) гидроксид магния (50м.ч.)+гидроксид алюминия (50м.ч.)+оксид сурьмы + борат цинка(22м.ч.) на 100 м. ч. ПВХ.

Для оценки влияния содержания пластифицирующих компонентов и смесей антипиренов на пластические свойства, рассматривалось относительное удлинение.

Относительное удлинение при растяжении соответствующие увеличению деформации, не приводящей к разрушению образца – это один из самых важных механических свойств полимерных материалов. Относительное удлинение при разрыве, устанавливаются посредством испытания на растяжение образца и представляет собой оценку способности материала удлиняться, противодействуя приложенным нагрузкам растягиваясь не достигая напряжения разрушения.

Таблица 2.4 - Результаты негорючести и относительного удлинения при растяжении ПВХ-пластиката в зависимости от содержания различных смесей антипиренов и пластификаторов

| № п/п | Добавки к ПВХ | Содержание на 100 м. ч. ПВХ | Кислородный индекс, % | Относительное удлинение при растяжении, % |
|----------------|--|-----------------------------|-----------------------|---|
| 1 (И40-13А) | Mg(OH) ₂ Al(OH) ₃ Sb ₂ O ₃ +БЦ ДОФ | 0 0 0 44 | 25,0 | 240 |
| 2 | Mg(OH) ₂ Al(OH) ₃ Sb ₂ O ₃ +БЦ ДОФ+ДИНФ | 83 0 17 66 | 26,0 | 200 |
| 3 | Mg(OH) ₂ Al(OH) ₃ Sb ₂ O ₃ +БЦ ДОФ+ДИНФ | 0 83 17 66 | 27,6 | 200 |
| 4 | Mg(OH) ₂ Al(OH) ₃ Sb ₂ O ₃ +БЦ ДОФ+ДИНФ | 50 50 19 76 | 30,2 | 220 |

Образцы с содержанием первых двух соотношений показали максимально приближенные к необходимому показателю значения КИ: 26% для первой смеси антипиренов и 27,6% для второй. Примечательно, что для достижения КИ равного 24-25% достаточно использования предложенных антипиренов по отдельности в установленных концентрациях, но при совместном введении тех же концентраций, тех же антипиренов, суммирование

их эффектов не наблюдается. Однако при совместном использовании всех четырех антипиренов проявляется синергизм. Так, наибольшее значение КИ-30,2 наблюдается при введении в состав третьей смеси всех исследованных антипиренов. Как видно из таблицы 2.4, все образцы сохраняют высокие значения относительной деформации при растяжении согласно (ГОСТ 16442-80). [35].

2.3. Модификация рецептур негорючести ПВХ-пластиката для кабельной изоляции, оболочки и заполнения

Как известно, обеспечение всего комплекса требований пожарной безопасности кабеля требует разработки поливинилхлоридных пластикатов пониженной пожарной опасности отдельно для изоляции, оболочки и заполнения с дифференцированными требованиями по каждому продукту. Поэтому с учетом данных полученных на предыдущем этапе исследования были модифицированы и исследованы рецептуры ПВХ-пластиката для изоляции, оболочки и заполнения кабелей. Было установлено также, что использование индивидуальных компонентов не позволяет получить требуемый комплекс свойств, в связи с чем была проведена разработка комбинированных составов на основе сочетания изученных компонентов. Оптимизация составов ПВХ-пластикатов позволила достичь комплекса требуемых свойств.

Основные характеристики модифицированных поливинилхлоридных пластикатов, для изоляции, оболочки и заполнения приведены в таблице 2.5.

Первые три буквы в условном обозначении марок пластиката обозначают его тип и назначение:

ПП – пониженной пожароопасности

И – изоляционный

О – для оболочки.

В- внутреннее заполнение

Таблица 2.5 - Характеристики модифицированных ПВХ - пластикатов с пониженной пожароопасностью.

| Показатели \ Типы разработанного пластика | Тип ППИ (изоляция) | Тип ППО (оболочка) | Тип ППВ (заполнение) |
|---|--|--------------------|----------------------|
| Удельное объёмное электрическое сопротивление при (20±2)°С, Ом·см | 5×10 ¹³ | 5×10 ¹¹ | - |
| Прочность при разрыве, МПа | 15 | 12 | 3 |
| Относительное удлинение при разрыве, % | 250 | 250 | 200 |
| Плотность, г /см ³ | 1,52 | 1,62 | 1,9 |
| Температура хрупкости, °С | -30 | -30 | - |
| Кислородный индекс (КИ), % | 30 | 35 | 28 |
| Водопоглощение, %, не более | 0,25 | 0,4 | - |
| Дымообразование, Д _{макс} , н/б | 280 | 200 | 150 |
| Выделение HCl, %, н/б | 13 | 14 | 5 |
| Термостабильность при переработке | Пластикат не должен подгорать при остановке экструдера в течение 20 мин. | | |
| Суммарный показатель токсичности, балл, не более | 1 | 1 | 1 |

Первые две цифры для пластикатов марок ППИ и ППО указывают значение температуры хрупкости, две последующие – указывают значение кислородного индекса [36].

Как видно из таблицы 2.5, полученные ПВХ-пластикаты сочетают высокую огнестойкость с повышенными физико-механическими, диэлектрическими и термическими свойствами.

Модифицированные ПВХ- пластикаты для изоляции, оболочки и заполнения обладают более высокими свойствами: - стойкость к воспламенению – горению - показатели дымообразования. (таблица 2.6).

Таблица 2.6 - Сравнение основных параметров кабельных ПВХ – пластикатов для изоляции и оболочки [36] [37].

| Наименование | кабели «нг» | | | кабели «нг-LS» | | |
|--|-------------|------|-----------|----------------|-----------|--------|
| | И40-13А | О-40 | НГП 40-32 | ППИ 30-30 | ППО 30-35 | ППВ 28 |
| 1.Кислородный индекс, % | 23 | 24 | 32 | 30 | 35 | 28 |
| 2. Дымообразование в камере по ГОСТ 12.1. 044-89, м ³ /м·кг | 1070 | 970 | 560 | 280 | 200 | 150 |
| 3.Массовая доля выделяющегося при горении HCl, % | 36,7 | 28,6 | 23,1 | 13,0 | 14,0 | 5,0 |
| 4.Токсичность, HCl ₅₀ , г/м ³ | 35,5 | 93,3 | 42,3 | 83,0 | 101,0 | 130,0 |
| 5.Удельная теплота сгорания, МДж/кг | 25,8 | 23,7 | 19,7 | 18,9 | 17,8 | 10,0 |

Из таблицы 10 видно, что основные параметры, которые характеризуют пожарную безопасность, у пластикатов типа ПП лучше, по сравнению с отечественными ПВХ - пластикатами марок И40-13А и ОНЗ – 40. Это более высокое значение кислородного индекса, показатели дымообразования и выделения хлористого водорода обеспечивают кабелям снижение выделения дыма HCl в 1,5 и 3 раза. Также необходимо обращать внимание на то, что введение антипиренов позволяющих улучшить негорючесть материалов приводит к увеличению плотности, что в конечном результате ведет к увеличению массы готового изделия. Также наблюдается ухудшение физико-механических свойств, относительное удлинение и прочность при разрыве.

На основе проделанной работы, с использованием модифицированных ПВХ-пластикатов были изготовлены образцы для подтверждения полученных результатов. Испытание на нераспространение горения проводились согласно ГОСТ ИЕС 60332-1-1-2011.

2.4. Конструкции исследуемых кабелей

В практической части в качестве исследуемых кабелей с ПВХ изоляцией и оболочкой были выбраны образцы: ВВГ и ВВГнг. Кабель марки ВВГ 17×1,5-0,66 имеет 17 токопроводящих жил сечением 1,5 мм², медная, многопроволочная, круглой формы, 2 класс гибкости, с изоляцией из ПВХ пластиката, изолированные жилы кабелей скручены, оболочка из ПВХ пластиката.

Кабель марки ВВГнг 7×1,5 -0,66 имеет 7 токопроводящих жил сечением 1,5 мм², медная, многопроволочная, круглой формы, 4 класса гибкости, с изоляцией из ПВХ пластиката марки ППИ 30-30. Поверх скрученных изолированных жил накладывается оболочка из ПВХ пластиката пониженной горючести марки ППО-30-35. Номинальное рабочее напряжение кабеля составляет 660 В.

Испытание на нераспространение горения проводились по по ГОСТ ИЕС 60332-1-1-2011 Настоящий стандарт устанавливает требования к испытательному оборудованию, применяемому при проведении испытания на нераспространение горения одиночного вертикально расположенного электрического изолированного провода или кабеля или оптического кабеля в условиях воздействия пламени.

2.5. Результаты испытаний

В результате практической работы, было выявлено, что процессы горения кабелей имеет существенные отличия. При воздействии открытым огнем кабеля марки ВВГ (Рисунок 2.2) по ГОСТ ИЕС 60332-1-1-2011, кабель подвергался термическому воздействию при температуре 1000⁰ С в течении

двух минут т.к $D = 34$ мм (согласно ГОСТ ИЕС 60332-1-1-2011). В результате данного испытания (рисунок 2.3) в образце кабеля с горючим ПВХ пластикатом начал образовываться черный едкий дым. После удаления горелки кабель горел 2 секунды, оболочка образца вместе с изоляцией прогорела до токопроводящей жилы кабеля. Из этого следует, что данный кабель не целесообразно эксплуатировать в помещениях, где есть вероятность возникновения взрыва или возгорания.



Рисунок 2.2 - Воздействие открытым огнем на кабель марки ВВГ

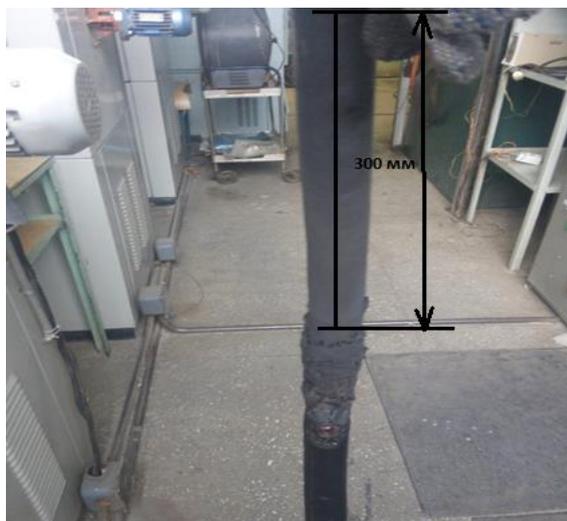


Рисунок 2.3- Образец после воздействия открытого пламени ВВГ

При воздействии открытым огнем кабеля марки ВВГнг (Рисунок 2.4) по ГОСТ ИЕС 60332-1-1-2011, кабель подвергался термическому воздействию при температуре 1000° С в течении одной минуты т.к $D = 13$ мм (согласно ГОСТ

ГЭС 60332-1-1-2011). В результате данного испытания (рисунок 2.5) в образце кабеля с ПВХ пластикатом пониженной пожароопасностью не наблюдалось образования черного едкого дыма. После удаления горелки термическое окисление оболочки кабеля прекратилось.



Рисунок 2.4 - Воздействие открытым огнем на кабель марки ВВГнг

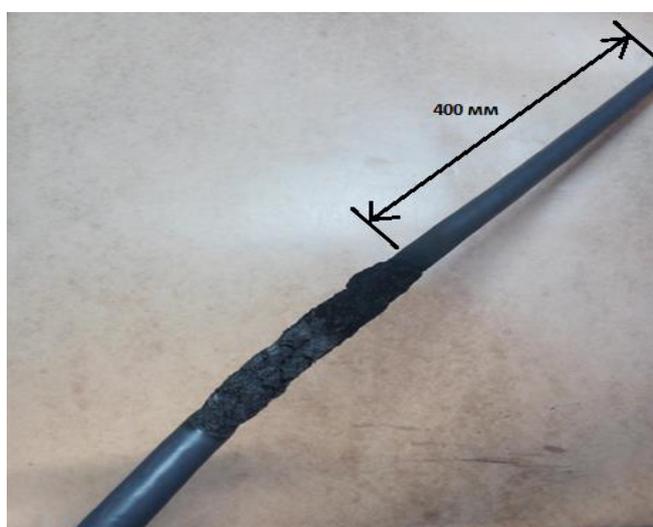


Рисунок 2.5 - Образец после воздействия открытого пламени ВВГнг

Также получено, что величина обугленной части у модифицированного ПВХ-пластиката на 25 % меньше по сравнению со стандартным кабелем, что подтверждает полученные нами результаты.

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

Студенту:

| | |
|---------------|-------------------------------|
| Группа | ФИО |
| 5ГМ4В | Данзанова Саяна Александровна |

| | | | |
|----------------------------|-----------------------|----------------------------------|------------------------------------|
| Институт | Энергетический | Кафедра | ЭКМ |
| Уровень образования | Магистратура | Направление/специальность | Электроэнергетика и электротехника |

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

| | |
|---|---|
| 1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i> | Определение и анализ трудовых и денежных затрат, направленных на реализацию исследования. Приблизительная стоимость ресурсов научного исследования, в том числе научно-технического оборудования, составляет около 207759,82 руб. |
| 2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i> | В соответствии с ГОСТ 14.322-83 «Нормирование расхода материалов» и ГОСТ Р 51541-99 «Энергосбережение. Энергетическая эффективность» |
| 3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i> | Рассчитать социальные отчисления по упрощенной схеме (27% от суммы заработной и дополнительной платы) |

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

| | |
|--|--|
| 1. <i>Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ</i> | <i>Проведение предпроектного анализ: оценка потенциальных потребителей, технология QuaD, морфологический подход.</i> |
| 2. <i>Разработка устава научно-технического проекта</i> | <i>Определение целей, результатов и требований к результатам проекта</i> |
| 3. <i>Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок</i> | <i>Планирование этапов работы, определение календарного графика и трудоемкости разработки, расчет бюджета</i> |
| 4. <i>Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности</i> | <i>Оценка сравнительной эффективности проекта</i> |

Перечень графического материала:

| |
|--|
| 1. <i>«Портрет» потребителя результатов НТИ</i> |
| 2. <i>Оценка конкурентоспособности технических решений</i> |
| 3. <i>Оценочная карта QuaD</i> |
| 4. <i>Календарный план-график</i> |
| 5. <i>Бюджет НТИ</i> |
| 6. <i>Оценка сравнительной эффективности НТИ</i> |
| 7. <i>График проведения и бюджет НТИ</i> |
| 8. <i>Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НТИ</i> |

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

| | | | | |
|------------------|--------------|-------------------------------|----------------|-------------|
| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
| Доцент | Фигурко А.А. | к.э.н. | | |

Задание принял к исполнению студент:

| | | | |
|---------------|----------------|----------------|-------------|
| Группа | ФИО | Подпись | Дата |
| 5ГМ4В | Данзанова С.А. | | |

3. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

3.1. Потенциальные потребители результатов исследования

Результатом работы является разработка перспективного метода по повышению пожаробезопасности силовых кабелей.

Для анализа потребителей результатов исследования необходимо составить портрет потребителя. Под портретом потенциального клиента понимают целевую аудиторию, которой интересен продукт компании.

Результатом правильного применения модели покупателя может стать увеличение эффективности ваших коммуникаций, повышенная конверсия, лояльность и приток клиентов.

Портрет потенциальных потребителей.

1. географическое положение клиента не влияет
2. организационно-правовая форма. Компания может быть, как частным, так и муниципальным.
3. интересы. В предоставлении данной услуги заинтересованы организации, которые занимаются производством кабелей.
4. проблемы потребителя. Потребность в разработке мероприятий по повышению негорючести кабеля на предприятии может возникнуть в таких случаях:
 - а. невозможность обеспечить повышенную защиту от возгорания за счет использования традиционных конструктивных решений (комплексной безопасности нефтегазовой, атомной, военно-промышленной и других отраслей.)
 - б. поиск новых конструктивных решений и материалов.

Сегментом рынка для разработанного метода повышения негорючести силовых кабелей являются все заводы изготовители кабельной продукции по

всей стране. В таблице 3.3.1 приведен список заводов изготовителей кабельной продукции Российской Федерации.

Таблица 3.1. - Список заводов изготовителей кабельной продукции

| Обозначение | Местоположение | Название |
|------------------------|-----------------|---|
| «Саранскабель» | Саранск | Открытое акционерное общество «Саранский кабельный завод» |
| «Псковкабель» | Псков | Открытое Акционерное Общество «Псковский кабельный завод» |
| «Завод КвантКабель» | Дмитров | Общество с ограниченной ответственностью «Завод КвантКабель» |
| «НКЗ» | Новосибирск | Общество с ограниченной ответственностью «Новосибирский кабельный завод» |
| «Полимет» | п. Целина | Закрытое Акционерное Общество «Полимет» |
| «Завод КвантКабель» | Подольск | Общество с ограниченной ответственностью «Завод КвантКабель» |
| «Кабельтов» | Москва | Общество с ограниченной ответственностью «Кабельтов» |
| «Энергокабель» | Электроугли | Закрытое Акционерное Общество «Энергокабель» |
| «Камкабель» | Пермь | Общество с ограниченной ответственностью «Камский кабель» |
| «ТК ПРОК» | Санкт-Петербург | Общество с ограниченной ответственностью «Петербургский кабельно-проводниковый завод» |
| «Москабельмет» | Москва | Закрытое Акционерное Общество «Москабельмет» |
| «СегментЭнерго-Кабель» | Москва | Общество с ограниченной ответственностью «СегментЭнерго-Кабель» |

Продолжение таблицы 3.1

| | | |
|--------------------------------------|--------------|--|
| «НПП «Спецкабель» | Москва | Общество с ограниченной ответственностью «НПП «Спецкабель» |
| «Завод «Энергокабель» | Москва | Закрытое Акционерное Общество «Завод «Энергокабель» |
| «Кабельный завод «Эксперт-кабель» | Орел | Общество с ограниченной ответственностью «Кабельный завод «Эксперт-кабель» |
| «Орловский кабельный завод» | Орел | Закрытое Акционерное Общество «Орловский кабельный завод» |
| «Иркутсккабель» | Иркутск | Открытое акционерное общество «Иркутский кабельный завод» |
| «ОКБ КП» | Мытищи | Открытое акционерное общество «Особое конструкторское бюро кабельной промышленности» |
| «Томсккабель» | Томск | Закрытое акционерное общество «Томский кабельный завод» |
| «Уралкабель» | Екатеринбург | Закрытое акционерное общество «Уральский кабельный завод» |
| «Сибкабель» | Томск | Закрытое акционерное общество «Сибкабель» |
| Уфимкабель | Уфа | Открытое акционерное общество «Уфимский кабельный завод» |
| Чувашкабель | Чебоксары | Открытое акционерное общество «Чебоксарский завод кабельных изделий» |

3.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

Детальный анализ конкурирующих разработок, существующих на рынке, необходимо проводить систематически, поскольку рынки пребывают в постоянном движении. Такой анализ помогает вносить коррективы в научное

исследование, чтобы успешнее противостоять своим соперникам. Важно реалистично оценить сильные и слабые стороны разработок конкурентов.

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку сравнительной эффективности научной разработки и определить направления для ее будущего повышения.

Целесообразно проводить данный анализ с помощью оценочной карты, которая приведена в таблице 3.2. Для этого необходимо отобрать не менее трех-четырёх конкурентных товаров и разработок.

Таблица 3.2. - Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений разработок)

| Критерии оценки | Вес критерия | Баллы | | | Конкурентоспособность | | |
|---|--------------|----------------|---------------------------|-------------------------|-----------------------|--------------------------|-------------------------|
| | | Б _ф | Б _{томск кабель} | Б _{сибка бель} | К _ф | К _{томск абель} | К _{сибка бель} |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| Технические критерии оценки ресурсоэффективности | | | | | | | |
| 1. Огнестойкость конструкции | 0,2 | 5 | 4 | 4 | 1 | 0,8 | 0,8 |
| 2. Дымовыделение | 0,1 | 5 | 5 | 4 | 0,5 | 0,5 | 0,4 |
| 3. Токсичность продуктов горения и пиролиза | 0,2 | 5 | 4 | 5 | 1 | 0,8 | 1 |
| 4. Способность материала загораться | 0,2 | 5 | 4 | 3 | 0,1 | 0,8 | 0,6 |
| Экономические критерии оценки эффективности | | | | | | | |
| 5. Конкурентоспособность продукта | 0,1 | 5 | 4 | 3 | 0,5 | 0,4 | 0,3 |
| 6. Уровень проникновения на рынок | 0,05 | 4 | 4 | 3 | 0,2 | 0,2 | 0,15 |
| 7. Цена | 0,05 | 5 | 3 | 3 | 0,25 | 0,15 | 0,15 |
| 8. Предполагаемый срок эксплуатации | 0,1 | 5 | 4 | 4 | 0,5 | 0,4 | 0,4 |
| Итого | 1 | | | | 4,05 | 3,7 | 3,8 |

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum B_i \cdot B_i, \quad (3.2.1)$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

B_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – балл i -го показателя.

3.3 Технология QuaD

В качестве метода измерения характеристик качества разработки и ее перспективности на рынке используем технологию QuaD, которая также помогает принимать решения о целесообразности вложения денежных средств.

В основе технологии QuaD лежит нахождение средневзвешенной величины следующих групп показателей:

- 1) Показатели оценки коммерческого потенциала разработки:
- 2) Показатели оценки качества разработки:

Показатели оценки качества и перспективности новой разработки подбираются исходя из выбранного объекта исследования с учетом его технических и экономических особенностей разработки, создания и коммерциализации.

В соответствии с технологией QuaD каждый показатель оценивается экспертным путем по стобальной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 100 – наиболее сильная. Веса показателей, определяемые экспертным путем, в сумме должны составлять 1.

Таблица 3.3. - Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

| Критерии оценки | Вес критерия | Баллы | Максимальный балл | Относительное значение (3/4) | Средневзвешенное значение (5x2) |
|--|--------------|-------|-------------------|------------------------------|---------------------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | |
| Показатели оценки качества разработки | | | | | |

Продолжение таблицы 3.3

| | | | | | |
|------------------------------|-----|----|-----|------|------|
| 2. Огнестойкость конструкции | 0,2 | 85 | 100 | 0,85 | 0,17 |
| 2. Дымовыделение | 0,1 | 90 | 100 | 0,9 | 0,09 |

Продолжение таблицы 3.3

| | | | | | |
|--|----------|----|-----|------------|---------------|
| 3. Токсичность продуктов горения и пиролиза | 0,2 | 90 | 100 | 0,9 | 0,18 |
| 4. Способность материала загораться | 0,2 | 90 | 100 | 0,9 | 0,18 |
| Показатели оценки коммерческого потенциала разработки | | | | | |
| 5. Конкурентоспособность продукта | 0,1 | 80 | 100 | 0,8 | 0,08 |
| 6. Уровень проникновения на рынок | 0,05 | 85 | 100 | 0,85 | 0,0425 |
| 7. Цена | 0,05 | 90 | 100 | 0,9 | 0,045 |
| 8. Предполагаемый срок эксплуатации | 0,1 | 80 | 100 | 0,8 | 0,08 |
| Итого | 1 | | | 6,9 | 0,9525 |

Оценка качества и перспективности по технологии QuaD определяется по формуле:

$$P_{cp} = \sum B_i \quad (3.3.1)$$

где P_{cp} – средневзвешенное значение показателя качества и перспективности научной разработки;

B_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – средневзвешенное значение i -го показателя.

Если значение показателя P_{cp} получилось от 100 до 80, то такая разработка считается перспективной.. Если от 79 до 60 – то перспективность выше среднего. Если от 69 до 40 – то перспективность средняя. Если от 39 до 20 – то перспективность ниже среднего. Если 19 и ниже – то перспективность крайне низкая.

Так как $P_{cp} = 95,25$, то данная научная разработка считается перспективной, следовательно, она является выгодной для инвестирования, а значит, имеет перспективы для дальнейшего улучшения.

3.4. Планирование управления научно-техническим проектом

При организации процесса реализации конкретного проекта необходимо оптимально планировать занятость каждого из его участников и сроки проведения отдельных работ.

Первоначально составляется полный перечень проводимых работ, и определяются их исполнители и оптимальная продолжительность. Результатом планирования работ является сетевой, либо линейный график реализации проекта. Наиболее удобным, простым и наглядным способом для этих целей является использование линейного графика. Для его построения составим перечень работ и соответствие работ своим исполнителям в таблице 3.4. Основные исполнители в проекте: инженер (И) и научный руководитель (НР).

Таблица 3.4.– Перечень работ и продолжительность их выполнения

| Этапы работы | Исполнители | Загрузка исполнителей |
|---|-------------|-----------------------|
| Постановка целей и задач, получение исходных данных | НР | НР – 100% |
| Составление и утверждение технического задания | НР, И | НР – 100% И – 10% |
| Подбор и изучение материалов по тематике | НР, И | НР – 30% И – 100% |
| Разработка календарного плана | НР, И | НР – 100% И – 10% |
| Обсуждение литературы | НР, И | НР – 30% И – 100% |
| Разработка нормативных документов | НР, И | НР – 40% И – 60% |
| Анализ полученных результатов | И | И – 100% |
| Оформление пояснительной записки | И | И – 100% |
| Подведение итогов | НР, И | НР – 60% ,И – 100% |

Перейдем к расчету продолжительности этапов работ, который осуществляется опытно-статистическим методом, который реализуется вероятностным способом. Для определения ожидаемого значения продолжительности работ $t_{ож}$ и других величин воспользуемся следующими формулами.(3-6)

$$t_{ож} = \frac{3 \cdot t_{min} + 2 \cdot t_{max}}{5}, \quad (3.4.1)$$

где t_{min} – минимальная трудоемкость работ, чел/дн.;

t_{max} – максимальная трудоемкость работ, чел/дн.

Для построения линейного графика необходимо рассчитать длительность этапов в рабочих днях, а затем перевести в календарные дни. Расчет продолжительности выполнения каждого этапа в рабочих днях, $T_{рд}$ ведется по формуле

$$T_{рд} = \frac{t_{ож}}{K_{вн}} \cdot K_{д}, \quad (3.4.2)$$

где $t_{ож}$ – трудоемкость работы, чел/дн.;

$K_{вн}$ – коэффициент выполнения работ ($K_{вн} = 1$);

$K_{д}$ – коэффициент, учитывающий дополнительное время на компенсации и согласование работ ($K_{д} = 1,2$).

Расчет продолжительности этапа в календарных днях, $T_{кд}$ ведется по формуле

$$T_{кд} = T_{рд} \cdot T_{к}, \quad (3.5.3)$$

где $T_{к}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности, $T_{к}$ рассчитывается по формуле:

$$T_{к} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - T_{вд} - T_{пд}}, \quad (3.5.4)$$

где $T_{кал}$ – календарные дни ($T_{кал} = 366$);

$T_{вд}$ – выходные дни ($T_{вд} = 52$);

$T_{пд}$ – праздничные дни ($T_{пд} = 10$).

$$T_k = \frac{366}{365-52-10} = 1,204 \quad (3.5.5)$$

В таблице (3.5) приведены длительность этапов работ и число исполнителей, занятых на каждом этапе. На основании таблицы (3.4.) составим линейный график работ и представим его на рисунке (3.1)

Таблица 3.5 – Трудозатраты на выполнение проекта

| Этап | Исполнители | Продолжительность работ, дни | | | Длительность работ, чел/дн. | | | |
|---|-------------|---------------------------------|------------|-----------------|-----------------------------|-------|-------|--------|
| | | t_{\min} | t_{\max} | $t_{\text{ож}}$ | ТРД | | ТКД | |
| | | | | | НР | И | НР | И |
| Постановка целей и задач, получение исходных данных | НР | 2 | 4 | 2,8 | 3,36 | – | 4,08 | – |
| Составление и утверждение технического задания | НР, И | 2 | 3 | 2,4 | 2,59 | 0,29 | 3,14 | 0,35 |
| Подбор и изучение материалов по тематике | НР, И | 12 | 15 | 13,2 | 3,17 | 12,67 | 3,84 | 15,37 |
| Разработка календарного плана | НР, И | 2 | 4 | 2,8 | 2,69 | 0,67 | 3,26 | 0,82 |
| Обсуждение литературы | НР, И | 8 | 15 | 10,8 | 3,89 | 9,07 | 4,72 | 11,00 |
| Разработка нормативных документов | НР, И | 18 | 25 | 20,8 | 1,25 | 23,71 | 1,51 | 28,76 |
| Анализ полученных результатов | И | 15 | 20 | 17 | – | 20,40 | – | 24,75 |
| Оформление пояснительной записки | И | 10 | 15 | 12 | – | 14,40 | – | 17,47 |
| Подведение итогов | НР, И | 4 | 7 | 5,2 | 2,50 | 3,74 | 3,03 | 4,54 |
| Итого: | | | | 87 | 19,44 | 84,96 | 23,58 | 103,06 |

| Этапы работы | Исполнители | T _к , кал, дн. | Продолжительность выполнения работ | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|-----------------------|------------------------------|------------------------------------|---------|---------|---------|--|---------|---------|---------|----|---------|---------|---------|-----|---------|---------|-----|----|--|
| | | | январь | | | февраль | | | март | | | апрель | | | май | | | | | |
| | | | 11 1 | 11 8 | 22 5 | 11 | | 11 5 | 22 2 | 22 9 | 77 | 11 4 | 22 1 | 22 9 | 55 | 11 2 | 11 9 | 226 | 33 | |
| Постановка целей и задач, получение исходных данных | Руководитель | 4 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Составление и утверждение технического задания | Руководитель, инженер | 3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Подбор и изучение материалов по тематике | Руководитель, инженер | 15 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Разработка календарного плана | Руководитель, инженер | 4 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Обсуждение литературы | Руководитель, инженер | 15 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Разработка нормативных документов | Руководитель, инженер | 25 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Анализ полученных результатов | Инженер(дипломник) | 20 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Оформление пояснительной записки | Инженер (дипломник) | 15 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Подведение итогов | Руководитель, инженер | 7 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Рисунок 4.1 - Линейный график работ на основе рассчитанного для инженера и научного руководителя времени ТКД

 - руководитель

 - инженер

3.5. Расчет сметы затрат на выполнение проекта

В состав затрат на создание проекта включается стоимость всех расходов, необходимых для реализации комплекса работ, составляющих содержание данной разработки. Расчет сметной стоимости на выполнение данной разработки производится по следующим статьям затрат:

- материалы и покупные изделия;
- основная заработная плата;
- отчисления в социальные фонды;
- расходы на электроэнергию;
- амортизационные отчисления;
- работы, выполняемые сторонними организациями;

- прочие расходы.

3.5.1 Расчет затрат на материалы

К данной статье расходов относится стоимость материалов, покупных изделий, полуфабрикатов и других материальных ценностей, расходуемых непосредственно в процессе выполнения работ над объектом проектирования. Сюда же относятся специально приобретенное оборудование, инструменты и прочие объекты, относимые к основным средствам, стоимостью до 40 000 руб. включительно. Цена материальных ресурсов определяется по соответствующим ценникам или договорам поставки. Кроме того статья включает так называемые транспортно-заготовительные расходы, связанные с транспортировкой от поставщика к потребителю, хранением и прочими процессами, обеспечивающими движение (доставку) материальных ресурсов от поставщиков к потребителю. Сюда же включаются расходы на совершение сделки купли-продажи (т.н. транзакции). Приближенно они оцениваются в процентах к отпускной цене закупаемых материалов, как правило, это 5 ÷ 20 %. Исполнитель работы самостоятельно выбирает их величину в указанных границах.

Таблица 3.6 - Расчет затрат на материалы

| Наименование материалов | Цена за ед., руб. | Кол-во | Сумма, руб. |
|--------------------------------|-------------------|--------|-------------|
| Бумага для принтера формата А4 | 250 | 2 уп. | 600 |
| Заправка картридж для принтера | 500 | 1 шт. | 700 |
| Итого: | | | 1300 |

Допустим, что ТЗР составляют 5 % от отпускной цены материалов, тогда расходы на материалы с учетом ТЗР равны $C_{\text{мат}} = 1000 * 0,05 = 1365$ руб.

3.5.2. Расчет заработной платы

Данная статья расходов включает заработную плату научного руководителя и инженера, а также премии, входящие в фонд заработной платы. Расчет основной заработной платы выполняется на основе трудоемкости выполнения каждого этапа и величины месячного оклада исполнителя.

Среднедневная тарифная заработная плата ($Z_{\text{дн-т}}$) рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}} \quad (3.5.2.1)$$

где $Z_{\text{м}}$ – месячный должностной оклад работника, руб.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

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

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

$F_{\text{д}}$ – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. Дн. (таблица 3.7)

Таблица 3.7 – Баланс рабочего времени

| Показатели рабочего времени | |
|--|-----|
| Календарное число дней | 366 |
| Количество нерабочих дней | |
| - выходные дни | 66 |
| - праздничные дни | 14 |
| Потери рабочего времени | |
| - отпуск | 24 |
| - невыходы по болезни | |
| Действительный годовой фонд рабочего времени (F_d) | 262 |

Расчеты затрат на основную заработную плату приведены в таблице 3.8. При расчете учитывалось, что в году 300 рабочих дней и, следовательно, в месяце 25 рабочих дня. Расчеты затрат на полную заработную плату приведены в таблице 8. Для учета в ее составе премий, дополнительной зарплаты и районной надбавки используется следующий ряд коэффициентов: $K_{ГП} = 1,1$; $K_{доп.ЗП} = 1,188$; $K_p = 1,3$. Таким образом, для перехода от тарифной (базовой) суммы заработка исполнителя, связанной с участием в проекте, к соответствующему полному заработку (зарплатной части сметы) необходимо первую умножить на интегральный коэффициент $K_{и} = 1,1 * 1,188 * 1,3 = 1,699$.

Вышеуказанное значение $K_{доп.ЗП}$ применяется при шестидневной рабочей неделе, при пятидневной оно равно 1,113, соответственно в этом случае $K_{и} = 1,62$.

Таблица 3.8 – Затраты на заработную плату

| Исполнитель | Оклад, руб./мес. | Среднедневная ставка, руб./день | Затраты времени, дни | Коэффициент | Фонд з/платы, руб. |
|--------------------|-------------------------|--|-----------------------------|--------------------|---------------------------|
| НР | 25000 | 992,366 | 24 | 1,699 | 40464,72 |
| И | 15000 | 595,419 | 103 | 1,699 | 104196,54 |
| Итого: | | | | | 144661,26 |

Таким образом, затраты на основную заработную плату составили $C_{\text{ОСН}} = 144661,26$ руб.

3.5.3 Расчет затрат на социальный налог

Затраты на единый социальный налог (ЕСН), включающий в себя отчисления в пенсионный фонд, на социальное и медицинское страхование, составляют 30 % от полной заработной платы по проекту, т.е. $C_{\text{соц.}} = C_{\text{зп}} * 0,3$. И так, в нашем случае $C_{\text{соц.}} = 144661,26 * 0,3 = 43398,38$ руб.

3.5.4 Расчет затрат на электроэнергию

Данный вид расходов включает в себя затраты на электроэнергию, потраченную в ходе выполнения проекта на работу используемого оборудования, рассчитываемые по формуле:

$$C_{\text{эл.об.}} = P_{\text{об}} \cdot t_{\text{об}} \cdot Ц_{\text{э}} \quad (3.5.4.1)$$

где $P_{\text{ОБ}}$ – мощность, потребляемая оборудованием, кВт;

$Ц_{\text{э}}$ – тариф на 1 кВт·час;

$t_{\text{об}}$ – время работы оборудования, час.

Для ТПУ $Ц_{\text{э}} = 5,4274$ руб./кВт·час (с НДС).

Время работы оборудования вычисляется на основе, что продолжительность рабочего дня равна 8 часов.

$$t_{\text{об}} = T_{\text{рД}} * K_t, \quad (3.5.4.2)$$

где $K_t \leq 1$ – коэффициент использования оборудования по времени, равный отношению времени его работы в процессе выполнения проекта к $T_{\text{рД}}$, определяется исполнителем самостоятельно. В ряде случаев возможно определение $t_{\text{об}}$ путем прямого учета, особенно при ограниченном использовании соответствующего оборудования.

Мощность, потребляемая оборудованием, определяется по формуле:

$$P_{\text{ОБ}} = P_{\text{ном.}} * K_c \quad (3.5.4.3)$$

где $P_{\text{ном.}}$ – номинальная мощность оборудования, кВт;

$K_C \leq 1$ – коэффициент загрузки, зависящий от средней степени использования номинальной мощности. Для технологического оборудования малой мощности $K_C = 1$.

Пример расчета затраты на электроэнергию для технологических целей приведен в таблице 3.8

Таблица 3.8 – Затраты на электроэнергию технологическую

| Наименование оборудования | Время работы оборудования $t_{\text{ОБ}}$, час | Потребляемая мощность $P_{\text{ОБ}}$, кВт | Затраты $\text{Э}_{\text{ОБ}}$, руб. |
|---------------------------|---|---|---------------------------------------|
| Персональный компьютер | 600*0,6 | 0,3 | 586,16 |
| Принтер | 20 | 0,1 | 10,85 |
| Итого: | | | 597,01 |

3.5.5 Расчет амортизационных расходов

В статье «Амортизационные отчисления» рассчитывается амортизация используемого оборудования за время выполнения проекта.

Используется формула:

$$C_{\text{АМ}} = \frac{N_{\text{А}} * C_{\text{ОБ}} * t_{\text{рф}} * n}{F_{\text{д}}}, \quad (3.5.5.1)$$

где $N_{\text{А}}$ – годовая норма амортизации единицы оборудования;

$C_{\text{ОБ}}$ – балансовая стоимость единицы оборудования с учетом ТЗР. При невозможности получить соответствующие данные из бухгалтерии она может быть заменена действующей ценой, содержащейся в ценниках, прейскурантах и т.п.;

$F_{\text{д}}$ – действительный годовой фонд времени работы соответствующего оборудования, берется из специальных справочников или фактического режима его использования в текущем календарном году. При этом второй вариант позволяет получить более объективную оценку $C_{\text{АМ}}$. Например, для ПК в 2016 г. (298 рабочих дней при шестидневной рабочей неделе) можно принять $F_{\text{д}} = 298 * 8 = 2384$ часа;

$t_{pф}$ – фактическое время работы оборудования в ходе выполнения проекта, учитывается исполнителем проекта;

n – число задействованных однотипных единиц оборудования.

При использовании нескольких типов оборудования расчет по формуле делается соответствующее число раз, затем результаты суммируются.

Стоимость ПК 25000 руб., время использования 600 ч., тогда для него $C_{AM}(ПК) = (0,4 \cdot 25000 \cdot 600) / 2384 = 2516,77$ руб.

Стоимость принтера 15000 руб., его $F_D = 500$ час.; $N_A = 0,5$; тогда его $C_{AM}(Пр) = (0,5 \cdot 12000 \cdot 20) / 500 = 240$ руб. Итого начислено амортизации 2756,77 руб.

3.5.6 Расчет прочих расходов

В статье «Прочие расходы» отражены расходы на выполнение проекта, которые не учтены в предыдущих статьях, их следует принять равными 10% от суммы всех предыдущих расходов, т.е.

$$C_{\text{проч.}} = (C_{\text{мат}} + C_{\text{зп}} + C_{\text{соц}} + C_{\text{эл.об.}} + C_{\text{ам}} + C_{\text{нп}}) \cdot 0,1.$$

Для нашего примера это:

$$C_{\text{проч.}} = (1365 + 144661,26 + 43398,38 + 597,01 + 2756,77) \cdot 0,1 = 14981,40 \text{ руб.}$$

3.5.7 Расчет общей себестоимости разработки

Проведя расчет по всем статьям сметы затрат на разработку, можно определить общую себестоимость проекта (таблица 3.9)

Таблица 3.9 - Смета затрат на разработку проекта

| Статья затрат | Условное обозначение | Сумма, руб. |
|-------------------------------|----------------------|-------------|
| Материалы и покупные изделия | $C_{\text{мат}}$ | 1365,0 |
| Основная заработная плата | $C_{\text{зп}}$ | 144661,26 |
| Отчисления в социальные фонды | $C_{\text{соц}}$ | 43398,38 |
| Расходы на электроэнергию | $C_{\text{эл.}}$ | 597,01 |
| Амортизационные отчисления | $C_{\text{ам}}$ | 2756,77 |

| | | |
|-------------------------------------|-------------------|------------------|
| Непосредственно учитываемые расходы | $C_{\text{нр}}$ | 0 |
| Прочие расходы | $C_{\text{проч}}$ | 14981,40 |
| Итого: | | 207759,82 |

Таким образом, затраты на разработку составили $C = 207759,82$ руб

3.6 Оценка научно-технической результативности НИР

Одним из главных показателей качества результатов научной деятельности является показатель научно-технического уровня (НТУ), как обобщающая характеристика перспективности и прогрессивности научно-технических решений, заложенных в разработку, по сравнению с уже существующими и ранее созданными, которые относятся к одной научной отрасли.

Оценка научной и научно-технической результативности НИР производится с помощью системы взвешенных балльных оценок. Коэффициент научно – технической результативности определяется по формуле:

$$K_{\text{НТУ}} = R_i \cdot n_i \quad (3.6.1)$$

где $K_{\text{НТУ}}$ – коэффициент научно-технического уровня;

R_i – весовой коэффициент i -го признака научно-технического эффекта;

n_i – количественная оценка i -го признака научно-технического эффекта, в баллах.

Бальная оценка заключается в том, что каждому фактору по принятой шкале присваивается определенное количество баллов. Обобщенную оценку проводят по сумме баллов по всем показателям или рассчитывают по формуле. На этой основе делается вывод о целесообразности НИР. Оценка

научно - технической результативности оценивается по данным приведенных в таблицах 3.10 – 3.16.

Таблица 3.10 - Весовой коэффициент НТУ

| Признаки научно-технического эффекта НИР | Характеристика признака НИР | Ri |
|---|--|-----------|
| Уровень новизны | Систематизируются и обобщаются сведения, определяются пути дальнейших исследований | 0,4 |
| Теоретический уровень | Разработка способа (алгоритм, программа мероприятий, устройство, вещество и т.п.) | 0,1 |
| Возможность реализации | Время реализации в течение первых лет | 0,5 |

Таблица 3.11 – Баллы для оценки уровня новизны

| Уровень новизны | Характеристика уровня новизны – n_1 | Баллы |
|------------------------|--|--------------|
| Принципиально новая | Новое направление в науке и технике, новые факты и закономерности, новая теория, вещество, способ | 8 – 10 |
| Новая | По-новому объясняются те же факты, закономерности, новые понятия дополняют ранее полученные результаты | 5 – 7 |
| Относительно новая | Систематизируются, обобщаются имеющиеся сведения, новые связи между известными факторами | 2 – 4 |
| Не обладает новизной | Результат, который ранее был известен | 0 |

Таблица 3.12 - Баллы значимости теоретических уровней

| Теоретический уровень полученных результатов – n_2 | Баллы |
|---|--------------|
| Установка закона, разработка новой теории | 10 |
| Глубокая разработка проблемы, многоспектральный анализ взаимодействия между факторами с наличием объяснений | 8 |
| Разработка способа (алгоритм, программа и т. д.) | 6 |
| Элементарный анализ связей между фактами (наличие гипотезы, объяснения версии, практических рекомендаций) | 2 |
| Описание отдельных элементарных факторов, изложение наблюдений, опыта, результатов измерений | 0,5 |

Таблица 3.13 - Возможность реализации результатов по времени

| Время реализации – n_3 | Баллы |
|--|--------------|
| В течение первых лет | 10 |
| От 5 до 10 лет | 4 |
| Свыше 10 лет | 2 |

Результаты оценок признаков научно-технического уровня приведены в таблице 3.14

Таблица 3.14 - Количественная оценка признаков НИОКР

| Признак научно-технического эффекта НИР | Характеристика признака НИОКР | R_i |
|--|--|-------------------------|
| Уровень новизны | Систематизируются и обобщаются сведения, определяются пути дальнейших исследований | 0,5 |
| Теоретический уровень | Разработка способа (алгоритм, программа мероприятий, устройство, вещество и т.п.) | 0,1 |
| Возможность реализации | Время реализации в течение первых лет | 0,5 |

В таблице 3.15 указано соответствие качественных уровней НИР значениям показателя, рассчитываемого по формуле (13).

| Уровень НТЭ | Показатель НТЭ |
|--------------------|-----------------------|
| Низкий | 1-4 |
| Средний | 4-7 |
| Высокий | 8-10 |

Для используемого в пособии примера частные оценки уровня n_i и их краткое обоснование даны в таблице (3.17).

Таблица 3.16 – Оценки научно-технического НИР

| Значимость | Фактор НТУ | Уровень фактора | Выбранный балл | Обоснование выбранного балла |
|-------------------|-------------------|------------------------|-----------------------|---|
| 0,4 | Уровень новизны | Относительно новая | 8 | Получен новый метод совершенствования негорючести силовых кабелей |

| | | | | |
|-----|--------------------------|----------------------|---|---|
| 0,1 | Теоретический уровень | Разработка способа | 6 | Описание классических методов снижения горючести и разработанного нового метода |
| 0,5 | Возможность реализации и | В течение первых лет | 8 | Создание и внедрение |

Отсюда интегральный показатель научно-технического уровня для нашего проекта составляет:

$$I_{\text{нту}} = 0,4*4 + 0,1*6 + 0,5*5 = 1,6 + 0,1 + 8 = 6,2$$

Таким образом, исходя из данных таблицы 13, данный проект имеет средний уровень научно-технического эффекта.

Выводы по разделу:

В данной главе был произведен расчет продолжительности этапов работы, определена трудоемкость работ каждого из участников и построен линейный график работ. По данному графику можно судить о времени, затраченном на каждый из этапов проекта, вкладе каждого из участников и максимальном по длительности исполнении работ в рамках научно-исследовательского проекта. В целях экономической оценки проекта составлен сводный сметный расчет, который представляет собой сумму основных и накладных расходов. Согласно сметы затрат расходы на НИР составляют 207759,82 руб.

Данный проект является экономически эффективным, так как при затратах около двухсот тысяч рублей позволяет предотвратить возникновение пожара в кабельных изделиях и тем самым предотвратить потери объемом в стоимость постройки нового здания и ущерба окружающей среде.

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

| | |
|---------------|-------------------------------|
| Группа | ФИО |
| 5ГМ4В | Данзанова Саяна Александровна |

| | | | |
|----------------------------|--------------|----------------------------------|------------------------------------|
| Институт | ЭНИН | Кафедра | ЭКМ |
| Уровень образования | Магистратура | Направление/специальность | Электроэнергетика и электротехника |

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

| | |
|---|---|
| <p>1. <i>Описание рабочего места (рабочей зоны, технологического процесса, механического оборудования) на предмет возникновения:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> – <i>вредных проявлений факторов производственной среды (метеоусловия, вредные вещества, освещение, шумы, вибрации, электромагнитные поля, ионизирующие излучения)</i> – <i>опасных проявлений факторов производственной среды (механической природы, термического характера, электрической, пожарной и взрывной природы)</i> – <i>негативного воздействия на окружающую природную среду (атмосферу, гидросферу, литосферу)</i> – <i>чрезвычайных ситуаций (техногенного, стихийного, экологического и социального характера)</i> | <p><i>Рабочим местом является кабинет. Работа производится сидя, основная часть за ПЭВМ.</i></p> <p><i>На рабочем месте возможно повышение уровня шума, несоответствующие микроклиматические параметры, недостаточная освещенность рабочего места, поражение электрическим током, повышение статического электричества.</i></p> <p><i>Наиболее возможная чрезвычайная ситуация на рабочем месте – пожар.</i></p> <p><i>Имеется воздействие на литосферу в виде отходов, возникших, вследствие выхода из строя ПЭВМ и других приборов, а так же замены офисной мебели.</i></p> |
| <p>2. <i>Знакомство и отбор законодательных и нормативных документов по теме</i></p> | <p><i>СанПиН 2.2.4.548-96; СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03; ГОСТ 12.0.003 – 74, СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278 – 03, ГОСТ 12.1.005 – 88, СН 2.2.4/2.1.8.562 – 96, ГОСТ 12.1.003 – 83. СанПиН 2.2.2.542 – 96.</i></p> |

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

| | |
|---|---|
| <p>1. <i>Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> – <i>физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой;</i> – <i>действие фактора на организм человека;</i> – <i>приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ);</i> – <i>предлагаемые средства защиты (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства)</i> | <p><i>К вредным факторам рабочего места можно отнести электромагнитное излучение от ПЭВМ, повышенный уровень шума, несоответствующие параметры микроклимата и освещенности помещения.</i></p> |
|---|---|

| | |
|---|---|
| <p>2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой произведённой среды в следующей последовательности</p> <ul style="list-style-type: none"> – механические опасности (источники, средства защиты); – термические опасности (источники, средства защиты); – электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты); – пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения) | <p>К опасным факторам рабочего места относится повышение статического электричества, поражение электрическим током, взрыв, пожар.</p> |
| <p>3. Экологическая безопасность:</p> <ul style="list-style-type: none"> – защита селитебной зоны – анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы); – анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы); – анализ воздействия объекта на литосферу (отходы); – разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды. | <p>При данном виде деятельности имеется воздействие на литосферу в виде отходов, возникших при поломке ПЭВМ и других электроприборов, офисной мебели.</p> |
| <p>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</p> <ul style="list-style-type: none"> – перечень возможных ЧС на объекте; – выбор наиболее типичной ЧС; – разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; – разработка мер по повышению устойчивости объекта к данной ЧС; – разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий | <p>Наиболее вероятны – пожары вследствие замыкания электрической проводки, возгорания неисправного ПЭВМ, несоблюдения правил пожарной безопасности.</p> |
| <p>5. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны | <p>Трудовой кодекс РФ Соблюдать все требования СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 к организации и оборудованию рабочих мест с ПЭВМ</p> |

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

Задание выдал консультант:

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-----------------------|---------------|------------------------|---------|------|
| Старший преподаватель | Романцов И.И. | к.т.н. | | |

Задание принял к исполнению студент:

| Группа | ФИО | Подпись | Дата |
|--------|----------------|---------|------|
| 5ГМ4В | Данзанова С.А. | | |

4. Социальная ответственность

Введение

Социальная ответственность предприятия - это ответственность перед обществом за деятельность компании, которая имеет социально – значимый характер. Данная ответственность выражается в производстве качественных товаров и услуг, уплате налогов и создании хорошо оплачиваемых рабочих мест, учитывает интересы коллектива и общества. Понятие «Социальная ответственность организации» предполагает рассмотрение очень важных вопросов таких как: производственная безопасность (безопасность и гигиена труда), охрана окружающей среды и ресурсосбережение, возможность возникновения чрезвычайных ситуаций и принятие решений, которые исключают несчастные случаи на производстве, вредные воздействия на природу.

В данной выпускной квалификационной работе проведены теоретические исследования методов повышения негорючести силовых кабелей. Рабочим местом является кабинет. Работа производится сидя, основная часть за ПЭВМ.

На рабочем месте возможно повышение уровня шума, несоответствующие микроклиматические параметры, недостаточная освещенность рабочего места, поражение электрическим током, повышение статического электричества – согласно ГОСТ 12.0.003 – 74 «Система стандартов безопасности труда. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация» [38].

Наиболее возможная чрезвычайная ситуация на рабочем месте – пожар.

Имеется воздействие на литосферу в виде отходов, возникших, вследствие выхода из строя ПЭВМ и других приборов.

К вредным факторам рабочего места можно отнести электромагнитное излучение от ПЭВМ, повышенный уровень шума, несоответствующие параметры микроклимата и освещенности помещения.

Данные факторы приводят к снижению работоспособности или заболеванию. Для предотвращения вредного воздействия необходимо соблюдать правила работы: время работы, оптимальное расположение, как оборудования, так и сотрудника. Использовать средства защиты, корректировать параметры освещенности и микроклимата

4.1 Производственная безопасность

4.1.1 Анализ вредных и опасных факторов, которые может создать объект исследования

Короткое замыкание, тлеющий пожар или возгорание кабеля, которые зачастую незаметно распространяются в скрытых кабельных шахтах, могут привести к опустошительным пожарам с человеческими жертвами. В августе 2000 года, по всей вероятности, расплавившийся в одном из передающих усилителей кабель вызвал большой пожар на Останкинской телебашне. В результате телевизионная башня ремонтировалась и долгие годы оставалась закрытой. Тот факт, что возгорание кабеля может быть причиной пожара, является лишь одной стороной проблемы. Не менее важен вопрос, как долго в случае пожара электрический кабель сможет сохранять работоспособность и обеспечивать полное функционирование систем спасения и эвакуации. Многочисленные пожары, произошедшие в России в последние годы, сделали тему пожарной защиты и вместе с ней применение огнестойких кабелей объектом пристального общественного внимания [39].

Причины загораний проводов и кабелей

1. Перегрев от короткого замыкания между жилами провода и жилами кабеля, их жилами и землей в результате:

- пробоя изоляции повышенным напряжением, в том числе от грозových перенапряжений;

-пробоя изоляции в месте образования микротрещин как заводского дефекта;

- пробоя изоляции в месте механического повреждения при эксплуатации;

- пробоя изоляции от старения; пробоя изоляции в месте локального внешнего или внутреннего перегрева; пробоя изоляции в месте локального повышения влажности или агрессивности среды;

- случайного соединения токопроводящих жил кабелей и проводов между собой или соединения токопроводящих жил на землю;

- умышленного соединения токопроводящих жил кабеля и проводников между собой или соединения их на землю.

2. Перегрев от токовой перегрузки в результате:

- подключения потребителя завышенной мощности;

- появления значительных токов утечки между токоведущими проводами, токоведущими проводами и землей (корпусом), в том числе на распределительных устройствах за счет снижения величины электроизоляции;

- увеличения окружающей температуры на участке или в одном месте, ухудшения теплоотвода, вентиляции.

3. Перегрев мест переходных соединений в результате:

- ослабления контактного давления в месте существующего соединения двух или более токопроводящих жил, приводящего к значительному увеличению переходного сопротивления;

- окисления в месте существующего соединения двух и более проводников, приводящего к значительному увеличению переходного сопротивления [40].

Основные профилактические противопожарные мероприятия при эксплуатации проводов и кабелей:

1. В процессе эксплуатации необходимо следить за равномерной нагрузкой по фазам однофазных электроприемников — освещения, электронагревательных приборов. Следует помнить, что при наличии однофазных электроприемников по рабочему нулевому проводу протекает ток, величина которого может достигать величины фазного тока. Поэтому сечение нулевого провода в осветительных установках с газоразрядными лампами должно быть равным сечению фазных проводов.

2. Основными методами повышения пожарной безопасности кабелей и проводов является их выполнение в соответствии с ПУЭ, правильный выбор защиты от коротких замыканий и перегрузок. Перегрузка проводов и кабелей сверх установленных норм не допускается. Контроль загрузки следует проводить по стационарным амперметрам или с помощью токоизмерительных клещей.

3. Все соединения, оконцевания и ответвления проводов и кабелей, осуществляемые в процессе эксплуатации, выполняются капитально — путем опрессовки, пайки, сварки, зажима под болт и т. п. Наброс проводов крючками и скрутка не допускаются.

4. В пожароопасных зонах производственных и складских помещений с наличием горючих материалов (бумага, хлопок, лен, каучук и др.), а также изделий в сгораемой упаковке светильники и электрооборудование должны иметь закрытое или защищенное исполнение. Вблизи проводов и кабелей недопустимо наличие легковоспламеняющихся предметов и материалов.

5. В соответствии с правилами технической эксплуатации нужно регулярно проводить измерения сопротивления изоляции проводов и кабелей. В сетях напряжением до 1000 В сопротивление изоляции каждого участка сети — не менее 0,5 Мом [41].

4.1.2. Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследований.

4.1.2.1 Воздействие электромагнитного поля на оператора ПЭВМ

Электромагнитное поле (ЭМП) создается магнитными катушками отклоняющей системы, находящимися около цокольной части электроннолучевой трубки монитора. ЭМП обладает способностью биологического, специфического и теплового воздействия на организм человека.

Биологическое воздействие ЭМП зависит от длины волны, интенсивности, продолжительности режимов воздействия, размеров и анатомического строения органа, подвергающегося влиянию ЭМП. Механизм нарушений, происходящих в организме под влиянием ЭМП, обусловлен их специфическим и тепловым действием.

Специфическое воздействие ЭМП обусловлено биохимическими изменениями, происходящими в клетках и тканях. Наиболее чувствительными являются центральная и сердечно – сосудистая системы.

Тепловое воздействие ЭМП характеризуется повышением температуры тела, локальным избирательным нагревом тканей, органов, клеток вследствие перехода ЭМП в тепловую энергию. Интенсивность нагрева зависит от скорости оттока тепла от облучаемых участков тела.

Влияние электромагнитных излучений заключается не только в их тепловом воздействии. Микропроцессы, протекающие в организме под действием излучений, заключаются в поляризации макромолекул тканей и ориентации их параллельно электрическим силовым линиям, что может приводить к изменению свойств молекул; особенно для человеческого организма важна поляризация молекул воды.

Таким образом, степень воздействия ЭМП на организм человека зависит от интенсивности облучения, длительности воздействия и диапазона частот.

Длительное и систематическое воздействие на человека полей вызывает:

- повышенную утомляемость;
- головную боль;
- сонливость;
- гипертонию;
- боли в области сердца.
- усталость
- притупленность
- раздражительность

На территории Российской Федерации действуют СанПиН 2.2.2/2.4.1340 – 03. Санитарно – эпидемиологические правила и нормативы «Гигиенические требования к персональным электронно – вычислительным машинам и организации работы» [42], который устанавливает санитарно – эпидемиологические требования к персональным электронно – вычислительным машинам (ПЭВМ) и условиям труда.

Требования к уровням электромагнитных полей на рабочих местах, оборудованных ПЭВМ приведены в табл. 4.1.2.1.

В соответствии с этим используются такие меры организационного характера:

1. Экран видеомонитора должен находиться от глаз пользователя на расстоянии 600 – 700 мм, но не ближе 500 мм с учетом размеров алфавитно – цифровых знаков и символов.

2. Работа на ЭВМ не более 6 часов в день с перерывами через 1 час.

Таблица 4.1 – Допустимые уровни ЭМП, создаваемых ПЭВМ на рабочих местах

| Наименование параметров | | ВДУ |
|--|------------------------------------|---------|
| Напряженность электрического поля | в диапазоне частот 5 Гц – 2 кГц | 25 В/м |
| | в диапазоне частот 2 кГц – 400 кГц | 2,5 В/м |
| Плотность магнитного потока | в диапазоне частот 5 Гц – 2 кГц | 250 нТл |
| | в диапазоне частот 2 кГц – 400 кГц | 25 нТл |
| Напряженность электростатического поля | | 15 кВ/м |

В зависимости от категории трудовой деятельности и уровня нагрузки за рабочую смену при работе с ПЭВМ устанавливается суммарное время регламентированных перерывов (таблице 4.2).

Таблица 4.2 – Суммарное время регламентированных перерывов в зависимости от продолжительности работы, вида и категории трудовой деятельности с ПЭВМ

| Категория работы с ПЭВМ | Уровень нагрузки за рабочую смену при видах работ с ПЭВМ | | | Суммарное время регламентированных перерывов, мин. | |
|-------------------------|--|-----------------------------|-------------|--|----------------------|
| | группа А, количество знаков | группа Б, количество знаков | группа В, ч | При 8 часовой смене | При 12 часовой смене |
| I | до 20 000 | до 15 000 | до 2 | 50 | 80 |
| II | до 40 000 | до 30 000 | до 4 | 70 | 110 |
| III | до 60 000 | до 40 000 | до 6 | 90 | 140 |

Виды трудовой деятельности разделяются на 3 группы: группа А – работа по считыванию информации с экрана ВДТ с предварительным

запросом; группа Б – работа по вводу информации; группа В – творческая работа в режиме диалога с ПЭВМ. При выполнении в течение рабочей смены работ, относящихся к разным видам трудовой деятельности, за основную работу с ПЭВМ следует принимать такую, которая занимает не менее 50% времени в течение рабочей смены или рабочего дня.

Для видов трудовой деятельности устанавливается 3 категории тяжести и напряженности работы с ПЭВМ, которые определяются: для группы А – по суммарному числу считываемых знаков за рабочую смену, но не более 60 000 знаков за смену; для группы Б – по суммарному числу считываемых или вводимых знаков за рабочую смену, но не более 40 000 знаков за смену; для группы В – по суммарному времени непосредственной работы с ПЭВМ за рабочую смену, но не более 6 ч за смену.

4.1.2.2 Освещение

Одним из элементов, влияющих на комфортные условия работающих, является освещение. К нему предъявляются следующие требования:

- соответствие уровня освещенности рабочих мест характеру выполняемой работы;
- достаточно равномерное распределение яркости на рабочих поверхностях в окружающем пространстве;
- отсутствие резких теней, прямой и отраженной блескости;
- постоянство освещенности по времени;
- оптимальная направленность излучаемого осветительными приборами светового потока;
- долговечность, экономичность, электро – и пожаробезопасности, эстетичность, удобство и простота в эксплуатации.

В соответствии с задачами зрительной работы помещение относится к 1 группе, т. е. помещения, в которых производится различение объектов зрительной работы при фиксированном направлении линии зрения. Нормированное значение освещённости рабочей поверхности для данной

группы составляет 300 лк – согласно СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278 – 03. «Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещённому освещению жилых и общественных зданий» [43]. Это значение достигается применением совместного освещения, т.е. недостаточное естественное (через оконные проёмы) дополняется искусственным (с помощью люминесцентных ламп).

Естественное освещение – обуславливается световым потоком прямых солнечных лучей и диффузионным светом неба, т. е. многократным отражением солнечных лучей от мельчайших взвешенных в атмосфере частиц пыли и воды. Величина такого освещения изменяется как в течение года, так и в течение суток. Изменения в течение суток зависят от географических координат, расположения других зданий, месторасположения объекта, времени суток, прозрачности воздуха, облачности и других характеристик окружающей среды.

Естественное освещение характеризуется тем, что создаваемая освещенность изменяется в широких пределах, которые зависят от времени года, суток, метеорологических условий. Поэтому естественное освещение нельзя задать количественно. В качестве нормированной величины для естественного освещения используют коэффициент естественной освещенности (КЕО), который представляет собой отношение освещенности в данной точке внутри помещения к значению наружной освещенности, полностью открытого небосвода. Нормирование этого коэффициента определяется по таблице с учетом характера зрительной работы, системы освещения, района расположения объекта. Кроме количественного показателя КЕО используют качественный показатель – неравномерность естественного освещения. Для естественного освещения с размером объекта 0,15 мм естественное освещение находится в пределах 3 – 10 %.

В России нормируется еще один качественный показатель освещения – коэффициент пульсации освещенности. Нормирование этого показателя также потребовалось в связи с повсеместным внедрением газоразрядных

источников света, так как у излучения ламп накаливания пульсации весьма незначительны и каких-либо неудобств от их существования люди не испытывали. Установлено, что глубина пульсации освещенности на рабочих местах не должна превышать 20 %, а для некоторых видов производства – 15 %.

4.1.2.3 Микроклимат помещения

Микроклимат помещений для лёгкой категории работ включает определённую температуру и влажность. Нормы метеорологических условий учитывают время года и характер производственного помещения. В таблице 4.3 приведены нормы метеоусловий для категорий работ по тяжести Ia в соответствии с СанПиН 2.2.4.548 – 96 «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений» [44].

Таблица 4.3 – Нормы метеоусловий

| Холодный период года $t_{нар}^{возд}$ ниже +10, °С | | | | | | Тёплый период года $t_{нар}^{возд}$ +10, °С | | | | | |
|--|----------------------------|--------------------------------|-------------------------|----------------------------|--------------------------------|---|----------------------------|--------------------------------|-------------------------|----------------------------|--------------------------------|
| Оптимальные | | | Допустимые | | | Оптимальные | | | Допустимые | | |
| Температура воздуха, °С | Относительная влажность, % | Скорость движения воздуха, м/с | Температура воздуха, °С | Относительная влажность, % | Скорость движения воздуха, м/с | Температура воздуха, °С | Относительная влажность, % | Скорость движения воздуха, м/с | Температура воздуха, °С | Относительная влажность, % | Скорость движения воздуха, м/с |
| 22-24 | 40-60 | 0,1 | 19-26 | 15-75 | 0,1 | 23-25 | 40-60 | 0,1 | 20-29 | 15-75 | 0,1 |

Метеорологические условия для рабочей зоны производственных помещений регламентируются ГОСТ 12.1.005 – 88 «Общие санитарно –

гигиенические требования к воздуху рабочей зоны» [8] и СанПиН 2.2.4.548 – 96 «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений» [45].

Рассматривая вопросы охраны труда людей, работающих в компьютерной лаборатории, нельзя обойтись без рассмотрения вопроса вентиляции помещения. Вентиляция предназначена для создания на рабочем месте нормальных метеорологических и гигиенических условий за счёт организации правильного воздухообмена.

Проанализировав имеющуюся в помещении вентиляцию можно сказать, что:

1. По способу перемещения воздуха она является естественной и неорганизованной.
2. По назначению она осуществляет удаление (вытяжку) воздуха из помещения.
3. По месту действия она является общеобменной.

Количество приточного воздуха при естественном проветривании должно быть не менее $30 \text{ м}^3/\text{ч}$ на одного человека, при объёме помещения приходящегося на него менее 20 м^3 , что не выполняется. Следовательно, следует либо применить другой тип вентиляции, например, принудительную, либо устанавливать кондиционеры.

Кроме того допустимые нормы по запылённости должны соответствовать санитарным нормам для ПДК веществ 4 – ого класса опасности, и поддерживаются созданием соответствующих устройств вентиляции и влажной ежедневной двухразовой уборкой пола в помещении определяется ГН 2.2.5.1313 – 03 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны» [46].

4.1.2.4 Источники шума

По характеру спектра в помещении присутствуют широкополосные шумы. Источник шумов – электродвигатели в системе охлаждения и центральная система вентиляции ЭВМ. Допустимый уровень шумов для помещений компьютерных залов 50 дБ определяется СН 2.2.4/2.1.8.562 – 96 «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории застройки» [47] по шкале А шумомера – согласно ГОСТ 12.1.003 – 83. ССБТ «Шум. Общие требования безопасности» [48].

Защитой от шумов является заключение вентиляторов в защитный кожух и установка внутрь корпуса ЭВМ.

4.1.2.5 Электробезопасность при работе на ПЭВМ

Электрические установки – это большая потенциальная опасность для человека.

Специфическая опасность электроустановок в следующем: токоведущие проводники, корпуса стоек ЭВМ и прочего оборудования оказавшегося под напряжением в результате повреждения изоляции, не подают каких – либо сигналов, которые предупреждали бы об опасности. Реакция человека на электрический ток возникает лишь при протекании тока через тело.

Для предотвращения электротравматизма большое значение имеет правильная организация обслуживания действующих установок.

Во время работ в электроустановках для предупреждения электротравматизма очень важно проводить соответствующие организационные и технические мероприятия.

Организационные мероприятия:

- оформление работ нарядом или устным распоряжением;
- допуск к работе;
- надзор во время работы;

- оформление перерыва в работе;
- переводов на другое рабочее место;
- окончания работы.

Технические мероприятия, обеспечивающие безопасность работ со снятием напряжения:

- отключение оборудования на участке, выделенном для производства работ и принятием мер против ошибочного или самопроизвольного включения;
- ограждение при необходимости рабочих мест и оставшихся под напряжением токоведущих частей;
- вывешивание предупреждающих плакатов и знаков безопасности;
- проверка отсутствия напряжения;
- наложение заземления.

Особые требования предъявляются к обеспечению электробезопасности пользователей, работающих на персональных компьютерах. К их числу относятся следующие:

- все узлы одного персонального компьютера и подключенное к нему периферийное оборудование должны питаться от одной фазы электросети;
- корпуса системного блока и внешних устройств должны быть заземлены радиально с одной общей точкой;
- для отключения компьютерного оборудования должен использоваться отдельный щит;
- все соединения ПЭВМ и внешнего оборудования должны производиться при отключенном электропитании.

По способу защиты человека от поражения током оборудование относится к 1 классу электрических изделий, т. е. к изделиям, имеющим, по крайней мере, рабочую изоляцию и заземление, т. е. всё оборудование, имеет

защитную изоляцию, заземление – согласно ГОСТ 12.1.038 – 82 ССБТ. «Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов» [49].

4.2 Экологическая безопасность

4.2.1 Анализ возможного влияния объекта исследования на окружающую среду.

При использовании ПЭВМ могут возникнуть следующие виды негативного воздействия на окружающую среду:

- выбросы в атмосферу углекислого газа и образование тепла при пожаре;
- загрязнение почвы при утилизации старого ПЭВМ.

ПК после завершения использования (срока эксплуатации) можно отнести к отходам электронной промышленности. Переработка такого рода отходов осуществляется разделением на однородные компоненты, химическим выделением пригодных для дальнейшего использования компонентов и направлением их для дальнейшего использования: кремний, алюминий, золото, серебро, редкие металлы .

Пластмассовые части ПЭВМ утилизируются при высокотемпературном нагреве без доступа воздуха. ПК может содержать: тяжелые металлы, печатные платы с замедлителями горения, которые при горении могут выделять опасные диоксиды. Для опасных отходов используют теплоту сжигания, то есть специальные печи, такой способ не исключает образования токсичных выбросов. Отходы, которые не подлежат переработке, утилизации и вторичному использованию подлежат захоронению на полигонах или в почве.

Если уровень загрязнения не превышает установленных норм, то атмосферные осадки и любые воды организации сливаются в сеть канализаций. В другом случае вначале осуществляется локальная очистка с помощью решеток, отстойников, нейтрализационных установок и др., потом

может использоваться биологическая очистка. Биологическое разрушение (окисление) загрязняющих органических веществ, производимое биоценозом, позволяет достичь высокого качества воды. В сравнении с химическими методами, биологическая очистка имеет меньшую стоимость. Организация проводит дезинфекцию запасов воды хлорированием согласно [50].

4.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.

4.3.1. Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований.

4.3.1.1 Пожарная безопасность

Пожар – это неконтролируемое горение во времени и пространстве; пожар наносит материальный ущерб и создает угрозу жизни и здоровью человека.

Причины возникновения пожара в компьютерной аудитории могут быть:

- халатное неосторожное обращение с огнем (курение, оставление без присмотра нагревательных приборов);
- неправильное устройство и неисправность вентиляционной системы;
- самовоспламенение и возгорание веществ;
- короткое замыкание;
- статические электричество.

В современных ЭВМ очень высока плотность размещения электронных схем. В непосредственной близости друг от друга располагаются соединительные провода, коммуникационные кабели. При протекании по ним электрического тока выделяется значительное количество теплоты, что может привести к повышению температуры отдельных узлов до

80 – 100°С. При этом возможно оплавления изоляции соединительных проводов, их оголение и, как следствие, короткое замыкание, сопровождаемое искрением, которое ведет к недопустимой перегрузки элементов электронных схем. Они, перегреваясь, сгорают, разбрызгивая искры.

Следовательно, допускается работа только на исправных установках и приборах. К работе могут допускаться лица, прошедшие инструктаж, по технике безопасности.

Согласно нормам первичных средств пожаротушения ППБ 101 – 89 [51] с учётом наличия электроустановок напряжением до 1000 В, на 100 м² должны быть: один углекислотный огнетушитель типа ОУ – 2, ОУ – 5 или ОУ – 8. Категория по пожарной опасности – В – 4 так как имеются твердые горючие и трудногорючие вещества и материалы (в том числе пыль и волокна), способные при взаимодействии с водой, кислородом воздуха или друг с другом гореть.

Сотрудники лаборатории должны быть ознакомлены с планом эвакуации людей и материальных ценностей при пожаре. План эвакуации должен находиться в каждом помещении и на каждом этаже лестничной клетки (рисунок 1).

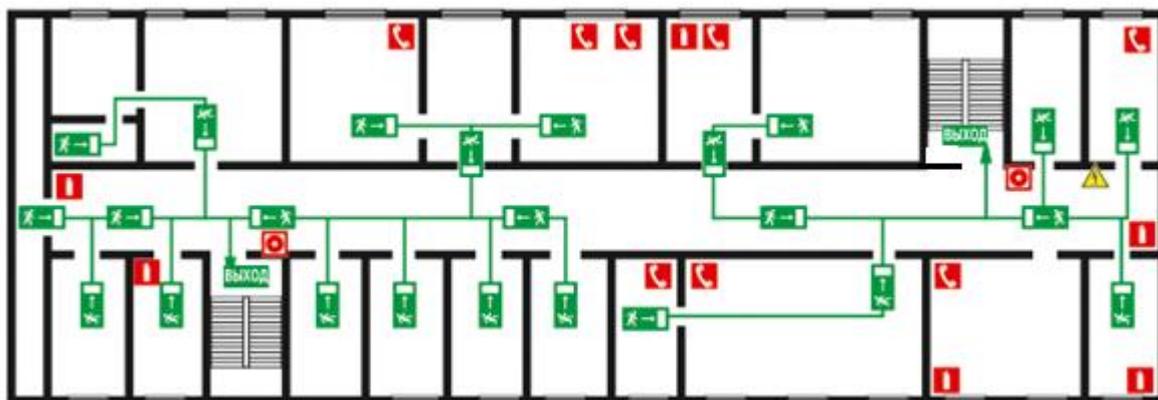


Рисунок 4.1 – План эвакуации людей при пожаре и других ЧС
(первый этаж)

4.3.1.2 Региональная безопасность

В помещении, в котором осуществляется процесс проектирования, используется офисная техника, в состав которой входят: компьютеры; принтеры; сканеры. Она относится к классу высокотехнологичных изделий.

При эксплуатации компьютерной техники к расходным материалам, не подлежащим восстановлению, относятся:

- манипулятор «мышь»;
- клавиатура.

Клавиатура и манипулятор более чем на 90 % состоят из пластика. Срок эксплуатации, по данным производителей, составляет примерно 5 лет.

При эксплуатации копировальной техники и принтеров остаются использованные картриджи, состоящие примерно на 90 % из пластика. Большинство моделей картриджей рассчитано на одноразовое использование и дополнительной заправке не подлежат. По окончании срока эксплуатации использованные картриджи должны передаваться на восстановление в специализированные предприятия, однако в реальной ситуации картриджи поступают в отходы.

В результате эксплуатации офиса образуются твердые бытовые отходы, в состав которых входит бумага, картон, пластик, люминесцентные лампы.

Разумным подходом к утилизации твердых бытовых отходов является организации вторичной переработки вместо вывоза аппаратуры на свалки.

Таким образом, удастся получить некоторое количество ценных материалов, пригодных для повторного использования в качестве сырья, исключая стадию их добычи или изготовления. Данный способ позволят сократить расходы производства и снизить нагрузку на окружающую среду за счет уменьшения технологического цикла. Утилизация офисной техники с помощью профессионалов, позволяет обеспечить стабильное

функционирование процессов производства с использованием вторичных материалов.

4.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.

4.4.1 Специальные (характерные для рабочей зоны исследователя) правовые нормы трудового законодательства

«Высота рабочей поверхности стола для взрослых пользователей должна регулироваться в пределах 680 - 800 мм, при отсутствии такой возможности высота рабочей поверхности стола должна составлять 725 мм.

Модульными размерами рабочей поверхности стола для ПК, на основании которых должны рассчитываться конструктивные размеры, следует считать: ширину 800, 1000, 1200 и 1400 мм, глубину 800 и 1000 мм при нерегулируемой его высоте, равной 725 мм.

Рабочий стол должен иметь пространство для ног высотой не менее 600 мм, шириной - не менее 500 мм, глубиной на уровне колен - не менее 450 мм и на уровне вытянутых ног - не менее 650 мм.

Конструкция рабочего стула должна обеспечивать:

- ширину и глубину поверхности сиденья не менее 400 мм;
- поверхность сиденья с закругленным передним краем;
- регулировку высоты поверхности сиденья в пределах 400 - 550 мм и углам наклона вперед до 15 град, и назад до 5 град.;
- высоту опорной поверхности спинки 300 плюс-минус 20 мм, ширину - не менее 380 мм и радиус кривизны горизонтальной плоскости - 400 мм;
- угол наклона спинки в вертикальной плоскости в пределах плюс-минус 30 градусов;

- регулировку расстояния спинки от переднего края сиденья в пределах 260 - 400 мм;
- стационарные или съемные подлокотники длиной не менее 250 мм и шириной - 50 - 70 мм;
- регулировку подлокотников по высоте над сиденьем в пределах 230 плюс-минус 30 мм и внутреннего расстояния между подлокотниками в пределах 350 - 500 мм.

Рабочее место пользователя ПК следует оборудовать подставкой для ног, имеющей ширину не менее 300 мм, глубину не менее 400 мм, регулировку по высоте в пределах до 150 мм и по углу наклона опорной поверхности подставки до 20°. Поверхность подставки должна быть рифленой и иметь по переднему краю бортик высотой 10 мм.

Клавиатуру следует располагать на поверхности стола на расстоянии 100 - 300 мм от края, обращенного к пользователю или на специальной, регулируемой по высоте рабочей поверхности, отделенной от основной столешницы.

Экран видеомонитора должен находиться от глаз пользователя на расстоянии 600 - 700 мм, но не ближе 500 мм.

Рекомендуется работать в помещении, где окна выходят на север или северо-восток. Местное освещение не должно создавать блики на поверхности экрана дисплея. Недопустим яркий нерассеянный верхний свет (с потолка). Сдерживать поток избыточного света от окон следует с помощью жалюзи (или тканевых штор);

– чистота обязательна при работе за компьютером. Влажную уборку помещения следует проводить ежедневно. Недопустима запыленность воздуха, пола, рабочей поверхности стола и техники. Помещение должно быть оборудовано системами вентиляции, кондиционирования и отопления. Запрещается работа на компьютере в подвальных помещениях.

Вывод

В разделе «Социальная ответственность» рассмотрена компьютерная лаборатория на предмет возникновения вредных (воздействие электромагнитного поля на оператора ПЭВМ, освещение, микроклимат помещения, источники шума) и опасных факторов (электробезопасность при работе на ПЭВМ, пожарная безопасность).

Нормированное значение освещённости рабочей поверхности для данной компьютерной лаборатории составляет 300 лк – согласно СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278 – 03 «Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещённому освещению жилых и общественных зданий». Это значение достигается применением совместного освещения, то есть недостаточное естественное (через оконные проёмы) дополняется искусственным (с помощью люминесцентных ламп).

При работе с персональными компьютерами в лаборатории выполняются все требования, установленные СанПиН 2.2.2/2.4.1340 – 03. Санитарно – эпидемиологические правила и нормативы «Гигиенические требования к персональным электронно – вычислительным машинам и организации работы».

Также работниками соблюдаются правила безопасности. Сотрудники компьютерной лаборатории ознакомлены с планом эвакуации людей и материальных ценностей при пожаре.

Заключение

По результатам проведенного исследования можно сформулировать следующие выводы.

Выявлено, что при совместном использовании в качестве антипиренов гидроксидов алюминия и магния, оксида сурьмы и бората цинка значительно повышается кислородный индекс поливинилхлоридного пластика. При этом антипирены действуя по различным механизмам и проявляя синергический эффект оказывают комплексное воздействие на снижение горючести поливинилхлоридного пластика.

Определены количественные соотношения антипиренов с различными механизмами действия, обеспечивающие высокое значение кислородного индекса для поливинилхлоридного пластика. Использование в ПВХ-пластикатах смеси гидроксидов алюминия, магния бората цинка и трехокись сурьмы при соотношении 50:50:22 обеспечивается повышение значения $KI=30$, снижение дымообразования и выделения хлористого водорода.

Проведенные натурные испытания конструкции на основе модифицированного ПВХ-пластиката подтверждают полученные результаты.

Получение материала с более высоким кислородным индексом для кабельной промышленности затруднено в связи с тем, что увеличение объемного содержания антипирена в оболочке приводит к уменьшению его относительного удлинения, поэтому необходимо рассматривать другие альтернативные пути повышения негорючести материалов. К которым в частности относится интумесцентные системы и микрокапсулирование. С моей точки зрения микрокапсулированные системы имеют наибольший потенциал для применения в кабельной промышленности, в связи с тем, что они обладают большей технологичностью по сравнению с карбонизированной системой.

Список использованных источников:

1. Пешков И.Б., Уваров Е.И. Кабельная промышленность России и СНГ. Этапы развития, новые задачи // Кабели и провода. – 2009. – №5 (318). – С. 4–10.
2. Мещанов Г.И., Каменский М.К. Развитие производства и расширение областей применения новых типов пожаробезопасных кабелей в России // Кабели и провода. – 2007. – № 4(305). – С.5–9.
3. Миткевич А.С., Паверман Н.Г., Елагина А.Н Кабельные композиции на основе полиэтилена и поливинилхлорида. Тенденции развития в России//Кабели и провода. – 2007. – №1(302). – С.3–7.
4. Руководство по разработке композиций на основе ПВХ/ пер. с англ.; под ред. Р.Ф. Гроссмана. – 2-е изд. – СПб.: НОТ, 2009. – 608 с.
5. Барштейн Р.С., Кирилович В.И., Носовский Ю.Е. Пластификаторы для полимеров. – М. : Химия, 1982. –200 с.
6. Мамбиш С.Е. Карбонатные наполнители фирмы ОМАУ в поливинилхлориде. Часть 2. Карбонаты в пластифицированном поливинилхлориде// Пластические массы. – 2008. –№2. – С. 5 – 10.
7. Поливинилхлорид/ пер. с англ.; под ред. Ч. Уилки; Дж. Саммерса; Ч. Даниэлса. – СПб.: Профессия, 2007. – 726 с.
8. Обзор рынка пластификаторов в СНГ. [Электронный ресурс].–Режим доступа: <http://www.infomine.ru>, – Загл. с экрана.
9. Лямкин Д.И., Жемерикин А.Н. Кобец А.В и др. Влияние условий термического старения на структурно-механические свойства ПВХ пластиката// Пластические массы. – 2007. –№8. –С.22-25.
- 10.Барштейн Р.С., Кирилович В.И., Носовский Ю.Е. Пластификаторы для полимеров. – М. : Химия, 1982. –205 с.
- 11.Каменский М.К., Крючков А.А., Байков В.А. Оценка долговечности пожаробезопасных кабелей// Кабели и провода. –2007. –№4. – С.16-19

- 12.Руководство по разработке композиций на основе ПВХ/ пер. с англ.; под ред. Р.Ф. Гроссмана. – 2-е изд. – СПб.: НОТ, 2009. – 608 с.
- 13.Алиев И.И., Кабельные изделия – 2001. - 62-64
- 14.Kasahiwagi, T., Proc. 25 th Internat. Symposium on Combustion, 1994. Pp 14213-1437
- 15.Beyler, C.M., Hirschler, M.M., «Thermal Decomposition of polymers» in SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, 1988, pp 1-119.
- 16.Маклаков А.И. Колебания диффузионных пламен, возникающих при ламинарном режиме течения горючего / А.И. Маклаков // Журнал физической химии- 1956. - Т.30. - № 3. - С.708.
- 17.Кодолов В.И. Горючесть и огнестойкость полимерных материалов / В.И. Кодолов.-М.: Химия. - 1976. - 160 с.
- 18.Качановская Л.Д. Огнестойкие полимерные композиции / Л.Д. Качановская, Л.М. Самохвалова, Л.П. Синчук - М.: НИИТЭХИМ. - 1987. -№ 9. - 66 с.
- 19.Халтуринский Н.А. Физические аспекты горения полимеров и механизм действия ингибиторов / Н.А. Халтуринский, Т.А. Рудакова /
- 20.Берлин Ал. Ал. Горение полимеров и полимерные материалы пониженной горючести / Ал. Ал. Берлин // Соросовский образовательный журнал. - 1996. - № 9. - с.57-63.
- 21.Уилки Ч. Поливинилхлорид / Ч. Уилки, Дж. Саммерс, Ч. Даниелс -СПб.: Профессия. - 2007. - 728 с.
- 22.Асеева Р.М. Горение полимерных материалов / Р.М. Асеева, Г.Е. Заиков - М.:Наука.-1981.-280с.
- 23.Щеков А. А. Новый наполнитель для снижения горючести поливинилхлоридных материалов / А.А. Щеков, В.В. Анненков // Пластические массы. - 2007. - № 9. - с.42-43.
- 24.Quintiere J. G. Smoke measurements: An assessment of correlations between laboratory and full-scale experiments / J. G. Quintiere // Fire and Materials. -

1982. - v.6. - № 3. - p. 145-160.
25. Ушаков В.А. Пути снижения горючести полимерных материалов / В.А. Ушаков, Р.М. Асеева, Р.А. Андриянов, Е.Н. Бикбулатова // Пластические массы.-1975.-№ 12.-е
26. Каменский М.К., Пешков И.Б. Состояние и перспективы производства электрических кабелей с повышенными показателями пожарной безопасности. [Электронный ресурс].— Режим доступа: <http://www.ruscable.ru>, – Загл. с экрана
27. Nedjar M., Boubakeur A., Bérroual A., Bournane M. Thermal aging of polyvinyl chloride used in electrical insulation.// Ann. Chim. Sci. Mat., 2003. – V. 28. – P. 97 – 104.
28. Кодолов В.И. Замедлители горения полимерных материалов. – М.: Химия, 1980. – 274 с
29. Антонов А.В. Горение коксообразующих полимерных систем / А.В. Антонов, И.С. Решетников, Н.А. Халтуринский // Успехи химии- 1999- №7.-с.663-673.
30. Поливинилхлорид/ пер. с англ.; под ред. Ч. Уилки; Дж. Саммерса; Ч. Даниэлса. – СПб.: Профессия, 2007. – 726 с.
31. Каменский М.К., Крючков А.А., Байков В.А. Оценка долговечности пожаробезопасных кабелей// Кабели и провода. –2007. –№4. – С.16-
32. Виндижева А. С. Разработка огнестойкого поливинилхлоридного пластиката. / Виндижева А.С., Сапаев Х.Х., Мусов И.В., Хаширова С.Ю.,
33. Виндижева А.С. Поливинилхлоридный пластикат с повышенной огнестойкостью / Виндижева А.С., Хаширова С.Ю., Сапаев Х.Х., Мусов И.В., Микитаев А.К. // Научно-технические технологии. - 2012. - № 1. - С. 27-30.

34. Мусов И.В. Влияние оксидов и гидроксидов металлов на процесс коксообразования и выделения хлороводорода при термическом разложении ПВХ-пластиката
35. Мусов И.В., Виндижева А.С., Сапаев Х.Х., Хаширова С.Ю., Микитаев А.К. // Материалы VIII Международной научно-практической конференции "Новые полимерные композиционные материалы". - Нальчик, 2012. - С. 171-173.
36. ТУ 2246-475-05761784-2004 . Пластикат поливинилхлоридный Элигран® для производства кабелей пониженной пожароопасности типа ПП. Технические условия.
37. ГОСТ 5960-72 . Пластикат поливинилхлоридный для изоляции защитных оболочек проводов и кабелей. Технические условия.
38. ГОСТ 12.0.003 – 74 «Система стандартов безопасности труда. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация».
39. Основы кабельной техники: учебник/ под ред. И. Б. Пешкова. – М.: Академия, 2006. – 432 с.
40. Пешков И.Б., Уваров Е.И. Кабельная промышленность России и СНГ. Этапы развития, новые задачи // Кабели и провода. – 2009. – №5 (318). – С. 4–10.
41. ГОСТ 15845-80. Изделия кабельные. Термины и определения.
42. СанПиН 2.2.2/2.4.1340 – 03. Санитарно – эпидемиологические правила и нормативы «Гигиенические требования к персональным электронно – вычислительным машинам и организации работы».
43. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278 – 03. «Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещённому освещению жилых и общественных зданий».
44. СанПиН 2.2.4.548 – 96 «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений».

- 45.ГОСТ 12.1.005 – 88 «Общие санитарно – гигиенические требования к воздуху рабочей зоны».
- 46.СН 2.2.4/2.1.8.562 – 96 «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории застройки».
- 47.СН 2.2.4/2.1.8.562 – 96 «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории застройки».
- 48.ГОСТ 12.1.003 – 83. ССБТ «Шум. Общие требования безопасности».
- 49.СанПиН 2.2.2.542 – 96 «Гигиенические требования к видеодисплейным терминалам, персональным электронно – вычислительным машинам и организации работы».
- 50.ППБ 101 – 89 «Правила пожарной безопасности для общеобразовательных школ, профессионально – технических училищ, школ – интернатов, детских домов, дошкольных, внешкольных и других учебно – воспитательных учреждений».
- 51.СанПиН 2.2.2/2.4.1340–03. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы».

**Приложение А
(Обязательное)**

Increasing fire safety of power cables

Студент:

| Группа | ФИО | Подпись | Дата |
|---------------|-------------------------------|----------------|-------------|
| 5ГМ4В | Данзанова Саяна Александровна | | |

Консультант кафедры ЭКМ:

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|---|--------------|-----------------------------------|----------------|-------------|
| Старший преподаватель кафедры ЭКМ | Шуликин С.Н. | | | |

Консультант – лингвист кафедры ИЯЭИ:

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|--|-----------------|-----------------------------------|----------------|-------------|
| Старший преподаватель кафедры ИЯЭИ | Федоринова З.В. | к.п.н. | | |

Introduction

Cable products are often one of the common causes of fires. They contribute to the spread of flames and fires quickly over long distances, when they are being laid in buildings, tunnel structures and communications. In this regard, production of fireproof cables is the extremely actual task.

The aim of the present work is to modify flexible PVC cables with high fire safety taking into account their operational properties

The objectives of the work are:

- to analyze literature data;
- to analyze the effect of different flame retardants;
- to estimate the results of the tests
- to offer new ways for increasing fire safety

The research object of the present work is the flexible PVC with low fire hazard.

The scientific novelty of the work lies in the fact that a certain ratio in mass fractions of flame retardants, their mutual enhancement is observed which leads to an increase in oxygen index.

The practical value of the work lies in the fact that determined quantitative ratio of flame retardants with different mechanisms of action

Structure and volume of the work

Our work has of 126 pages (excluding appendix) and consists of introduction, four basic units, conclusion, reference and appendices. Each unit consists of several logically interconnected chapters followed by a conclusion where we enumerate the results of our work concerning that unit. The total outcome of the research is summarized in a separate conclusion. Our references consist of 51 sources represented by books of Russian and foreign authors.

1. Polymer combustion

Polymers are chemical compounds or mixtures of compounds consisting of a relatively large number of repeating structural links (Figure. A.1.1).

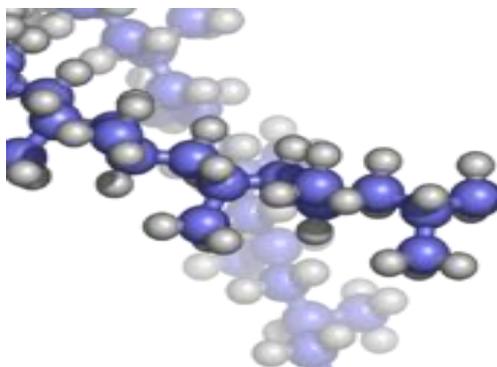


Figure. A.1.1 - polymer matrix

Compound these molecules is achieved by the polymerization process. The term derives from the ancient Greek words «polú» («poly» meaning «many») and «méros» («meros» meaning «part»), and refers to a process through which molecules of high molecular weight are formed. Polymers are thus composed of «chains» of atoms linked to one another. When all the structural links correspond to the same monomer, the material is called a homopolymer, on the contrary, copolymers are compounds in the molecules of which different structural links exist [1].

Polymers can be natural or synthetic and they were initially classified, according to their response to temperature. Polymers are also classified according to the type of the polymerization reaction. [2]. Due to their chemical structure, polymers are generally combustible. When exposed to sufficient heat, they decompose (pyrolyze) generating combustible gases which mix with the oxygen of the ambient air to form an ignitable blend. Ignition occurs either impulsively if the temperature is adequate for autoignition (defined as the temperature at which the activation energy of the combustion reaction is achieved) or at a lower temperature (called the flash point) due to the presence of an external source (flame or spark).

Upon combustion, heat is released, a part of which is transferred to the substrate promoting further decomposition.

Therefore, apparent that for the development of a sustained fire, the so-called fire triangle (Figure. A.1.2) should be established, which means that the contribution of three elements are essential: a hot medium, heat and oxygen [3].

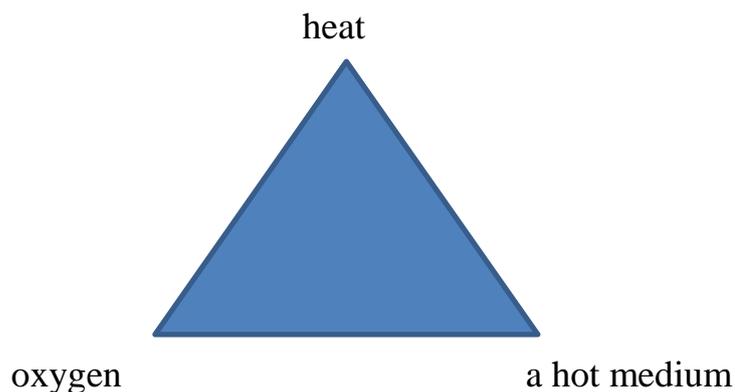


Figure. A.1.2 - combustion cycle

The amount of heat needed to initiate combustion is mainly determined by the physical characteristics of the polymer. In particular, ignitability basically depends on the rate that the surface of the polymeric material reaches the temperature required for ignition. Accordingly, the energy stored by the polymer during its exposure to a source of heat correlates with its heat-storage capacity, enthalpy of fusion, and degree of crystallinity. For example, thermosetting polymeric materials do not melt and do not undergo simple phase changes upon heating; thus, heating leads directly to polymer decomposition. This is also the case for amorphous thermoplastics due to the absence of a melting point.

The most important mechanisms of polymer thermal decomposition are the following: (1) random chain scission, in which the polymer chains split at random locations into smaller fragments; (2) chain-end scission, where individual monomer units are successively removed from the chain ends; (3) chain stripping, during which elimination of atoms not part of the polymer chain or pendant groups

are cleaved without breaking of the backbone; and (4) cross-linking, in which bonds are created between polymer chains. In most cases, the thermal decomposition of a polymer involves more than one of these reaction mechanisms [4]. Generally, the degradation pathway is the result of the combination of the effects of both heat and oxygen. Degradation can be therefore distinguished into nonoxidizing thermal degradation and oxidizing thermal degradation. In the first case, chain scission takes place due to the individual effect of temperature, leading to varying degrees of material depolymerization. The main factors governing initial scission include the presence of oxygen atoms in the polymer backbone, the existence of catalyst residues, and/or former residues of oxidation, and the presence of the chemical defects (e.g. weak bonds) in the polymer chains. In oxidizing conditions, the polymer reacts with the oxygen of the air, generating low molecular weight products (carboxylic acids, alcohols, aldehydes, etc.), and/or very reactive species. Through recombination reactions of the macromolecular radicals, oxidative thermal degradation can lead also to cross-linking. In terms of flammability, polymers undergoing random scission and depolymerization are usually more flammable than polymers, which experience cross-linking or pendant group elimination upon heating. The latter two mechanisms (cross-linking and pendant group removal) result in the production of species, which acting as precursors of char, reduce flammability. The char development proceeds basically through four stages: (1) cross-linking, (2) aromatization, (3) fusion of aromatics, and (4) graphitization. The tendency of a polymer to form char during heating depends principally on its structure. For instance, polymers with short flexible bonds between aromatic rings are inclined to cross-linking and, thus, charring. Nonetheless, polymers, without inherent inclination to cross-link, can undergo charring through the addition of specific flame retardants [5].

2 The stages of fire evolution and the corresponding hazards

Within a closed compartment, a fire can go through several phases of growth (Figure. A.2.1). In order, these are the following:

- *Ignition*: First, the fuel source is ignited and undergoes sustained combustion. As mentioned in the previous section, the ignition event occurs when flammable products (i.e. fuel) evolved from a decomposing (owing to its exposure to a heat source) material mix with oxygen from the surrounding air. When the lower flammability limit is reached (a flammable mixture has been formed), the mixture will either autoignite if the autoignition temperature has been reached, or ignite due to the presence of external flame or spark. As a consequence, a flame appears producing heat, some of which is transferred back to the surface of the fuel maintaining the generation of flammable volatiles. In fact, an equilibrium is established between the rate of heat transfer back to the fuel, the heat losses from the fuel, and the evolution of degradation products.

- *Growth*: The fire grows if adequate fuel and oxygen are available, causing the continuous increase of room temperature. The initial growth of a fire mainly depends on the fuel itself; the combustible materials within the compartment have little or no influence. In this stage, materials exposed to the flame ignite when the temperature exceeds 350-500 °C.

- *Flashover*: Flashover takes place when all combustible items in the compartment are involved in fire. Hence, an unchecked fire eventually grows rapidly, resulting in an increase of temperature and heat, which motivates the ignition of nearby materials (by heat transfer). Flashover is not a precise term since a strict definition of this stage is not possible; typically, it usually occurs when the average upper gas temperature in the room exceeds approximately 600 °C.

- *Fully developed fire*: Once the heat release rate (HRR) and temperature are at their prime, a fully developed fire is evident. The fire may spread to other parts of the building and (when severe enough) may induce structural damage to it.

- *Decay*: Decay eventually occurs due to the consumption of all combustible materials (or as a consequence of fire suppression systems, such as sprinklers,

operation). Thus, the HRR declines and the compartment temperature to falls. During this period, the fire may be changed from ventilation- to fuel-controlled [6].

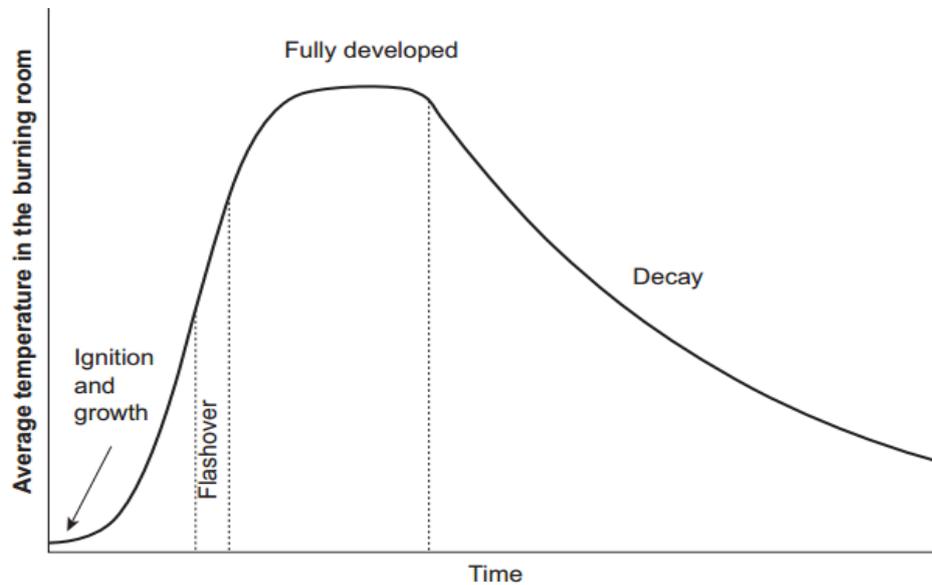


Figure. A.2.1 Schematic representation of a compartment fire versus time.

Depending on ventilation and the burning rate of the polymer, smoke can be the main fire hazard, containing asphyxiant gases which cause incapacitation, soot which absorbs light limiting visibility, and acid gases which are irritating to eyes and nasal passages causing respiratory tract pain and breathing difficulties. More specifically, the most hazardous toxic products generated during fire are organic irritants (such as formaldehyde, phenol, and styrene), inorganic irritants (such as hydrogen halides, nitrogen oxides, and phosphates), and asphyxiant gases (such as CO, HCN, and CO₂). Inadequate heat in the gas phase, quenching of the flame reactions (e.g. when halogens are present in the flame), the presence of stable molecules (such as aromatics) in well-ventilated conditions, and insufficient oxygen (e.g. in underventilated fires) are considered to be the main reasons of CO production during fire. Carbon monoxide is the principal toxic gas and, as concluded through postmortem studies, it comprises the major cause of death in fires. There is an exposure level to each toxic gas (especially CO and HCN), established by animal experimentation, which results in the loss of consciousness eliminating escape capability and, at a higher dose, in death. Under well-ventilated

conditions and in the growth stage, limited visibility or radiant heat flux is often the first tenability criterion reached in the room of origin, followed by the toxic gas criteria. However, in several cases, even if the escape from the immediate area of flames and the high temperatures encountered there is achieved, the movement of smoke with growing levels of toxic and/or irritant compounds can cause injury or death far from the source of fire. Fire is constrained inside the room of origin until the flashover; after that point, fire fully develops and spreads to other parts of the building rendering death, as a result of burning or hyperthermia (due to the effect of heat), possible [7].

3. Fire testing

The performance against fire of polymers is mainly evaluated through ignitability, flame spread, and heat release. In order to assess (one or more of) these flammability characteristics, appropriate tests are conducted, depending on the intended application of the polymeric material in question. Numerous tests have been developed and performed either in laboratory scale on small representative samples or during industrial manufacturing on final products. The commonly used (mostly in laboratory scale) test is the LOI test. Standardized as ASTM D2863 or ISO 4589, this test is applied to quantify the resistance to ignition of a polymeric material. In particular, the minimum oxygen concentration in nitrogen, which supports the combustion of the material for at least 3 min or for the consumption of 5 cm of the sample, is evaluated. LOI is expressed as

$$\text{LOI} = \frac{100}{1} \left(\frac{[\text{O}_2]}{[\text{O}_2] + [\text{N}_2]} \right)$$

Hence, the more the oxygen required (the higher the LOI value), the more fire resistant the material is considered to be. Given that air contains 21% oxygen, polymeric materials with an LOI value lower than 21 are categorized as combustible, whereas those with LOI above 21 are classified as self-extinguishing since their combustion cannot be maintained at ambient temperature without the contribution of an external energy source. The apparatus utilized consists of a glass tube, in which the specimen is vertically mounted (Figure. A.3.1).

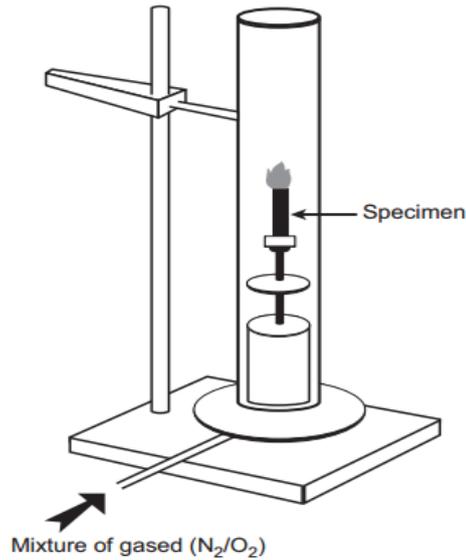


Figure. A.3.1 Schematic view of the limiting oxygen index test apparatus.

During the test, a slow stream of oxygen-nitrogen mix is supplied at the bottom of the tube and a small candle-like flame is applied to the top of the specimen in an attempt to ignite it. The specimen size and shape are not strictly specified in this test; usually bars of about 100 mm × 65 mm × 3 mm are generally employed when testing rigid plastics. Despite the fact that the LOI test is quite unsophisticated and does not represent a real fire scenario, it still remains one of the most important quality control tools used in the plastics industry because it gives a numerical value instead of a discrete classification [8].

4. Flame retardants

Successful strategies to improve the performance of a polymeric material against fire involve interrupting the combustion process at one or more of its complex stages, with the aim of inhibiting ignition, reducing the burning rate and/or changing the mechanism of combustion. In essence, the main objective is to exclude one of the three required components of fire: (1) the combustible substance or fuel, (2) the heat supplied either externally or from the combustion process itself, and (3) the oxidizing gas (primarily oxygen). In practice, this is accomplished either (1) by the mechanical blending of a suitable flame-retardant compound with the polymeric material during the transformation process or (2) by

the chemical incorporation of the flame retardant into the polymer during synthesis (by copolymerization) or through chemical modification of the preformed polymer (chemical grafting using a reactive component). The first category of flame retardants, the so-called additive flame retardants are designed not to react with the polymer at the stage of blending but only at higher temperatures, at the beginning of a fire. On the other hand, reactive flame retardants, which comprise the second category of flame retardants, are integrated in the polymer chains (covalently attached). This is why they offer several advantages over those that are merely additives. More specifically, owing to the fact that their incorporation takes place at the time of polymerization, they can be homogeneously dispersed preventing the formation of separate phase, which causes problems during the processing of the polymer into final plastic product. Moreover, since “mixing” occurs at the molecular level, reactive flame retardants are inherently immobile within the polymer, being thus less susceptible to loss during service through migration to the polymer surface (blooming) or due to solvent leaching. Additionally, lower concentrations (compared that of additives) are needed to achieve the desired level of flame retardancy; thus, the overall properties of the polymer are less likely to be adversely affected. Despite these merits of the reactive ones, the additive flame retardants are more generally used; the reasons behind their popularity are wider applicability and lower cost. More particularly, the reactive modification of chain-growth polymers is less readily accomplished than for step-growth polymers. Furthermore, extensive reactive modification of a partly crystalline polymer is likely to result in a considerable reduction of crystallinity (additive flame retardants end up in the amorphous phase). Besides, reactively modifying polymers for which commercially well-established methods for manufacturing already exist would lead to a significant increase of expenses [9].

Regardless of their type (additive or reactive), flame retardants, depending on their nature, interfere with the combustion cycle through physical or chemical

modes of action. The main underlying physical mechanisms for hindering combustion are the following:

- Promotion of endothermic reactions (heat sink), which cool the substrate to a temperature below that required to maintain combustion.
- Generation of inert gases, which dilute the oxygen supply at the surface of the burning polymer, resulting in flame snuffing because of lack of oxidizing agent.
- Formation of a protective impermeable coating, which decreases the amount of heat transferred to the polymer, hampers the diffusion of oxygen to the area of decomposition, and impedes the escape of volatile flammable gases generated during polymer decomposition.

Speaking about toxicity, the public concern and the (increasingly) prohibitive legislation with regard to the persistent, bioaccumulative and toxic nature of several halogen-based compounds have divided flame retardants into two categories: halogenated and nonhalogenated. The class of halogen-free compounds is further disintegrated into smaller categories; the most frequently referred in literature are phosphorus-based flame retardants, nitrogen compounds, intumescent systems, mineral flame retardants (metal hydroxides and born compounds), silicon-based additives, and nanoparticles. Even though intumescent systems usually contain phosphorous and nitrogen substances, they perform differently than their individual counterparts; therefore, they comprise a separate class of flame retardants. The mode of action of each group is described in the following sections

4.1. Halogen-based flame retardants

Even though a wide variety of flame retardants have been developed, halogenated compounds, due to their cost, availability, and extensive industry experience with this class of additives, have been the most frequently employed for enhancing the flame retardancy of polymers. Halogen-based flame retardants interfere with the combustion cycle primarily through free-radical scavenging mechanisms, inhibiting the flame propagation in the vapor phase. As already

mentioned, (solid and liquid) materials burn only if they can be made to generate volatiles, which when mixed with oxygen, form a combustible mixture; hence, the phenomena that lead to ignition and the release of heat are those of the gas phase. There are literally thousands of chemical reactions occurring in the flame that convert oxygen and fuel to stable combustion products. However, kinetic modeling and experimental data have shown that the burning velocity is most sensitive to reactions involving active radicals of fuel (R), hydroxyl (OH), hydrogen (H), and oxygen (O).

Typical representatives of the halogenated flame retardants are chlorine-, bromine-, fluorine-, and iodine-containing compounds, with the first two comprising in tonnage terms the most widely used members of this group. This is due to the fact that efficiency and stability, depending on the kind of the halogen, are the two primary factors that determine the type of the compound that can be used as flame retardant. Fluorine- and iodine-based compounds are not employed owing to their inability to interfere with the polymer combustion process. Fluorinated organics are more stable than most commercial polymers and do not release fluorine radicals or hydrogen fluoride at the temperature range, where the decomposition of the polymers takes place. On the contrary, iodinated compounds are less thermally stable than most polymers, thus releasing halogenated species during polymer processing. An additional reason that limits the development of flame retardants based on these two halogens is the higher cost of fluorine and iodine compared to that of chlorine or bromine. Bromine and chlorine, due to their low bonding energy with carbon atoms, are released at a somewhat lower temperature than the decomposition temperature of the polymer, inhibiting the combustion process in the gas phase, especially via the previously discussed free-radical mechanism. As a general rule, the thermal stability of halogenated flame retardants decreases as brominated aromatic > chlorinated aliphatic > brominated aliphatic (chlorinated aromatic products are relatively stable and therefore not very efficient to be used as flame retardants) [10].

4.2. Phosphorous-based flame retardants

The phosphorus-containing substances comprise, value-wise, one of the most commonly used groups and probably the fastest growing segment of flame retardants due to their versatility and the increasing environmental awareness of the problems arising from the use of halogen-based additives. Since the element exists in several oxidation states, the range of phosphorus-containing flame retardants is extremely broad, allowing a wide variety of applications. Phosphorus-based chemicals are employed for enhancing the fire performance of thermoplastics, thermosets, textiles, paper, coatings, and mastics. They can be added in the polymer by simple blending or they may be incorporated into the polymer chains through homopolymerization, or copolymerization. Their flame-retardant mechanism depends on the type of phosphorus compound, the chemical structure of the polymer, and the fire exposure conditions. Phosphorous compounds can function through various mechanisms, in the condensed polymer or in the gas phase, and possibly in both phases concurrently. Regarding the operation in the condensed phase, it is generally accepted that phosphorus flame retardants are notably more efficient in oxygen- or nitrogen-containing polymers, which could be either heterochain polymers or polymers with these elements in pendant groups. By generating anhydrides of phosphoric and related acids, which act as dehydrating agents, phosphorous compounds react with these polymers promoting char formation (dehydration reactions lead to the formation of double bonds, which at elevated temperatures result in cross-linked or carbonized structures). In general, the chemical reactions involved in the decomposition of the matrix are redirected in favor of those yielding carbon rather than CO or CO₂. The charring mode of action of phosphorus can be exploited even in the case of poor char forming polymers, such as polyolefins and styrenics, through the introduction of a char forming additive. The acids evolved during the degradation of phosphorous-based chemicals can also form a thin glassy or liquid protective

coating on the condensed phase, lowering thus the oxygen diffusion, as well as the heat and mass transfer between the gas and the condensed phase.

Phosphorous-based flame retardants can either be inorganic or organic. The most commonly used inorganic compounds are red phosphorous and ammonium polyphosphate. The latter is mainly employed in intumescent formulations; its mode of operation will be hence discussed in the corresponding section. Red phosphorus, typically manufactured as a red black powder, is the simplest and most concentrated source of phosphorus for flame retardancy. Added just in small quantities, it is very effective in a wide range of polymeric systems including polyolefins, polyamides, polyesters, and thermosetting resins. In Europe, it is used in electrical parts (e.g. electrical switches) molded from glass-filled nylon. Red phosphorous is believed to act principally in the solid phase through the formation of phosphoric acid, although some evidence also suggests free-radical scavenging. Except its red color that impairs the optical homogeneity of the polymer matrix, the main disadvantage of red phosphorus is its propensity (attributed to its poor thermal stability) to react with water (moisture) during melt compounding, releasing the highly toxic phosphine (PH_3). An efficient route of minimizing the trace amounts of phosphine involves the incorporation of metal oxides (such as copper oxide, cadmium oxide, or zinc oxide), which transform phosphine into phosphoric acid. Alternatively, prior to use, red phosphorus can be coated with a resin [11].

The growing need for the development of commercially viable and environmentally benign flame retardants, capable of competing the halogenated compounds, has rendered the approach of synthesizing formulations based on phosphorus containing substances popular. In particular, it has been understood that currently the most feasible route to control or change the mechanisms of action and thus optimize the flame retardant efficiency of phosphorous compounds involves their combination with other (conventional) flame retardants. Numerous synergists or adjuvants have been examined for this purpose, proving that there is

no universal synergist for phosphorus compounds as it is, for example, known for flame retardants containing halogen and antimony. In fact, various metal oxides, borates, inorganic fillers, and nitrogen-based compounds have been reported to exhibit synergistic actions with phosphorus flame retardants. In few cases, different phosphorus compounds were successfully used together as flame retardants, suggesting a “phosphorus-phosphorus” synergism [12]

4.3. Intumescent systems

In French, the verb “tumer” means “to swell,” while the word “intumescence” comes from the Latin word “intumescere,” which means “to swell up”. The verb “intumesce” was first used by John Webster (1580-1624) having two meanings: “to grow and to increase in volume against the heat” or “to show an expanding effect by bubbling”. Nowadays, this term is used to describe a material (called intumescent), which when exposed to heat and beyond a critical temperature starts to swell and then to expand. The major historical use of this intumescent chemistry has been in water-based paints and coatings, since, as a consequence of the “intumescence” process, these materials can develop a superficial, foamed, cellular, charred layer during combustion protecting the substrate. They have been extensively employed in the construction industry for the protection of metallic materials, preventing the loss of their mechanical strength that leads eventually to the collapse of building structures. The early formulations were based on ammonium polyphosphate and nitrogen-rich compounds. The charred layer, whose density typically decreases as a function of temperature, acts thus as a physical barrier that impedes heat and mass transfer between the gas and condensed phases. In particular, by limiting heat transfer, results in the reduction of the substrate’s temperature, causing a lag in the temperature rise of the surface beneath the char. The char hinders furthermore the diffusion of oxygen to the site of combustion, preventing also the flammable volatiles from reaching the flame. In the case of plastics, the dripping of the molten

material is also reduced by the presence of the charred “shield,” eliminating hence the possibility of the creation of another source that would result in further fire propagation. Furthermore, when the underlying polymer takes part in the formation of the charred layer, its charring occurs at the expense of the amount of the polymer that would be converted into flammable gases to feed the flames [13].

Considering the above, it becomes apparent that intumescent flame retardants operate thus in the condensed phase, interrupting the self-sustained combustion of the polymer at its earliest stage (i.e. the stage of thermal decomposition, during which the evolution of gaseous fuel takes place). Generally, intumescent systems consist of three components: (1) an acid source (e.g. ammonium polyphosphate, melamine polyphosphate), (2) a carbonization compound (e.g. pentaerythritol, phenoleformaldehyde resins, starch), and (3) a blowing agent (e.g. melamine, guanidine, urea, chlorinated paraffin). The development of the swollen char, which occurs via a multistage physical/chemical process, is the outcome of the interaction of these components: the acid source decomposes to a mineral acid that dehydrates the polyol to produce the carbon char (mainly via a free radical process), which is in turn foamed by nonflammable gases emitted during the degradation of the blowing agent. The most critical step is the evolution of the gases; they should be released during the thermal decomposition of the carbonizing agent (after the melt forms, but before the char hardens) in order to trigger the expansion of the charred layer. Moreover, the generation of the acid source must occur at relatively low temperatures, specifically the temperature at which the decomposition of the polyhydric material begins. Initially, it was thought that the role of the carbonization (a.k.a. carbonific) compound and of the blowing (a.k.a. spumific) agent could be played only by additives. Nevertheless, studies showed that the polymer to be protected may also contribute. [14].

Even though intumescent systems have been evidently demonstrated to provide efficient fire protection to polymeric materials, a major problem that may be encountered when employing several intumescent flame retardants is their water

solubility, owing to which they may leach out from the polymer matrix during normal use. Other disadvantages of these systems are related mainly to their thermal stability, high cost, and their inefficiency at low addition levels. To enhance the fire properties of intumescent formulations, several synergistic agents have been proposed. For example, it has been found that by adding, along with ammonium polyphosphate, small amounts of zeolite to polyolefins, their fire retardant properties can be drastically enhanced. Zinc borate, or at least a combination of zinc oxide and a borate, has been also claimed to improve the protection provided by typical intumescent systems.

4.4 Mineral flame retardants

Although the addition of any type of inorganic filler, even inert, influences the fire behavior of polymers (the content of combustible products is reduced, the thermal conductivity of the material is altered, and the melt viscosity is increased), due to stringent requirements (flame retarding effectiveness, ease of processing, no effect on other polymer properties, etc.) for the commercial use, very few have achieved market acceptance. The minerals most commonly used as flame retardants are metal hydroxides, borates, and hydroxycarbonates [15]. During combustion, metal hydroxides serve to remove heat by releasing copious quantities of water at the same temperature range or below the temperature at which polymer's decomposition takes place. Thus, by absorbing heat, they slow down the polymer pyrolysis process. Also, the generated water vapors dilute the combustible gases of polymer decomposition, thus preventing the exothermic radical reactions from taking place in the combustion zone. Furthermore, a nonflammable layer on the surface of the material is developed, protecting the substrate. Smoke suppression is another contribution of metal hydroxides to flame retardancy. Studies have shown that the amount of the carbon monoxide evolved during the combustion of polymers containing inorganic hydroxides is generally lower than that of the neat matrix. The exact mechanism has not been yet clearly elucidated; the most probable explanation seems to be that carbon, resulting from the

degradation of the polymer, is deposited on the oxide that is produced by the decomposition of the hydroxide, and then it is volatilized as carbon dioxide, releasing no smoke. Furthermore, owing to the fact that water is the only product of their decomposition, inorganic hydroxides do not add significantly to the corrosive nature of the smoke liberated during the combustion of polymers containing them. The two most commonly employed mineral flame retardants are aluminum trihydroxide (ATH) and magnesium dihydroxide (MDH) [16]

ATH (a.k.a. alumina trihydrate or hydrated alumina) is the most popular inorganic flame retardant in current use. The dominating flame retarding effect of ATH is a consequence of its endothermic decomposition (occurring at 180e200 C) to aluminum oxide and water, which absorbs around 1 kJ g⁻¹ of heat energy. Thus, the heat feedback from the burning gases to the decomposing polymer is alleviated; the resulting aluminum oxide forms also a layer which further protects the unburned material beneath. Major applications of ATH are in vinyl and polyolefin cable jackets, in unsaturated polyester resins, and in elastomers used for the production of conveyer belts, and carpet backing. In general, the range of ATH applications is limited due to its relatively low decomposition temperature; thus it can be used only in polymers that are processed below its decomposition temperature (so that water evolution coincides with fuel release from the degrading polymer). By virtue of its higher decomposition temperature (w340 C) compared to ATH, MDH is the second largest selling inorganic compound, extensively used as a stand-alone flame retardant in a wide range of polymers. The largest volume uses are in wires and cables, and in thermoplastic polyolefin roofing membranes. The principal drawback of both ATH and MDH is that typically at least 60% by mass of them should be incorporated in the polymer in order to achieve good fire retardant properties. Such high loading levels, however, negatively affect the mechanical properties of the resulting material; to increase their effectiveness, metal hydroxides are often used in combination with other types of flame retardants. For example, ATH along with antimony oxide are employed to flame

retard flexible PVC wire and cable formulations. PVC-based materials exhibit improved fire performance when mixed with inorganic hydroxides and molybdenum-containing compounds. ATH or MDH and red phosphorus have been reported to comprise another couple of effective synergists for enhancing polymer flame retardancy. Quite recently, it was shown that improved fire performance, at considerably lower additive loadings, can be also achieved by using MDH nanoparticles [17]. Borates, precisely zinc borates, comprise another group of inorganic additives that have been found to impart to polymeric materials enhanced performance during combustion. In addition, as a result of its endothermic decomposition (0.5 kJ g^{-1}) liberating water, boric acid, and boron oxide, it serves as a heat sink diluting also flammable volatiles. Moreover, boron oxide (B_2O_3) forms a superficial barrier further protecting the underlying material. The major use of zinc borate is in PVC and halogenated polyester, either as a complete or, more frequently, as a partial replacement for antimony oxide. Contrary to antimony oxide, which is a vapor phase flame retardant, zinc borate increases markedly the amount of char formed during polymer combustion. In particular, it reacts with hydrogen chloride, released during the degradation of PVC, forming zinc hydroxychloride and zinc chloride as well as boric oxide and boron trichloride. The latter functions in the gas phase, while boric oxide, comprising a low melting glass, covers the char, enhancing its stability. The formation of char is provoked the zinc species (remaining in the condensed phase), which alter the degradation pathway of the polymer by promoting dehydrohalogenation. Zinc borate is often used in combination with other flame retardants such as ATH, triggering the development of a porous ceramic layer during polymer combustion that thermally insulates the substrate. A ceramic structure is formed also by the reaction of zinc borate with MDH [18].

Conclusion

From the outcome of our investigation it is possible to conclude that the reduction of polymer flammability remains a very complex problem. Nevertheless, with the advent of new techniques, the improvement of the fire retardancy of plastic materials is becoming less empirical. Hence, it is believed that soon deeper knowledge be attained on the phenomena occurring during combustion and on mechanism of flame retardants action, promoting new technological breakthroughs.

References

1. Tesoro, G.C. (1978). Chemical modification of polymers with flame-retardant compounds. *J Polym Sci Macromol Rev*;13: 283e353.
2. Hilado, C. (1998). *Flammability handbook for plastics*. Pennsylvania, USA: Technomic Publishing Company. pp. 1e88. 36 CHAPTER 1 Polymers on Fire
3. Landrock, A.H. (1983). *Handbook of plastics flammability and combustion toxicology*. New Jersey, USA: Noyes Publications.
4. Hamerton, I. & Lu SY. (2002). Recent developments in the chemistry of halogen-free flame retardant polymers. *Progr Polym Sci* 27:1661e712.
5. Lomakin, S.M, & Haslam, E. (1999). *Ecological aspects of polymer flame retardancy (new concepts in polymer science)*. Leiden, The Netherlands: Brill Academic Publishers.
6. Crummett, W.B. (2002). *Decades of dioxin*. Princeton, NJ: Xlibris Corp;
7. Elias, H.G. (2002). *Plastics*. In: Gerhartz W, editor. *Ullman's encyclopedia of industrial chemistry*, vol. 1. Weinheim, Germany: Wiley-VCH Verlag, pp. 1e123.
8. Rosen, S.L. (2004). *Polymers*. In: Seidel A, editor. *Kirk-Othmer encyclopedia of chemical technology*, vol. 11. New Jersey, USA: John Wiley & Sons Inc., pp. 1e20.
9. Hirschler, M.M. (1992). *Heat release from plastic materials*. In: Brabauskas V, Grayson SJ, editors. *Heat release in fires*. London, UK: Elsevier Applied Science, pp. 375e8.
10. Price, D., Anthony, G., & Carty, P. (2001). *Introduction: polymer combustion, condensed phase pyrolysis and smoke formation*. In: Horrocks AR, Price D, editors. *Fire retardant materials*. Cambridge, UK: Woodhead Publishing Ltd, pp. 1e30.
11. Kiliaris, P. & Papaspyrides, C.D. (2010). *Polymer/layered silicate (clay) nanocomposites: an overview of flame retardancy*. *Prog Polym Sci*, 35:902e58.

12. Hirschler, M.M. (2000). Chemical aspects of thermal decomposition of polymeric materials. In: Grand AF, Wilkie CA, editors. Fire retardancy of polymeric materials. New York, USA: Marcel Dekker Inc., pp. 28e79.

13. Bilingham, N.C. (2005). Degradation. In: Mark HF, editor. Encyclopedia of polymer science and technology, vol. 6. New Jersey, USA: John Wiley & Sons Inc., pp. 1e49.

14. Pielichowski, K, & Njuguna, J. (2005). Thermal degradation of polymeric materials. Shropshire, UK: Rapra Technology Limited.

15. Levchik, S.V. & Wilkie, C.A. (2000). Char formation. In: Grand AF, Wilkie CA, editors. Fire retardancy of polymeric materials. New York, USA: Marcel Dekker Inc., pp. 171e215.

16. Wilkie, C.A, Levchik, S.V. & Levchik, G.F. (2001). Is there a correlation between crosslinking and thermal stability? In: Al-Malaika S, Golovoy A, Wilkie CA, editors. Specialty polymer additives: principles and application. Oxford, UK: Blackwell Science, pp. 359e74.

17. Drysdale, D. (1999). An introduction to fire dynamics. Sussex, England: John Wiley & Sons.

18. Irvine, D.J, McCluskey J.A, & Robinson I.M. (2000). Fire hazards and some common polymers. *Polym Degrad Stab*, 67:383e96.