

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«ПЕНЗЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Факультет
информационных технологий
и электроники
наименование факультета

Кафедра
Нано – и микроэлектроника
наименование кафедры

Направление подготовки 11.03.04. «Электроника и микроэлектроника»
код и наименование

Профиль Микроэлектроника и твердотельная электроника
наименование профиля

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

ПензГУ 02. 11.03.04. 003 ПЗ
обозначение, присваиваемое кафедрой

на тему

Исследование и разработка самовосстанавливающихся предохранителей на
основе полимеров

тема бакалаврской работы

Студент группы 20ПД1
номер группы

Гол 10.06
подпись, дата

Голенков А.А.
фамилия, иниц.

Руководитель Доцент
должность

Ан 10.06
подпись, дата

Вольсков А.А.
фамилия, иниц.

наименование организации

Нормоконтролер ст. преподаватель
должность

Р 13.06.24
подпись, дата

Рыжова Т.Н.
фамилия, иниц.

Работа допущена к защите в ГЭК (протокол заседания кафедры от 10.06 № 10)

Заведующий кафедрой

Ан 10.06.24
подпись, дата

Пронин И.А.
фамилия, иниц.

Работа защищена с оценкой отм. (протокол ГЭК от 12.06.24 № 6)

Секретарь ГЭК

Ан 18.06.24
подпись, дата

Вольсков А.А.
фамилия, иниц.

РЕФЕРАТ

Настоящая пояснительная записка содержит 85 страниц (без приложений), 10 таблиц, 24 рисунка, 12 источников, 3 приложения.

Самовосстанавливающийся предохранитель, полимерно-углеродный композит, функциональный слой, время размыкания, температурная зависимость сопротивления, электроды, температура плавления, ток размыкания.

Объектом разработки является самовосстанавливающийся предохранитель, изготовленный на основе полимерных соединений. С планарным конструкционным исполнением. Предохранители разработаны в исполнении пригодном для ручной сборки радио электронной аппаратуры.

Цель работы заключается в разработке самовосстанавливающегося предохранителя планарного типа, предназначенного для защиты электрических цепей радиоэлектронной аппаратуры в низковольтных источниках питания.

В процессе выполнения выпускной квалификационной работы был рассмотрен принцип действия самовосстанавливающегося предохранителя и разработана его конструкция.

					ПГУ 2. 11.03.04. 003 ПЗ	Лист
						2
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	4
1 Обзор научно-технической и патентной информации.....	6
1.1 Проведение предварительных патентных исследований.....	10
1.2 Анализ научно-технической и патентной информации.....	17
1.3 Теоретические аспекты и особенности конструкции, описание и обоснование выбранной конструкции.....	21
2 Исследование строения и функционирования самовосстанавливающихся предохранителей.....	31
2.1 Исследование физических свойств полимеров с положительным температурным коэффициентом сопротивления.....	32
2.2 Исследование электрических параметров	40
3 Разработка технологического процесса производства самовосстанавливающихся предохранителей.....	48
3.1 Выбор оптимальных технологических решений создания специального полимерного композита.....	50
3.2 Изготовление, исследование и испытание макетных образцов.....	61
4 Техника безопасности и противопожарная безопасность при экспериментальных работах с РЭА.....	76
Заключение.....	79
Список использованных источников.....	81
Приложение А. Задание на выпускную квалификационную работу....	83
Приложение Б. Заявление и протокол проверки ВКР на оригинальность в системе «Антиплагиат.ВУЗ».....	84
Приложение В. Презентация ВКР.....	85

ВВЕДЕНИЕ

Быстрый темп прогресса, наблюдаемый в последнее время в различных областях техники, особенно в электронике, радикально изменил представления о принципах создания современных электроприборов. Сегодня мы не удивляемся аналоговой и цифровой технике с напряжением питания менее 1 В, с микропроцессорами, интегрирующими десятки и сотни миллионов транзисторов, а также микросхемами запоминающих устройств, содержащими миллиарды транзисторов на кристалле. Однако до сих пор один элемент любого электроприбора оставался вне этого технологического прогресса - обычный плавкий предохранитель. Даже самые сложные электронные устройства не могут обойтись без этой простейшей детали, что может вызвать серьезные проблемы. Основная задача предохранителя заключается в защите прибора от опасных перегрузок по току. К сожалению, предохранитель является деталью однократного использования. После срабатывания из-за перегрузки его необходимо заменить. Это может потребовать разборки сложного электронного устройства для доступа к предохранителю или расположения его в удобном месте, что не всегда возможно с точки зрения конструкции устройства. Для удобства замены предохранителя желательно использовать контактное приспособление. Кроме того, для защиты электронных устройств широко применяются биметаллические предохранители. Их преимущество заключается в возможности многократного использования. Однако у таких предохранителей также есть свои недостатки, такие как относительно большое время срабатывания и массогабаритные ограничения. С появлением нанотехнологий стали разрабатываться различные проводящие материалы на их основе с уникальными свойствами, определяющими их проводимость. В последнее время все больше внимания привлекают самовосстанавливающиеся

					ПГУ 2. 11.03.04. 003 ПЗ		
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Введение		
Разраб.	Голенков						
Провер.	Вольсков						
Н. Контр.	Рыжова			13.06.24			
Утверд.					Зр. 20ПД1		
					Лит.	Лист	Листов
						4	85

предохранители на основе проводящих полимерных материалов, которые обещают

новые возможности в области защиты электронной аппаратуры. Полимерные самовосстанавливающиеся предохранители (СП) – новейшее достижение в области защиты электрических цепей. Они представляют собой резистивный элемент из полимерного материала, проводимость которого изменяется от сотых долей Ом до десятков кОм в зависимости от температуры.

При возрастании температуры кристаллы полимера плавятся, и токопроводящая структура разрушается. Сопротивление резистивного элемента возрастает до десятков кОм, что равносильно размыканию электрической цепи. Процесс обратим: при остывании полимера кристаллическая структура восстанавливается, и СП снова проводит ток.

Преимущества полимерных предохранителей в том, что они рассчитаны на многократное действие, в силу своих конструктивных особенностей стойкие к ударным нагрузкам и вибрации, обладают малыми массогабаритными показателями, значение их сопротивления в проводящем состоянии – доли Ом, а время срабатывания зависит от тока нагрузки и составляет 0,1 - 5 секунд. Температура полимерного предохранителя не поднимается выше 125°C, поэтому они безопасны для электронного оборудования и их можно размещать в любом месте устройства. Кроме того, они совершенно не нуждаются в обслуживании.

Такие предохранители найдут широкое применение в электронной аппаратуре общего назначения для защиты источников питания радио - телекоммуникационного оборудования, в электронных узлах компьютерных систем, в электрических автомобильных системах, для защиты от перегрева статорных обмоток электродвигателей и других электронных устройствах.

Целью данного дипломного проекта является разработка самовосстанавливающихся предохранителей на фазовом переходе.

					ПГУ 2. 11.03.04. 003 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		5

1 Обзор научно-технической и патентной информации

В настоящее время ряд ведущих иностранных фирм разработали и приступили к серийному выпуску таких самовосстанавливающихся предохранителей. Так фирма «Bourns», США, предлагает широкий ряд предохранителей различного применения [1]. Самовосстанавливающиеся предохранители данной фирмы делятся на группы и составляют следующие серии:

- серия *MF-R* используется практически везде, где требуется защита электронных устройств от перегрузок, в т.ч. телефонии, компьютерах, автомобильной промышленности;
- Серия *MF-S* используется для защиты аккумуляторных батарей;
- серия *MF-SM* используется в компьютерах, автомобильной и промышленной электронике;
- серия *MF-MSMD* используется в портативных компьютерах и другой аппаратуре, где требуется высокая плотность монтажа.

А также серии *MF-RX*, *MF-LS* и другие;

Внешний вид и технические характеристики некоторых серий самовосстанавливающихся предохранителей производства фирмы «Bourns» приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Технические характеристики СП («Bourns»)

Характеристики		Предохранитель MF-LS	Предохранитель MF-S	Предохранитель MF-D
1		2	3	4
Общий вид				
Корпус		Перемычки батарейных блоков с аксиальными выводами	Перемычки батарейных блоков с аксиальными выводами	Бескорпусной диск

					ПГУ 2. 11.03.04. 003 ПЗ				
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Обзор научно-технической и патентной информации				
Разраб.	Голенков								
Провер.	Вольсков								
Н. Контр.	Рыжова			13.06.24					
Утверд.									
					Лит.		Лист	Листов	
							6	85	
					Гр.20ПД1				

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4
Максимальное рабочее напряжение ($U_{\max}$), В	24,0 - 15,0	30,0 - 15,0	15,0
Допустимое напряжение (U_{int}), В	-	-	-
Допустимый ток (I_{int}), А	100,0	100,0	50,0 - 10,0
Максимальный ток без срабатывания (I_{hold}), А	0,7 - 3,4	1,2 - 4,2	2,5 - 12,2
Ток гарантированного срабатывания (I_{trip}), А	1,5 - 6,8	2,7 - 7,6	-
Минимальное сопротивление при 23°C ($R_{\min}$), Ом	0,10 - 0,016	0,085 - 0,012	0,015 - 0,007
Максимальное сопротивление после 1 часа восстановления при 23°C ($R1_{\max}$), Ом	0,34 - 0,05	0,22 - 0,04	-
Рассеиваемая мощность (Pd), Вт	1,0 - 2,7	1,2 - 2,9	-

Корпорация «Raychem», США, предлагает предохранители серии *RUE*, *SMD*, *SRP* и др. в различных конструктивных исполнениях, в том числе и для поверхностного монтажа, рассчитанные на рабочие токи от 0,1А до 10А.

Самовосстанавливающиеся предохранители производят в нескольких корпусах: выводные, аксиальные, «чипы», дисковые, для поверхностного монтажа [2].

Общий вид и серии СП фирмы «Raychem» приведены на рисунке 1, а в таблице 2 приведены их основные характеристики.

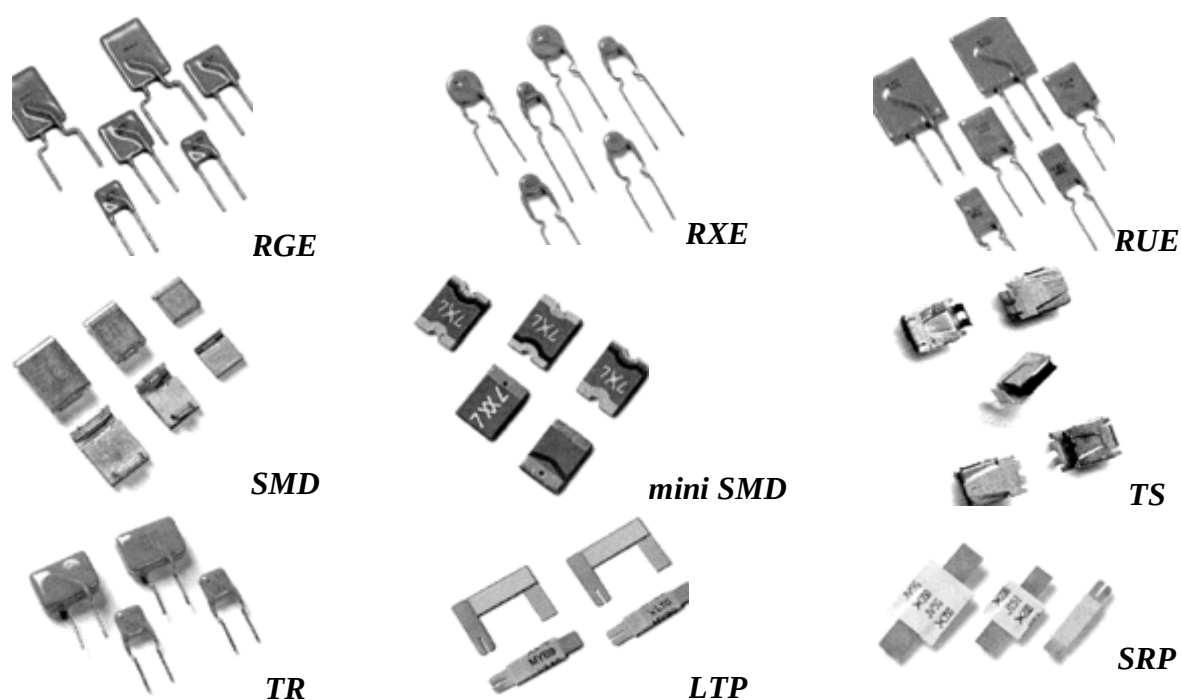


Рисунок 1 – Основные типы СП фирмы «Raychem»

Таблица 2 – Основные параметры СП («Raychem»)

Типы СП	Макс. напр. [В]	Макс. прер.то к [А]	Диапазон токов пропуск. [А]	Диапазон раб. темпер. [оС]	Расположение выводов	Время сраб.	Типовой способ монтажа
<i>RGE</i>	16	100	3...11	-45...+85	радиальное	от малого до среднего	на печатной плате
<i>RXE</i>	60	40	0,1...3,75	-45...+85	радиальное	среднее	на печатной плате
<i>RUE</i>	30	40	0,9...9	-45...+85	радиальное	среднее	на печатной плате
<i>SMD</i>	до 60 ⁽¹⁾	125 ⁽²⁾	0,3...2,6	-45...+85	для поверхностного монтажа	среднее	на печатной плате
<i>mini SMD</i>	до 30 ⁽¹⁾	40 ⁽²⁾	0,2...1,1	-45...+85	для поверхностного монтажа	малое	на печатной плате
<i>TS</i>	60/650 ⁽³⁾	1,1/3	0,13	-45...+85	для поверхностного монтажа	среднее	на печатной плате
<i>TR</i>	60/600 ⁽³⁾	3/10	0,12...0,18	-45...+85	радиальное	среднее	на печатной плате
<i>LTP</i>	15...24 ⁽¹⁾	100	1,0...3,4	-45...+85	радиальное осевое	малое	на элементах батареи аккумулятора

Продолжение таблицы 2

SRP	15...24 ⁽¹⁾	100	1,2...4,2	-45...+85	осевое	малое	на элементах батареи аккумулятор в
Примечания: 1 Относится не ко всем представителям семейства. 2 Зависит от прерываемого напряжения. 3 Рабочее/Прерываемое напряжение.							

Основные области применения самовосстанавливающихся предохранителей:

- аккумуляторные батареи (для мобильных телефонов, ноутбуков и др. портативной электроники) – защита оборудования и пользователей от перезарядки и короткого замыкания с помощью самовосстанавливающихся предохранителей;
- компьютеры, периферийные устройства – защита от внутренних и внешних перегрузок по току;
- автоэлектроника (электродвигатели, активаторы, монтажные блоки, проводка и т.д.);
- в сфере телекоммуникаций (АТС, кроссы, сетевое оборудование): защита от всплесков тока, вызванных попаданием линейного напряжения и молниями с помощью *PolySwitch*;
- для защиты такого оборудования, как трансформаторы, сигнализация, громкоговорители, контрольно-измерительная аппаратура, спутниковое телевидение и многое другое;
- импульсные источники питания, блоки питания радиостанций, телефонов и автоответчиков;
- зарядные устройства для сотовых телефонов;
- устройства управления в бытовой технике (стиральные машины, кондиционеры и т.д.);
- осветительные реостаты и дроссели ламп дневного света;

Отечественной промышленностью до настоящего времени самовосстанавливающиеся предохранители выпускаются в малых объёмах и малым конструкционным типом. Исходя из этой ситуации можно сделать вывод, что отечественная промышленность выпускающая современные электроприборы, в защите которых используются СП, напрямую зависит от зарубежных производителей [3]. Поэтому возникает задача разработки и производства отечественных СП для импортозамещения и заполнения российского сектора рынка.

Преступая к разработке СП, в первую очередь необходимо выполнить поиск информации по данной тематике во всех доступных источниках. В качестве главного критерия поиска будем использовать сведения о зарубежных аналогах СП.

Поиск был произведён в сети Интернет на сайтах: зарубежных производителей СП, посвященных научно-популярным публикациям, мировых патентных бюро и т.д., а также в различных научных публикациях на бумажных и электронных носителях. В результате были найдены несколько статей содержащих необходимую информацию. В частности на сайте www.fuse.ru, посвященном продукции фирмы Raychem, размещена статья, содержащая описания конструкции, функционирования и внутренних процессов, протекающих в СП.

1.1 Проведение предварительных патентных исследований

Поиск проведен в соответствии с техническим заданием «Разработка самовосстанавливающегося предохранителя планарного типа». Поиск проведен с целью определения технического уровня самовосстанавливающихся предохранителей и выявления тенденций развития указанного вида объекта разработки.

Поиск проводился по патентным и научно-техническим фондам, бюллетеням «Изобретения. Полезные модели», по полным описаниям

изобретений РФ на бумажных носителях и на дисках *CD-ROM*, а также использовались мировые патентно-информационные ресурсы Интернета. С помощью Интернета проводился патентно-информационный поиск по ведущим странам мира.

Глубина поиска была принята 10 лет, учитывая то, что эта область техники развивается в течение последних 10 лет.

Патент № 5.880.668

Страна: США

Дата публикации: 28.08.1996г.

Имя заявителя: *Littelfuse, Inc.*

Электрические приборы с улучшенными ПТК – композициями

Резюме

Приборы защиты цепей включают ПТК – элементы и цепи. ПТК – элемент включает проводящую кристаллическую полимерную композицию, состоящую из специального проводящего наполнителя, внедрённого в модифицированный полиолефин.

Модифицированный полиолефин представляет собой полиолефин, в который включена карбоновая кислота или её производная [4]. Специальный проводящий наполнитель внедрён в модифицированный полиолефин путём реакции этерификации.

Краткие сведения об изобретении

Предметом данного изобретения является проводящая полимерная ПТК – композиция с улучшенной электрической и тепловой устойчивостью.

Проводящая полимерная ПТК – композиция, которая образует прекрасное сцепление с металлическими электродами, имеющими гладкую поверхность, далее будет рассматриваться в данном изобретении.

					ПГУ 2. 11.03.04. 003 ПЗ	Лист
						11
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Соответственно, может быть создан такой прибор защиты цепей, у которого сопротивление возвращается к исходному значению или ниже даже после повторяющихся циклов и длительного времени в состоянии срабатывания.

Улучшенное сцепление (контакт), электрическая и тепловая устойчивость проводящей полимерной ПТК – композиции данного изобретения расширяют также сферы его применения.

Таким образом, в данном изобретении представлены:

1 Кристаллическая проводящая полимерная ПТК – композиция. Композиция включает в себя модифицированный полиолефин и специальный проводящий наполнитель. В отличие от предыдущих проводящих полимерных ПТК – композиций, где специальный проводящий наполнитель единообразно рассеян внутри кристаллического полимера, специальный проводящий наполнитель данного изобретения химически связан, т.е. внедрён (присоединён) в модифицированный полиолефин.

2 Кристаллическая проводящая полимерная ПТК – композиция. Композиция включает в себя специальный проводящий наполнитель и модифицированный полиолефин, формула "STR 1", где 1-ый x компонент (*x.sub.1*) выбирается из группы, состоящей из карбоновых кислот и их производных, где "x" и "y" компоненты присутствуют в таком количестве, что их массовое отношение x/y по крайней мере равно 9.

3 Кристаллическая проводящая полимерная ПТК – композиция, обладающая удельным сопротивлением менее 5 Ом·см при 25⁰С и максимальным удельным сопротивлением при температуре выше 25⁰С не менее 1000 Ом·см. Композиция включает в себя проводящий наполнитель, внедрённый в модифицированный полиолефин [5].

Данное изобретение представляет также электрический прибор, включающий:

а) ПТК – элемент, в котором модифицированный полиэтилен соединён со специальным проводящим наполнителем;

б) два электрода, каждый из которых может быть присоединён к источнику питания, что обеспечивает протекание тока через ПТК – элемент.

В другом аспекте данное изобретение представляет электрический прибор, включающий:

а) ПТК – элемент, в котором модифицированный полиолефин соединён со специальным проводящим наполнителем; модифицированный полиолефин состоит на 90 – 99% массы из полиэтилена и около 1 – 10% из карбоновой кислоты или её производной; ПТК – элемент имеет удельное сопротивление меньше 5 Ом·см при температуре 25⁰С и максимальное удельное сопротивление при температуре выше 25⁰С, по меньшей мере, 1000 Ом·см;

б) два электрода, каждый из которых может присоединяться к источнику питания, что обеспечивает протекание тока через ПТК – элемент; электрический прибор имеет сопротивление, при 25⁰С менее 1 Ома.

Данное изобретение представляет также электрический прибор, включающий в себя:

а) ПТК – элемент, в котором модифицированный полиолефин соединён со специальным проводящим наполнителем;

б) два электрода, имеющие шероховатую поверхность, R.sub.a; электроды не обрабатывались химически или механически для усиления шероховатости поверхности, R.sub.a; каждый электрод может присоединяться к источнику питания, что обеспечивает протекание тока через ПТК – элемент.

В следующем аспекте данного изобретения представлена электрическая цепь, включающая:

а) источник электрического тока;

б) прибор защиты цепи, включающий ПТК – элемент и два электрода; ПТК – элемент представляет собой проводящую полимерную композицию,

состоящую из модифицированного полиолефина и специального проводящего наполнителя;

в) другие элементы цепи, соединённые последовательно с прибором защиты цепи, имеющим сопротивление $R_{sub.L}$ Ом.

В конечном аспекте данного изобретения представлена электрическая цепь, состоящая из источника электрического тока, прибора защиты цепи, включающий ПТК – элемент и два электрода, и других элементов цепи, соединённых последовательно с прибором защиты цепи, имеющим сопротивление $R_{sub.L}$, и который может находиться в нормальных рабочих условиях и в условиях стабильной высокой температуры в случае аварии, где:

а) ПТК – элемент состоит из проводящего ПТК – полимера, включающего в себя органический полимерный материал и проводящую сажу; ПТК – проводящий полимер обладает удельным сопротивлением 5 Ом·см или меньше при температуре 25⁰С;

б) прибор защиты цепи обладает сопротивлением при 25⁰С 1 Ом или меньше и $0,5 \times R_{sub.L}$ Ом или меньше;

в) отношение мощности в цепи в нормальных рабочих условиях к мощности в условиях работы при стабильной высокой температуре, т.е. отношение переключения, по крайней мере, равно 8

Улучшенный органический полимерный материал, состоящий из модифицированного полиолефина, имеет формулу "STR 2", где 1-ый x компонент ($x_{sub.1}$) выбран из группы карбоновых кислот и их производных и гдех иу компоненты находятся в таком количестве, что отношение их масс x/y, по крайней мере, равно 9.

Патент № 102.576

Страна: США

Дата публикации: —.

Имя заявителя: Бригхэм.

Приборы, содержащие проводниковые полимеры

Область действия изобретения

Изобретение относится к электрическим приборам, содержащим проводящие полимеры, и в частности к приборам с высокой проводимостью у которых электрические выводы могут быть легко присоединены.

Краткое описание появления изобретения

Известны проводящие полимерные композиции (включающие такие композиции, которые показывают положительный температурный коэффициент (*PTC*) или отрицательный температурный коэффициент (*NTC*)) и электрические приборы, содержащие их.

Термин "проводящая полимерная композиция" используется здесь для обозначения композиций, которые имеют удельное сопротивление менее $10^6 \text{ Ом} \cdot \text{см}$ при температуре от 0 до 200°C , предпочтительно при 25°C .

Во многих таких приборах электрический ток проходит через проводящий полимер (ПП) посредством пластинчатых электродов, а к электродам прикреплены электрические выводы. Электроды в основном содержат материал, имеющий удельное сопротивление не более $5 \times 10^{-2} \text{ Ом} \cdot \text{см}$, предпочтительно металл, и могут быть (но не обязательно) такой толщины, что все места на любом отдельном электроде будут иметь одно напряжение. Когда приборы подвергаются температурному циклу различия между температурными коэффициентами расширения электродов и проводящего полимера приводит в результате к отделению электрода от элемента ПП. Это конечно, очень нежелательно. Проблема очень серьёзная, когда элемент ПП

содержит проводящий полимерный элемент с коэффициентами *PTC* или *NTC*, т.к. результат *PTC* и *NTC* зависит от изменения объёма *PTC* или *NTC* элемента. Это тем не менее, предпочтительнее для использования электрода, который может расширяться и сжиматься с ПП, особенно электрода имеющего множество отверстий, например металлическая сетка или решётка, лучше если отверстия электрода будут такого размера, чтобы ПП мог входить в отверстия и скреплять электрод и ПП друг с другом. Между тем, здесь есть серьёзная проблема при присоединении электрических выводов к этим электродам. Поэтому недостаточно просто припаять или приварить вывод к части электрода, который контактирует с ПП, потому что процесс пайки или сварки разрушает полимер. Этого можно избежать припаиванием вывода к части электрода, которая находится вне края ПП; но эти выводы для устройств больших размеров и строго ограничиваются их использование производственными технологиями.

Один метод присоединения вывода к части пластинчатого щелевого электрода, который соединён с ПП, описан в Инструкции серии № 141.90 (Уолти). Выводы прикрепляются, например, припаиванием, к щелевому проводнику, который затем прикрепляется проводящим связующим к части электрода, соединённого с ПП; в такие случаи слой полимерного материала находится под проводником, проходит сквозь эти отверстия к контакту и прикрепляется к ПП. Хотя это и очень хорошая технология, она в некоторой степени неудобна, дорогостоящая и не даёт хорошего результата.

Как было описано выше настоящее изобретение использует огневое распыление для пластины из металла или другого высоко проводникового материала как способ создания электрического контакта и элемента ПП. Термин "огневое распыление" используется здесь для обозначение любого процесса, в котором материал приведён к его точке плавления и распыляется на поверхность изделия как покрытие.

В процессе поиска были отобраны охранные документы, относящиеся к исследуемому объекту, а также научно-техническая информация, которые подлежат дальнейшему анализу.

Новизна работы заключается в поиске рецептуры проводящей пластмассы с высоким нелинейным положительным температурным коэффициентом сопротивления, достижении требуемой совокупности параметров при одновременном обеспечении высоких характеристик надёжности и в том, что подобные предохранители в России ранее не разрабатывались.

1.2 Анализ научно-технической и патентной информации

В процессе обзора научно-технической информации и каталогов ведущих фирм производителей СП были рассмотрены многие их типы и серии различной конструкции и назначения. Наиболее востребованными и оптимальными по техническим характеристикам оказались СП серии *MF-S* производства фирмы «*Bourns*», США. Именно эти СП были взяты в качестве основы для разработки.

Настоящая работа направлена на разработку предохранителей, не уступающих по техническому уровню лучшим зарубежным аналогам серии *MF-S* фирмы «*Bourns*», США.

Так как самовосстанавливающиеся предохранители в России не производятся, при выборе конструкции и технологии их изготовления проведен анализ зарубежной научно-технической литературы, технической информации, а также зарубежных патентов, имеющих отношение к поставленной задаче.

Анализ показал, что все выпускаемые ведущими в мире фирмами («*Bourns*», «*Wickmann*», «*Liffelfuse*», «*RaichemCorporation*») самовосстанавливающиеся предохранители сконструированы по одной принципиальной схеме. Активным элементом предохранителя,

					ПГУ 2. 11.03.04. 003 ПЗ	Лист
						17
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

выполняющего функции «выключателя» в аварийных ситуациях, является проводящий полимерно-углеродный композит, отформованный в тонкий, порядка (0,3 – 0,5) мм, лист с нанесенными электродами на обеих плоскостях (рисунок 2).

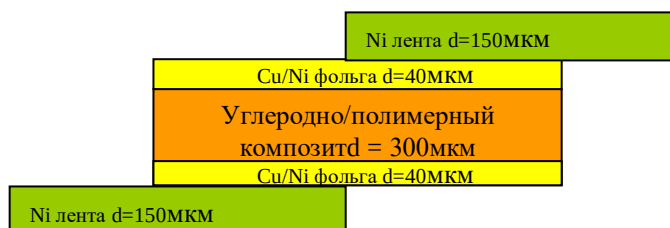


Рисунок2 –Структура СП

Полимерно-углеродный композит состоит из непроводящего электрический ток кристаллического полимера и, распределенных в нем наноразмерных частиц углерода, организующих проводящий электрический ток кластер. Электроды гарантируют равномерное распределение потенциала по всей площади поверхности, к ним крепятся проволочные или лепестковые выводы. Особенность, которая позволяет использовать этот материал в качестве предохранителей – это ярко выраженная нелинейность температурного коэффициента сопротивления в узком диапазоне температур (125 – 135) °С. До определенной «переходной» температуры сопротивление композита практически не возрастает. При достижении «переходной» температуры сопротивление возрастает в логарифмической пропорции и изменяется от долей Ома в исходном состоянии до десятков кило ом, т.е. предохранитель практически разрывает электрическую цепь (рисунок 3).

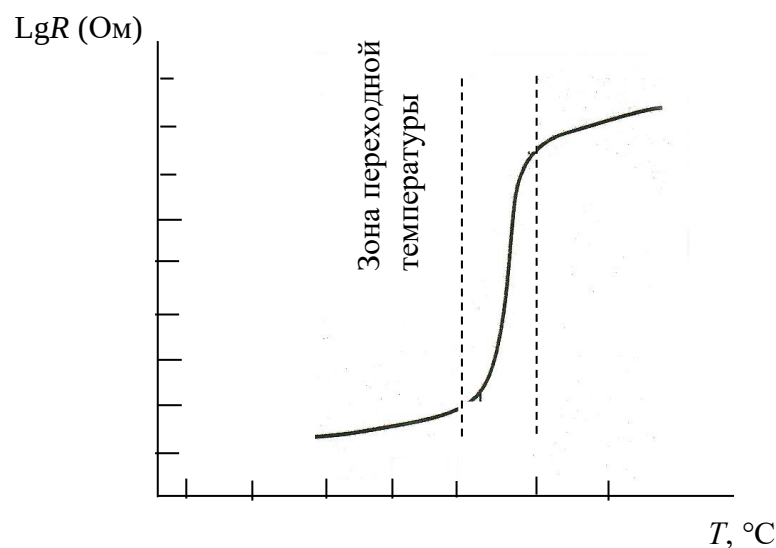


Рисунок 3 – График зависимости сопротивления СП от температуры

Электроды гарантируют равномерное распределение потенциала по всей площади поверхности, к ним крепятся проволочные или лепестковые выводы. В связи с тем, что сопротивление активного элемента сравнительно низкое (доли Ома) электроды должны иметь малое удельное сопротивление. Как правило, для этой цели используется медь в виде фольги или сетки толщиной 30 – 50 мкм.

На практике используются несколько методов формирования электродов, такие как напыление, прессование и гальваническое осаждение. Наиболее перспективными методами являются методы напыления и прессования.

Для монтажа предохранителей в электронной аппаратуре к электродам припаиваются выводы, в виде медных или никелевых проволочек, или пластин в зависимости от вида монтажа аппаратуры (навесной или поверхностный).

На рисунке 4 представлена типичная конструкция предохранителя, у которого электроды выполнены методом прессования в проводящий полимерный материал медной сетки.

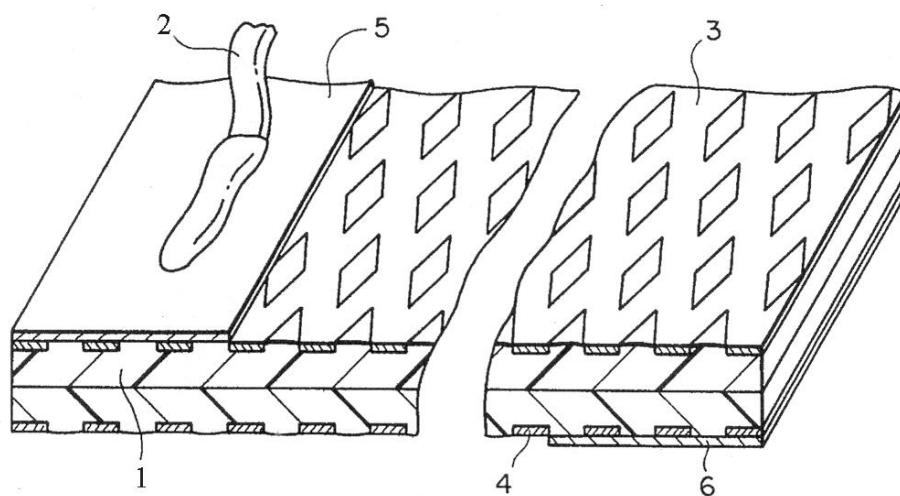


Рисунок 4 – Типовая конструкция СП с электродами из медной сетки

В верхнюю часть платы 1 из проводникового полимера впрессована металлическая сетка 3, в нижнюю часть – металлическая сетка 4. По краям платы методом напыления нанесены металлические контакты 5 и 6, к которым припаиваются внешние выводы 2.

На рисунке 5 представлена конструкция предохранителя, у которого электроды выполнены методом напыления.

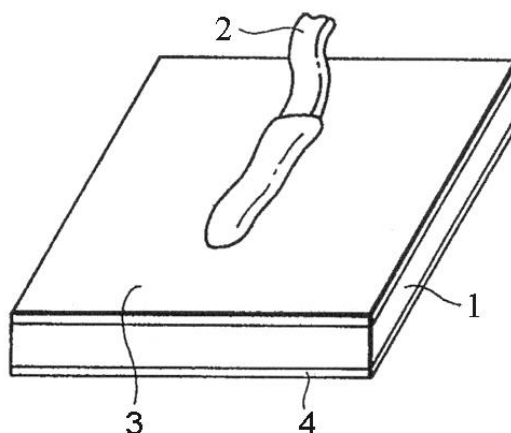


Рисунок 5 – Типовая конструкция СП с электродами, изготовленными методом напыления

На обе поверхности проводящего полимера 1 методом напыления наносятся металлические электроды 3 и 4, к которым припаиваются внешние выводы 2.

1.3 Теоретические аспекты и особенности конструкции, описание и обоснование выбранной конструкции

На основании проведенного анализа, а, также учитывая, что целью настоящей работы является разработка серии самовосстанавливающихся предохранителей для импортозамещения аналогов типа MF-S фирмы «Bourns», был разработан эскизный проект конструкции предохранителя, который представлен на рисунке 6.

На элемент резистивный методом прессования наносятся отводы (электроды), к которым при помощи припойных паст припаиваются ленточные выводы. Электроды выполнены из медной фольги толщиной 0,05мм, покрытой с обеих сторон никелем толщиной 3 – 5 мкм для защиты меди от внешних воздействий влаги. Ленточные выводы изготавливаются из никеля толщиной 0,15 мм.

Габаритные, установочные и присоединительные размеры соответствуют аналогам предохранителей серии *MF-S* фирмы «*Bourns*».

Электрические приборы с улучшенными ПТК – композициями

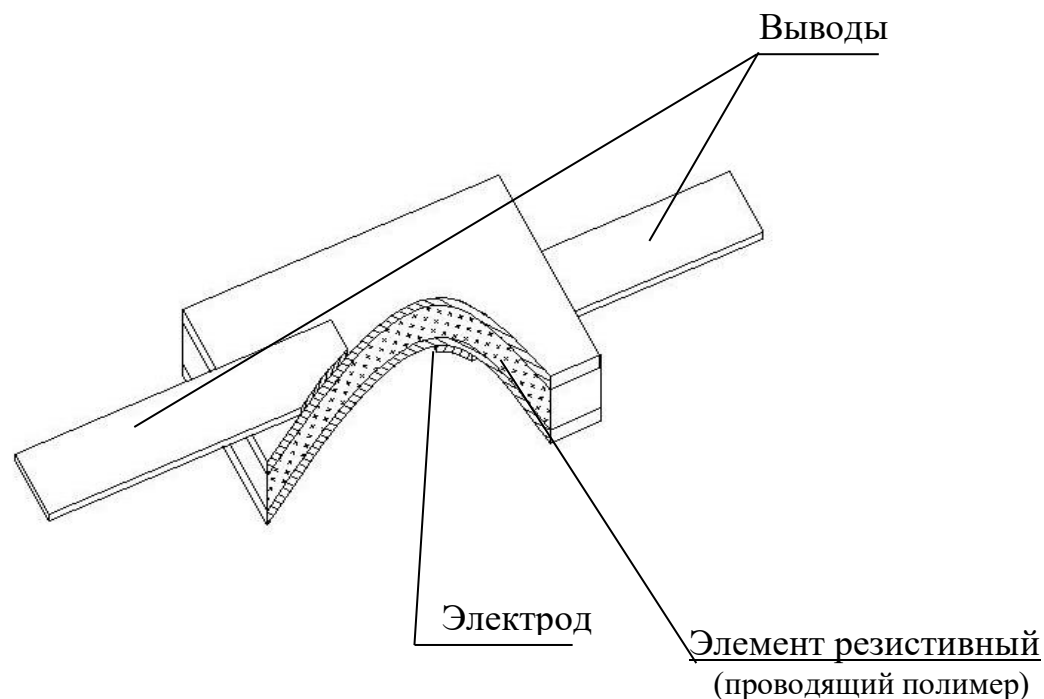


Рисунок 6 – Эскиз разработанной конструкции СП

Разрабатываемые СП выполняют в прямоугольном корпусе, они имеют два ленточных вывода, направленные в противоположные друг относительно друга стороны (рисунок 7).

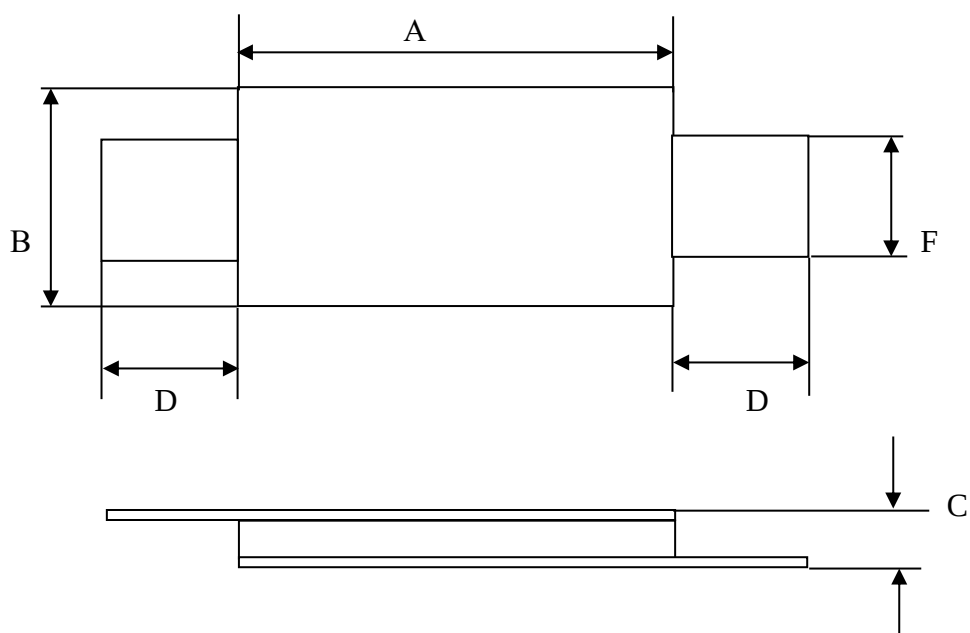


Рисунок 7 – Общий вид СП

Габаритные, установочные и присоединительные размеры СП в зависимости от рабочего тока приведены в таблице 3.

Таблица 3– Габаритные, установочные и присоединительные размеры СП

Модель (аналог)	Условное обозначение	A, мм		B, мм		C, мм		D, мм		F, мм	
		min	max	min	max	min	max	min	max	min	max
MF-S120	N ₁	19,9	22,1	4,9	5,2	0,6	1,0	5,5	7,5	3,9	4,1
MF-S120S	N ₂	19,9	22,1	4,9	5,2	0,6	1,0	5,5	7,5	3,9	4,1
MF-S150	N ₃	21,3	23,4	10,2	11,0	0,5	1,1	4,1	5,5	4,8	5,4
MF-S175	N ₄	20,9	23,1	4,9	5,2	0,6	1,0	4,1	5,5	3,9	4,1
MF-S175S	N ₅	20,9	23,1	4,9	5,2	0,6	1,0	4,1	5,5	3,9	4,1
MF-S200	N ₆	21,3	23,4	10,2	11,0	0,5	1,1	5,0	7,6	4,8	5,4
MF-S350	N ₇	28,4	31,8	13,0	13,5	0,5	1,1	6,3	8,9	6,0	6,6
MF-S420	N ₈	30,6	32,4	12,9	13,6	0,5	1,1	5,0	7,5	6,0	6,7

Электрические параметры СП при приемке и поставке должны соответствовать приведенным в таблице 4, где *N*- условное обозначение предохранителя

Таблица 4 – Значения электрических параметров СП

Наименование параметра, единица измерения (режим измерения)	Буквенное обозначение	Норма								
		<i>N</i> ₁			<i>N</i> ₂			<i>N</i> ₃		
		Не менее	Номинал	Не более	Не менее	Номинал	Не более	Не менее	Номинал	Не более
Номинальное сопротивление, Ом	<i>R</i> _{ном}	0,085		0,16	0,085		0,16	0,05		0,09
Наименование параметра, единица измерения (режим измерения)	Буквенное обозначение	Норма								
		<i>N</i> ₄			<i>N</i> ₅			<i>N</i> ₆		
		Не менее	Номинал	Не более	Не менее	Номинал	Не более	Не менее	Номинал	Не более
Номинальное сопротивление, Ом	<i>R</i> _{ном}	0,05		0,09	0,05		0,09	0,03		0,06
Наименование параметра, единица измерения (режим измерения)	Буквенное обозначение	Норма								
		<i>N</i> ₇			<i>N</i> ₈					
		Не менее	Номинал	Не более	Не менее	Номинал	Не более			
Номинальное сопротивление, Ом	<i>R</i> _{ном}	0,017		0,031	0,012			0,024		

Электрические параметры СП при эксплуатации и хранении приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Значения параметров СП при эксплуатации и хранении

Наименование параметра, единица измерения (режим измерения)	Буквенное обозначение	Норма								
		N ₁			N ₂			N ₃		
		Не менее	Номинал	Не более	Не менее	Номинал	Не более	Не менее	Номинал	Не более
Ток удержания, А	I _{уд.}			1,20			1,20			1,5
Ток размыкания, А	I _{разм.}			2,7			2,7			3,0
Сопротивление через 1 час после размыкания, Ом	R _{I_{max}}			0,22			0,22			0,11
Максимальное время размыкания при 5 I _{разм.} , с				5,0			5,0			5,0
Мощность размыкания, Вт	W _{разм.}		1,2			1,2			1,3	
Наименование параметра, единица измерения (режим измерения)	Буквенное обозначение	Норма								
		N ₄			N ₅			N ₆		
		Не менее	Номинал	Не более	Не менее	Номинал	Не более	Не менее	Номинал	Не более
Ток удержания, А	I _{уд.}			1,75			1,75			2,0
Ток размыкания, А	I _{разм.}			3,8			3,8			4,4
Сопротивление через 1 час после размыкания, Ом	R _{I_{max}}			0,12			0,12			0,08
Максимальное время размыкания при 5 I _{разм.} , с				4,0			4,0			4,0
Мощность размыкания, Вт	W _{разм.}		1,5			1,5			1,9	
		Норма								
		N ₇			N ₈					
Ток удержания, А	I _{уд.}			3,5						4,2
Ток размыкания, А	I _{разм.}			6,3						7,6
Сопротивление через 1 час после размыкания, Ом	R _{I_{max}}			0,04						0,04

Продолжение таблицы 5

Максимальное время размыкания при 5 Iраз., с				3,0*			6,0
Мощность размыкания, Вт	$W_{\text{разм.}}$		2,5			2,9	

*Проверяется при 20А

Теоретические аспекты и решение материаловедческих задач по созданию токопроводящего полимера.

Функциональные свойства СП зависят от выбора исходных материалов – полимера и углеродных частиц.

Каждый из компонентов должен обладать особым набором специфических свойств, чтобы обеспечить необходимый режим функционирования СП, механизм которого рассмотрен выше.

Так, основными требованиями, которыми следует руководствоваться при выборе полимерного материала являются следующие.

Прежде всего, это способность полимера к обратимой кристаллизации, поскольку работа самовосстанавливающихся предохранителей основаны на фазовых переходах при определенной «переходной» температуре кристаллической фазы полимера в аморфную и обратно.

Другим условием выбора полимера, непосредственно связанным с первым, является то, что «переходная» температура должна находиться в области рабочих температур не ниже 70°C, чтобы не происходило преждевременного срабатывания СП, и не выше 125°C, чтобы СП был безопасен для других электронных компонентов и его можно было бы размещать в любом месте устройства.

Важным свойством также является способность полимера к формированию тонких пленок, что открывает возможность использования такого полимера для создания пленочных изделий специального назначения, в частности СП.

Таким особым сочетанием свойств наряду с механической прочностью, химической стойкостью, хорошими диэлектрическими показателями, низкой газо- и влагопроницаемостью, а также легкостью переработки в изделия всеми известными способами, доступностью сырья отличается наиболее известный представитель класса полиолефинов – полиэтилен (ПЭ).

Полиэтилен представляет собой высокомолекулярный продукт полимеризации этилена. Макромолекулы полиэтилена имеют линейное строение с небольшим числом боковых ответвлений. Молекулярный вес его в зависимости от метода и режима полимеризации колеблется от десятков тысяч до нескольких миллионов.

Полиэтилен – кристаллический полимер: при температуре около 20°C степень его кристалличности достигает (50 – 90) % (в зависимости от метода получения).

Известно несколько промышленных методов получения ПЭ.

Полимеризация этилена при высоком давлении (1000 – 3500 кг/см²). Процесс протекает при (200 – 300) °C в расплаве в присутствии инициаторов (перекисных соединений). Получаемый по этому методу полиэтилен имеет средневесовой молекулярный вес 80000 – 500000 и степень кристалличности (50 – 65) %. Такой полиэтилен называют полиэтиленами высокого давления (ПЭВД) или полиэтиленом низкой плотности (ПЭНП).

Полимеризация этилена при низком давлении (менее 40 кг/см²) с использованием металлоорганических катализаторов. Полимеризация протекает, как правило, при температуре = 80°C в суспензии в органических растворителях. Образуются менее разветвленные и более длинные

макромолекулы. Средневесовой молекулярный вес находится в пределах 80000 – 3000000, а степень кристалличности (75 – 85) %. Такой полиэтилен называется полиэтиленом низкого давления (ПЭНД) или полиэтиленом высокой плотности (ПЭВП).

Полимеризация этилена при давлении (30 – 40) кг/см² и температуре 150°С в растворе с использованием в качестве катализаторов окислов металлов переменной важности. Полимер обладает наиболее упорядоченной структурой. Молекулярный вес 300000 – 400000, степень кристалличности (80 – 90) %. Получаемый полиэтилен называют полиэтиленом среднего давления (ПЭСД).

Наиболее разветвленными являются макромолекулы ПЭВД, менее разветвленными – макромолекулы ПЭНД. Наличие боковых коротких ответвлений в макромолекулах ПЭ нарушает упорядоченное расположение молекул и приводит к образованию наряду с кристаллическими участками и аморфных областей. Большим количеством боковых ответвлений объясняется более низкая кристалличность и соответственно более низкая плотность (г/см³) ПЭВД (0,91 – 0,93) по сравнению с ПЭНД (0,95 – 0,96).

Степень кристалличности полимера с повышением температуры уменьшается. ПЭВД становится аморфным при температуре (108 – 110) °С, а ПЭНД – при температуре 130°С и выше.

Соответственно изменяется удельный объем. Зависимость удельного объема ПЭ от температуры показана на рисунке 8.

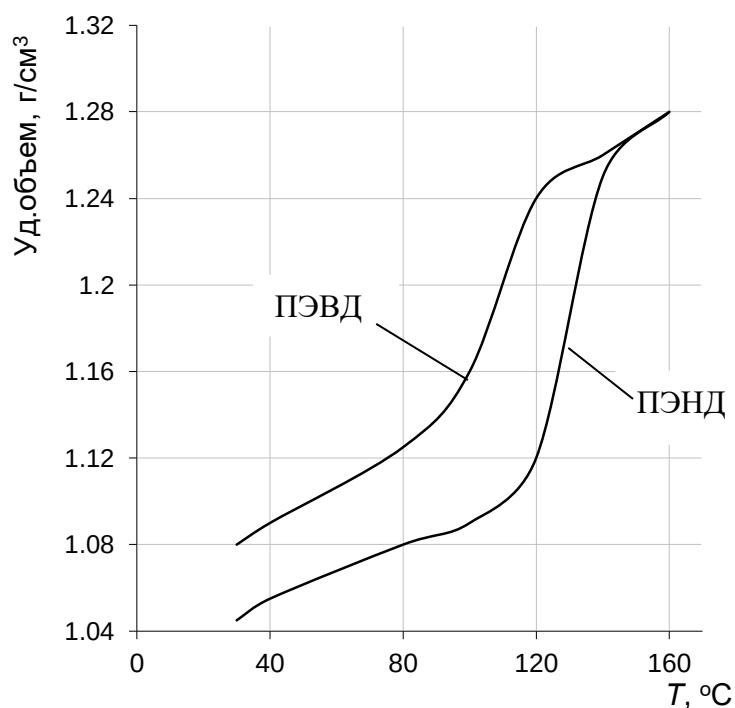


Рисунок 8 – График зависимости удельного объема ПЭ от температуры

В виду того, что для изготовления полимерно-углеродного композита необходим материал со степенью кристалличности не менее 70%, наиболее подходящим для этого является ПЭНД. На данный момент существует несколько отечественных марок ПЭНД отвечающих заявленным требованиям. К ним относятся следующие марки: ПЭ 277-73 ГОСТ 16338-85, А1 ТУ6-0540-16-95 и РЕ4РР-25В ТУ6-11-00206368-25-93.

Вторым компонентом, составляющим функциональную основу СП, является, как правило, мелкодисперсный технический углерод, распределенный в полимерной матрице.

Анализ механизма, на основе которого работает такая система, также приводит к очевидному выводу о важности многих факторов, связанных с физико-химическими характеристиками наполнителя. В первую очередь к

такovým следует отнести его электропроводность и дисперсионные характеристики.

Высокодисперсные порошки, состоящие из частиц сферической (или близко к сферической) формы и мало отличающиеся по размерам, т.е. монодисперсные, способны при соответствующих технологических режимах перемешивания образовывать в полимерной матрице трехмерную ячеистую структуру с наименьшим перколяционным порогом. В этом случае проводимость в системе появляется при наименьшей объемной концентрации наполнителя [6].

Если же проводящие частицы крупные, неправильной формы и/или не монодисперсные, то образуется искаженная ячеистая структура с локальными концентрированными скоплениями проводящих частиц, в которых мелкие частицы шунтируются более крупными. Это приводит к кажущемуся снижению объемной концентрации наполнителя, и перколяционный порог наступает при значительно большей объемной концентрации частиц.

В отечественной промышленности существует только одна марка технического углерода, обладающая электропроводностью и пригодная для использования. Это технический углерод марки УМ-76 ТУ 3810002-02, выпускаемый ЗАО «Химпласт», г. Томск.

					ПГУ 2. 11.03.04. 003 ПЗ	Лист
						30
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

2 Исследование строения и функционирования самовосстанавливающихся предохранителей

Функциональную основу СП составляют токопроводящие полимеры с положительным температурным коэффициентом сопротивления (ПТКС).

Сопротивление материалов, подверженных фазовому переходу, может очень резко возрастать в узком диапазоне температур, как показано на рисунке 9. Такая характеристика свойственна определенным типам токопроводящих полимеров. Эти токопроводящие полимеры используются для создания элементов защиты от перегрузки по току, обычно называемых полимерными ограничителями токовой перегрузки с ПТК, элементами защиты цепей или самовосстанавливающимися предохранителями[7].

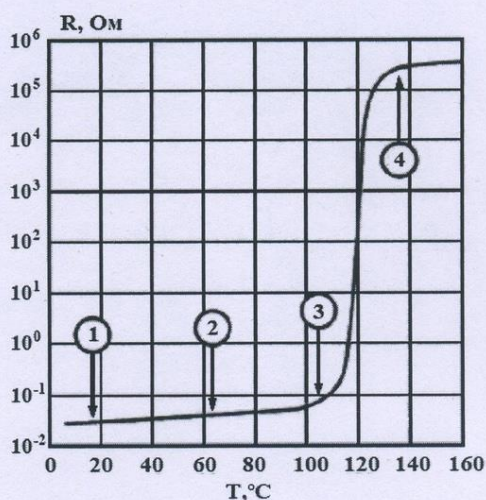


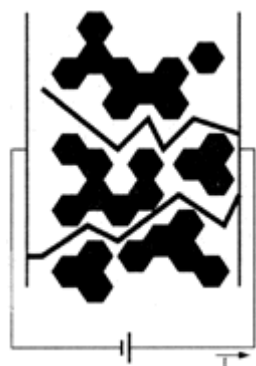
Рисунок 9 – Пример нелинейной зависимости сопротивления от температуры

					ПГУ 2. 11.03.04. 003 ПЗ				
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Исследование строения и функционирования самовосстанавливающихся предохранителей	Лит.	Лист	Листов	
Разраб.		Голенков							
Провер.		Вольсков					31	85	
						Гр.20ПД1			
Н. Контр.		Рыжова		13.06.14					
Утверд.									

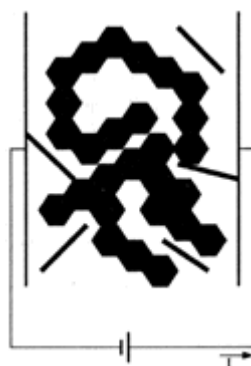
2.1 Исследование физических свойств полимеров с ПТК

Полимерный материал с ПТК представляет собой кристаллическую решетку органического полимера, содержащую рассеянные токопроводящие частицы, обычно сажи. Резкое повышение сопротивления, подобное показанному на рисунке 9, обусловлено фазовым превращением в полимере. В холодном состоянии материал является в основном кристаллическим, причем его токопроводящие частицы "втиснуты" в аморфные области между мелкими кристаллами (рисунок 10а).

а) холодное состояние



б) нагрев



в) горячее состояние

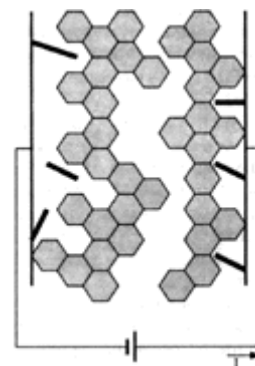


Рисунок 10 – Внутренняя структура полимерного материала с ПТК при различных температурах

Если процентное содержание токопроводящих частиц в полимере невелико, то материал не проводит ток. При повышении процентного содержания токопроводящих частиц до (или выше) определенного уровня, токопроводящие частицы соприкасаются или почти соприкасаются друг с другом, образуя трехмерную электропроводящую структуру. В зонах неполного соприкосновения токопроводящих частиц перенос заряда осуществляется за счет туннельного эффекта.

При нагревании элемента до точки фазового перехода в полимере мелкие кристаллы тают и переходят в аморфное состояние. При этом возрастает объем аморфной фазы и разрушается структура токопроводящих

цепей (рисунок 10а). По мере разрушения кристаллической структуры возрастает сопротивление элемента.

Поскольку фазовый переход в материале происходит в относительно узком диапазоне температур, изменение сопротивления также наблюдается в относительно узком диапазоне температур. Когда температура элемента достигает точки 4 на рисунке 9, разрушение токопроводящей структуры практически закончено (рисунок 10в).

После остывания полимерного материала происходит его кристаллизация и электропроводящая структура восстанавливается. Однако после кристаллизации сопротивление структуры не сразу восстанавливается до первоначального значения. Сопротивление прибора после первого срабатывания превышает начальное значение приблизительно на 50% (рисунок 11).

Необходимо отметить, что эффект увеличения сопротивления практически не обладает свойством накопления. Увеличение сопротивления происходит только при первом срабатывании предохранителя. При всех дальнейших срабатываниях последующего увеличения сопротивления не происходит. Заметное изменение сопротивления предохранителя может произойти только после многих тысяч его срабатываний. Типичный график зависимости сопротивления предохранителя от числа срабатываний представлен на рисунке 5.

Дальнейшее восстановление исходного сопротивления прибора возможно при протекании через него циклически изменяющегося тока, либо при внешнем нагреве его до температуры, не превышающей 85 град.



Рисунок 11 – Сопротивление предохранителя в ходе первых срабатываний

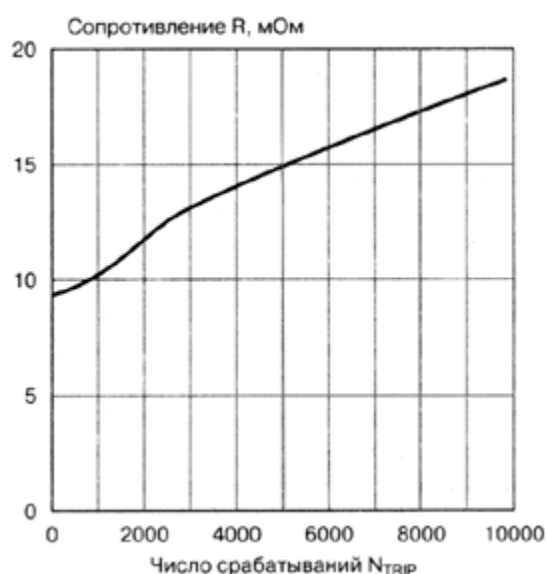


Рисунок 12 – Зависимость сопротивления предохранителя от числа срабатываний

Полимерная основа представляет собой резистор с положительным температурным коэффициентом сопротивления (ПТК), изготовленный из специального полимерного материала. Сопротивление полимерного резистора с ПТК определяется его внутренней температурой (рисунок 13а). Эта температура, в свою очередь зависит от двух факторов тепла, генерируемого при протекании электрического тока через резистор, и тепла, рассеиваемого

резистором в окружающую среду. Действие полимерных элементов с ПТК основано на общем балансе энергии, выраженном следующим уравнением:

$$mC_p \left(\frac{\Delta T}{\Delta t} \right) = I^2 R - k(T - T_a) \quad (1)$$

где I — ток в элементе; R — сопротивление элемента; m — масса элемента; Δt — изменение времени; C_p — теплоёмкость элемента; ΔT — изменение температуры элемента; T — температура элемента; T_a — температура окружающей среды; k — коэффициент теплоотдачи.

Согласно этому уравнению ток, проходящий через элемент генерирует тепло, определяемое в соответствии с законом Ома:

$$P_H = I^2 R \quad (2)$$

Вся или часть этого тепла рассеивается в окружающей среде и определяется по формуле:

$$P_D = k (T - T_a) \quad (3)$$

Часть тепла, не рассеянная в окружающей среде идет на повышение температуры элемента ($mC_p \left(\frac{\Delta T}{\Delta t} \right)$).

где Δt — изменение времени.

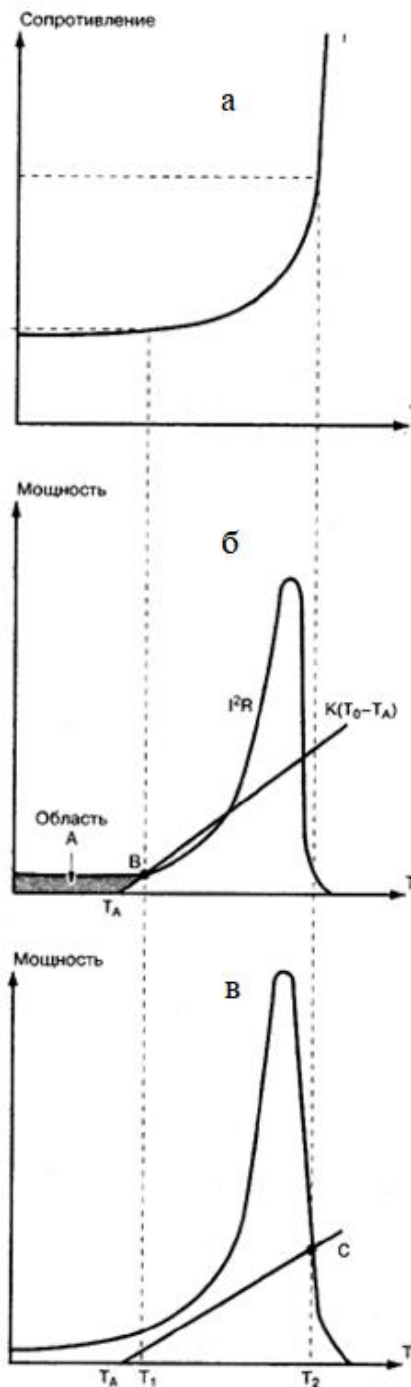
Для максимального упрощения уравнения (1) принято допущение, что внутри элемента температура одинакова.

При балансе тепла, вырабатываемого элементом, и тепла, рассеиваемого в окружающей среде, температура элемента перестает изменяться ($\Delta T / \Delta t$ стремится к нулю), и уравнение (1) может быть переписано в следующем виде:

$$I^2R = k (T - T_A) \quad (4)$$

При протекании электрического тока через ПТК резистор выделяющаяся на нем мощность приводит к нагреву резистора (область А). В этой области выделяющаяся мощность превышает мощность рассеивания в окружающую среду, и температура резистора возрастает. По мере нагрева резистора при температуре T , достигается равновесное состояние [7]. Эта температура соответствует точке пересечения кривых выделяемой и рассеиваемой мощности. При этом равновесное значение температуры в точке T , значительно ниже температуры фазового перехода в полимерном материале.

По мере возрастания тока, протекающего через элемент, при сохранении постоянной температуры окружающей среды, тепло, вырабатываемое элементом, увеличивается и увеличивается также температура элемента. Если, однако, это увеличение тока не слишком велико все генерируемое тепло может быть рассеяно в окружающей среде и элемент останется в устойчивом состоянии согласно уравнению (4) при более высокой температуре, например, точка 2 на рисунке 9.



а) сопротивление резистора с ПТК значительно увеличивается в узком диапазоне температур; б) при нормальных условиях устройство находится в состоянии теплового равновесия в точке В с низким сопротивлением; в) при срабатывании устройства тепловое равновесие достигается в точке С с высоким сопротивлением

Рисунок 12 – Зависимость характеристик резистора от температуры

Если возрастает не ток, а температура окружающей среды, элемент стабилизируется в устойчивом состоянии согласно уравнению (4) при более высокой температуре, возможно снова в точке 2 на рисунке 9. В эту же точку можно также попасть при одновременном возрастании тока и повышении температуры окружающей среды.

При дальнейшем возрастании тока или повышении температуры окружающей среды или при одновременном воздействии этих факторов температура элемента возрастает до значения, при котором начинается быстрый рост его сопротивления, см. точку 3 на рисунке 9.

При любом дальнейшем возрастании тока или повышении температуры окружающей среды скорость генерации тепла в элементе превышает возможную скорость его рассеивания в окружающей среде. Первая точка пересечения кривых выделяемой и рассеиваемой мощности (точка С на рисунке 6 в) смещается к температуре T_2 . В этой точке наступает равенство выделяемой и рассеиваемой мощности. В результате температура элемента остается сравнительно стабильной и происходит своеобразное защелкивание элемента в сработавшем состоянии.

Температура T_2 лежит выше температуры фазового перехода в полимерном материале. Это означает что "сработавший" элемент достигает равновесного состояния при значительном активном сопротивлении элемента, которое вызывает соответствующее снижение тока в цепи [8]. Пониженный уровень тока защищает цепь от повреждения. Возвращаясь к графику на рисунке 2, температура T_2 соответствует области значительного возрастания сопротивления и находится между точками 3 и 4. Этот участок и является нормальной рабочей областью для элемента в опрокинутом состоянии (после срабатывания).

Поскольку изменение температуры между точками 3 и 4 невелико член $(T - T_2)$ в уравнении (4) можно заменить константой $(T_0 - T_1)$, где T_0 - рабочая

температура элемента. Тогда уравнение (1) можно переписать в следующем виде:

$$I^2 R = \left(\frac{U^2}{R} \right) = k (T_0 - T_A) \quad (5)$$

Поскольку теперь k и $(T_0 - T_A)$ - константы, уравнение (5) принимает сокращенный вид:

$$I^2 R = \left(\frac{U^2}{R} \right) = \text{const}, \quad (6)$$

то есть теперь элемент находится в состоянии с постоянной мощностью. Определение этой постоянной мощности формулой U^2/R подчеркивает, что сопротивление элемента в опрокинутом состоянии (после срабатывания) пропорционально квадрату приложенного напряжения. Это отношение сохраняется, пока сопротивление элемента не достигнет верхнего изгиба характеристики (точка 4 на рисунке 9).

Что касается сработавшего элемента, то в течение периода, пока приложенное напряжение достаточно высоко для того чтобы результирующая энергия U^2/R компенсировала рассеивание $k (T_0 - T_A)$, элемент остается в этом опрокинутом состоянии (то есть элемент остается "защелкнутым" в состоянии, обеспечивающем защиту).

После отключения напряжения питания прекращается выделение мощности в элементе. Благодаря продолжающемуся рассеянию мощности в окружающую среду элемент начинает остывать [9]. При достижении температуры фазового перехода происходит восстановление кристаллической структуры полимерного материала и восстановление в нем токопроводящих цепей. При этом сопротивление элемента быстро возвращается к исходному

уровню. Начиная с этого момента элемент снова готов для дальнейшей работы. Таким образом, происходит "самовосстановление" предохранителя.

2.2 Исследование электрических параметров полимеров

В этом разделе приведены основные электрические параметры элементов и влияние на них окружающих условий. На основе этих параметров осуществляется выбор устройства, подходящего для конкретного применения.

Основными параметрами, определяющими применимость конкретного элемента полимера, являются ток срабатывания, ток пропускания и время срабатывания устройства.

Ток пропускания ($I_{\text{прон}}$)

Максимальный установившийся ток, который при указанных окружающих условиях может проходить через элемент без срабатывания этого элемента.

Ток срабатывания ($I_{\text{сраб}}$)

Минимальный установившийся ток, который при прохождении через элемент при оговоренных условиях приводит к обязательному срабатыванию этого элемента.

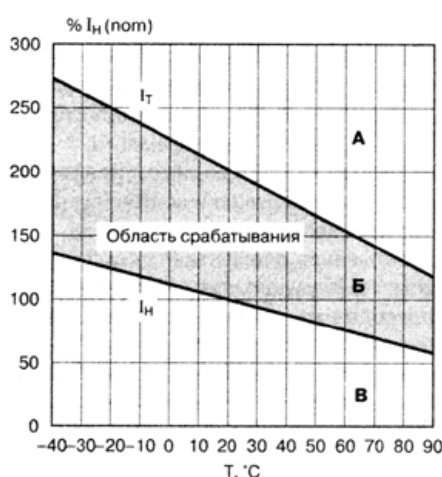


Рисунок 14 – Зависимость тока срабатывания и тока пропускания от температуры окружающей среды

На рисунке 14 приведен пример взаимосвязи этих двух параметров, а также зависимость токов срабатывания и пропускания от температуры окружающей среды. Такие кривые могут быть построены для каждого конкретного элемента.

Область А определяет возможные комбинации тока и температуры, которые приведут к обязательному срабатыванию элемента (к переходу в высокоимпедансное состояние) и к защите цепи от перегрузки. Область В соответствует комбинациям тока и температуры, при которых элемент всегда находится в низкоимпедансном состоянии и не препятствует нормальной работоспособности защищаемой цепи. Область Б соответствует области неопределенного состояния, в пределах которой элемент может находиться либо в низкоимпедансном, либо в высокоимпедансном состоянии в зависимости от разброса параметров каждого конкретного элемента.

Поскольку элементы обладают тепловым принципом действия, то любые изменения температуры окружающей среды оказывают влияние на параметры устройства. При повышении температуры окружающей среды меньше энергии требуется для срабатывания устройства и, таким образом, значения токов срабатывания и пропускания уменьшаются.

Время срабатывания ($t_{ср\text{аб}}$)

Время срабатывания определяется как период времени после возникновения перегрузки, в течение которого падение напряжения на элементе станет больше 80% от напряжения питания защищаемой цепи (то есть сопротивление элемента станет значительно выше сопротивления нагрузки). Срабатывание элемента становится возможным, если выделение тепла в нем превышает скорость отвода тепла в окружающую среду. При этом температура элемента и, следовательно, его сопротивление начинает возрастать. Скорость возрастания температуры элемента и суммарная энергия, требуемая для его срабатывания, зависят от тока перегрузки и условий

теплоотвода. При относительно малых токах перегрузки - в 2...3 раза превышающих ток пропускания - большинство элементов срабатывает медленно, поскольку значителен теплоотвод в окружающую среду. Только незначительная часть выделяемого тепла уходит на повышение температуры элемента. При этих условиях теплоотвод в окружающую среду играет значительную роль в определении времени срабатывания элемента. Чем выше скорость отвода тепла, тем больше время срабатывания элемента. Таким образом, изменением условий теплоотвода можно оказывать существенное влияние на скорость срабатывания элемента [10].

При высоких токах перегрузки - в 10 и более раз превышающих ток пропускания - время срабатывания значительно меньше, поскольку значительная часть выделяемого тепла остается внутри элемента и идет на повышение его температуры. При этих условиях теплопередача в окружающую среду не играет столь важной роли в определении времени срабатывания элемента.

Однако, в любом случае необходимо принимать во внимание расположение элемента в составе защищаемого оборудования с точки зрения возможного теплоотвода.

Поскольку срабатывание элемента является динамическим процессом, то затруднительно предсказать точное влияние внешнего теплоотвода на время срабатывания защитного устройства, которое будет определяться не только теплопроводностью материала теплоотвода, но также и его теплоемкостью.

Мощность рассеяния ($P_{\text{рас}}$)

Мощность [Вт], рассеиваемая элементом в сработавшем состоянии. Мощность рассеяния представляет собой произведение тока, проходящего через элемент на падение напряжения на элементе в сработавшем состоянии.

Возвращаясь еще раз к уравнениям (5) и (6), описывающим тепловой баланс элемента в сработавшем состоянии, можно отметить, что мощность рассеяния $P_{\text{рас}} = U \cdot I$ однозначно определяется условиями отвода тепла в окружающую среду. Из этого следует, что величина тока, протекающего через элемент, а, следовательно, и через защищаемую цепь в сработавшем состоянии, будет обратно пропорциональна напряжению питания защищаемой цепи.

Влияние окружающих условий на параметры элемента

Как было отмечено выше, условия теплоотвода от элемента могут оказывать заметное влияние на параметры устройства. В общих чертах это влияние можно обобщить в следующем:

- повышение температуры окружающей среды приводит к ухудшению отвода тепла с поверхности элемента. В результате уменьшаются значения токов пропускания и срабатывания, уменьшается мощность рассеяния и время срабатывания устройства.

- улучшение теплоотвода от элемента приводит к увеличению мощности рассеяния, увеличению токов пропускания и срабатывания и увеличению времени срабатывания (особенно в диапазоне больших длительностей).

При этом необходимо отметить, что повышение температуры окружающей среды может быть вызвано не только общим повышением температуры внутри прибора, но и локальным нагревом элемента при его расположении в непосредственной близости от источников тепла, таких как силовые транзисторы, мощные резисторы или трансформаторы [11]. Аналогичным образом на условия теплоотвода от элемента может оказывать влияние как непосредственный контакт поверхности устройства с металлическими частями, прибора так и условия монтажа устройства на

печатной плате. Например, установка элементов серии *SMD*, *mini SMD* и *TS*, предназначенных для поверхностного монтажа на широких проводниках печатной платы, может привести к значительному увеличению теплоотвода от элемента. Этому влиянию менее подвержены элементы других серий, снабженные длинными тонкими выводами. Значительное влияние на условия теплоотвода может оказать также расположение элемента в непосредственной близости от вентилятора.

Начальное сопротивление $R(\min)$ или $R(\max)$

Сопротивление элемента при указанных условиях (например, при 200 °C) перед его подключением в схему. Элементы одного типа имеют определенный диапазон сопротивлений. Поэтому часто указывается минимальное значение $R(\min)$ и/или максимальное значение $R(\max)$.

Максимальное сопротивление $R_1(\max)$

Максимальное сопротивление элемента при комнатной температуре через 1 час после срабатывания или пайки оплавлением.

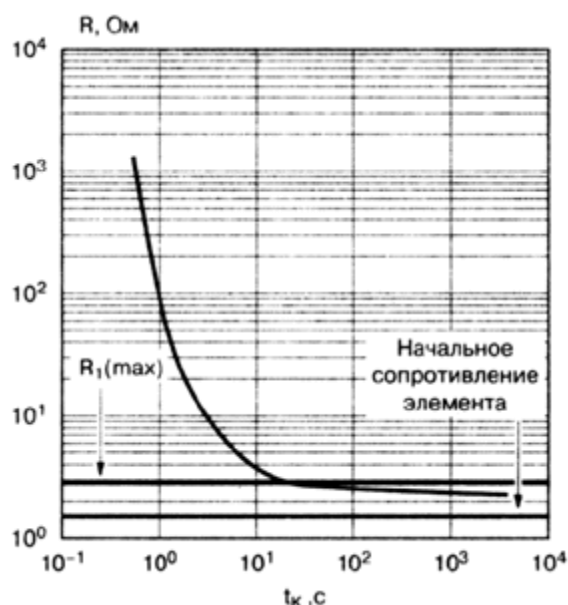


Рисунок 15 – Восстановление сопротивления устройства *RHE025* после срабатывания

Элементы обладают некоторым гистерезисом сопротивления при срабатывании, как в результате электрической перегрузки, так и в результате повышения температуры в процессе пайки. Этот гистерезис проявляется в повышении сопротивления элемента после срабатывания. На рисунке 15 приведен типичный пример поведения сопротивления элемента в результате срабатывания и последующего остывания. Из графика видно, что даже через несколько часов после срабатывания устройства, его сопротивление остается выше начального значения [12]. На протяжении значительного периода времени сопротивление элемента продолжает снижаться, и в пределе, приближается к величине начального сопротивления. Однако этот период времени может продолжаться дни, месяцы и даже годы. Поэтому при разработке устройства такое изменение сопротивления принимается во внимание и учитывается в определении токов пропускания и срабатывания элемента. Увеличение сопротивления элемента определяется величиной $R_1(\max)$ и измеряется через 1 час после срабатывания элемента. Необходимо отметить, что эффект увеличения сопротивления элемента практически не обладает свойством накопления при последующих срабатываниях элемента.

Максимальное рабочее напряжение

Максимальное напряжение на элементе при возникновении типичной неисправности. В большинстве схем это напряжение питания схемы.

Максимальное напряжение и ток срабатывания $U(\max)$, $I(\max)$

Максимальные значения напряжения и тока, которые могут быть прерваны элементом при возникновении перегрузки без опасности разрушения самого защитного элемента. Максимальное значение тока срабатывания элемента обычно приводится для максимального напряжения. Элемент может сохранять работоспособность при больших значениях тока

срабатывания при условии уменьшения напряжении срабатывания. Аналогично возможно увеличение напряжения срабатывания при уменьшении допустимого тока срабатывания. Однако каждый случай такого применения элемента следует оговаривать особо.

Сопротивление элемента в сработавшем состоянии

Сопротивление элемента в сработавшем состоянии может быть оценено по следующей формуле:

$$R = \left(\frac{U_{PS}}{P_D} \right)^2, \quad (7)$$

где R – сопротивление элемента в сработавшем состоянии; U_{PS} – падение напряжения на элементе; P_D – мощность рассеяния элемента

Ток утечки элемента в сработавшем состоянии

Ток утечки элемента в сработавшем состоянии определяется по формуле:

$$I = \left(\frac{P_D}{U_{PS}} \right) \quad (8)$$

где I – ток, протекающий через элемент в сработавшем состоянии;

Условия самовосстановления предохранителя

При определенных условиях сработавший элемент самостоятельно вернется к нормальному рабочему состоянию. Это свойство представляет большой интерес для областей использования, где напряжения могут значительно изменяться в процессе работы.

Элемент автоматически восстанавливается при выполнении следующих условий:

$$\left(\frac{U_{PS}}{4P_L} \right)^2 < P_D \quad (9)$$

где U_{PS} – рабочее напряжение цепи; R_L – сопротивление нагрузки;

Индуктивные выбросы

При нормальных условиях время срабатывания элемента составляет от нескольких миллисекунд до многих секунд. Однако в реальных условиях, в зависимости от тока перегрузки и размеров элемента, время срабатывания может быть значительно меньше и достигать 1 мс и менее. В результате этого скорость изменения тока в защищаемой цепи (dI/dt) может оказаться достаточно велика. При наличии в цепи нагрузки значительной индуктивности высокие значения dI/dt могут привести к возникновению больших выбросов напряжения:

$$U = L \sqrt{\frac{dI}{dt}}, \quad (10)$$

где U – напряжение выбросов; L – индуктивность нагрузки;

Выбросы напряжения могут оказаться достаточно высоки, чтобы повредить элемент.

2 Исследование строения и функционирования самовосстанавливающихся предохранителей

Функциональную основу СП составляют токопроводящие полимеры с положительным температурным коэффициентом сопротивления (ПТКС).

Сопротивление материалов, подверженных фазовому переходу, может очень резко возрастать в узком диапазоне температур, как показано на рисунке 9. Такая характеристика свойственна определенным типам токопроводящих полимеров. Эти токопроводящие полимеры используются для создания элементов защиты от перегрузки по току, обычно называемых полимерными ограничителями токовой перегрузки с ПТК, элементами защиты цепей или самовосстанавливающимися предохранителями[7].

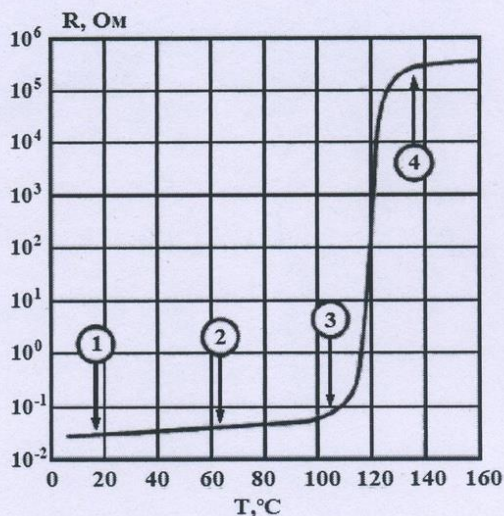


Рисунок 9 – Пример нелинейной зависимости сопротивления от температуры

					ПГУ 2. 11.03.04. 003 ПЗ		
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			
Разраб.		Голенков	<i>Голенков</i>		Лит.	Лист	Листов
Провер.		Вольсков	<i>Вольсков</i>			31	85
Н. Контр.		Рыжова	<i>Рыжова</i>	13.06.24	Гр.20ПД1		
Утверд.							
					Исследование строения и функционирования самовосстанавливающихся предохранителей		

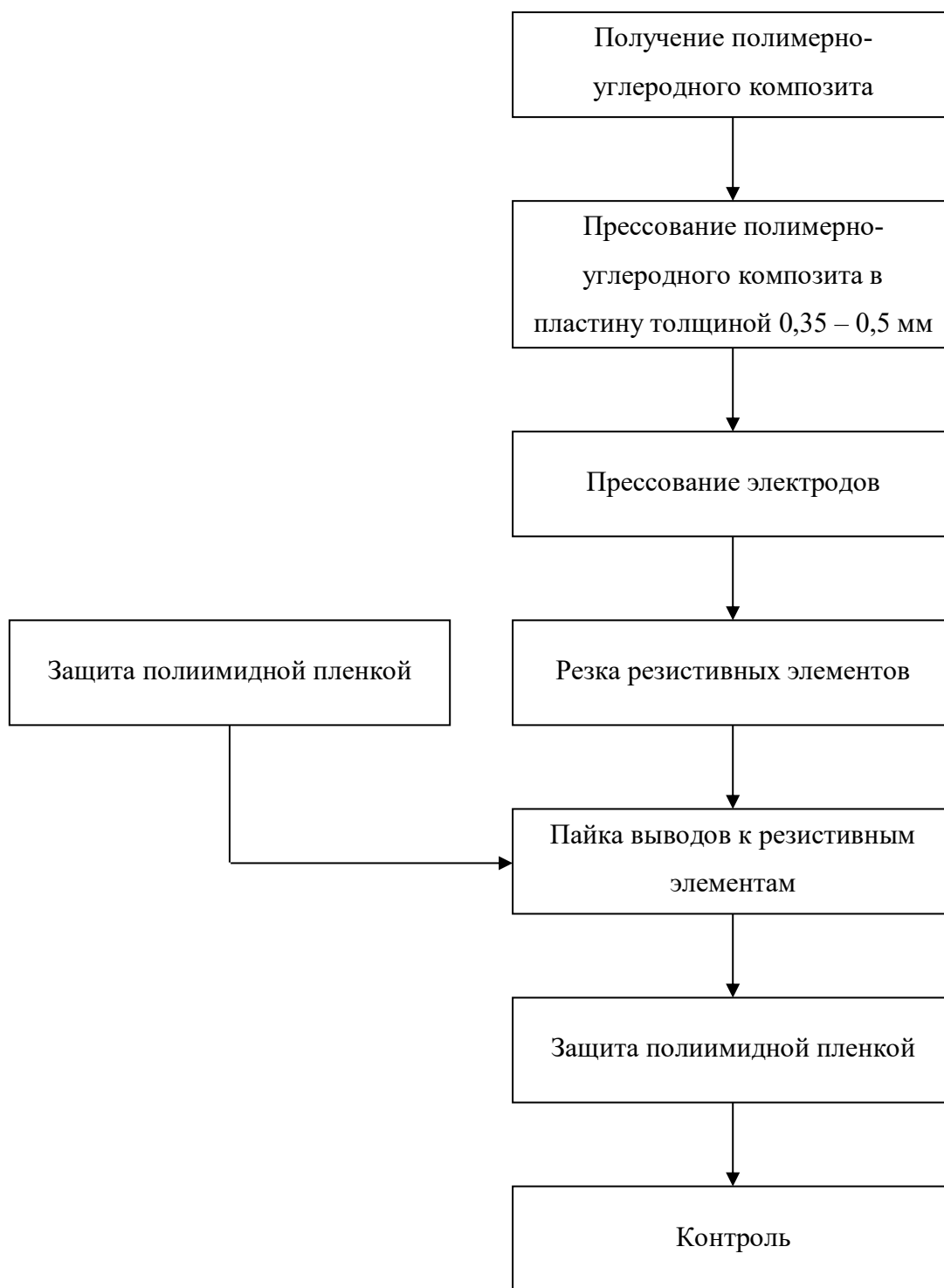


Рисунок 16 – Структурная схема технологического процесса изготовления
СП

3.1 Выбор оптимальных технологических решений создания специального полимерного композита

Теоретическая и материаловедческая проработка вопросов создания функциональной основы СП – угленаполненного полимерного композита, позволила выделить три технологические схемы, наиболее перспективные для решения поставленных задач:

-порошковая технология, при которой основные исходные компоненты представляют собой порошкообразные материалы;

-растворная технология, основу которой составляет процесс внедрения порошкообразного углерода в раствор полиэтилена с последующим удалением растворителя;

-расплавная технология, включающая в себя технологический процесс внедрения углерода в расплав полиэтилена.

Данная технологическая схема основывается на применении исходных компонентов: полиэтилена (ПЭ) и технического углерода в виде порошкообразных материалов.

На первой стадии оба компонента тщательно перемешиваются посредством многократного (трех – пятикратного) просеивания на ситовой виброустановке. При этом образуется однородная порошкообразная композиция, состоящая из мелких частиц полиэтилена, на поверхности которых адсорбированы мельчайшие до 0,1 – 0,5 мкм частицы углерода. Далее композиция подвергается горячему прессованию.

Схема достаточно проста в исполнении, технологический процесс до заключительной стадии горячего прессования проводится при комнатной температуре.

Ограничительным моментом является следующее обстоятельство.

Базовые марки и композиции полиэтилена выпускаются промышленностью в основном в виде гранул 2 – 5 мм. Механическое

измельчение такого полиэтилена, как и любого полиолефина, до порошкообразного состояния весьма проблематично из-за особых вязкостных свойств полимеров этого класса.

Порошкообразный ПЭ может быть получен особым методом, когда полимеризация этилена проводится при определенных условиях (давление, температура) в суспензиях некоторых растворителей. Это так называемый суспензионный полиэтилен.

Некоторые базовые марки суспензионного ПЭ выпускаются промышленностью. Отличительной их особенностью является повышенная высокомолекулярность (молекулярная масса более 200000 у.е.), а, следовательно, низкий индекс расплава, т.е. полимер и в расплавленном состоянии характеризуется высокой вязкостью.

Экспериментальные работы проводились с порошкообразным суспензионным ПЭ низкого давления (высокой плотности).

В качестве наполнителя использовался технический углерод марки УМ-76.

Сухая смесь из названных компонентов, полученная при совместном просеивании на виброустановке, в специальной форме подвергалась воздействию повышенной температуры до 200 – 250°C.

Частицы ПЭ, покрытые мелкодисперсным углеродом, расплавлялись, наблюдалось частичное их спекание, однако при этом не происходило внедрение углеродных частиц в полимерную основу. Композит после охлаждения представлял собой, как и до разогрева, механическую смесь из полимерных частиц с адсорбированным на их поверхности углеродом, только частично спеченную.

Варьирование температурных режимов, как и продолжительности процесса остывания, к желаемому результату не привело. Получить

угленаполненный композит, представляющий собой полимерную матрицу, внутри которой равномерно распределены частицы углерода, не удалось.

Таким образом, данная технологическая схема, основанная на использовании порошкообразных компонентов, бесперспективна.

Начальным этапом данной технологической схемы является растворение полиэтилена в подходящем растворителе. Поэтому основными задачами, которые предстояло решить, были:

- определение группы растворителей наиболее пригодных для перевода в раствор гранулированного полиэтилена;

- определение технологических режимов растворения ПЭ – оптимальную температуру растворения, длительность процесса, способы перемешивания и т.д;

- определение оптимальной концентрации раствора ПЭ с точки зрения пригодности такого раствора для последующих технологических операций;

- определение и отработка приемов приготовления суспензии порошка углерода в растворе ПЭ;

- отработка технологии упаривания растворителя с целью получения композиционной массы, пригодной для последующей переработки в листовой полуфабрикат;

Поскольку макромолекулы полиэтилена не содержат полярных связей, наиболее подходящими растворителями для них должны были стать неполярные растворители. Выбор был остановлен на двух группах неполярных растворителей:

- ароматических ряда бензола (толуол, ксилол);
- алифатических парафинового ряда (изооктан, октан, нонан, декан, додекан);

Наилучшими растворителями для ПЭ оказались жидкие парафины.

Было определено, что растворение ПЭ начинается при температуре 120 – 130°C. Процесс растворения длится в течение 60 – 70 мин при постоянном перемешивании.

Максимальная концентрация раствора, который удастся приготовить – не более 15%. Такой раствор, однако, быстро «схватывается» при понижении температуры и масса застывает на шпателе и лопастях мешалки.

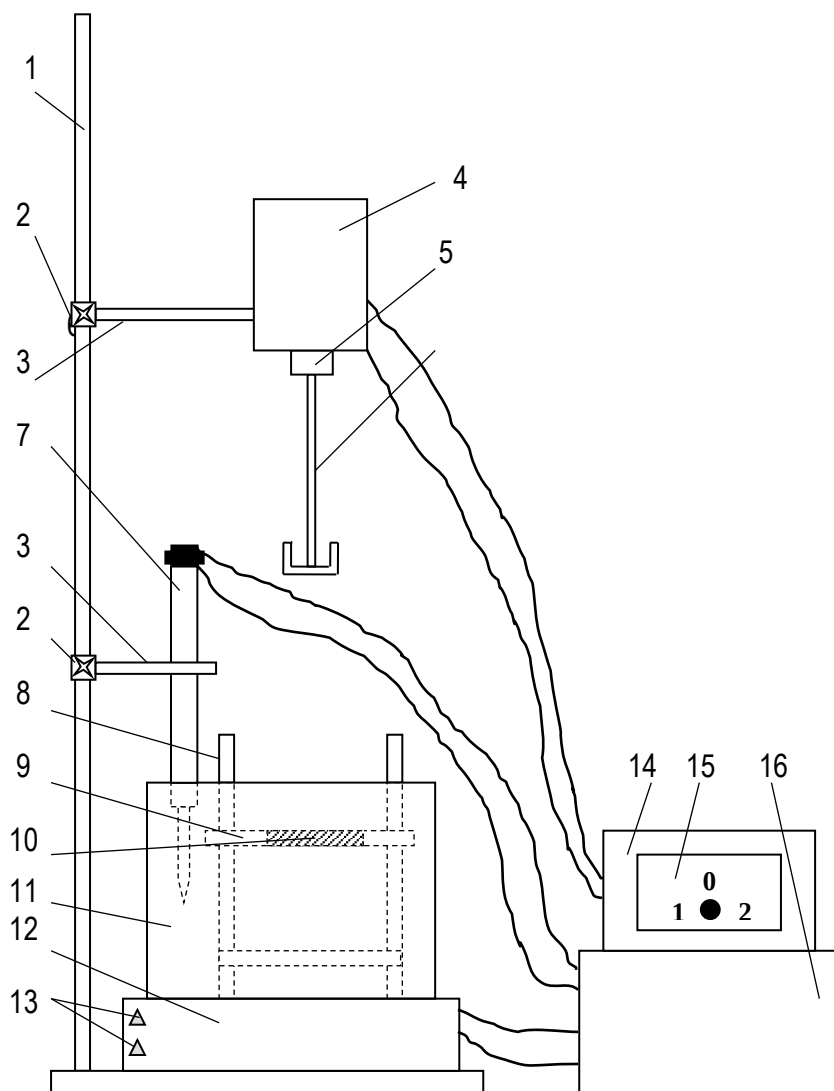
Наиболее оптимальной является концентрация раствора, равная 10%.

С учетом температуры растворения ПЭ (120 – 130°C), температуры кипения жидких парафинов (от 99°C у изооктана до 216°C у додекана) выбор был остановлен на парафиновых углеводородах с температурой кипения не ниже 140°C, наиболее оптимальным из которых является декан с температурой кипения = 174°C.

Отработка технологии внедрения порошкообразного углерода в раствор ПЭ позволила остановиться на следующей технологической цепочке.

Расчетное количество углерода УМ-76 диспергируется в соответствующем объеме растворителя в ультразвуковой установке. Затем в приготовленную суспензию, нагретую до 140 – 150°C, вводится расчетное количество гранулированного ПЭ, который растворяется при постоянном перемешивании до полного растворения.

Технологический процесс приготовления суспензии углерода в растворе ПЭ проводится на установке, изображенной на рисунке 17.



1) штатив; 2) зажим; 3) держатель; 4) электродвигатель; 5) вал электродвигателя; 6) насадка для перемешивания; 7) термометр ТПК; 8) стойка; 9) планка; 10) гнездо для стакана; 11) ёмкость; 12) электроплитка; 13) выключатель двухклавишный; 14) регулятор скорости вращения насадки; 15) переключатель скорости; 16) регулятор температуры;

Рисунок 17 – Установка приготовления суспензии углерода в растворе ПЭ

Далее следует упаривание суспензии. Поскольку удаление растворителя из раствора полимера протекает достаточно трудно, процесс упаривания суспензии до полного испарения растворителя проводится в вакуум-сушильном шкафу.

В результате образуется полимерно-углеродный композит в виде черной монолитной массы, который далее направляется на операцию экструдирования через пресс червячный с плоскощелевой насадкой для получения ленточного экструдата, пригодного для переработки в пленку необходимой толщины.

Недостатками растворной технологии являются сложность оборудования, повышенный расход основных материалов и вредность производства, что затрудняет её реализацию. Поэтому, данная технология непригодна для реализации поставленной задачи.

В соответствии с этой схемой технологический процесс проводится в расплаве полиэтилена.

Очень важно, чтобы при этом достигалось равномерное распределение мелкодисперсного углерода в расплавленной реакционной массе. Такой эффект достигается чрезвычайно трудно.

Во-первых, внедрение порошкообразного наполнителя в полимерную матрицу возможно лишь в аморфные области полимера.

Полиэтилен относится к кристаллическим полимерам с содержанием кристаллической фазы более 50%. Доля же кристаллической части в полиэтиленах, пригодных для создания самовосстанавливающихся предохранителей, должна быть не менее 70 – 80%.

Во-вторых, расплав полиэтилена представляет собой густую массу с высокой вязкостью, которая заметно повышается с добавлением в расплав углеродного порошка.

Оба названных фактора приводят к тому, что процесс «вмешивания» углерода в расплав требует больших усилий сдвига, а, следовательно, специального технологического оборудования – особых смесителей, в рабочем объеме которых расплавленная угленаполненная масса подвергается значительным сдвиговым напряжениям.

В ходе проработки расплавной технологической схемы были апробированы два способа внедрения углерода в расплав полиэтилена:

- смешивание компонентов посредством одношнекового экструдера;
- смешивание компонентов в специальном смесителе «*Brabender*»;

В первом случае применялся пресс червячный (ПЧ-20), представляющий собой одношнековый экструдер. Экструдер состоит из червяка, установленного консольно в корпусе, имеющим загрузочное окно (бункер) и выходное отверстие с примыкающим к нему формующим инструментом – насадкой.

В любой червячной машине независимо от ее конструктивных особенностей происходит перемещение перерабатываемого материала к формующей насадке, нагрев материала, пластикация, смешивание и гомогенизация – как механическая, так и температурная. Однако во всех червячных установках эффект смешивания является сопутствующим и слабо выраженным.

Экспериментальные работы по отработке технологии смешивания расплава полиэтилена с порошкообразным углеродом лишь подтвердили это. Качественного смешивания композиций с содержанием наполнителя 30 – 50% не удалось даже при многократном (до 18-кратного) прогоне массы через рабочий объем экструдера. Более того, из-за имевшего место скапливания наполнителя в зоне нагрева, когда ПЭ еще не расплавлен, происходило значительное уплотнение реакционной массы, которое приводило к торможению вращения червяка и полной его остановке.

Таким образом, данный способ «вмешивания» углерода в расплав полиэтилена оказался непригодным.

Иной результат был получен, когда угленаполненный композит приготавливался в специальном смесителе, в котором лопастной вал занимает до 50% объема закрытой камеры. Такие смесители называют роторными.

Материалы в камеру роторных смесителей загружают через воронку, расположенную сверху, а полученные смеси выгружают через нижний затвор скользящего или откидного типа.

Обработка смесей происходит внутри рабочей камеры, в которой расположены вращающиеся навстречу друг другу роторы. В начальной стадии смешивания пресс верхнего затвора оказывает давление на компоненты смеси и совместно с действием вращающихся роторов начинается процесс смешивания, заключающийся во вдавливании, втирании наполнителя в полимерный расплав.

За счет особой винтообразной конструкции роторов и взаимного положения их лопастей осевое перемещение смеси имеет вид пространственной восьмерки. Подобное перемещение компонентов создает хорошие предпосылки для осуществления процесса смешения и получения смесей высокого качества.

Наибольшее распространение получили роторные смесители «Brabender». На одном из его типов в ИСПМ им. Н.С. Ениколопова РАН были синтезированы экспериментальные партии разрабатываемого полимерного композита с содержанием углерода от 35 до 50 вес. %. Композиты всех составов представляли собой однородную массу черного цвета с отблеском на поверхностных слоях. Этот факт свидетельствует о том, что данный способ внедрения порошкообразного углерода в полиэтиленовую матрицу весьма эффективен.

В ходе работы было разработано приспособление для перемешивания, в конструкции которого заложены некоторые конструкционные элементы роторных смесителей промышленных образцов.

На макетном образце приспособления были изготовлены образцы полимерного угленаполненного композита по расплавной технологии. В процессе отработки режимов изготовления разработана технологическая инструкция «Приготовление полимерно-углеродного композита».

Таким образом, по результатам экспериментальной работы были выбраны оптимальные технологические решения создания функционального материала для разрабатываемого самовосстанавливающегося предохранителя, и в последствии на их основе будет разрабатываться технологический процесс изготовления СП.

Как отмечено в разделе 1 все зарубежные ведущие в мире фирмы – производители СП в качестве токопроводящих электродов, гарантирующих равномерное распределение электрического потенциала по всей площади СП, используют медные пластинки толщиной 0,04 – 0,05 мм, имеющие малое удельное сопротивление.

В ходе исследовательских работ были рассмотрены варианты формирования токопроводящих электродов методом гальванического осаждения меди на полимерно-углеродный композит, методом вакуумного напыления и методом горячего прессования медной фольги.

При отработке процесса гальванического нанесения меди на полимерно-углеродный композит не удалось определить оптимальные режимы гальванического осаждения и оптимальные составы электролитов, гарантирующие высокие адгезионные характеристики нанесенных слоев. Кроме того, процесс формирования толстых слоев меди до 50 мкм требует длительного времени, порядка 4 – 5 часов, что в конечном итоге существенно увеличивает трудоемкость и цену изделий.

Метод вакуумного напыления медных электродов обладает преимуществом чистоты процесса, который происходит в вакууме, где исключено попадание нежелательных примесей в формируемый материал электродов. Вакуумные напылительные установки магнетронного типа позволяют наносить материалы до 30 – 40 мкм. Однако процесс формирования требуемых в работе толщин металлизации также занимает значительное время. Кроме того, адгезионные свойства осаждаемых материалов существенно зависят от температуры нагрева подложки (в данном случае полимерно-углеродный композит). Наиболее оптимальная температура подложки для хорошей адгезии должна быть 300 – 350°С и со снижением температуры адгезионные характеристики ухудшаются, а ввиду специфических свойств полимерно-углеродного композита его нельзя разогревать более 130°С на время более 3 – 5 мин., т.к. он теряет свои электрические характеристики.

Наиболее перспективным методом формирования токопроводящих электродов является метод горячего прессования медной фольги на полимерно-углеродный композит. Процесс заключается в следующем. В разогретую до температуры 170 – 180°С пресс-форму укладывается заготовка медной фольги толщиной 35 мкм, на нее помещается пластина из полимерно-углеродного композита, а сверху укладывается вторая заготовка фольги. Пресс-форма устанавливается на горячий пресс, который сдавливает пресс-форму с давлением до 200 т/см², выдерживается под давлением 1 минуту, затем снимается с пресса. Заготовка резистивного элемента с отпрессованными электродами изымается из пресс-формы. Затем эта заготовка разрезается на резистивные элементы необходимых размеров.

Следует отметить, что в ходе отработки формирования токопроводящих электродов на полимерно-углеродный композит методом горячего прессования определилась проблема, связанная с недостаточной

адгезией фольги к полимеру. Фольга, изготовленная традиционным способом прокатки через валки, имеет с обеих сторон гладкую поверхность и, прилегая поверхностью к полимерному слою, она имеет недостаточную адгезию к нему. Поэтому была найдена специальная фольга *NT-TW-THE (IPC-4562/3) CuE3* производства Кыштымского электромедеплавильного завода, которая изготавливается по специальной технологии. Одна сторона этой фольги имеет развитую шероховатую поверхность.

При горячем прессовании основа полимерно-углеродного композита подправляется и внедряется между гранулами шероховатости, что создает надежный электрический контакт с требуемыми адгезионными свойствами.

Таким образом, в ходе разработки технологии были проведены экспериментальные работы по изготовлению резистивного элемента самовосстанавливающихся предохранителей и разработан технологический процесс формирования электродов «Плата резистивная».

Для монтажа самовосстанавливающихся предохранителей в электронной аппаратуре к токопроводящим электродам резистивного элемента припаиваются ленточные выводы, изготовленные из никеля толщиной 0,15мм.

Как отмечалось ранее, ввиду специальных свойств полимерно-углеродного композита не допускается длительный перегрев композита. Поэтому традиционные методы пайки выводов паяльником или окунанием в расплав припоя в данном случае неприемлемы, т.к. температура жала паяльника или расплава припоя в ванне при пайке должна быть не менее 250°С. В процессе отработки метода пайки внешних выводов в работе был взят за основу метод пайки припойными пастами.

Припойные пасты наносятся на спаиваемые поверхности тонким слоем, толщиной приблизительно 0,5 – 0,8 мм, затем соединяются и подвергаются кратковременному нагреву в течение 0,8 – 1,0 мин. Паста при

этом оплавляется, обеспечивая надежное соединение деталей. Учитывая, что процесс оплавления припойных паст сравнительно кратковременный и происходит при температурах не выше 220°C, такой метод присоединения выводов к резистивному элементу может быть использован при изготовлении самовосстанавливающихся предохранителей.

В результате проведенных экспериментальных работ разработан технологический процесс пайка выводов к резистивному элементу и маршрутные карты общего технологического процесса.

3.2 Изготовление, исследование и испытание макетных образцов

Главной задачей при изготовлении макетных образцов СП является получение функционального слоя – токопроводящего полимерного композита, на основе ПЭНД и технического углерода.

При изготовлении угленаполненного композита нужно учитывать влияние свойств, выбранных марок, ПЭ на общие электрические и механические параметры. В таблице 6 приведены некоторые свойства марок ПЭ, которые будут использоваться при изготовлении полимера.

Таблица 6 – Основные свойства ПЭ различных марок

Наименование показателя	Марка ПЭ		
	ПЭ 277-73	A1	PE4PP-25B
Плотность, г/см ³	0,958	0,951	0,960
Показатель текучести расплава, г/10 мин.	17	20	19
Предел текучести при растяжении, МПа	27,5	30	30
Относительное удлинение при разрыве, %	10	21	18
Температура хрупкости, °С, не выше	– 50	– 49	– 47
Модуль упругости при изгибе, МПа	830	780	800

Параметры технического углерода так же влияют, но главным образом на электрические свойства композиции. В таблице 7 отражены основные характеристики технического углерода.

Таблица 7 – Основные характеристики технического углерода

Наименование показателя	Марка углерода
	УМ-76
Удельная внешняя поверхность, м ² /г	160-180
Йодное число, г/кг	290-350
Абсорбция ДБФ, см ³ /100г	95-115
Массовая доля потерь при температуре 105 °С, %, не более	0,9
Зольность, %, не более	1,0

Создание макетных образцов включает четыре основных операции: получение полимерон-углеродного композита, его измельчение, нанесение токопроводящих электродов и пайку выводов.

В качестве основных материалов для изготовления угленаполненного композита мы используем ПЭ и технический углерод вышеописанных марок. Так как нам не известно, какая из выбранных марок ПЭ даст лучший результата, при смешивании с углеродом, поэтому мы будем смешивать углерод с каждой из них. При этом, чтобы определить оптимальное количество содержания углерода в ПЭ, для требуемой проводимости, будем изменять их процентное соотношение в каждой паре углерод-полиэтилен. Следуя этому предположению, были приготовлены различные составы полимерно-углеродного композита, с содержанием технического углерода: 30, 40 и 50%.

При получении полимерно-углеродного композита была использована расплавная технология. Для этого применялось следующее оборудование и технологическая оснастка:

- шкаф вытяжной Ш2-НЖ;
- приспособление для перемешивания;
- привод;
- ротор;
- смеситель;
- терморегулятор;
- термопара ТХА;
- весы лабораторные ВЛТ-1500П;
- тара полипропиленовая и др;
- воронка из фторопласта Ф-4;
- секундомер механический СОС пр I-2-000;

Основные материалы, использованные при изготовлении композита:

- полиэтилен марок: ПЭ 277-73, А1 и PE4PP-25B;

- углерод технический УМ-76;

Процесс смешивания заключался в следующем. Рассчитанный вес ПЭ с помощью ложки загружался в ёмкость смесителя и равномерно распределялся по всему объёму. Затем посредством терморегулятора смеситель нагревался до 200 °С. При данной температуре полиэтилен выдерживался в течение 10 минут, после чего включался электродвигатель установки, со скоростью вращения ротора 5-10 об/мин., и происходило перемешивание полиэтилена в течение 5 минут. Далее при постоянном вращении ротора через воронку вводился технический углерод нужного веса и всё содержимое ёмкости смешивалось в течении ещё 5 минут. После чего оператор изменял скорость вращения ротора до 70-80 об/мин. и в течение 5 минут смешивание повторялось. По истечению заданного времени электродвигатель отключался, а вслед за ним и терморегулятор. Затем смеситель разбирался, и готовая композитная масса весом около 30 грамм помещалась в тару, где при остывании переходила в твёрдое состояние.

Процесс смешивания проводился по три раза для каждой пары углерод-полиэтилен. И как упоминалось выше, были получены опытные образцы полимерно-углеродного композитасразличным процентным содержанием углерода марки УМ-76.

Получив опытные образцы угленаполненного композита, возникает первоочередная задача измерения её сопротивления. Для этих целей полученную массу измельчают на специальных дробильных установках, прессуют в цилиндрические пластины и наносят на неё электроды из медной фольги методом горячего прессования, описанного при разработке технологического процесса. Полученные заготовки режут в соответствии с размерами, указанными в технических характеристиках СП. В нашем случае

					ПГУ 2. 11.03.04. 003 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		64

заготовки нарезались по размерам самовосстанавливающегося предохранителя N_1 , выбранного в качестве основного макетного образца. Затем к электродам резистивных элементов припаивают выводы. Таким образом, были изготовлены макетные образцы.

У полученных макетных образцов с помощью омметра А 3205 были измерены сопротивления, посредством присоединения измерительных клемм прибора к выводам элементов. Результаты проведённых замеров сопротивления приведены в таблице 8.

Таблица 8 Результаты измерений сопротивления у макетных образцов

Марка полиэтилена	ПЭ 277073			А1			РЕ4РР-25В		
Группа образцов	1			2			3		
Содержание сажи (УМ-76) в композите, %	30	40	50	30	40	50	30	40	50
Сопротивление, Ом	2	0,2	0,06	7000	100	10	4	0,6	0,33

Анализ результатов измерений сопротивления у макетных образцов различных составов показал, что составы, содержащие полиэтилен марок А1 и РЕ4РР-25В, даже при концентрации углерода в 50%, обладают повышенным начальным сопротивлением и далеки от требуемых по техническим характеристикам значений. В то время как состав на основе полиэтилена марки ПЭ 277-73 обладает начальным сопротивлением весьма близким к заданному. Отсюда следует, что наиболее подходящим для производства СП является полиэтилен ПЭ 277-73.

Что бы определить процентное содержание углерода в полиэтилене, для заданного сопротивления, используют концентрационную кривую. Её строят по экспериментальным данным. С этой целью были изготовлены ещё

несколько опытных образцов, с различной концентрацией углерода, и по полученным результатам построена концентрационная кривая (рисунок 18).

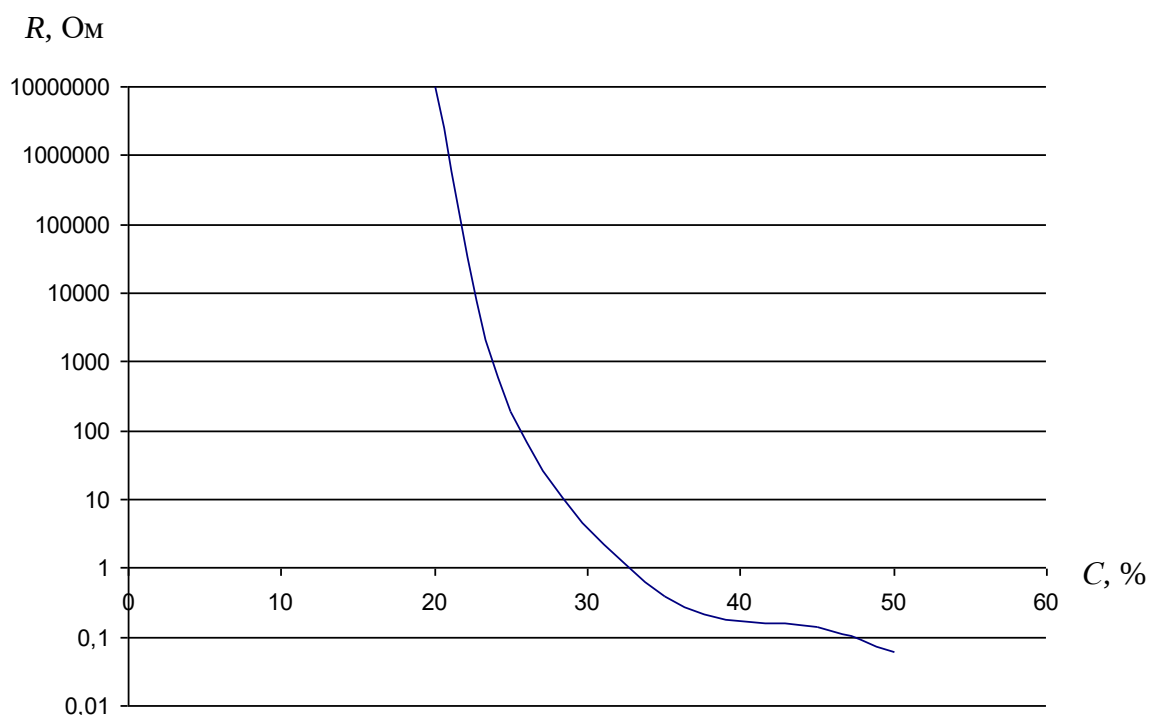


Рисунок 18 – График зависимость сопротивления СП от концентрации углерода

По данному графику легко можно определить искомую концентрацию углерода.

С целью проверки оптимальности принятых конструктивно-технологических решений по изготовлению самовосстанавливающихся предохранителей, была изготовлена партия макетных образцов типоразмеров N_1 , N_6 и N_8 , на основе найденного по концентрационной кривой соотношения пары углерод-полиэтилен, и проведены их исследования.

Одним из важнейших параметров самовосстанавливающихся предохранителей является характеристика зависимости сопротивления от температуры, которая определяет принцип его работы. Нагрев СП может

происходить при увеличении температуры окружающей среды либо при увеличении протекающего через него тока. То есть, при увеличении температуры окружающей среды при определенном значении тока, или же при увеличении тока через СП при определенном значении температуры окружающей среды сопротивление «перехода» достигается раньше, чем без указанных воздействий, и отключение самовосстанавливающегося предохранителя происходит при более низких температурах окружающей среды или меньших значениях тока.

Исследования зависимости тока размыкания проводились в термошкафу, в котором устанавливалась температура от 20°C до 120°C с последовательным ее увеличением ступенями через 20°C. На каждой из ступеней температуры на СП подавался ток, начиная с величины 0,2 $I_{разм}$.

Если не происходило размыкания в течение 60 с, ток увеличивался на 0,2 А и испытание повторялось. Увеличение тока проводилось до тех пор, пока не происходило размыкание электрической цепи в течение 10 – 15 с (время размыкания самовосстанавливающихся предохранителей в нормальных климатических условиях при воздействии тока величиной $I_{разм}$). Результаты исследований приведены на графике рисунка 19.

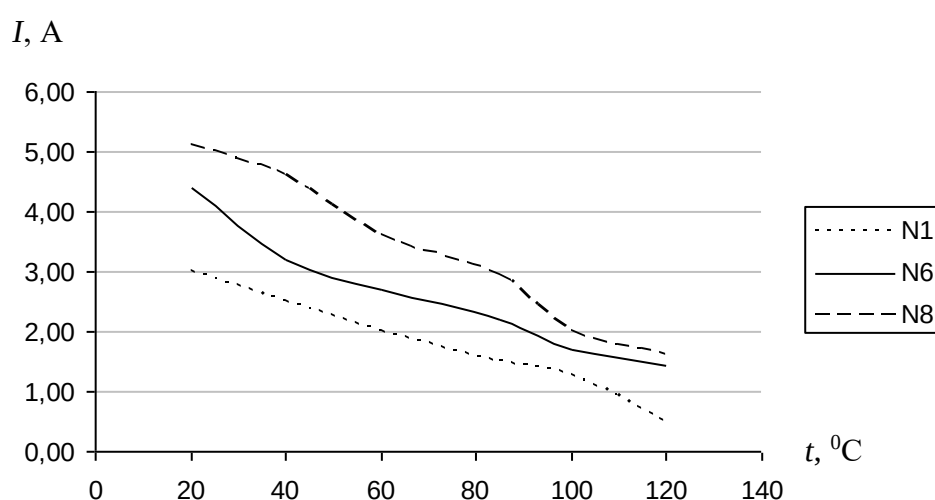


Рисунок 19 – Зависимость тока размыкания от температуры

Как оказалось, с увеличением температуры окружающей среды ток срабатывания СП существенно снижается, и при температуре 120°C его величина в 2,5 – 10 раз ниже, чем при температуре окружающей среды 20°C.

Исследование зависимости времени размыкания СП от величины, протекающего через него тока, проводились в нормальных климатических условиях при температуре $(22 \pm 2)^\circ\text{C}$ с помощью стенда для измерения времени отключения. На самовосстанавливающийся предохранитель подавался ток величиной от 0,5 $I_{\text{раз}}$ до 5 $I_{\text{раз}}$ соответствующего типоразмера с последующим увеличением тока на величину 0,5 $I_{\text{раз}}$. На каждой из ступеней проводилось измерение времени размыкания ($t_{\text{разм.}}$). Результаты исследований для различных типоразмеров СП приведены на графиках рисунка 20.

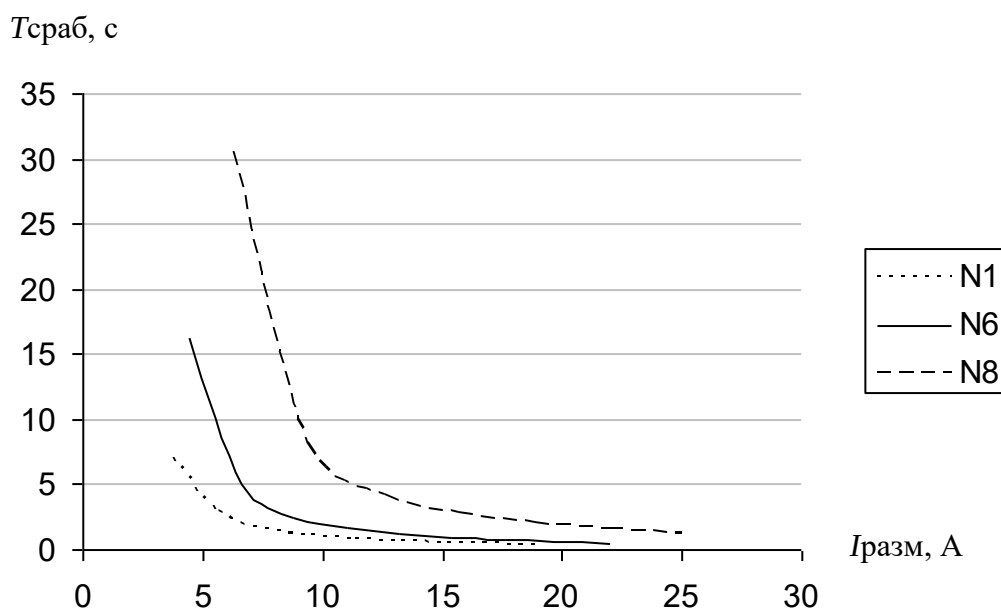


Рисунок 20 – Зависимость времени размыкания СП от тока

Из графиков следует, что с увеличением воздействующего тока время размыкания уменьшается. Это происходит вследствие того, что с увеличением

тока возрастает выделяемая на СП мощность и его разогрев до температуры отключения происходит значительно быстрее, и составляет доли секунды при токах величиной более 5 $I_{разм.}$ для конкретного типа СП.

Испытания макетных образцов проводились спомощью омметра А 3205 и стенда для измерения температурной зависимости сопротивления (приложение Б). У макетных образцов были проведены измерения значений номинальных сопротивлений на соответствие заявленным характеристикам, измерение зависимости сопротивления от температуры и работоспособность при воздействии тока удержания.

Результаты испытаний СП по измерению величины сопротивления и тока удержания в заданных габаритных размерах приведены в таблице 9.

Таблица 9 – результаты испытаний СП

Тип образца	Значение сопротивления, Ом		Ток удержания, А	
	по ТХ	полученные при испытании	по ТХ	полученные при испытании
N_1	0,085-0,16	0,088-0,145	1,2	1,2
N_6	0,03-0,06	0,036-0,051	2,0	2,0
N_8	0,012-0,024	0,014-0,021	4,2	4,2

Типовые результаты испытаний по определению температурной зависимости сопротивления приведены на рисунке 21.

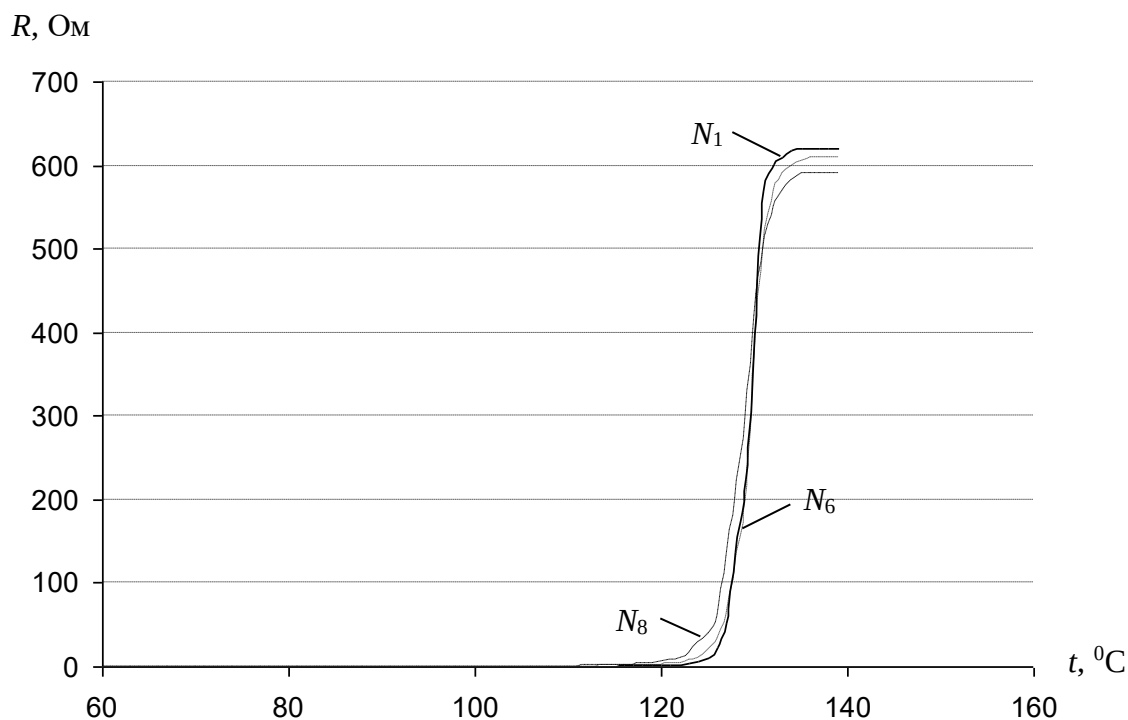


Рисунок 21 – График зависимости сопротивления от температуры

Как видно из графика величина сопротивления при температуре близкой к 130°C изменяется в 500 – 600 раз от первоначального значения.

Результаты испытаний макетных образцов подтверждают правильность выбранных конструктивно-технологических решений по изготовлению самовосстанавливающихся предохранителей.

Однако, как показали испытания, полученный диапазон изменения величины сопротивления от температуры недостаточен для отключения СП при необходимой величине тока срабатывания. Для повышения скачка сопротивления были проведены экспериментальные работы по отработке специальных технологий обработки заготовок. В результате была разработана спец технология, которая позволила добиться улучшения требуемых качеств. После такой обработки пороговое сопротивление СП в момент отключения достигло значения около 7МОм, чего вполне достаточно для размыкания цепи.

На рисунке 22 изображен график зависимости сопротивления от температуры СП, после соответствующей обработки.

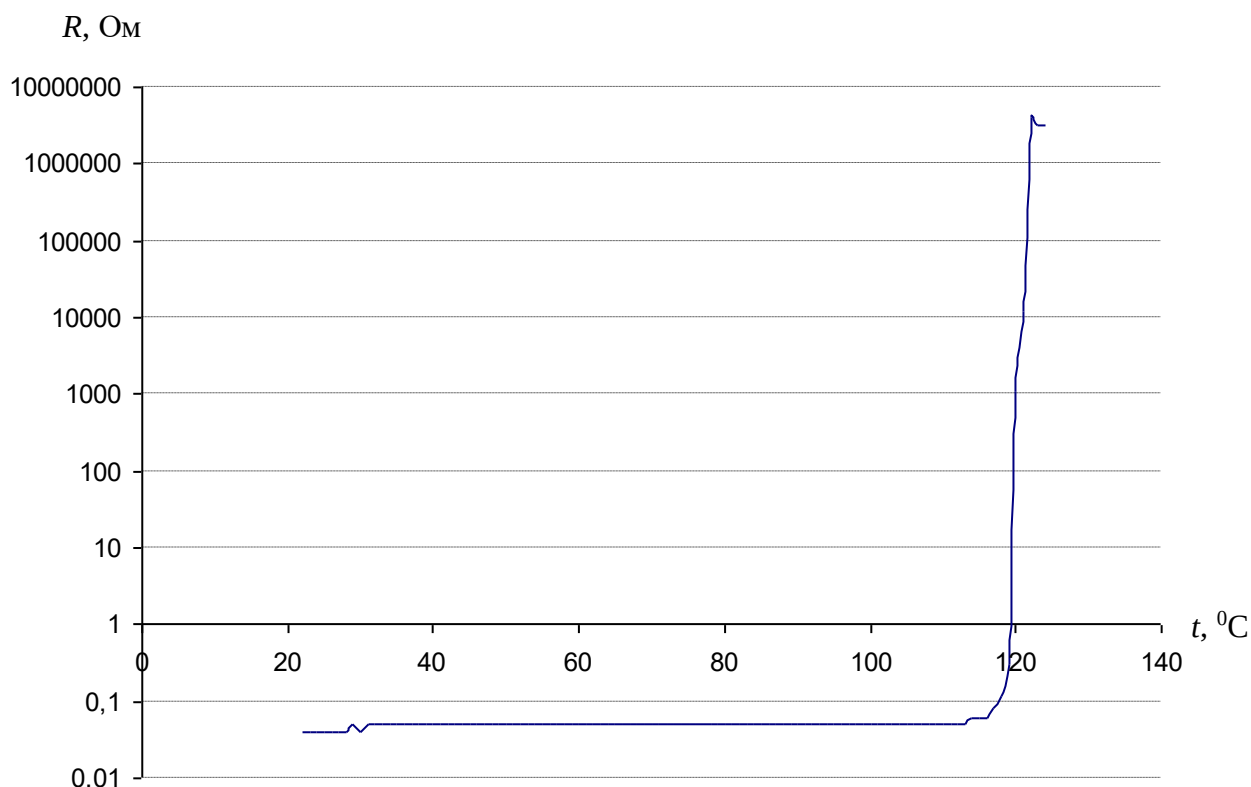


Рисунок 22 – График зависимости сопротивления от температуры СП после обработки

В результате проделанной работы были экспериментальным путём установлены материалы, подходящие для производства самовосстанавливающихся предохранителей с требуемыми характеристиками. По концентрационной кривой был определён оптимальный процент содержания доли технического углерода в полиэтилене, дающий искомое пониженное сопротивление. Проведена обработка изготовленных макетных образцов по спец технологии, позволяющая добиться значительного изменения сопротивления при переходе СП из проводящего состояния в состояние размыкания.

При производстве самовосстанавливающихся предохранителей особое значение имеет метрологическое обеспечение измерения их электрических параметров.

В таблице 10 приведены основные электрические параметры СП, подлежащие контролю в процессе их изготовления.

Таблица 10 – Электрические параметры СП, подлежащие контролю

Наименование параметра	Буквенное обозначение	Допускаемые границы	
		не менее	не более
Номинальное сопротивление, Ом	$R_{ном}$	0,01	0,25
Ток удержания, А	$I_{уд.}$	1,0	6,0
Ток размыкания, А	$I_{разм.}$	2,7	10
Максимальное время размыкания при 5 $I_{разм.}$, с	$t_{ср.}$	0,1	6,0

Для измерения некоторых параметров, как например, номинальное сопротивление могут быть выбраны соответствующие средства измерения, которые удовлетворяют заданным требованиям. Это могут быть омметр цифровой Щ-34, омметр цифровой Щ306-1, омметр А 3205.

Однако к самовосстанавливающимся предохранителям предъявляются некоторые специальные требования такие, как ток удержания, ток размыкания, время размыкания, температурная зависимость сопротивления.

Контроль этих параметров осуществляется с помощью стендов для измерения температурной зависимости сопротивления и измерения времени отключения.

Стенд измерения температурной зависимости сопротивления представляет собой контактное устройство с установленным в нем датчиком

контроля температуры испытываемого самовосстанавливающегося предохранителя, соединенного с измерителем сопротивления. Информация о сопротивлении совместно со значением температуры СП передается на компьютер, который обрабатывает результаты измерений и выводит характеристику изменения сопротивления от температуры на экран ПЭВМ. Структурная схема стенда приведена на рисунке 23.

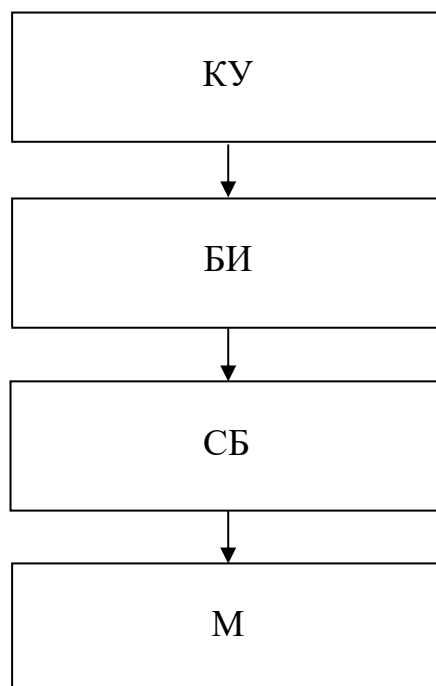


Рисунок 23 – Структурная схема стенда измерения температурной зависимости сопротивления

На рисунке 23 КУ – контактное устройство с датчиком температуры; БИ – блок измерений; СБ – системный блок; М – монитор

Структурная схема стенда для измерения времени размыкания приведена на рисунке 24.

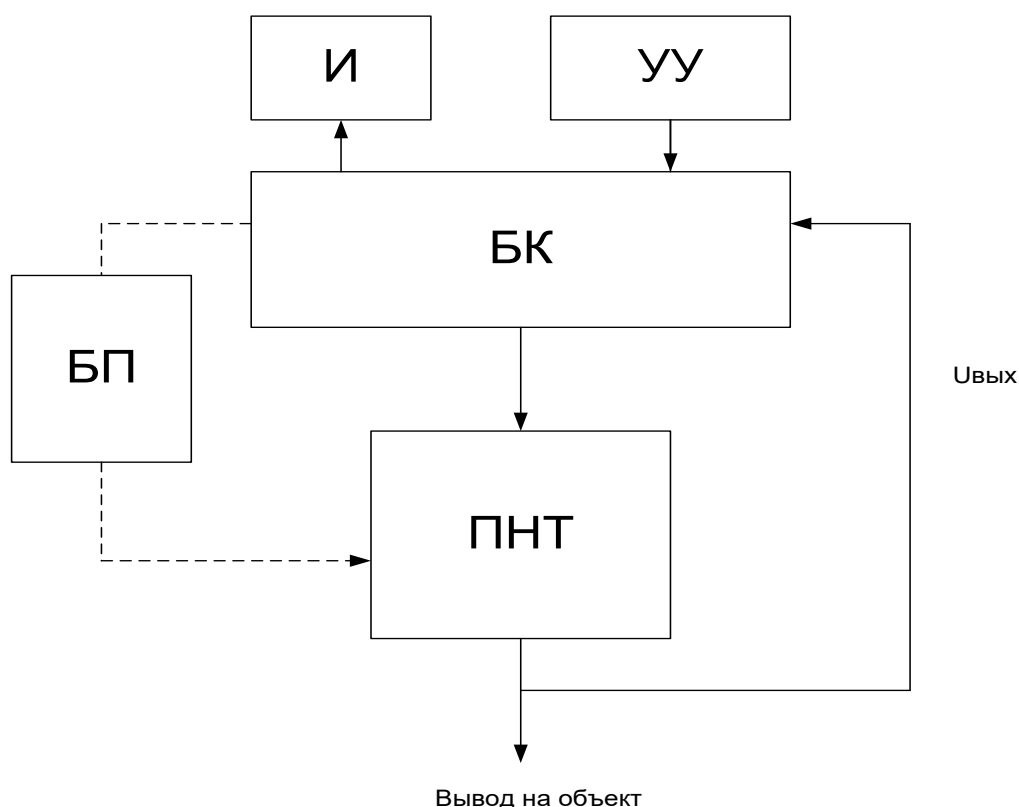


Рисунок 24 Структурная схема стенда для измерения времени размыкания

На рисунке 24 БК – блок комбинированный; ПНТ – преобразователь напряжения в ток; БП – блок питания; И – индикатор; УУ – устройство управления

Принцип работы схемы заключается в следующем. С помощью устройства управления (УУ) оператором выбираются режимы задания максимального напряжения от 0 до 30 В и тестового тока от 0,5 до 25 А. Значения напряжения и тока устанавливаются клавишами “▶” или “◀” с помощью индикатора (И). По заданному значению тестового тока блок комбинированный (БК) формирует напряжение, которое преобразуется в ток преобразователем напряжения в ток (ПНТ), подаваемый на контролируемый самовосстанавливающийся предохранитель.

При этом постоянно контролируется значение напряжения на предохранителе $U_{\text{вых}}$ до достижения максимального уровня.

Время срабатывания (размыкания) предохранителя определяется как интервал между моментом подачи тестового тока на предохранитель и моментом достижения падения напряжения на предохранителе значения соответствующего заданному. Результат измерения времени срабатывания отображается на индикаторе с разрешающей способностью 0,1с.

Стенд измерения времени отключения многофункционален и позволяет проводить измерение работоспособности самовосстанавливающихся предохранителей на воздействие тока удержания ($I_{уд.}$), времени отключения ($t_{ср.}$) при воздействии тока размыкания ($I_{разм.}$) и пятикратного тока размыкания ($5 I_{разм.}$).

На этапе измерения электрических параметров опытных образцов контролю подвергался каждый из них. Так как измерение некоторых параметров (тока удержания, времени размыкания и тока размыкания) занимает значительное время, то в дальнейшем при промышленном производстве СП будет применяться метод выборочного контроля.

В процессе работы была проведена проверка работоспособности и эффективности измерений вышеперечисленных стендов и на их основе разработан технологический процесс контроля основных электрических параметров самовосстанавливающихся предохранителей.

4 Техника безопасности и противопожарная безопасность при экспериментальных работах с РЭА

Правильная организация труда и рабочего места, выполнение основных требований техники безопасности и промышленной санитарии способствуют созданию безопасных условий труда.

Запрещается ремонтировать аппараты, включенные в электросеть в сырых помещениях, имеющих земляные, цементные или иные токопроводящие водящие полы.

При ремонте приборы, аппараты не должны заземляться, а заземленные конструкции, находящиеся в помещении (батареи отопления, водопроводные трубы и т. п.), должны быть надежно защищены диэлектрическими щитами или решетками, чтобы полностью исключить возможное, даже случайное, прикосновение к ним. В соответствии с этим надо правильно выбирать и рабочее место (стол) в домашних условиях.

Для обеспечения безопасных условий работы необходимо поддерживать рабочее место в чистоте и порядке, обеспечить достаточную освещенность и вентиляцию. На рабочем месте должны быть только необходимые приборы и инструменты с изолированными ручками. Шнуры сетевого питания приборов, электропаяльника, аппарата, а также соединительные провода не должны иметь повреждения изоляции. В противном случае их необходимо заменить. При пайке рекомендуется использовать электропаяльник, рабочее напряжение которого не более 36 В. Применение электропаяльников с рабочим напряжением 127 и 220 В более опасно из-за возможного пробоя изоляции между спиралью и сердечником.

Так как при пайке выделяются вредные для здоровья пары, то необходимо обеспечить вытяжную вентиляцию. Подставка для паяльника изготавливается из термостойкого материала и устанавливается так, чтобы

					ПГУ 2. 11.03.04. 003 ПЗ			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Техника безопасности и противопожарная безопасность при экспериментальных работах с РЭА	Лит.	Лист	Листов
Разраб.		Голенов						
Провер.		Вольсков					76	82
Н. Контр.		Рыжова		13.06.24		Гр.20ПД1		
Утверд.								

исключить возгорание или плавление окружающих предметов.

При работе с легковоспламеняющимися веществами (спирт, ацетон) следует быть внимательным и исключить появление вблизи открытого огня (сигареты), искрения и т. п.

На посуду с этими веществами следует наклеить бумажку с их названием, плотно ее закупоривать, не допускать проливания. Рабочее место должно быть оснащено легкодоступным отключающим устройством от напряжения питания. Работать необходимо в одежде с домашними рукавами и без металлических браслетов.

По возможности работы необходимо выполнять при отключении от сети аппарата. В тех случаях, когда это невозможно, т. е. аппарат остается подключенным к напряжению питания (при измерении режимов, нахождении плохих контактов и др. работах), надо быть особенно внимательным во избежание прикосновения к ток несущим частям и деталям аппарата.

Следует помнить, что не допускается расположение одновременно двух и более аппаратов, находящихся под напряжением. Работать следует одной рукой, а другой не держать теплопроводящие детали.

Категорически запрещается пайка монтажа аппарата, находящегося под напряжением. Следует помнить, что степень поражения током зависит от состояния организма человека. Так, опасность значительно возрастает, если человек находится в нетрезвом состоянии, имеет заболевания сердца и нервной системы, просто расстроен и устал или поражение током наступило неожиданно.

После отключения аппарата от напряжения питания не следует сразу приступать к работе с монтажом, так как еще остаются заряженные электрические конденсаторы фильтров питания. Их надо разрядить специальным разрядником или, в крайней случае, толстым проводом с

хорошей изоляцией. При ремонте никогда не оставляйте без присмотра включенные приборы, аппарат (особенно разобранный).

Организация пожарной охраны

Согласно правилам безопасности, противопожарные средства должны быть в каждом офисе и производственном помещении. Те, кто считают, что эти «реквизиты» нужны только для того, чтобы предъявлять их пожарному инспектору, глубоко заблуждается: в случае пожара, подобные средства действительно помогут справиться с огнем.

Прежде чем перейти к обзору средств пожаротушения, скажем несколько слов о том, какие бывают пожары. В зависимости от вида горящих веществ и материалов выделяют пять классов пожаров - *A* (горение твердых веществ), *B* (горение жидких веществ), *C* (горение газообразных веществ (например, бытового газа, водорода, пропана), (горение легких (Б1), щелочных (Б2) металлов или металлосодержащих соединений (Б3), *E* (горение электроустановок под напряжением до 1000 В (в том числе бытовой техники).

Одним из наиболее простых и действенных средств пожаротушения является огнетушитель.

Огнетушители различаются по ряду параметров: виду используемых огнетушащих средств, объему корпуса, способу подачи огнетушащего вещества и виду пусковых устройств.

В зависимости от объема корпуса, огнетушители могут быть: ручными малолитражными (до 5 л), ручными промышленными (объем корпуса от 10 до 40 л), стационарными и передвижными (объем корпуса - 50-100 л).

Какой вид огнетушителя вам нужен, зависит от величины пожарной нагрузки, физико-химических и пожароопасных свойств материалов, находящихся в помещении и многих других факторов.

Немаловажную роль играют и размеры самого помещения - чем больше площадь, тем больше огнетушителей вам понадобится.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В процессе выполнения выпускной квалификационной работы были выполнены следующие виды работ:

- проведены все процедуры по обзору научно-технической литературе и патентной информации;
- проведены предварительные патентные исследования;
- проведены исследования строения, функционирования и технические характеристики СП;
- экспериментальные работы для проверки конструктивно-технологических решений;
- подобраны материалы для изготовления СП;
- по результатам экспериментальных работы были выбраны оптимальные технологические решения создания функционального материала для разрабатываемого самовосстанавливающегося предохранителя;
- разработана технология изготовления специальных проводящих пластмасс;
- проведены экспериментальные работы по синтезу композитов, определению оптимального распределения частиц углерода в полимере;
- отработана технология прессования токопроводящих электродов на резистивный элемент и крепления к ним выводов;
- изготовлены и проведены исследования макетных образцов;
- на основании проведенных экспериментальных работ была определена структурная схема технологического процесса изготовления самовосстанавливающихся предохранителей;
- в результате проведенных экспериментальных работ разработан технологический процесс пайки выводов к резистивному элементу;

- в результате проделанной работы были экспериментальным путём установлены материалы, подходящие для производства самовосстанавливающихся предохранителей с требуемыми характеристиками. По концентрационной кривой был определён оптимальный процент содержания доли технического углерода в полиэтилене, дающий искомое пониженное сопротивление. Проведена обработка изготовленных макетных образцов по спец технологии, позволяющая добиться значительного изменения сопротивления при переходе СП из проводящего состояния в состояние размыкания;

- на этапе измерения электрических параметров опытных образцов контролю подвергался каждый из них. Так как измерение некоторых параметров (тока удержания, времени размыкания и тока размыкания) занимает значительное время, то в дальнейшем при промышленном производстве СП будет применяться метод выборочного контроля;

- в процессе работы была проведена проверка работоспособности и эффективности измерений вышеперечисленных стендов и на их основе разработан технологический процесс контроля основных электрических параметров самовосстанавливающихся предохранителей;

Достигнутым результатом является разработанный СП не уступающий по техническим характеристиками лучшим зарубежным аналогам.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

а) основная литература:

1 Смыслов И.Ю. Новые возможности передовой технологии [Текст] : учебное пособие /И.Ю.Смыслов.– М. :Высш. Шк., 1985. – 284 с.

2 МедведевФ.М. Керамические полупроводниковые нелинейные резисторы [Текст] : учебное пособие /Ф.М. Медведев, П.Г. Никитин. – М. :Высш. Шк., 2002. – 520 с.

3 Курышев К.С. Полимерные предохранители – надежный способ обратимой защиты электрических цепей от повреждений [Текст] : учебное пособие /К.С. Курышев. – М. :Высш. Шк., 2001. – 356 с.

4 Ткачев В.В.Самовосстанавливающиеся предохранители[Текст] : справочник /В.В. Ткачев. – М. :Высш. Шк., 2015. – 97 с.

5 Князевский Б.А. Разработка и технология изготовление полимерных композиций [Текст] : учебное пособие /Б.А. Князевский, Т.П. Марусова, Н.А. Чекалин. – М. :Высш. Шк., 2002. – 372 с.

6 ВеликановК.С., [Текст] : учебное пособие /К.С. Великанов. – М. :Высш. Шк., 1994. – 184 с.

б) дополнительная литература:

7 *BournsProductCatalog*, США, 1997 г.

8 *Van Konynenburget. al. Low resistivity PTC composition.// PatentUSA №4.237.441.*

9 Интернет статья «Устройства защиты цепей питания, производства фирмы *Raychem*», сайт www.fese.ru.

10 *D.H. McQueen, K.M. Jager, M. Peliskova Multiple threshold percolation in polymer / filler composites // J. Phys. D. vol. 37.2004, P.2160-2169.*

11 *Fangming Du, J. Fischer. Coagulation Method for polymer composites J. Polymer Phys. Vol. 41, 2003, P. 3333-3338.*

12. Beaucage, S. Rane, D. Fischer. Morphology of polyethylene-carbon black composites.// J. PolymerSci. vol. 37, 1999, P. 111105-15.

					ПГУ 2. 11.03.04. 003 ПЗ	Лист
						82
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Задание на выпускную квалификационную работу

					ПГУ 2. 11.03.04. 003 ПЗ	Лист
						83
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

«Утверждаю»

Зав. кафедрой НиМЭ

Пронин И.А.

(фамилия, инициалы)

«05» июня 2024 г.

З А Д А Н И Е на бакалаврскую работу

1. Студент(ка) гр. 20ПД1 факультета информационных технологий и электроники

Направление подготовки 11.03.04. «Электроника и нанoeлектроника»

Профиль Микроэлектроника и твердотельная электроника

Голенков Алексей Александрович

(фамилия, имя, отчество)

2. Руководитель Вольсков Андрей Александрович

(фамилия, имя, отчество)

3. Тема бакалаврской работы Исследование и разработка самовосстанавливающихся предохранителей на основе полимеров

Тема утверждена приказом ПГУ № 396 а/о от « 17 » апреля 2024 г.

4. Техническое задание на бакалаврскую работу (вид работы: разработка, проектирование, исследование, и т.д.; назначение; основные параметры; условия функционирования и т.д.)

Исследовать и разработать самовосстанавливающийся предохранитель на основе полимеров. Провести патентно-правовой поиск решения данной проблемы. Разработать конструкцию самовосстанавливающегося предохранителя.

Разработанный самовосстанавливающийся предохранитель должен иметь параметры:

- Номинальное сопротивление, не менее 0,01 Ом и не более 0,25 Ом;
- Ток удержания, не менее 1,0 А и не более 6,0 А;
- Ток размыкания, не менее 2,7 А и не более 10 А;
- Максимальное время размыкания при 5 I_{разм}, не менее 0,1 с и не более 6,0 с;

5. Объем и содержание основной части бакалаврской работы

5.1. Пояснительная записка (перечень вопросов, подлежащих разработке, обоснований, описаний, расчетов и т.д.)

1 Обзор научно-технической и патентной информации.

1.1 Проведение предварительных патентных исследований.

1.2 Анализ научно-технической и патентной информации.

1.3 Теоретические аспекты и особенности конструкции, описание и обоснование выбранной конструкции.

2 Исследование строения и функционирования самовосстанавливающихся предохранителей.

2.1 Исследование физических свойств полимеров с положительным температурным коэффициентом сопротивления.

2.2 Исследование электрических параметров.

3 Разработка технологического процесса производства самовосстанавливающихся предохранителей.

3.1 Выбор оптимальных технологических решений создания специального полимерного композита.

3.2 Изготовление, исследование и испытание макетных образцов.

4 Техника безопасности и противопожарная безопасность при экспериментальных работах с РЭА.

5.2. Иллюстративная часть (перечень и содержание чертежей и слайдов презентации)

1. Титульный слайд	слайд(1)
2. Самовосстанавливающиеся предохранители фирмы «Raychem»	слайд (1)
3. Конструкция самовосстанавливающихся предохранителей	слайд (1)
4. Основные требования к созданию токопроводящего полимера	слайд (2)
5. Зависимость сопротивления самовосстанавливающихся предохранителей от температуры	слайд (1)
6. Зависимость структуры полимерного материала от температуры	слайд (1)
7. Баланс энергии полимерных элементов	слайд (1)
8. Основные параметры самовосстанавливающихся предохранителей	слайд (1)
9. Технологический процесс самовосстанавливающего предохранителя	слайд (1)
10. Результаты исследования макетных образцов	слайд (1)
11. Заключение	слайд (2)

6. Консультанты и содержание дополнительных разделов

6.1. _____

Консультант _____

7. Календарный график по выполнению бакалаврской работы

Наименование этапов работы	Объем работы	Срок выполнения	Подпись руководителя, консультанта
Обзор научно-технической и патентной информации	20%	05.06.2024	<u>Авану</u>
Исследование строения и функционирования самовосстанавливающихся предохранителей	10%	05.06.2024	<u>Авану</u>
Разработка технологического процесса производства самовосстанавливающихся предохранителей	35%	06.06.2024	<u>Авану</u>
Техника безопасности и противопожарная безопасность при экспериментальных работах с РЭА	25%	07.06.2024	<u>Авану</u>
Иллюстративная часть	5%	08.06.2024	<u>Авану</u>
Оформление пояснительной записки	5%	08.06.2024	<u>Авану</u>

Руководитель бакалаврской работы _____

Авану
подпись

Вольсков А.А.

фамилия, инициалы

Дата выдачи задания

«05»

июня

2024 г.

Задание к исполнению принял _____

Гол
подпись

Голенков А.А.

фамилия, инициалы

«05»

июня

2024 г.

Бакалаврскую работу к защите допустить

Декан факультета _____

К
подпись

Кревчик В.Д.

фамилия, инициалы

«13»

июня

2024 г.

ПРИЛОЖЕНИЕ Б
Заявление и протокол проверки ВКР на оригинальность в системе
«Антиплагиат.ВУЗ»

					ПГУ 2. 11.03.04. 003 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		84

Ректору Пензенского государственного
университета Гулякову А.Д.
студента 4 курса ФИТЭ очной формы
обучения
Голенкова Алексея Александровича

ЗАЯВЛЕНИЕ

Я, Голенков Алексей Александрович, студент 4 курса очной формы обучения направления подготовки 11.03.04 Электроника и нанoeлектроника, Микроэлектроника и твердотельная электроника, прошу провести проверку с использованием системы «Антиплагиат.ВУЗ» бакалаврской выпускной квалификационной работы на тему «Исследование и разработка самовосстанавливающихся предохранителей на основе полимеров», выполненной мной самостоятельно, на содержание элементов плагиата.

Все прямые заимствования из печатных и электронных источников, а также из защищенных ранее выпускных квалификационных работ, кандидатских и докторских диссертаций имеют соответствующие ссылки.

Я ознакомлен с действующим Стандартом университета «Выпускная квалификационная работа обучающихся по образовательным программам высшего образования - программам бакалавриата, программам специалитета и программам магистратуры», согласно которому обнаружение плагиата является основанием для недопуска ВКР к защите и отчисления из университета.

Голенков
подпись студента

10.06
дата

ВКР представлена на проверку 10.06.

Руководитель ВКР

Вольсков

Вольсков А.А.

Протокол

проверки на оригинальность в системе «Антиплагиат.ВУЗ» выпускной
бакалаврской работы на тему «Исследование и разработка
самовосстанавливающихся предохранителей на основе полимеров»
студента 4 курса Голенкова Алексея Александровича
направления подготовки 11.03.04 Электроника и нанoeлектроника,
профиль «Микроэлектроника и твердотельная электроника»
Руководитель ВКР Вольсков Андрей Александрович

**АНТИПЛАГИАТ**
СИСТЕМА ЗАЩИТЫ ОТ ЗАЙМСТВОВАНИЙ

СПРАВКА
о результатах проверки текстового документа
на наличие заимствований

Пензенский государственный университет

ПРОВЕРКА ВЫПОЛНЕНА В СИСТЕМЕ АНТИПЛАГИАТ.ВУЗ

Автор работы: Голенков Алексей Александрович
Самодитирование: Голенков Алексей Александрович
рассчитано для: Голенков Алексей Александрович
Название работы: Исследование и разработка самовосстанавливающихся предохранителей на основе полимеров
Тип работы: Выпускная квалификационная работа
Подразделение: Кафедра "Нано- и микроэлектроника"

РЕЗУЛЬТАТЫ

■ ОТЧЕТ О ПРОВЕРКЕ КОРРЕКТИРОВАЛОСЬ НИЖЕ ПРЕДСТАВЛЕНЫ РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОВЕРКИ ДО КОРРЕКТИРОВКИ

СОВПАДЕНИЯ	52.16%	СОВПАДЕНИЯ	49.99%
ОРИГИНАЛЬНОСТЬ	47.84%	ОРИГИНАЛЬНОСТЬ	50.01%
ЦИТИРОВАНИЕ	0%	ЦИТИРОВАНИЕ	0%
САМОЦИТИРОВАНИЕ	0%	САМОЦИТИРОВАНИЕ	0%

ДАТА ПОСЛЕДНЕЙ ПРОВЕРКИ: 11.08.2024

ДАТА И ВРЕМЯ КОРРЕКТИРОВКИ: 11.08.2024 12:49

Структура документа: Проверенные разделы: титульный лист с.1, основная часть с.2-78
Модули поиска: Библиография; Шаблоны фраз; Перефразированные заимствования по коллекции Интернет в английском сегменте; IEEE; Коллекция НБУ; Переводные заимствования; Цитирование; Перефразирование по коллекции IEEE; Патенты СССР, РФ, СНГ; Публикации eLIBRARY; Диссертации НБС; СПС ГАРАНТ: аналитика; СМИ России и СНГ; СПС ГАРАНТ: нормативно-правовая документация; Перефразирование по Интернету (EN); ИПС Адилет; Кольцо вузов; Сводная коллекция ЭБС; Переводные заимствования по Интернету (EnRu); Перефразирование по СПС ГАРАНТ: аналитика; Медицина; Переводные заимствования по коллекции Гарант; аналитика; Перефразированные заимствования по коллекции Интернет в русском сегменте; Публикации РГБ (переводы и перефразирования); Публикации РГБ; Перефразирование по

Работу проверил: Головяшкин Алексей Николаевич
ФИО проверяющего

Дата подписи: _____
Подпись проверяющего



Чтобы убедиться в подлинности справки, используйте QR-код, который содержит ссылку на отчет.

Отчет на испорчен; является ли обнаруженное заимствование корректным, система оставляет на усмотрение проверяющего. Представленная информация не подлежит использованию в коммерческих целях.

Руководитель ВКР

«11» 06 2024 год

подпись

Вольсков А.А.

фамилия, инициалы



АНТИПЛАГИАТ
ОБНАРУЖЕНИЕ ЗАИМСТВОВАНИЙ

СПРАВКА

Пензенский государственный университет

о результатах проверки текстового документа
на наличие заимствований

ПРОВЕРКА ВЫПОЛНЕНА В СИСТЕМЕ АНТИПЛАГИАТ.ВУЗ

Автор работы: Голенков Алексей Александрович
Самоцитирование
рассчитано для: Голенков Алексей Александрович
Название работы: Исследование и разработка самовосстанавливающихся предохранителей на основе полимеров
Тип работы: Выпускная квалификационная работа
Подразделение: Кафедра "Нано- и микроэлектроника"

РЕЗУЛЬТАТЫ

■ ОТЧЕТ О ПРОВЕРКЕ КОРРЕКТИРОВАЛСЯ: НИЖЕ ПРЕДСТАВЛЕНЫ РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОВЕРКИ ДО КОРРЕКТИРОВКИ

СОВПАДЕНИЯ	52.16%	СОВПАДЕНИЯ	49.99%
ОРИГИНАЛЬНОСТЬ	47.84%	ОРИГИНАЛЬНОСТЬ	50.01%
ЦИТИРОВАНИЯ	0%	ЦИТИРОВАНИЯ	0%
САМОЦИТИРОВАНИЯ	0%	САМОЦИТИРОВАНИЯ	0%

ДАТА ПОСЛЕДНЕЙ ПРОВЕРКИ: 11.06.2024

ДАТА И ВРЕМЯ КОРРЕКТИРОВКИ: 11.06.2024 12:49

Структура документа: Проверенные разделы: титульный лист с.1, основная часть с.2-78
Модули поиска: Библиография; Шаблонные фразы; Перефразированные заимствования по коллекции Интернет в английском сегменте; IEEE; Коллекция НБУ; Переводные заимствования*; Цитирование; Перефразирования по коллекции IEEE; Патенты СССР, РФ, СНГ; Публикации eLIBRARY; Диссертации НББ; СПС ГАРАНТ: аналитика; СМИ России и СНГ; СПС ГАРАНТ: нормативно-правовая документация; Перефразирования по Интернету (EN); ИПС Адилет; Кольцо вузов; Сводная коллекция ЭБС; Переводные заимствования по Интернету (EnRu); Перефразирования по СПС ГАРАНТ: аналитика; Медицина; Переводные заимствования по коллекции Гарант: аналитика; Перефразированные заимствования по коллекции Интернет в русском сегменте; Публикации РГБ (переводы и перефразирования); Публикации РГБ; Перефразирования по

Работу проверил: Головяшкин Алексей Николаевич

ФИО проверяющего

Дата подписи: 11.06

Подпись проверяющего



Чтобы убедиться
в подлинности справки, используйте QR-код,
который содержит ссылку на отчет.

Ответ на вопрос, является ли обнаруженное заимствование
корректным, система оставляет на усмотрение проверяющего.
Предоставленная информация не подлежит использованию
в коммерческих целях.

ПРИЛОЖЕНИЕ В
Презентация ВКР



«Исследование и разработка самовосстанавливающихся предохранителей на основе полимеров»

Выполнил: ст.гр.20ПД1 – А.А. Голенков

Научный руководитель:

к.т.н. доцент каф.

«Нано- и микроэлектроника» ПГУ

Вольсков Андрей Александрович

Пенза 2024 г.



Самовосстанавливающиеся предохранители фирмы «Raychem»

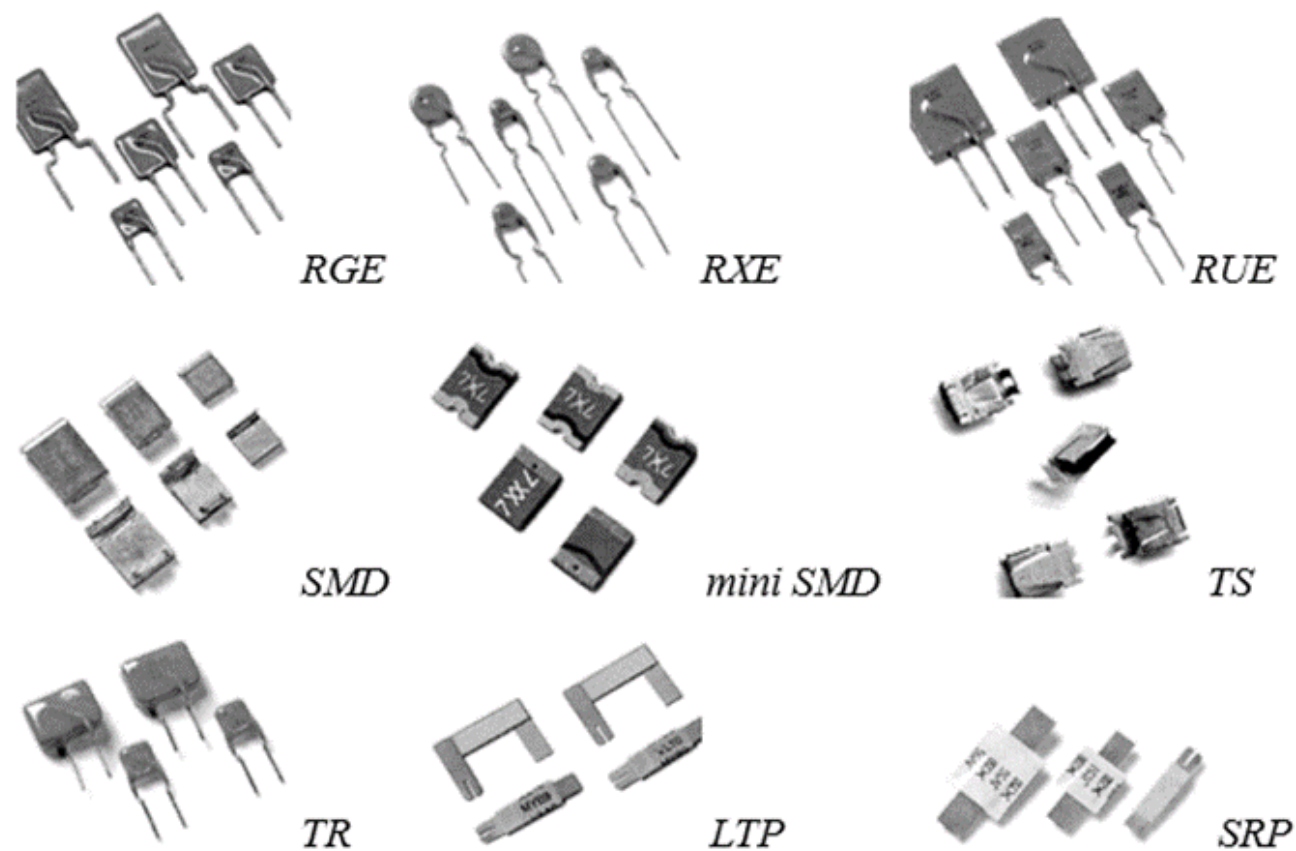


Рисунок 1 – Основные типы СП фирмы «Raychem»

Конструкция самовосстанавливающихся предохранителей

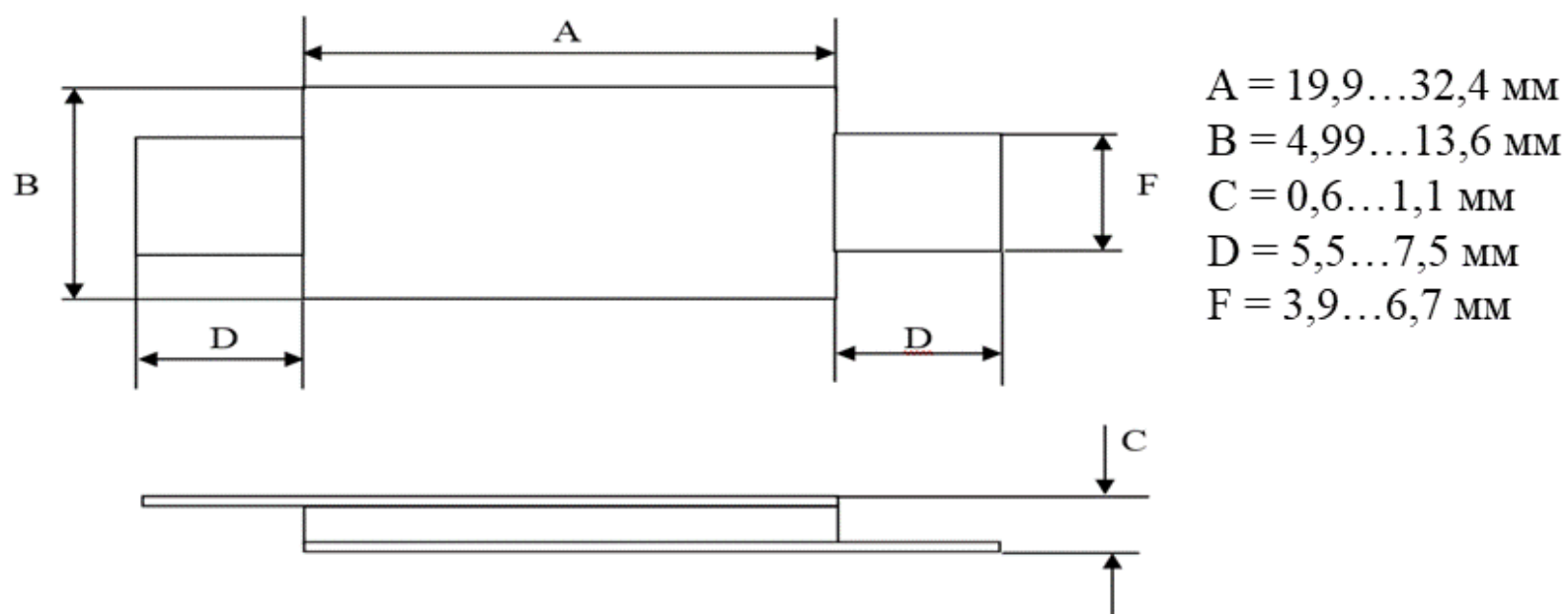


Рисунок 2 – Общий вид СП

Основные требования к созданию токопроводящего полимера

- Способность полимера к обратимой кристаллизации.
- Диапазон рабочих температур.
- Способность полимера к формированию тонких пленок.

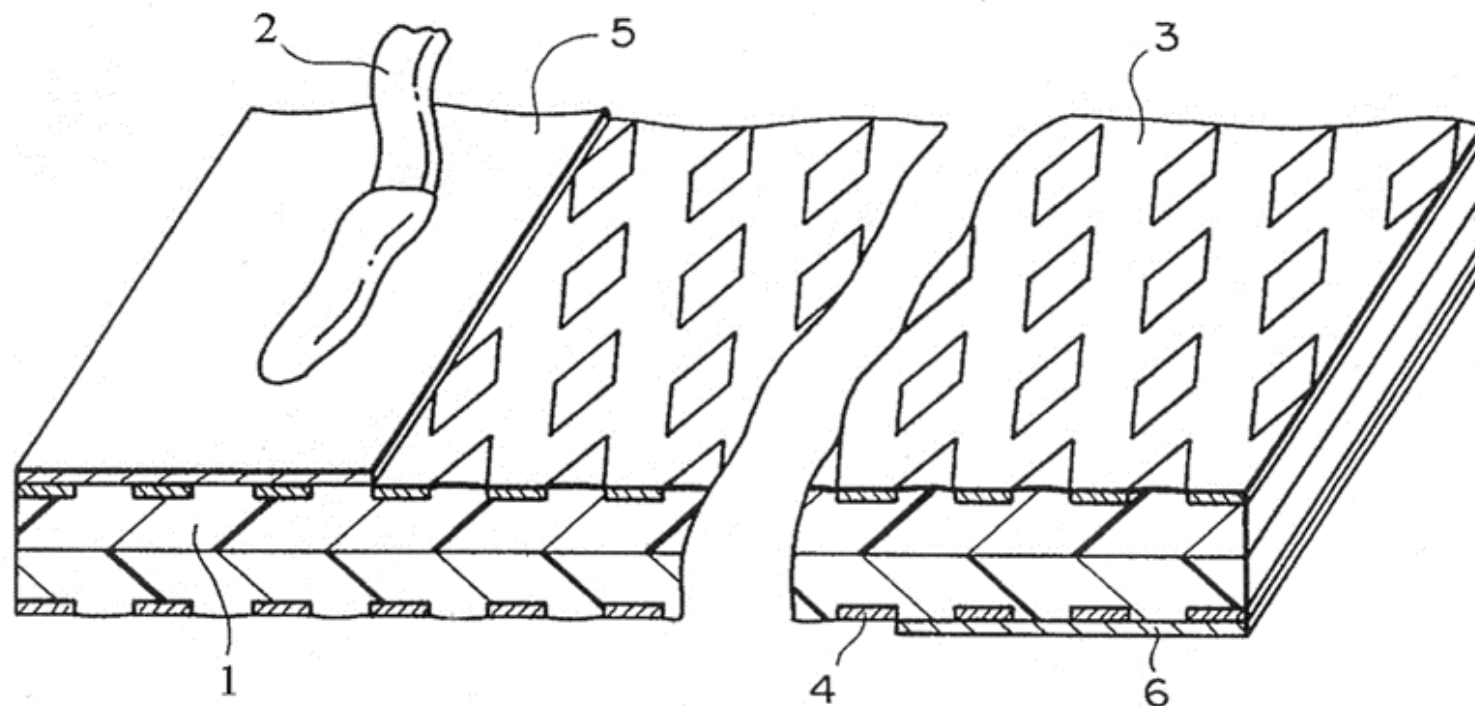


Рисунок 3 – Типовая конструкция СП с электродами из медной сетки

1 - верхняя часть платы, 2 - внешние выводы, 3 - верхняя часть металлической сетки, 4 - нижняя часть металлической сетки, 5 и 6 - металлические контакты.

Зависимость сопротивления самовосстанавливающихся предохранителей от температуры

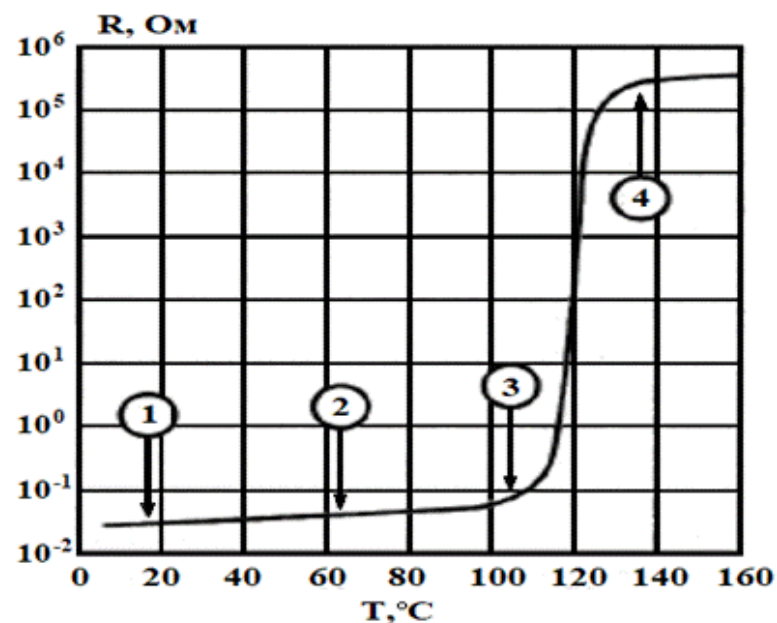


Рисунок 4 – Пример нелинейной зависимости сопротивления от температуры

Зависимость структуры полимерного материала от температуры

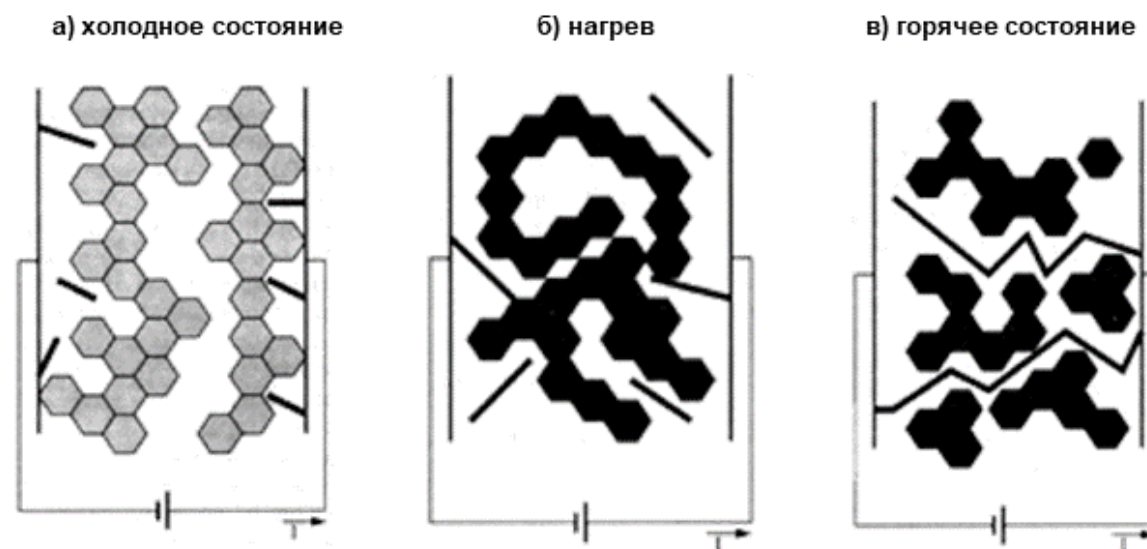


Рисунок 5 – Внутренняя структура полимерного материала при различных температурах

Баланс энергии полимерных элементов

$$mC_p \left(\frac{\Delta T}{\Delta t} \right) = I^2 R - k(T - T_a)$$

где:

I	— ток в элементе, А
R	— сопротивление элемента, Ом
Δt	— изменение времени, с
m	— масса элемента, кг
C_p	— теплоёмкость элемента, Дж/(кг·К)
ΔT	— изменение температуры элемента, К
T	— температура элемента, °С
T_a	— температура окружающей среды, °С
k	— коэффициент теплоотдачи, (Вт·К)/м ²

Основные параметры самовосстанавливающихся предохранителей

- Ток пропускания ($I_{\text{проп}}$)
- Ток срабатывания ($I_{\text{сраб}}$)
- Время срабатывания ($t_{\text{сраб}}$)

Технологический процесс самовосстанавливающего предохранителя

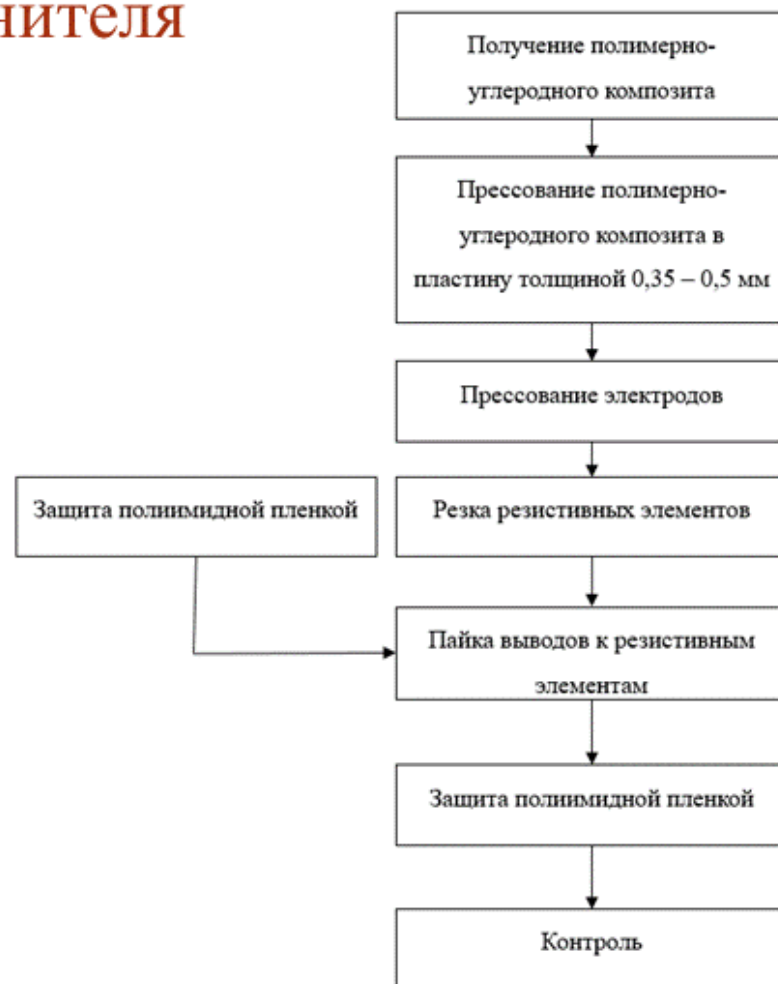


Рисунок 6 – Структурная схема технологического процесса изготовления СП

Результаты исследования макетных образцов

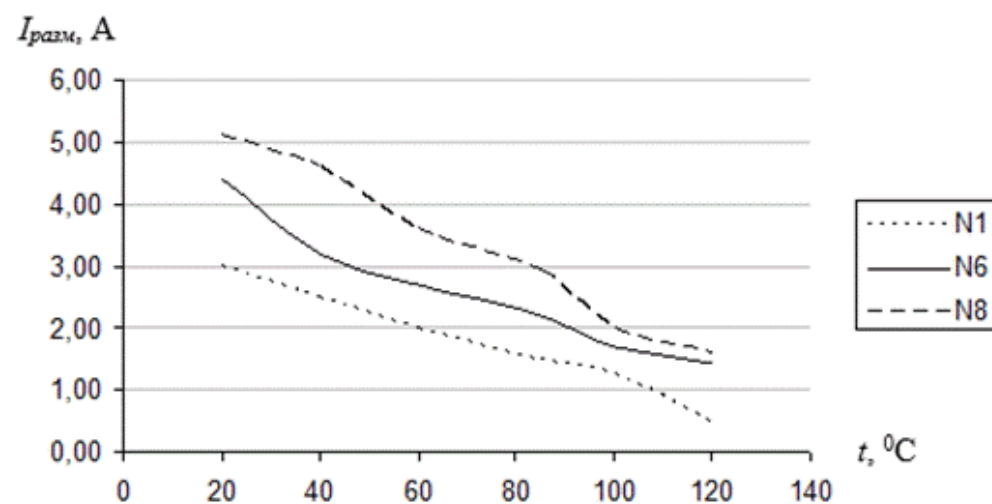


Рисунок 7 – Зависимость тока размыкания от температуры

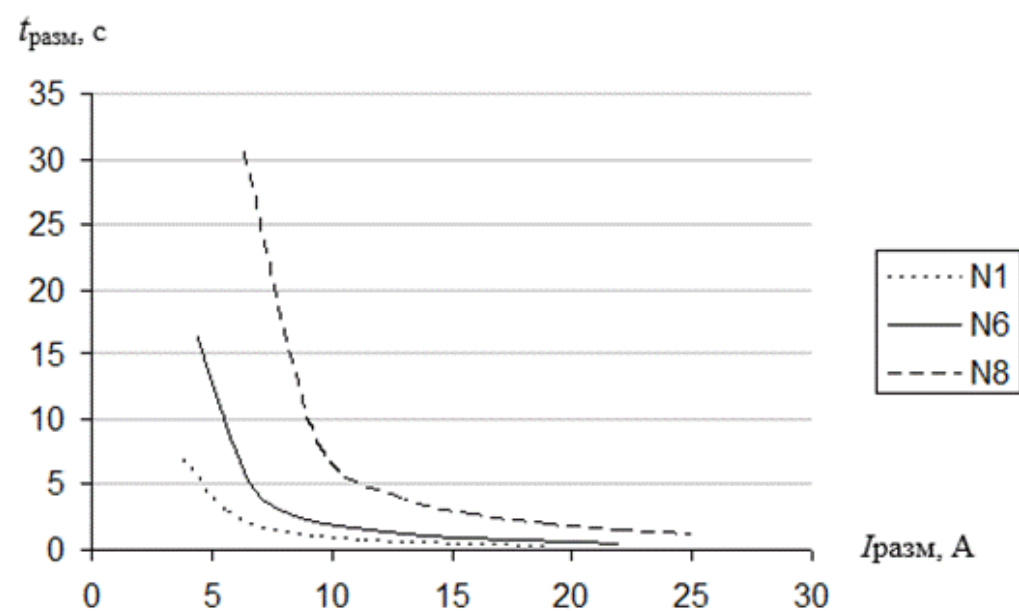


Рисунок 8 – Зависимость времени размыкания СП от тока

Заключение

В процессе выполнения выпускной квалификационной работы были выполнены следующие виды работ:

- проведены все процедуры по обзору научно-технической литературы и патентной информации;
- проведены предварительные патентные исследования;
- проведены исследования строения, функционирования и технических характеристик СП;
- проведены экспериментальные работы для проверки конструктивно-технологических решений;
- подобраны материалы для изготовления СП;
- по результатам экспериментальных работ были выбраны оптимальные технологические решения создания функционального материала для разрабатываемого самовосстанавливающегося предохранителя;
- разработана технология изготовления специальных проводящих пластмасс;
- проведены экспериментальные работы по синтезу композитов, определению оптимального распределения частиц углерода в полимере;
- отработана технология прессования токопроводящих электродов на резистивный элемент и крепления к ним выводов;
- изготовлены и проведены исследования макетных образцов;

Заключение

- на основании проведенных экспериментальных работ была определена структурная схема технологического процесса изготовления самовосстанавливающихся предохранителей;
- в результате проведенных экспериментальных работ разработан технологический процесс пайки выводов к резистивному элементу;
- в результате проделанной работы были экспериментальным путём установлены материалы, подходящие для производства самовосстанавливающихся предохранителей с требуемыми характеристиками. По концентрационной кривой был определён оптимальный процент содержания доли технического углерода в полиэтилене, дающий искомое пониженное сопротивление. Проведена обработка изготовленных макетных образцов по спец технологии, позволяющая добиться значительного изменения сопротивления при переходе СП из проводящего состояния в состояние размыкания;
- на этапе измерения электрических параметров опытных образцов контролю подвергался каждый из них. Так как измерение некоторых параметров (тока удержания, времени размыкания и тока размыкания) занимает значительное время, то в дальнейшем при промышленном производстве СП будет применяться метод выборочного контроля;
- в процессе работы была проведена проверка работоспособности и эффективности измерений вышеперечисленных стендов и на их основе разработан технологический процесс контроля основных электрических параметров самовосстанавливающихся предохранителей.

Достигнутым результатом является разработанный СП, не уступающий по техническим характеристикам лучшим зарубежным аналогам.

Спасибо за внимание !

