

На правах рукописи



ДОМКИН Кирилл Иванович

ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА
САМОВОССТАНАВЛИВАЮЩИХСЯ ПРЕДОХРАНИТЕЛЕЙ С
ВЫСОКИМ ПОЗИСТОРНЫМ ЭФФЕКТОМ НА ОСНОВЕ
ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Специальность 05.11.14 – Технология приборостроения

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

ПЕНЗА 2016

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном учреждении высшего профессионального образования «Пензенский государственный университет».

Научный руководитель: **Юрков Николай Кондратьевич**
доктор технических наук, профессор

Официальные оппоненты: **Селиванова Зоя Михайловна,**
доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВПО
«Тамбовский государственный технический университет» (г. Тамбов), кафедра «Конструирование радиоэлектронных и микропроцессорных систем», профессор;

Адамова Арина Александровна,
кандидат технических наук, доцент, ФГБОУ ВПО
«МГТУ им. Н.Э. Баумана» (г. Москва), кафедра
«Проектирование и технология производства электронных средств», доцент;

Ведущая организация: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королева (национальный исследовательский университет)» (г. Самара)

Защита диссертации состоится 9 июня 2016 г., в 16:00 часов, на заседании диссертационного совета Д.212.233.01 в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения» по адресу: г. Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, 67.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения» и на сайте www.guap.ru

Автореферат разослан «__» _____ 2016 г.

Ученый секретарь

диссертационного совета Д 212.233.01
доктор технических наук, профессор

Шелест Дмитрий Константинович

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. В настоящее время радиоэлектронная борьба (РЭБ) является одним из основных видов оперативного (боевого) обеспечения Ракетных войск стратегического назначения РФ, в ходе которого осуществляется воздействие на радиоэлектронные средства (РЭС) противника и защита своих систем от аналогичных воздействий.

Объектами РЭБ являются носители информации, электронные средства систем управления, связи и разведки, временная или полная потеря работоспособного состояния которых приведет к снижению эффективности применения вооружения.

Вопросы создания высоконадежных изделий специального назначения отражены в научных работах П.П. Мальцева, Р.П. Быстрова, К.А. Воротилова, А.С. Сигова и других отечественных и зарубежных ученых.

Развитие методов и средств РЭБ привело к тому, что все большую опасность приобретают технические средства силового деструктивного воздействия с использованием электромагнитного импульса, выводящие из строя электронное, коммуникационное и силовое оборудование. Поражающий эффект достигается за счёт наведения индукционных токов. В связи с этим появляются новые подходы в обеспечении заданного уровня надежности РЭС, в частности, применение самовосстанавливающихся предохранителей (СВП) на основе проводящих полимер-углеродных материалов.

Использование СВП позволяет:

- снизить количество обслуживаемых элементов РЭС, т. к. сработавший СВП не требует замены;

- сократить среднее время восстановления РЭС после силового деструктивного воздействия, поскольку восстановление СВП занимает время до 2с., что существенно меньше по сравнению с заменой предохранителя вручную.

Вопросы создания электрорадиоизделий на основе самовосстанавливающихся полимер-углеродных материалов отражены в научных работах С.Л. Баженов, А.А. Берлин, А.А. Кульков, В.Г. Ошмян, В.Е. Гуль, Н. Г. Рамбиди, В.Г. Шевченко, А.Р. Хохлов, В. Zhou, R. Chalmers, J. Nelson, J. Elliott и других отечественных и зарубежных ученых.

В теории и практике диспергирования нанодисперсных частиц в полимерах известность получили работы научных коллективов, возглавляемых А.Д. Помогайло, А.С. Розенбергом, И.Е. Уфляндом, В.Г. Недорезовым, Ye. P. Matunyu и др.

Большое внимание рассмотрению технологических проблем создания СВП уделено в трудах Т.П. Каминской и С.В. Подшибякина.

Тем не менее, в этих работах недостаточное внимание уделено исследованию механизмов управления порогом перколяции полимер-углеродных материалов и прогнозированию выходных характеристик СВП.

Повышение порога перколяции полимер-углеродных материалов вызвано необходимостью повышения омического сопротивления СВП в режиме защиты, что позволит выдерживать требуемый уровень воздействия на РЭС.

Прогнозирование выходных характеристик СВП на основе анализа свойств исходных полимер-углеродных материалов позволит обеспечить высокую повторяемость выходных параметров изделий, что является основным недостатком существующих технологий получения СВП в России.

Таким образом, является актуальной задача совершенствования существующих технологий получения полимер-углеродных материалов для создания эффективных СВП, что позволит повысить надежность изделий приборостроения.

Целью диссертационной работы является повышение позисторного эффекта самовосстанавливающихся предохранителей и повторяемости их выходных параметров за счет совершенствования существующих технологий производства полимер-углеродных материалов.

Для достижения поставленной цели в работе сформулированы и решены следующие **основные задачи**:

1. Провести анализ существующих полимер-углеродных материалов для производства СВП с заданными параметрами.

2. Провести исследование методов модификации структуры полимер-углеродных материалов, обеспечивающих наилучшие характеристики СВП.

3. Разработать методику прогнозирования номинального сопротивления СВП, учитывающую структуру системных связей исходных полимер-углеродных материалов.

4. Разработать технологию создания СВП, обеспечивающую высокую повторяемость выходных параметров изделий.

5. Реализовать предложенную технологию на опытных образцах СВП.

Методы исследований базируются на положениях системного анализа, теории вероятностей и математической статистики, теории надежности, теории электропроводности полимерных композиционных наноматериалов, теории перколяции.

Научная новизна работы заключается в следующем:

1. Методика прогнозирования номинального сопротивления СВП с использованием технологий атомно-силовой микроскопии, отличающаяся учетом структуры системных связей полимер-углеродных материалов на этапе производства, позволяющая получить высокий позисторный эффект и высокую повторяемость выходных параметров СВП.

2. Методика модификации структуры полимер-углеродных материалов СВП, отличающаяся применением гамма-излучения, что позволило повысить позисторный эффект.

3. Технология создания СВП, отличающаяся применением анализа двухуровневой макромодели полимер-углеродных систем, позволяющая обеспечить необходимую повторяемость выходных параметров изделий.

Практическая значимость работы заключается в следующем:

– увеличен позисторный эффект СВП на новых составах полимер-углеродных композициях на основе полиэтилена ПНДМА и углерода П267Э;

– впервые разработана методика управления процессом сшивки полимер-углеродных систем, что позволило понизить количество брака при производстве самовосстанавливающихся СВП;

– предложенная технология проектирования позволила подбирать рецептуру для полимер-углеродных композитов проектируемых самовосстанавливающихся предохранителей по заданным выходным параметрам, о чем свидетельствуют акты внедрения в промышленности.

Реализация и внедрение.

Результаты исследований использованы при проведении следующих работ в рамках ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 годы в следующих проектах:

– «Разработка методов и средств контроля дисперсности микро- и нанопорошков и суспензий» (№ госрегистрации 02.740.11.0785 от 24.04.2010);

– «Исследование научно-методологических и материаловедческих основ нанокпозиционных резисторных структур и создание суперминиатюрных чип-резисторов и самовосстанавливающихся предохранителей на фазовом переходе первого рода» (№ П716 от 20.05.10);

– «Производство композиционных материалов на основе метода определения оптимальных размеров частиц» (№ П416 от 12.05.10);

Также результаты исследований использованы при проведении научно-исследовательской работы «Тактика-2015» (ТТЗ МО РФ от 12.10.2013).

Материалы работы используются в учебном процессе на кафедре «Конструирование и производство радиоаппаратуры» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Пензенский государственный университет» при проведении лекционных, практических и лабораторных занятий по дисциплине «Технология производства электронных средств», при курсовом и

дипломном проектировании по направлению 11.03.03. Результаты внедрения подтверждены соответствующим актом.

На защиту выносятся:

1. Методика прогнозирования номинального сопротивления СВП, обеспечивающая экономию исходных материалов более чем на 20%.
2. Технология сшивания полимер-углеродных материалов, позволяющая повысить их позисторный эффект с 10^3 до 10^5 .
3. Технология создания СВП, основанная на модификации структуры полимер-углеродных материалов, обеспечивающая повышение повторяемости выходных параметров изделий на 15%.
4. Реализация структуры СВП на основе полиэтилена ПНД-МА и углерода П267Э, повысившая выход годных изделий СВП более чем на 10%.

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы доложены и обсуждены на Международных симпозиумах «Надежность и качество» (г. Пенза, 2007-2015), на Международных конференциях молодых ученых «Ломоносов» (г. Москва, 2008-2013), на II и III Международных конференциях «Функциональные наноматериалы и высокочистые вещества» (г. Суздаль, 2008, 2010), на НТС ФГБОУ ВПО «Пензенский государственный университет».

Соответствие паспорту специальности. Диссертационная работа соответствует паспорту специальности 05.11.14 – «Технология приборостроения» по пунктам 3, 4 и 8 паспорта специальности.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 21 печатная работа, в числе которых 7 в изданиях, рекомендованных ВАК, 1 монография, получено 3 свидетельства о регистрации электронных ресурсов.

Личный вклад автора. Основные результаты, выносимые на защиту, получены автором лично. Во всех работах, выполненных в соавторстве, соискатель непосредственно участвовал в постановке задач, обсуждении методов их решения, получении и анализе результатов исследований.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех

глав, заключения, списка литературы и приложений. Основной текст изложен на 110 страницах и двух приложениях (приложение А на 5 листах, приложение Б на 4 листах). Список литературы включает 114 наименований.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы, определена цель исследований, раскрыты научная и практическая ценность и сформулированы положения, выносимые на защиту.

В первой главе проведен анализ современного состояния и тенденций развития систем защиты электрических цепей, определены задачи исследования.

В настоящее время защита электрических цепей технических систем от перегрузок является актуальной задачей, поскольку превышение максимального значения тока нагрузки приводит к возникновению повреждений и отказов электрооборудования. При возникновении перегрузок в электрических цепях необходимо отключить техническую систему за кратчайшее время.

Для этого используют следующие устройства: плавкие и биметаллические предохранители, резисторы с положительным температурным коэффициентом сопротивления (α_R) - позисторы, реле, электронные ключи и др. Все эти устройства имеют существенные недостатки: биметаллические предохранители неустойчивы к работе при высоких температурах, керамические позисторы потребляют значительную мощность и механически хрупки, а реле обладают самой высокой интенсивностью отказов.

В связи с этим все большее внимание разработчиков электронной аппаратуры привлекают самовосстанавливающиеся предохранители (СВП), лишенные этих недостатков. СВП - это материалы с $\alpha_R > 0$, выдерживающие до 5000 переключений без деградации, основу которых составляет полимерная композиционная система с распределенными в ней углеродными

наночастицами.

Полимер-углеродный композит состоит из не проводящего электрический ток кристаллического полимера и распределенных в нем наноразмерных частиц углерода, организующих кластер, который проводит электрический ток (рисунок 1). Электроды гарантируют равномерное распределение потенциала по всей площади поверхности устройства. К электродам крепятся проволочные или лепестковые выводы

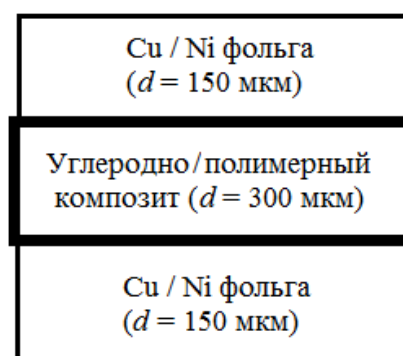


Рисунок 1 – Структура СВП в поперечном сечении

В момент снятия приложенного напряжения материал автоматически переходит в исходное низкоомное состояние и затем самовосстанавливается. Значение сопротивления предохранителя в проводящем состоянии составляет доли Ома. Время срабатывания зависит от тока нагрузки и составляет порядка 0,1 с, причем, чем больше ток, тем быстрее срабатывает предохранитель. Еще одно важное преимущество полимерных предохранителей в том, что они стойки к ударным нагрузкам и вибрациям, обладают малыми массогабаритными показателями.

Рассмотрены основные технологические схемы получения углеродно-полимерных композитов. Рассмотрены особенности строения и электрофизические свойства полимер-углеродных материалов. Проведен сравнительный анализ пригодности полимеров с положительным температурным коэффициентом сопротивления для создания СВП.

Отработаны порошковая, расплавная и растворная технологии, было выявлено, что наиболее пригодной для получения СВП является расплавная технология. Для уменьшения вязкости были применены реологическая добавка кислота стеариновая (1% от веса полимера) и антиоксидант оверокс-ФН-41 (до 0,5% от веса полимера). С использованием расплавной технологии с применением экструдера получена серия образцов композита на основе полиэтилена интеркалированного углеродом. Проведен анализ состава, микроструктуры, термических и электрофизических свойств материала.

Все существующие подходы к формированию структуры (морфологии) полимерно-углеродных композитов видят решение задачи получения полимерно-углеродных композитов с требуемыми параметрами за счет подбора известных или получения новых типов исходных материалов, а также комбинации их процентного соотношения.

В настоящей главе было определено, что к сдерживающим факторам широкого распространения СВП следует отнести следующее:

- сложность прогнозирования выходных параметров СВП (в частности номинального сопротивления) связанная с недостаточно изученными механизмами формирования морфологии полимер-углеродных композитов;

- недостаточно эффективные технологии управления величиной позисторного эффекта;

- отсутствие технологий производства СВП обеспечивающих необходимую повторяемость их выходных параметров.

Исследованию указанных факторов и поиску путей их решения посвящены следующие разделы настоящей работы.

Вторая глава посвящена технологии модификации полимер-углеродных композитов. Одна из наиболее значимых характеристик СВП – величина позисторного эффекта, т.е. резкое возрастание электросопротивления при превышении определенного порога воздействия (порога перколяции).

По результатам экспериментальных исследований влияния поглощенной

дозы γ -излучения на величину позисторного эффекта (работы проводились в «НИИ атомных реакторов» (г. Дмитровград) получена зависимость, показанная на рисунке 2.

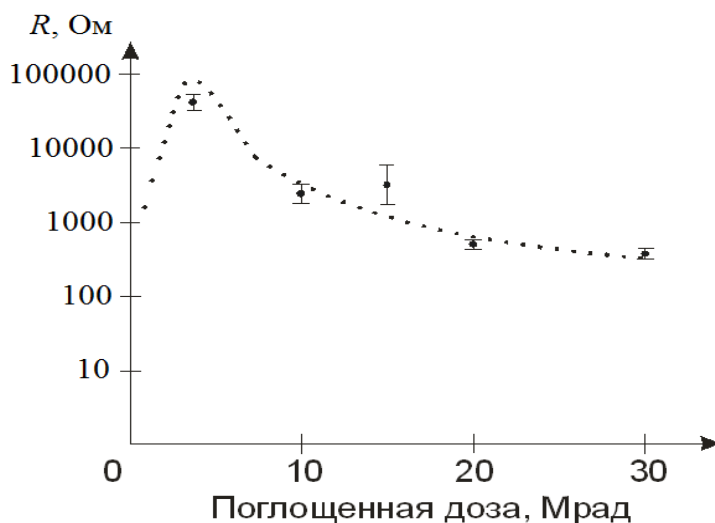


Рисунок 2 – Зависимость позисторного эффекта от величины поглощенной дозы

Основной задачей, которую было необходимо решить при выполнении данной работы, являлась оптимизация дозы радиационного воздействия. Образцы полимер-углеродного композита были подвергнуты воздействию γ -излучения. Время облучения варьировалось от 25 мин до 150 мин, а поглощенная доза γ -излучения составила от 5 до 25 Мрад, соответственно.

Облучение полимер-углеродных композитов такой дозой γ -квантов делает оптимальными механическую прочность, жесткость и гибкость образцов, электрическую прочность композитов при высоких температурах, а также позволяет получить значительный (до 5 порядков) позисторный эффект.

На основе анализа полученной зависимости предложена технология сшивания полимерно-углеродных систем (рисунок 3), отличающаяся применением гамма-излучения, что позволило повысить позисторный эффект СВП.

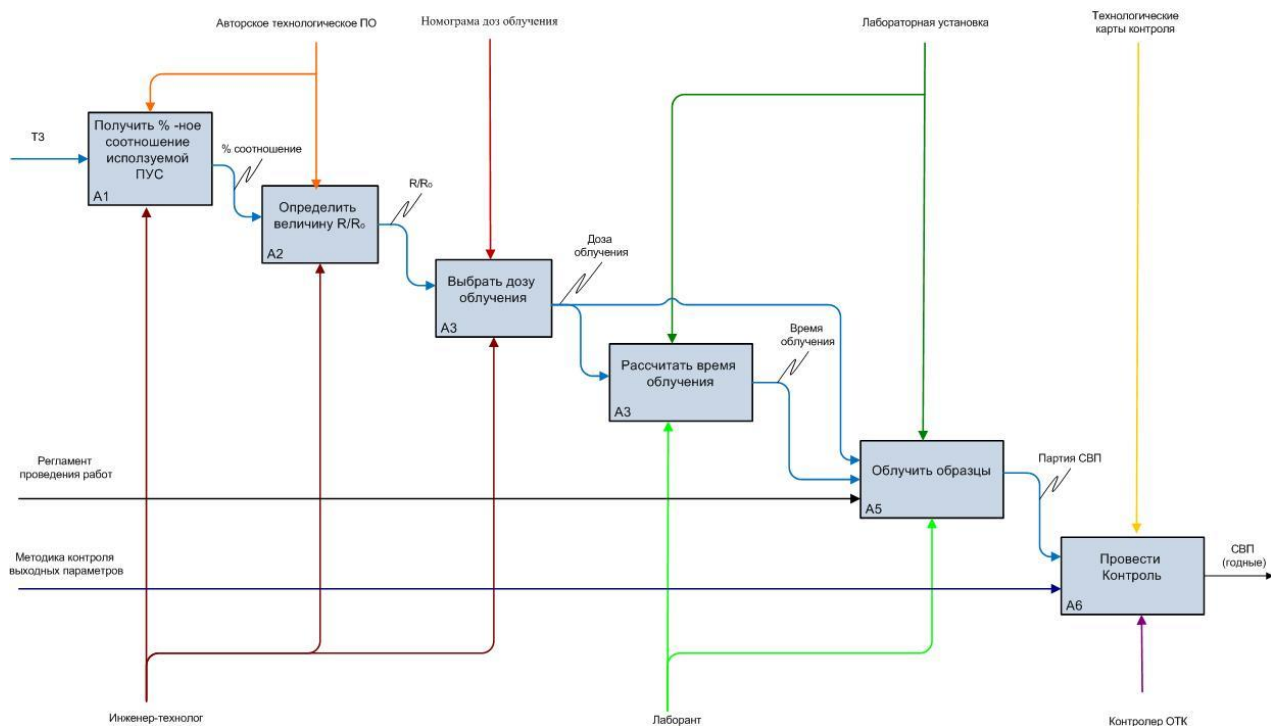


Рисунок 3 – Структура технологии сшивания полимер-углеродных композитов

Предложенная технология сшивания полимер-углеродных композитов для СВП выглядит следующим образом.

1. Получить процентное соотношение полимера и углерода в полимерно-углеродном композите согласно техническому заданию.

2. Определить значение порога перколяции φ_c на основе справочных данных для данного процентного отношения углерода и полимера.

3. Выбрать дозу облучения D по номограмме доз облучения (показана на рисунке 2).

4. Рассчитать время облучения по формуле:

$$t = \frac{D}{P},$$

где P – мощность экспозиционной дозы.

5. Облучить образцы полимер-углеродного композита гамма-излучением согласно рассчитанным дозе и времени.

6. Провести контроль позисторного эффекта.

На рисунке 4 приведен сравнительный график температурной

зависимости сопротивления для образцов СВП серии P1-200 и их импортных аналогов.

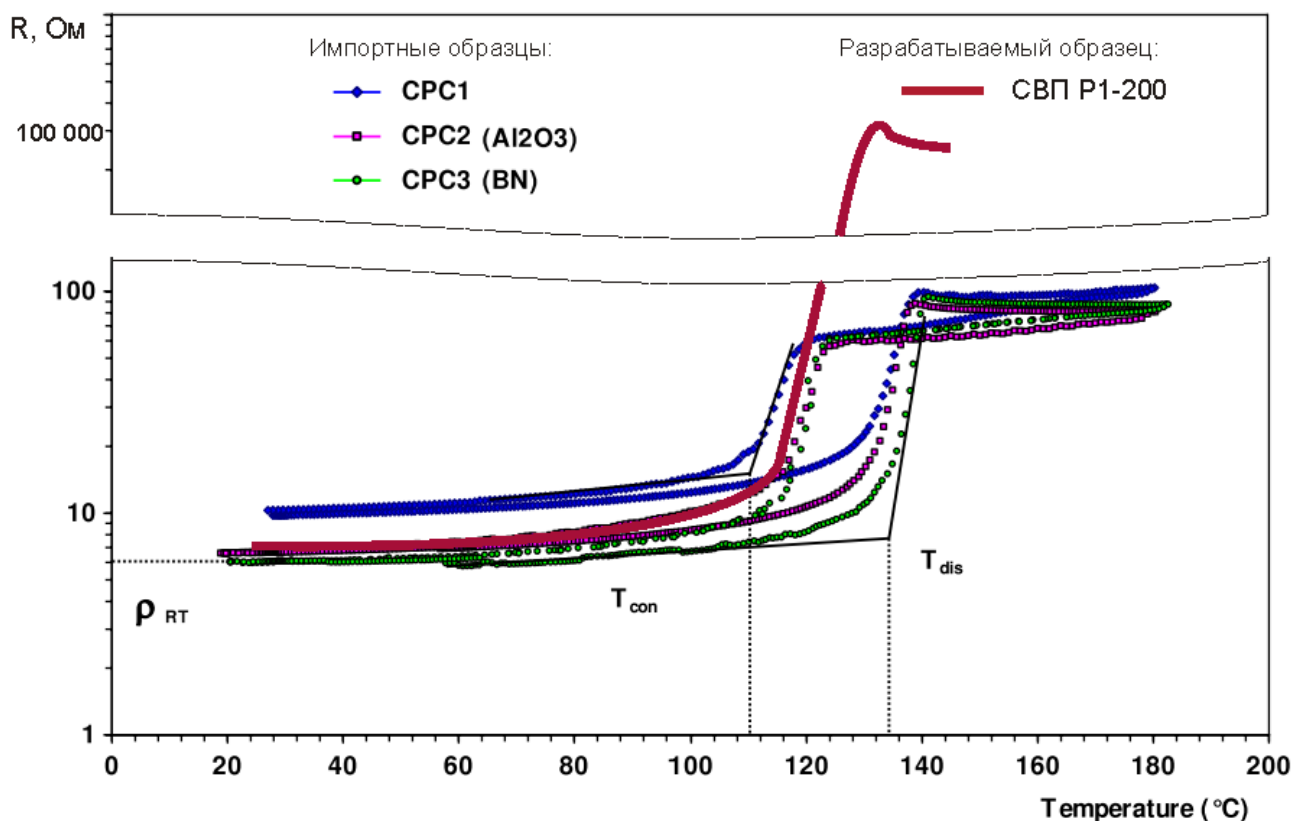


Рисунок 4 – Температурная зависимость сопротивления образцов СВП и образцов импортного производства

Технологический процесс формирования структуры сложных систем СВП, был дополнен технологией управления порогом перколяции полимер-углеродных систем с применением гамма-излучения, позволяющий повысить позисторный эффект СВП до 5 порядков, а также программное обеспечение, позволяющее прогнозировать выходные характеристики СВП. Эти алгоритмы и программное обеспечение были внедрены в методику управления технологическим процессом производства СВП.

Третья глава посвящена теоретическим исследованиям СВП, а также разработке методики прогнозирования номинального сопротивления СВП, учитывающая структуру системных связей полимер-углеродных систем.

Недостаточная проработка вопроса механизма формирования морфологии полимерно-углеродных систем приводит к тому, что после

подбора рецептуры невозможно знать номинальное сопротивление без изготовления пробного образца.

Для того, чтобы снизить затраты на изготовление пробной партии образцов и спрогнозировать номинальное сопротивление СВП на ранних этапах производства, разработана следующая методика, основанная на применении АСМ-анализа структуры исследуемой полимер-углеродной системы (рисунок 5).

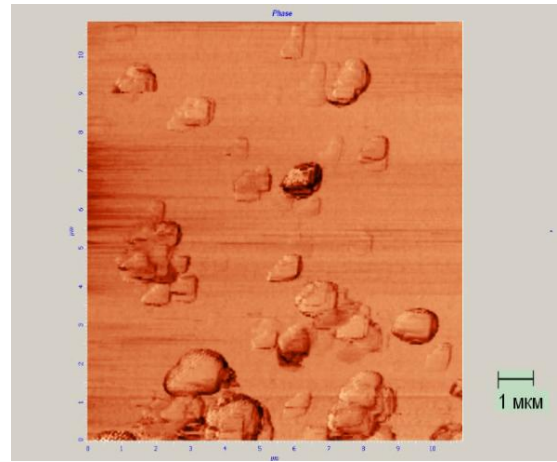
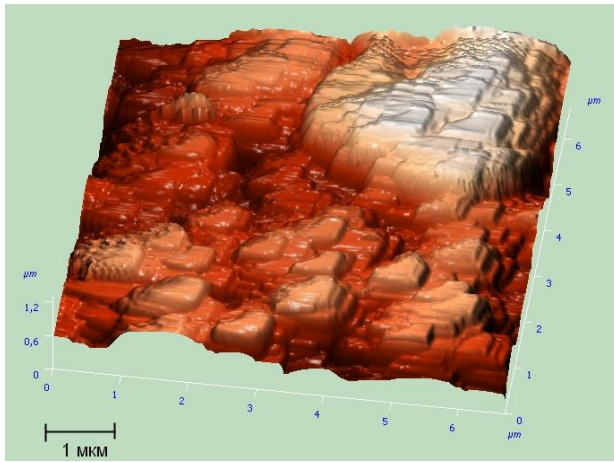
Согласно этой методике номинальное сопротивление СВП определяется по формуле

$$R = Z\sigma \left(\varphi - \varphi_c \left(1 - \left(\frac{nd}{D} \right)^3 \right)^2 \right),$$

где Z - габаритный параметр, σ - константа проводимости, φ - значение порога перколяции, φ_c - объемная доля углерода, n - количество слоев частиц углерода, d и D - размеры частиц углерода и полимерной матрицы соответственно.

В качестве примера использования АСМ анализа проведено исследование структуры полимер-углеродного композита на сканирующем зондовом микроскопе SMENA-A, в полуконтактной моде в режимах топографии и «фазового контраста». Измерения проводились кантилевером серии DCP-20 (диаметр 25 нм) с резонансной частотой $F=462$ кГц. Объектом исследования являлся полимерно-углеродный композит из углерода марки П267Э и полимера ПЭНД-МА-1 после стадии прессования.

На рисунке 6 приведен алгоритм программного обеспечения методики прогнозирования номинального сопротивления СВП.



а)

б)

Рисунок 5 – АСМ изображения: а) композит СВП в 3D; б) частиц углерода в фазовом контрасте

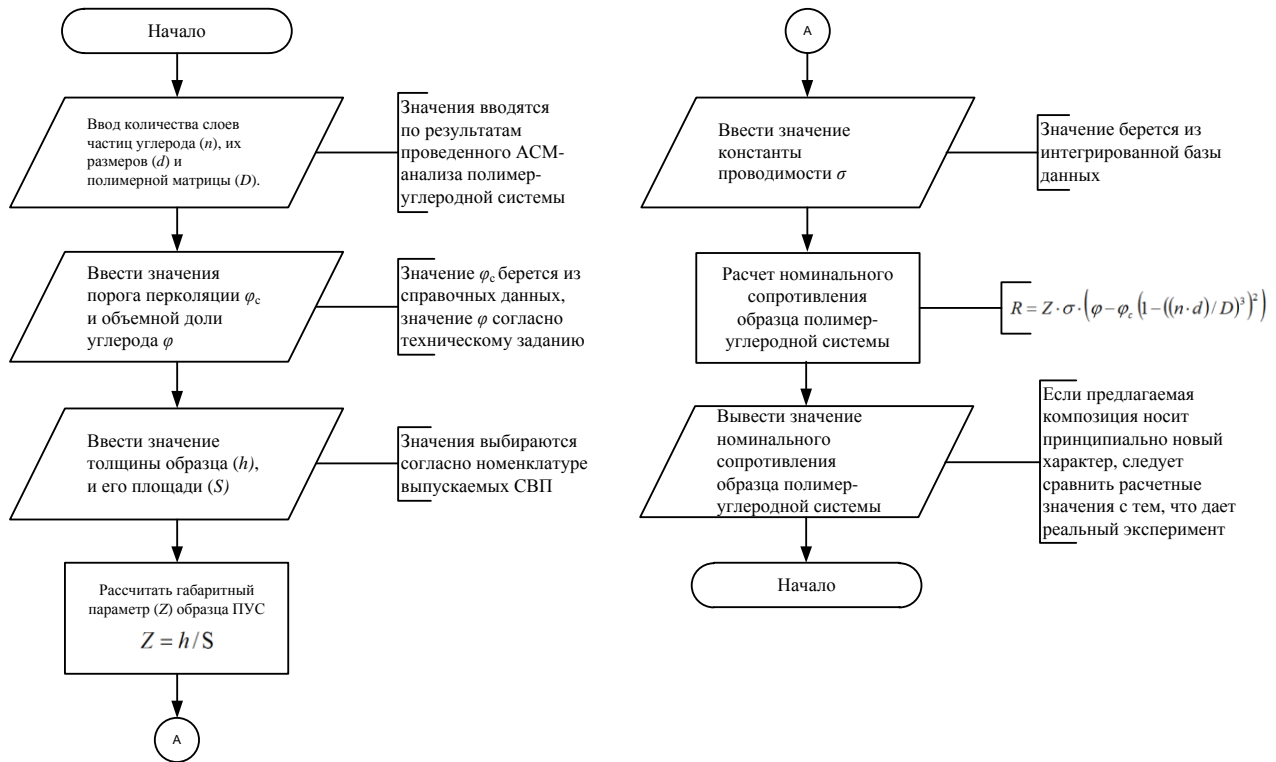


Рисунок 6 – Алгоритм программного обеспечения прогнозирования номинального сопротивления СВП

Разработанное в третьей главе на основе этой методики алгоритмическое и программное обеспечение позволяют в результате обработки информации о структуре полимер-углеродного композита полученной после АСМ-анализа осуществить прогнозирование его свойств.

Четвертая глава посвящена экспериментальным исследованиям эффективности технологии получения СВП. Было проведено исследование электрофизических характеристик СВП полученных с использованием различных марок полиэтилена и углерода, а также с применением различных технологических операций, после чего была исследована морфология образцов.

Экспериментальные исследования по выбору исходных компонентов для СВП показали, что в качестве полимеров (основы композитного материала) наиболее подходящим материалом являются разнообразные полиэтилены. Эта группа включает в себя такие подгруппы: полиэтилены низкого давления (ПНД), т.е. высокой плотности - с числом молекулярных звеньев до 2000; полиэтилены высокого давления (ПВД) с числом молекулярных звеньев, более 2500 и различные блок-сополимеры на их основе. Сополимеризация полиэтилена или смеси полиэтилена с другими полимерами понижает температуру плавления; повышает значения показателя текучести расплава. Во всех случаях объемная доля углерода (наполнителя) в полиэтилене не должна превышать 5 объемных процентов.

В качестве углерода (точнее углеродистого наполнителя композитного материала) целесообразно применение углерода марки П267Э и полимера ПЭНД-МА-1.

В качестве добавок оправдано применение олеиновой кислоты. Установлено, что нанесение одного процента (от общей массы смеси) олеиновой кислоты на поверхность гранул полиэтилена низкого давления уменьшает его вязкость на 40–60%. Общее количество смазок и реологических добавок не должно превышать одного объемного процента.

Разработанная ранее методика прогнозирования параметров СВП, позволяющая управлять их электрическими свойствами была дополнена технологией управления порогом перколяции полимерно-углеродных композитов с применением гамма-излучения, позволяющей повысить позисторный эффект СВП. Эти технологии были внедрены в единую

технологии получения СВП обеспечивающую высокую повторяемость выходных параметров изделий. Структура технологии производства СВП представлена на рисунке 7.

Ее особенность заключается в том, что для прогнозирования свойств СВП используются как известные способы управления структурой полимерно-углеродной системы (исходные вещества), так и вновь предложенные (методика и алгоритм).

Применение технологии получения СВП на основе двухуровневой макромоделли полимерно-углеродных систем позволило получить СВП, обладающие следующей температурной зависимостью сопротивления (рисунок 8).

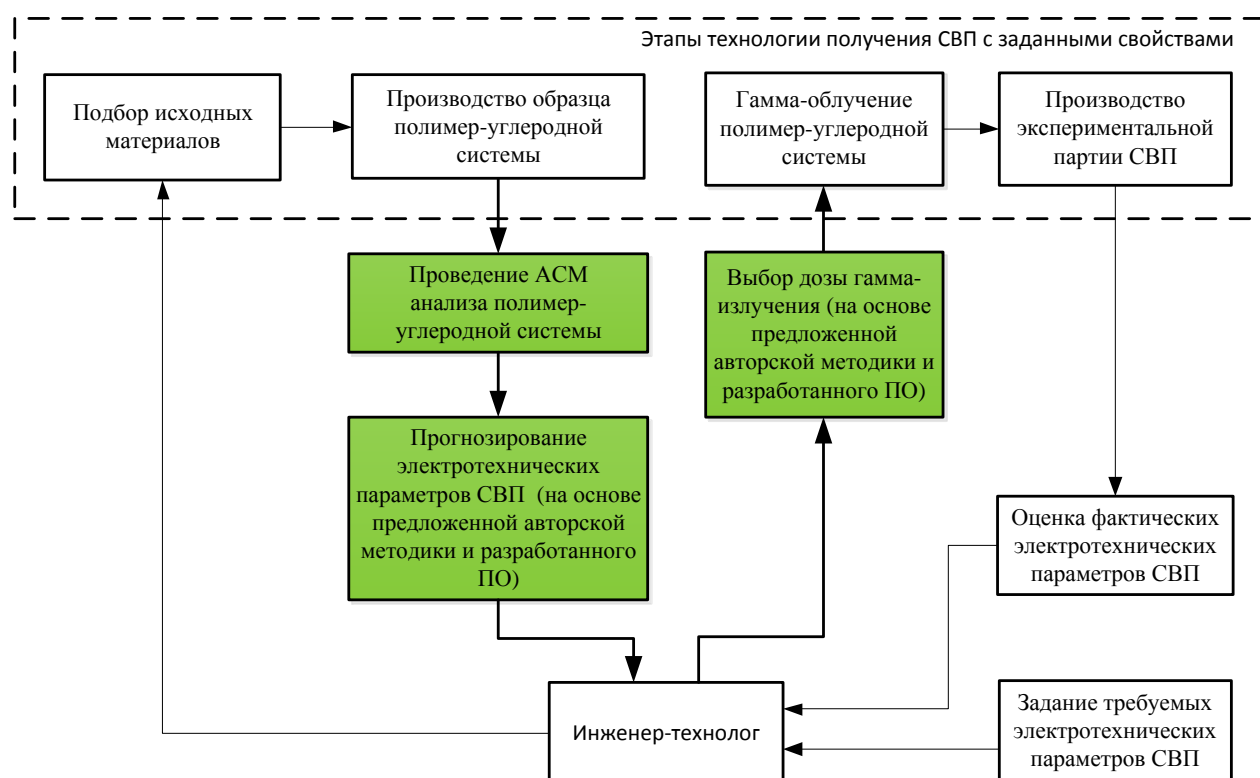


Рисунок 7 – Структура технологии получения СВП

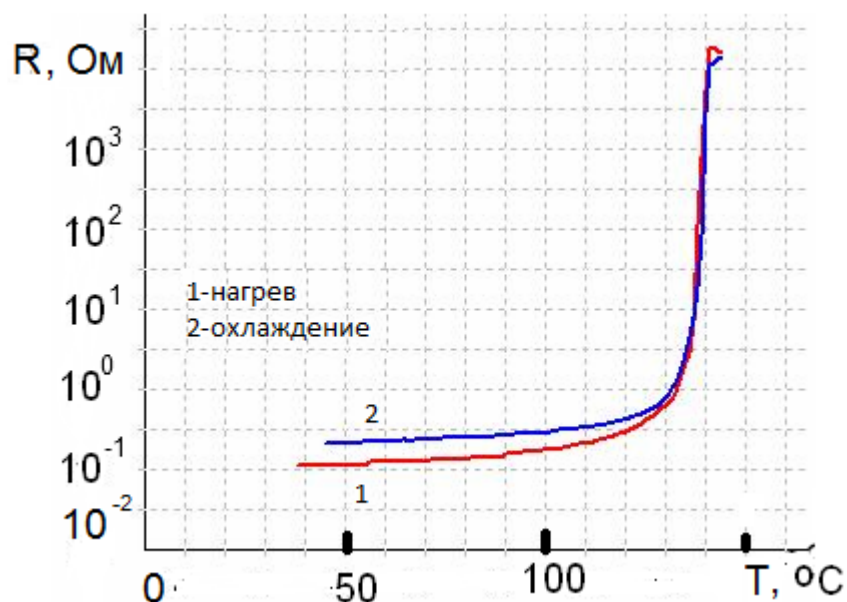


Рисунок 8 – Температурная зависимость сопротивления СВП

Таким образом, предложенная технология получения СВП, построенная на основе разработанной двухуровневой макромодели полимерно-углеродных систем, дополненная новой методикой прогнозирования номинального сопротивления СВП позволила обеспечить необходимую повторяемость выходных параметров изделий.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ

1. Проведен анализ существующих полимер-углеродных материалов для производства СВП с заданными параметрами. Выявлено, что наиболее подходящими материалами являются полиэтилен низкого давления ПНДМА и углерод П267Э.

2. Проведено исследование методов модификации структуры полимер-углеродных материалов, обеспечивающих наилучшие характеристики СВП. Разработана технология модификации структуры полимер-углеродных материалов СВП, отличающаяся применением гамма-излучения, что позволило повысить позисторный эффект с 10^3 до 10^5 .

3. Разработана методика прогнозирования номинального сопротивления СВП, учитывающая структуру системных связей исходных полимер-

углеродных материалов, обеспечивающая экономию исходных материалов более чем на 20 %.

4. Разработана технология создания СВП, на основе прогнозирования выходных параметров изделий и модификации структуры полимер-углеродной системы, что позволило повысить повторяемость выходных параметров изделий на 15%.

5. Предложенная технология реализована на опытных образцах СВП. Реализована структура СВП на основе полиэтилена ПНД-МА и углерода П267Э, позволившая увеличить выход годных изделий СВП более чем на 10%.

ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК РФ

1. Домкин К.И. Физико-химические исследования полимерно-углеродных композиций / А.М. Гаськов, С.В. Подшибякин, М.Н. Румянцева, Т.П. Каминская, К.И. Домкин // Журнал РАН «Перспективные материалы». Специальный выпуск (6) часть 2, декабрь 2008. – Интерконтакт Наука. – С. 200 – 202.

2. Домкин К.И. Современные методы анализа гранулометрического состава порошков / Т.П. Каминская, К.И. Домкин // Журнал РАН «Перспективные материалы». Специальный выпуск (6) часть 1, декабрь 2008. – Интерконтакт Наука. – С. 237 – 240.

3. Домкин К.И. Разработка самовосстанавливающихся предохранителей для защиты электрических цепей вычислительной техники / К.И. Домкин, В.Г. Недорезов // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. 2011. № 2. – С. 90 – 96.

4. Домкин К.И. Исследование структуры полимерно-углеродного композита методом атомно-силовой микроскопии / К.И. Домкин, Т.П. Каминская // Журнал РАН «Перспективные материалы». Специальный

выпуск (11), апрель 2011. – Интерконтакт Наука. – С. 164 – 168.

5. Домкин К.И. Моделирование процесса сухого измельчения порошковых материалов / К.И. Домкин, Н.К. Юрков // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Физико-математические науки. – 2012. – №1(21). – С. 131 – 138.

6. Домкин К.И. Особенности выбора оптимальных технологических решений для создания специального полимерного композита / А.В. Курганов, К.И. Домкин, А.И. Долотин, В.А. Трусов, С.И. Торгашин // XXI век: итоги прошлого, проблемы настоящего. – 2014. – №1(03). – С. 122 – 128.

7. Домкин К.И. Методология управления технологическим процессом получения СВП с заданными электротехническими параметрами / К.И. Домкин, А.В. Затылкин, Н.К. Юрков // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2015. – №2 (30). – С. 161 – 172.

Монографии

8. Домкин К.И. Полимерные композиционные материалы на основе проводящих нанопорошков углерода для самовосстанавливающихся предохранителей / К.И. Домкин, В.Г. Недорезов, Н.К. Юрков. – Пенза: Изд-во ПГУ, 2012. – 128 с.

Отчеты о НИР

9. Производство композиционных материалов на основе метода определения оптимальных размеров частиц: Отчет по ГК П416 от 12 мая 2010 / Н.К. Юрков, В.Г. Недорезов, К.И. Домкин, и др. – Москва: ГОУ ВПО «РГУИТП», 2011. – 130 с.

Публикации в других изданиях

10. Домкин К.И. Физические основы гранулометрического анализа частиц с помощью прибора «ANALYSETTE 22» COMPACT // Надежность и качество: тр. междунар. симп. – Пенза : ИИЦ ПГУ. – 2007. – Т. 2. - С. 63 – 64.

11. Домкин К.И. Самовосстанавливающиеся предохранители для автомобильной электроники / К.И. Домкин, Т.П. Каминская // Журнал

«Электронные компоненты». – 2008. – №5. – С. 80 – 82.

12. Домкин К.И. Изделия электронной техники и нанотехнологии / К.И. Домкин, Т.П. Каминская // Производство электроники: технологии, оборудование, материалы. – 2010. – № 1. – С. 37 – 39.

13. Домкин К.И. Дисперсионный анализ частиц методом лазерной дифракции на приборе «ANALYSETTE 22» // Ломоносов-2010: тр. междунар. конф. Секция «Физика» - М.: ИИЦ МГУ им. М.В Ломоносова. – 2010. – Т. 2. – С. 126 – 127.

14. Домкин К.И. Влияние сшивки на электрофизические свойства самовосстанавливающихся предохранителей // Ломоносов-2011: тр. междунар. конф. Секция «Физика» - М.: ИИЦ МГУ им. М.В Ломоносова. – 2011. – Т. 2. – С. 70 – 71.

15. Домкин К.И. Гранулометрическое распределение порошков стекол для толстопленочной и чип-технологии // Надежность и качество: тр. междунар. симп. – Пенза: ИИЦ ПГУ. – 2011. – Т. 2. – С. 148 – 150.

16. Домкин К.И. Оптимизация разработки керметных резисторов с помощью моделирования. / К.И. Домкин, В.Г. Недорезов // Надежность и качество сложных систем. – 2013. – №1. – С. 64 – 68.

17. Домкин К.И. Исследование морфологии частиц различных форм углерода для полимерно-углеродных композиций методом атомно-силовой микроскопии / Т.П. Каминская, В.В. Попов, М.А. Степович, К.И. Домкин. // Сборник тезисов докладов XXV Российской конференции по электронной микроскопии (РКЕМ-2014). – 2-6 июня 2014 г., Черногоровка. – 2014. – С. 302-303.

18. Домкин К.И. Информационная технология прогнозирования выходных параметров СВП на основе двухуровневой макромодели полимерно-углеродных систем // Надежность и качество сложных систем. – 2014. – №4(8). – С. 93 – 97.

Свидетельства о регистрации электронных ресурсов

19. Электронный учебник: Ультрадисперсные (нано-) порошки: получение, анализ, свойства: Свидетельство о регистрации электронного ресурса № 17497 / Домкин К.И. заявл. 14.10.2011.

20. Алгоритм и программа «Гранулометрический анализ микро- и нанодисперсных порошков»: Свидетельство о регистрации электронного ресурса № 18720 / Домкин К.И., Трусов В.А., Затылкин А.В. заявл. 27.11.2012.

21. Программный модуль прогнозирования электрических параметров электрорадиоизделий с полимерно-углеродными гетерогенными структурами: Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2015617917 / Домкин К.И., Затылкин А.В., Юрков Н.К. заявл. 04.06. 2015.

Научное издание

Домкин Кирилл Иванович

Специальность 05.11.14 – Технология приборостроения