

16. Vickers A.J. Acupuncture for chronic pain: Individual patient data meta-analysis / A.J. Vickers, A.M. Cronin, A.C. Maschino, G. Lewith, H. MacPherson, N.E. Foster, K.J. Sherman, K. Linde // (2012) Archives of Internal Medicine, 172 (19), pp. 1444-1453. Cited 156 times. http://archinte.jamanetwork.com/data/Journals/INTEMED/25374/iiq120056_1444_1453.pdf doi: 10.1001/archinternmed.2012.3654.
17. Yamamoto H. Involvement of the mechanoreceptors in the sensory mechanisms of manual and electrical acupuncture / H. Yamamoto, T. Kawada, A. Kamiya, S. Miyazaki, M. Sugimachi // (2011) Autonomic Neuroscience: Basic and Clinical, 160 (1-2), pp. 27-31. Cited 10 times. doi: 10.1016/j.autneu.2010.11.004.

УДК 678

МЕТОДОЛОГИЯ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ ПОЛУЧЕНИЯ СВП С ЗАДАНЫМИ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИМИ ПАРАМЕТРАМИ¹

Домкин Кирилл Иванович, аспирант, Калужский государственный университет им. К.Э. Циолковского, 248023, Российская Федерация, г. Калуга, ул. Разина, 26, e-mail: ego85@r4f.su

Затылкин Александр Валентинович, кандидат технических наук, доцент, Пензенский государственный университет, 440026, Российская Федерация, г. Пенза, ул. Красная, 40, e-mail: al.zatylkin@r4f.su

Юрков Николай Кондратьевич, доктор технических наук, Пензенский государственный университет, 440026, Российская Федерация, г. Пенза, ул. Красная 40, e-mail: yurkov_nk@mail.ru

Представлены результаты анализа современного состояния и тенденций развития методов защиты электрических цепей в технических системах. Выявлено, что сдерживающими факторами широкого распространения самовосстанавливающихся предохранителей (СВП) являются, во-первых, сложность прогнозирования выходных параметров СВП, связанная с недостаточно изученной морфологией полимерно-углеродных систем (ПУС), а во-вторых - отсутствие промышленных технологий производства СВП, обеспечивающих необходимую повторяемость (сохранение) их выходных параметров. Для устранения указанных факторов предложена методология управления получением СВП с заданными свойствами, позволяющая обеспечить необходимую повторяемость (воспроизводимость) выходных параметров изделий. Одним из элементов ее новизны является авторский метод прогнозирования номинального сопротивления СВП на основе данных АСМ-анализа (использование атомно-силовой микроскопии) морфологии исходных композитов. Приведен пример использования АСМ-анализа для исследования структуры ПУС на сканирующем зондовом микроскопе SMENA-A в полуконтактной моде в режимах топографии и «фазового контраста». Другим элементом новизны представленной методологии является впервые введенный этап гамма облучения ПУС. Выбор дозы и времени облучения проводится на основе авторской методики и соответствующего программного обеспечения. Представленные в работе результаты исследований вместе с авторским методом прогнозирования номинального сопротивления СВП и применением гамма облучения ПУС позволили предложить методологию управления получением СВП с заданными свойствами. Это дало возможность

¹ Работы выполнялись в рамках ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 годы в рамках следующих проектов:

«Исследование научно-методологических и материаловедческих основ наноконпозиционных резисторных структур и создание суперминиатюрных чип-резисторов и самовосстанавливающихся предохранителей на фазовом переходе первого рода» (№ 716П от 20.05.10);
- «Производство композиционных материалов на основе метода определения оптимальных размеров частиц» (№ П416 от 12.05.10).

обеспечить необходимую повторяемость (воспроизводимость) выходных параметров, а также существенно повысить порог перколяции СВП. Полученные результаты внедрены в научную и производственную деятельность ОАО «НИИ ЭМП» (г. Пенза).

Ключевые слова: самовосстанавливающиеся предохранители, полимерно-углеродные системы, эксплуатационные параметры, воспроизводимость параметров, гамма облучение, информационные технологии, макромодель, прогнозирование

METHODOLOGY OF PROCESS FOR PRODUCING WITH GIVEN SVP ELECTROTECHNICAL PARAMETERS

Domkin Kirill I., post-graduate student, Tsiolkovsky Kaluga State University, 26 Razin St., Kaluga, 248023, Russia, e-mail: ego85@r4f.su

Zatylnik Aleksandr V., Ph.D. (Engineering), Associate Professor, Penza State University, 40 Krasnaya st., Penza, 440026, Russian Federation, e-mail: al.zatylnik@r4f.su

Yurkov Nikolay K., D.Sc. (Engineering), Penza State University, 40 Krasnaya st., Penza, 440026, Russian Federation, e-mail: yurkov_nk@mail.ru.

The results of analysis of the current status and trends of methods of protection of electrical circuits in technical systems. Revealed that the constraints widespread Resettable Fuses (MRAs) are, first, the difficulty of forecasting the output parameters SVP associated with insufficient study of the morphology of polymer-carbon systems, and secondly the lack of industrial production technologies SVP, providing the necessary repeatability (preservation) their output parameters. To eliminate these factors methodology proposed acquisition control hovercraft with given properties, helps secure the necessary repeatability (repeatability) of the output parameters of products. One element of novelty is the author's method of predicting nominal resistance SVP based on AFM analysis of the morphology of the original composites. An example of using the AFM analysis investigating the structure of the PCS SPM SMENA-A in tapping mode in the modes of topography and "phase contrast". Another element of novelty presented methodology is first introduced by gamma irradiation stage PCS. The choice of dose and exposure time is based on the author's methodology and related software. Presented in the results of the research have allowed to consider the PCS as a two-level macro model, in which the system is represented as a black box with a control input. Such representation PCS together with the author's method of predicting nominal resistance SVP and application of gamma irradiation PCS formed the basis of the proposed methodology acquisition control hovercraft with given properties, to ensure the necessary repeatability (reproducibility) of output parameters, as well as significantly improve the percolation threshold SVP. The results obtained are introduced to the scientific and industrial activity of "NII EMP" (Penza).

Keywords: Resettable fuses, multifuses, polymer-carbon system, output parameters, information technology, macromodel, forecasting

Введение. Защита электрических цепей в технических системах от перегрузок является актуальной задачей, поскольку превышение максимального значения тока нагрузки обычно приводит к возникновению повреждений и отказов электрооборудования, разрушению сложных и часто весьма дорогостоящих электронных схем. Поэтому при возникновении перегрузок в электрических цепях необходимо отключить техническую систему от источника питания за кратчайшее время. Целями настоящей статьи были следующие: сравнительный анализ используемых технических решений; обоснование целесообразности использования самовосстанавливающихся предохранителей (СВП); обоснование технологии, обеспечивающей хорошую воспроизводимость параметров СВП.

Анализ применяемых при перегрузках технических решений. Защитные элементы разделяют на элементы ограничения тока и элементы ограничения напряжения. Элементы ограничения тока необходимы для защиты оборудования от длительных токовых пере-

грузок, которые могут привести к возгоранию или повреждению термически чувствительных компонентов. Такие перегрузки могут возникнуть при непосредственном контакте с силовыми линиями или в результате длительной индукции от этих линий.

В качестве элементов ограничения тока применяются плавкие предохранители, мощные резисторы, позисторы, т.е. элементы с: положительным температурным коэффициентом сопротивления (α_R) и ряд иных технических решений.

Плавкие предохранители имеют весьма малое сопротивление, но могут срабатывать при мощных кратковременных токовых перегрузках; требуют замены после прекращения опасного воздействия. Иными словами они могут использоваться лишь однократно.

Сопротивление резисторов должно быть довольно значительным, что приемлемо не для всех линий. Для сбалансированности линии резисторы должны иметь точность не хуже 1%. Высокоточные мощные резисторы имеют довольно большие габариты и стоимость. По этим причинам они применяются редко.

Элементы с положительным температурным коэффициентом сопротивления (РТС-устройства) являются самовосстанавливающимися. Они имеют низкое сопротивление в нормальном рабочем режиме (единицы Ом). При протекании тока, превышающего определенный порог, происходит резкое увеличение сопротивления РТС-устройства, и ток цепи ограничивается до безопасного уровня. В таком состоянии устройство находится до тех пор, пока ток через РТС не уменьшится до величины ниже «тока удержания» (несколько сот миллиампер) После прекращения опасного воздействия сопротивление РТС-устройства возвращается к исходному значению и нормальное функционирование оборудования восстанавливается. Однако, керамические позисторы потребляют значительную мощность и механически хрупки;

Биметаллические предохранители многократного действия неустойчивы в работе при высоких температурах. Кроме того, их контакты могут обгорать при срабатываниях – особенно при больших величинах токов.

Электромеханические реле обладают самой высокой интенсивностью отказов среди всех типов устройств [1, 3], в ряде случаев – значительным временем «реагирования на перегрузку». Их контакты интенсивно обгорают при срабатываниях (кроме случаев, когда контактные группы помещены в атмосферу инертных газов).

Электронные ключи могут срабатывать достаточно быстро, но имеют ограниченную надежность. Если используются ключи на транзисторах, то могут быть существенны пределы по пропускаемому току. В то же время для ключей на основе тиристоров или симисторов пропускаемые токи могут быть весьма значительны. Отметим, что для организации «гальванических развязок» при использовании электронных ключей могут быть применены оптоэлектронные пары.

Элементы ограничения напряжения предотвращают электрический пробой или повреждение компонентов, чувствительных к перенапряжению. Эти элементы могут быть двух типов: переключающимися в низкоимпедансное состояние (foldbackdevice) [3] и фиксирующими напряжение на определенном уровне (clampindevice) [4].

В связи с указанными обстоятельствами все большее внимание разработчиков электронной аппаратуры привлекают самовосстанавливающиеся предохранители (СВП), лишенные указанных выше недостатков. В техническом отношении СВП - это резисторы с $\alpha_R > 0$, выдерживающие до 5000 переключений без замены. Основу СВП составляет полимерная композиционная система (ПКС) с распределенными в ней углеродными наночастицами.

Полимерно-углеродный композит состоит из не проводящего электрический ток кристаллического полимера и распределенных в нем наноразмерных частиц углерода, организуемых кластер, который проводит электрический ток (рисунок 1). Электроды гаранти-

руют равномерное распределение потенциала по всей площади поверхности устройства. К электродам крепятся проволочные или лепестковые выводы

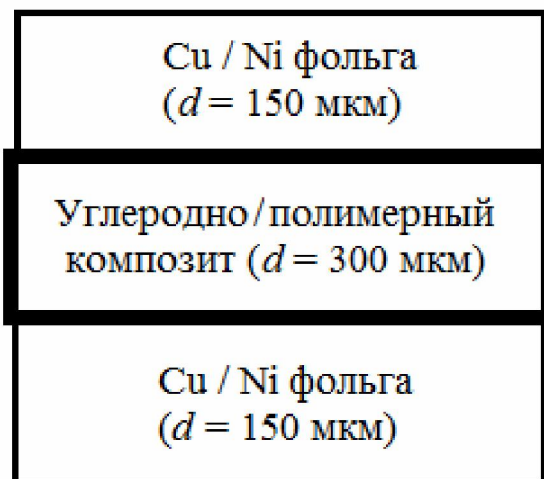


Рис. 1. Структура СВП в поперечном сечении

Принцип работы СВП заключается в следующем. При комнатной температуре полимерный композит имеет кристаллическую структуру, в которой по границам кристаллов (ячеек) располагаются электропроводящие частицы технического углерода. Если содержание проводящих частиц в полимере низкое, то материал не проводит ток. Если же их содержание повышается до уровня, называемого «порогом перколяции», то проводящие частицы начинают соприкасаться (или «почти» соприкасаться), образуя трехмерную пространственную решетку из проводящих цепочек. При этом проводимость в цепочках, составленных из «почти» соприкасающихся частиц, имеет характер туннелирования (рис. 2).

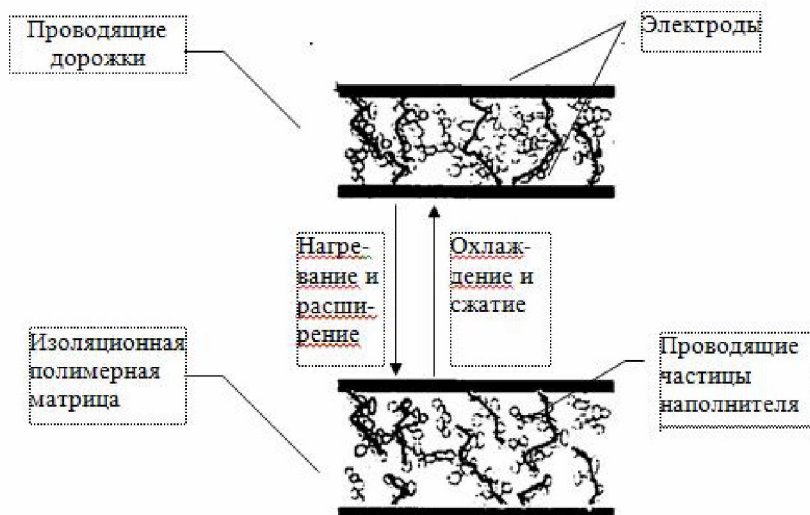


Рис. 2. Принцип действия СВП

При возникновении аварийной ситуации (например, при коротком замыкании в цепи) через резистор (СВП) начинает течь ток, превышающий номинальный. Если вырабатываемое при этом тепло передается от устройства окружающей среде частично, то избыток

тепла выделяется на резисторе, вызывая его саморазогрев. При достижении температурой резистора (СВП) величины, соответствующей так называемой «фазовой трансформации», происходит переход фазового состояния полимера из кристаллического в аморфное.

Такой переход, как известно, относится к фазовым переходам первого рода [8], приводящим к скачкообразному изменению удельного объема системы. В данном случае имеет место увеличение объема, вызывающее разрушение сформированной трехмерной структуры из проводящих цепочек, образованных соприкасающимися частицами углерода. В результате сопротивление материала резистора резко возрастает, вызывая соответствующее снижение тока в цепи.

Резистор остается в «горячем» состоянии, обеспечивая постоянную защиту до тех пор, пока находится под напряжением или пока не будут устранены причины его срабатывания. После устранения этих причин резистор охлаждается, процесс фазовой трансформации в материале резистора происходит в обратном порядке: полимер вновь кристаллизуется, уменьшаясь в объеме. При этом проводящие углеродные цепочки восстанавливаются, а сопротивление возвращается к первоначальному уровню. Резистор (СВП) снова готов к работе, т.е. последующему срабатыванию при возникновении аварийной ситуации.

Значение сопротивления предохранителя в проводящем состоянии составляет доли Ома. Время срабатывания зависит от тока нагрузки и составляет порядка 0.1с. При этом, чем больше перегрузка по току, тем быстрее срабатывает предохранитель. Другие важные преимущества полимерных предохранителей в том, что они стойки к ударным нагрузкам и вибрациям, обладают малыми массогабаритными показателями.

К сдерживающим факторам, препятствующим широкому распространению СВП, следует отнести следующие:

- сложность прогнозирования выходных параметров СВП (в частности номинального сопротивления), что связано с недостаточно изученными механизмами формирования морфологии полимерно-углеродных систем (ПУС);
- недостаточно эффективные технологии управления величиной позисторного эффекта;
- отсутствие промышленных технологий производства СВП, обеспечивающих необходимую повторяемость (воспроизводимость) их характеристик - т.е. низкий технологический разброс параметров.

Поэтому в рамках проведенной авторами работы была создана новая методология управления получением СВП с заданными свойствами, позволяющая обеспечить необходимую повторяемость (воспроизводимость) выходных параметров, а также повысить величину позисторного эффекта СВП.

Анализ результатов исследований по выбору исходных материалов для СВП. Существующие подходы к формированию структуры (морфологии) ПУС представлены в работах [1, 5]. Для решения задачи получения ПУС с требуемыми параметрами все они используют подбор известных или получение новых типов исходных материалов, а также изменение долей компонентов в составе материалов.

Теоретическая и материаловедческая проработка вопросов создания функциональной основы СВП (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 полимера с последующим удалением растворителя;
- расплавная технология, включающая в себя технологический процесс внедрения углерода в расплав полимера.

На этапе технического проекта экспериментальную апробацию прошли все три технологические схемы и была выбрана расплавная технология

Для решения специфической задачи получения ПУС с целью создания на их основе СВП были проведены экспериментальные исследования по выбору наиболее перспективных исходных материалов и технологий. Анализ полученных результатов привел авторов к таким выводам.

1. В качестве полимеров (основы композитного материала) наиболее подходящим материалом являются разнообразные полиэтилены [7,11,12]. 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.

2. В качестве углерода (точнее углеродистого наполнителя композитного материала) по результатам экспериментов была выявлена целесообразность применения углерода марки П267Э, а полимера - ПЭНД-МА-1 [10].

3. В качестве добавок оправдано применение олеиновой кислоты [8]. 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. Проведенные ранее исследования композита при помощи атомно-силовой микроскопии (АСМ) показали, что избыток добавок приводит к снижению стабильности его структуры [6].

Метод прогнозирования номинального сопротивления СВП. Недостаточная проработка вопросов, связанных с механизмами формирования морфологии ПУС приводит к тому, что после подбора рецептуры невозможно заранее сколько-нибудь точно узнать номинальное сопротивление без изготовления пробных образцов.

Для того, чтобы снизить затраты на изготовление пробной партии образцов и спрогнозировать номинальное сопротивление СВП на ранних этапах их производства, авторами был разработан метод, основанный на применении АСМ-анализа структуры исследуемой ПУС. Метод включает в себя следующие этапы (рисунок 3).

1. Провести АСМ-анализ структуры исследуемой ПУС, определив количество слоев частиц углерода (n), размеры частиц углерода (d) и полимерной матрицы (D). Количество слоев определяется отношением толщины образца к толщине одного слоя ПУС, которая в свою очередь определяется по АСМ-изображению.

2. Выбрать значение порога перколяции ϕ_c на основе справочных данных и объемную долю углерода ϕ согласно техническому заданию.

3. Рассчитать габаритный параметр (Z) образца ПУС по следующей формуле:

$$Z = h/S,$$

где h – толщина образца, S – его площадь. (Например, размер СВП 12x5 мм, толщина 0,5 мм, выбирается по номенклатуре СВП).

4. Выбрать константу проводимости σ на основе справочных данных - согласно базе данных, полученной в результате экспериментальных исследований ПУС различного состава.

5. Провести расчет (оценку) номинального сопротивления образца (R), подставив в нижеприводимую формулу полученные ранее значения:

$$R = Z \cdot \sigma \cdot \left(\phi - \phi_c \left(1 - \left((n \cdot d) / D \right)^3 \right)^2 \right).$$

6. Сравнить расчетные значения с тем, что дает реальный эксперимент – если предлагаемая композиция носит принципиально новый характер.

В качестве примера использования АСМ-анализа приведем результаты исследования структуры ПУС на сканирующем зондовом микроскопе SMENA-A (производства фирмы NT-MDT, г. Зеленоград) в полуконтактной моде в режимах топографии и «фазового контраста» [2]. Измерения проводились кантилевером серии DCP-20 (диаметр 25 нм) с резонансной частотой $F=462$ кГц без дополнительного «затачивания».

Объектом исследования являлась ПУС из углерода марки П267Э и полиэтилен низкого давления ПЭНД-МА-1 после стадии прессования.

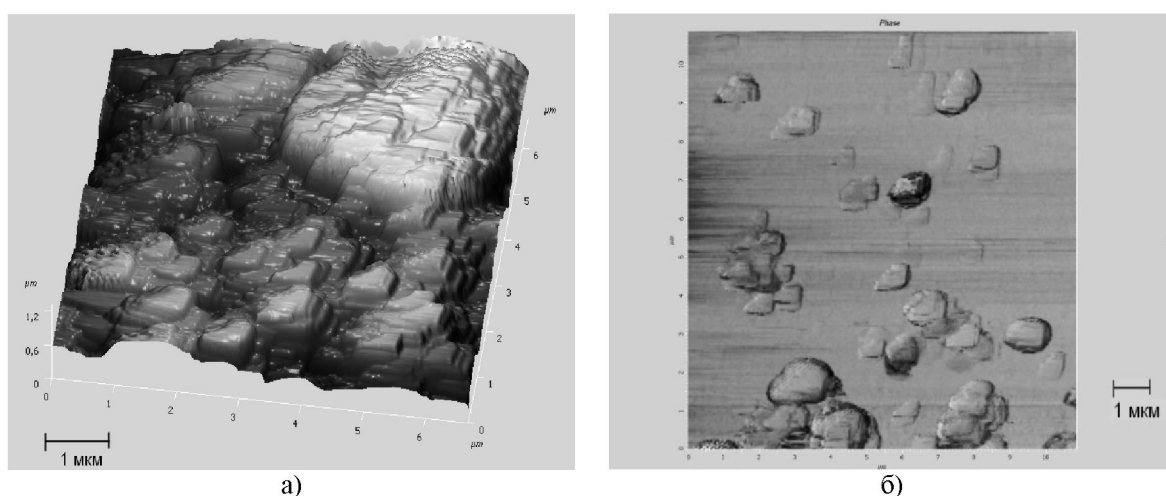


Рис. 3. АСМ изображения:

а - композит СВП в 3D представлении; *б* - частицы углерода в фазовом контрасте

В соответствии с предложенным методом прогнозирования номинального сопротивления СВП авторами разработан алгоритм (рис. 4), позволяющее на основе результатов обработки информации о структуре ПУС, полученной при АСМ-анализе, осуществить прогнозирование электротехнических свойств ПУС.

Этот алгоритм реализован в виде модуля, входящего в состав программного продукта «Technolog_SVP» применяемого в производственном процессе ОАО «НИИ ЭМП» (г. Пенза).

Методология управления получением СВП с заданными свойствами. Результаты проведенных исследований позволили предположить, что эффективно управлять свойствами ПУС можно изменяя ее морфологический состав. Это позволило предложить обобщенную схему использования методологии управления получением СВП с заданными свойствами, которая представлена на рисунке 4. Ее суть заключается в следующем. По заданным электротехническим параметрам СВП инженер-технолог осуществляет подбор исходных материалов для ПУС (на основе известных методов [8 – 10, 12-14]). Далее следует производство образца ПУС.

Процесс приготовления углеродно-наполненной полимерной композиции осуществляется по следующей схеме.

1. В реакционную камеру микросмесителя, нагретую до 200°C, через загрузочное отверстие при вращающихся с минимальной с скоростью роторах небольшими порциями поступает гранулированный полиэтилен [10].

2. В расплавленную массу полиэтилена вводятся небольшие (0,5-1%) количества специальных веществ-добавок.

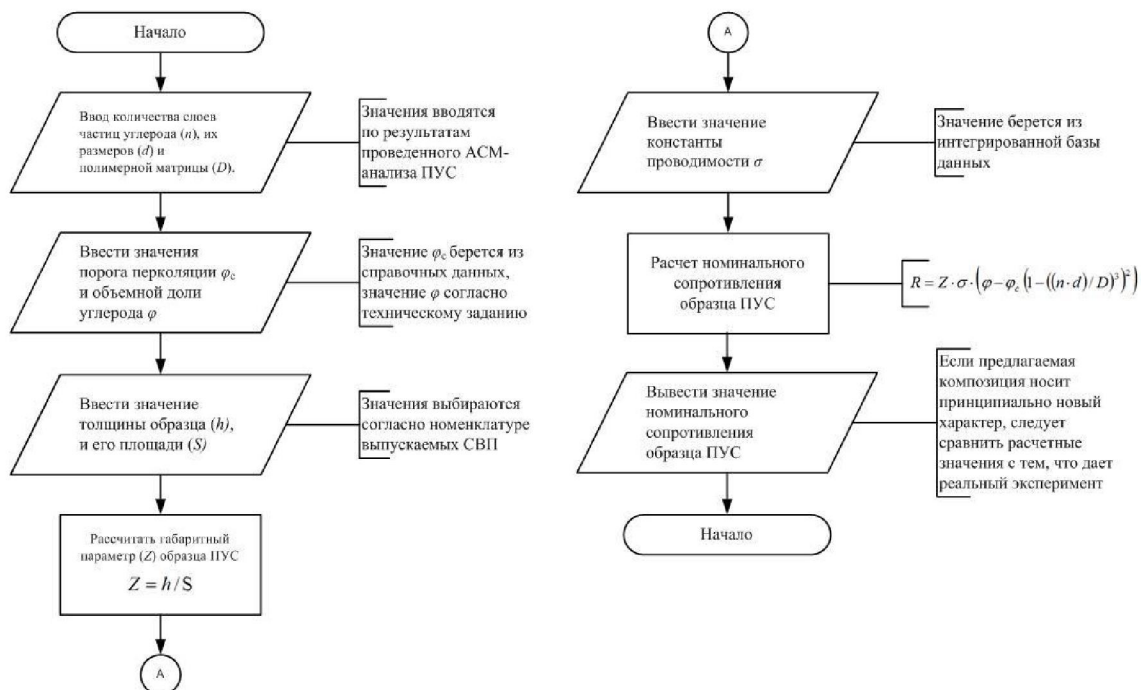


Рис. 4. Алгоритм программного обеспечения прогнозирования номинального сопротивления СВП

Термостабилизирующая добавка (оверокс ФН-41, диафен НН и т.п.) вводится с целью предотвращения деструкции полиэтилена как в процессе приготовления композиции на начальном этапе, так и в процессе эксплуатации самовосстанавливающихся предохранителей.

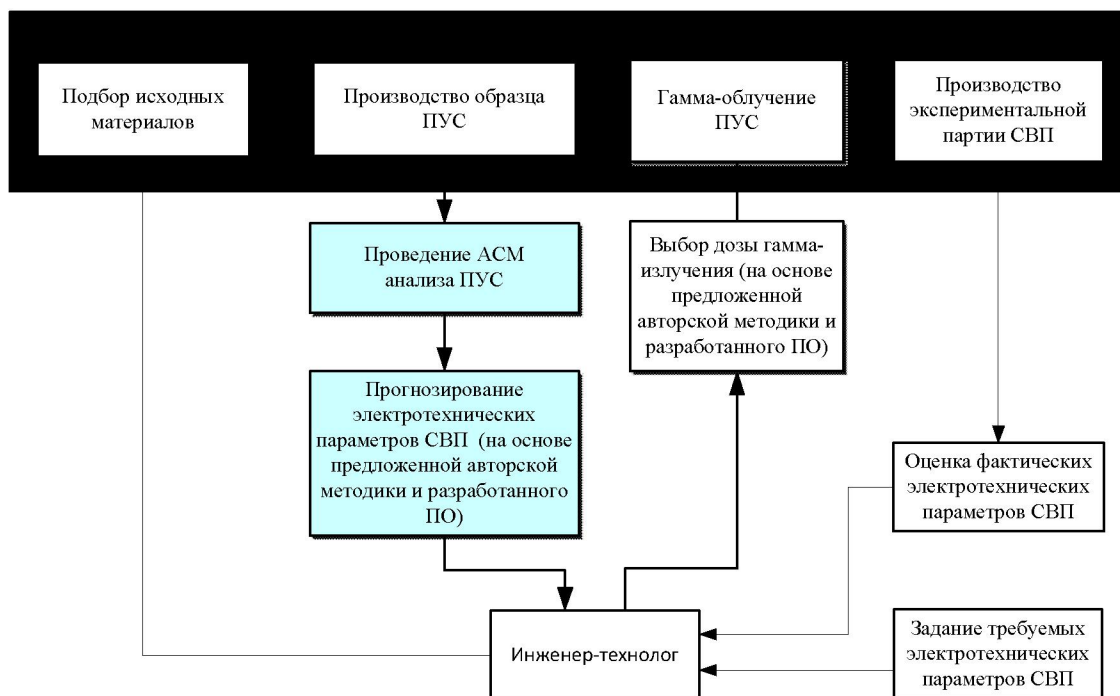


Рис. 4. Методология управления получением СВП с заданными свойствами (заливкой выделены блоки, показывающие место авторского метода прогнозирования номинального сопротивления СВП в общей структуре методологии)

Назначение второй добавки (стеариновой кислоты) состоит в обеспечении лучшего диспергированию частиц углерода и, следовательно, более равномерного распределения наполнителя в полимерной матрице композита.

3. Далее в реакционную камеру смесителя небольшими порциями при постоянном перемешивании добавляется порошкообразный углерод. После полного смачивания наполнителя расплавом скорость вращения роторов смесителя увеличивается до максимальной (~70-75 об/мин) и процесс перемешивания продолжается в течение 5-7 минут при максимальной скорости.

4. Приготовленная масса выгружается из смесительной камеры, охлаждается, измельчается и вновь загружается в разогретую до 200°C камеру смесителя.

Такая многократность перемешивания, охлаждения, измельчения и повторного перемешивания в расплаве способствует формированию структуры композита с более равномерным распределением углеродных частиц в полиэтилене [4]. Полный технологический процесс приготовления композиции состоит из 3-4 таких циклов.

5. Приготовленная композиция затем прессуется в соответствии с разработанным технологическим процессом в пластины-диски толщиной 0,4-0,5мм, диаметром не более 10см в гидравлическом прессе (давление не выше 10 атм.) с обогреваемой пресс-формой.

Приготовленный полимерно-углеродный композит в виде пластин-дисков поступает далее на следующую технологическую операцию по прессованию электродов, которая предполагает припрессовку композита к проводящей фольге.

Традиционно после этого из полученной ПУС изготавливают экспериментальную партию СВП, после оценки электротехнических параметров которой, можно сделать вывод о целесообразности запуска в производство опытной партии.

Для того, чтобы повысить соответствие фактических параметров заданным, целесообразно использовать рассмотренную ранее авторскую методику прогнозирования номинального сопротивления СВП на основе АСМ-анализа морфологии ПУС. Положительный эффект применения методики заключается в том, что при существенном расхождении требуемого результата с прогнозируемым, можно оперативно изменить состав ПУС до начала дорогостоящего этапа производства экспериментальной партии СВП.

Кроме того, в технологический процесс впервые введен этап гамма облучения ПУС. Такое облучение необходимо для того, чтобы повысить величину позисторного эффекта СВП. Выбор интенсивности, дозы и времени облучения проводится на основе авторской методики и соответствующего программного обеспечения [4], внедренного в производственную деятельность ОАО «НИИЭМП» (г. Пенза).

Следует также отметить, что согласно экспериментальным данным полученными в «НИИ Атомных реакторов» (г. Дмитровград) оптимальная доза облучения составляет 5Мрад (рис. 5). Во время проведения эксперимента образцы ПУС были подвергнуты воздействию γ -излучения на время от 25 мин до 150 мин, а поглощенная доза γ -излучения составила от 5 до 25 Мрад, соответственно. После облучения эффект наведенной радиации в образцах отсутствовал.

Последним этапом методологии управления получением СВП с заданными свойствами является производство экспериментальной партии СВП и проведение контроля фактических электротехнических параметров.

Применение методологии прогнозирования выходных параметров СВП позволило получить изделия, обладающие высокими техническими характеристиками (рис. 6).

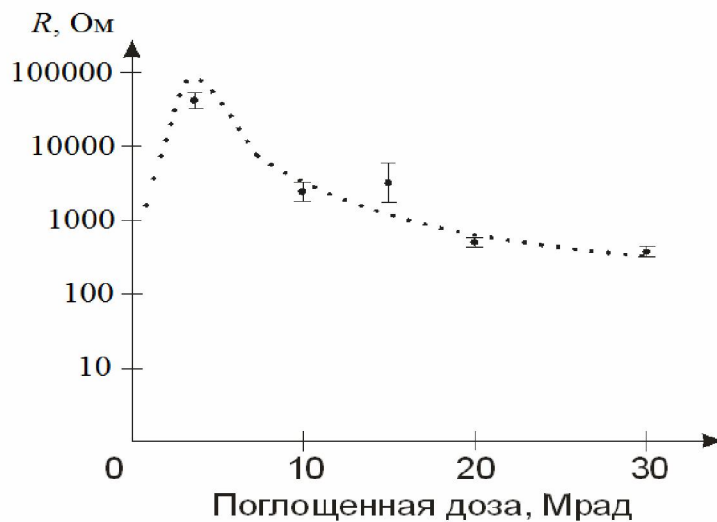


Рис. 5. Зависимость позисторного эффекта от величины поглощенной дозы облучения

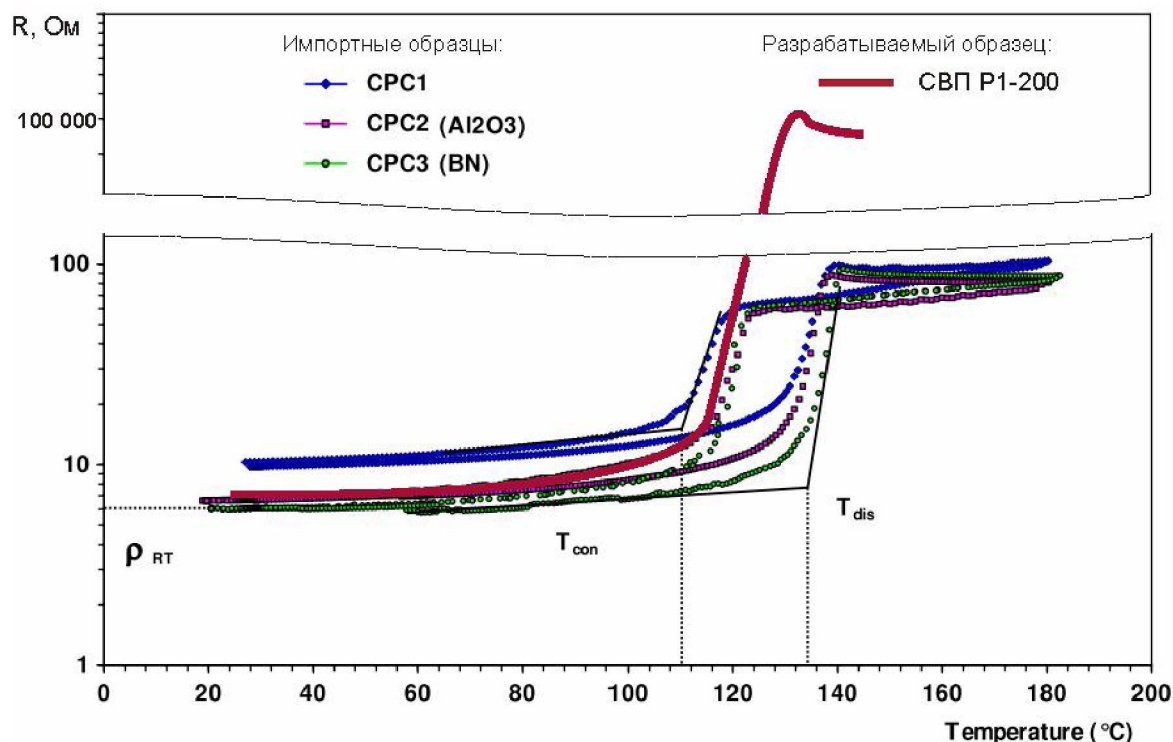


Рис. 6. Сравнение температурных зависимостей сопротивления собственных образцов СВП с образцами импортного производства фирм Bourns и Multifuse

Заключение. Разработанная методика прогнозирования номинального сопротивления СВП, доведенная до алгоритмической и программной реализации, позволяет после обработки информации о структуре ПУС, полученной в результате АСМ-анализа, осуществить эффективное прогнозирование номинального сопротивления для экспериментальной партии изделий.

Обеспечение необходимой повторяемости (воспроизводимости) выходных параметров изделий, а также существенное повышение порога перколяции СВП достигнуто за счет предположенной методологии управления получением СВП с заданными свойствами; дополнительного использования нового метода прогнозирования номинального сопротивления СВП; применения гамма облучения образцов.

Список литературы

1. Арканов А.В. Метод оценки показателей качества испытываемых сложных технических систем с использованием априорной информации / А.В. Арканов, В.И. Лобейко, А.В. Старусев // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии №2-2012-с.39-43
2. Багров Д Атомно-силовая микроскопия полимерных материалов / Багров Д., Яминский И. // Наноиндустрия №5-2008, с. 32-36
3. Брумштейн Ю.М. Анализ и управление энергобезопасностью деятельности медицинских учреждений / Ю.М. Брумштейн, Д.А. Захаров, И.А. Дюдинов // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. 2015. №1
4. Домкин К.И. Разработка самовосстанавливающихся предохранителей для защиты электрических цепей вычислительной техники / Домкин К.И., Недорезов В.Г. // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. 2011. № 2. - С. 90-96.
5. Затылкин А.В. Управление исследованиями моделей радиотехнических устройств на этапе проектирования / А.В. Затылкин, А.Г. Леонов, Н.К. Юрков // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. 2012. № 1. С. 138-142.
6. Каминская Т. П. Атомно-силовая микроскопия для электроники / Т.П.Каминская // Производство электроники №6-2010, с. 37-39.
7. Каминская Т.П. Исследование гранулометрического распределения порошков стекла для толсто пленочной технологии с применением лазерной дифракции на приборе «ANALYSETTE 22» СОМПАСТ / Т.П. Каминская, С.В. Подшибякин, К.И. Домкин // Надежность и качество: тр. Междунар. симп. – 2007. Т. 2. - С. 69-70.
8. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Статистическая физика ч.1 М.: «Наука», 1976. 584 с.
9. Тагер А.А. Физико-химия полимеров. М.: «Химия», 2е изд., 1983. 545 с.
10. Мамунья, Ye.; Boudenne, A.; Lebovka, N.; Ibos, L.; Candau, Y. & Lisunova, M. (2008). Electrical and thermophysical behaviour of PVC-MWCNT nanocomposites. // Compos. Sci. Techn., Vol. 68, pp. 1981–1988, ISSN 0266-3538.
11. Gracheva I. E. AFM techniques for nanostructures materials used in opto-electronic and gas sensors / Irina E. Gracheva, Yulia M. Spivak, Vyacheslav A. Moshnikov // Eurocon-2009. International IEEE Conference, May 18-23, 2009. – Saint-Petersburg, Russia, 2009. – P. 1250-1253.
12. Stauffer D, Aharony A. Introduction to Percolation Theory// London: Taylor and Francis, 1991, 304 p.
13. Ansari, S., Gianelis, E. P. Functionalized Graphene Sheet—Poly(vinylidene fluoride) Conductive Nanocomposites // Journal of Polymer Science: Part B: Polymer Physics. 2009. V. 47. № 9. P. 888-897.
14. Alekseev, A., Syurik, Yu. V. et al. Local organization of graphene network inside graphene/polymer composites// Advanced Functional Materials 2012. V.22. №6, P.1311-1318.

References

1. Arkanov A.V. Metod otsenki pokazateley kachestva ispytyvaemykh slozhnykh tekhnicheskikh sistem s ispol'zovaniem apriornoj informatsii [Method of an assessment of indicators of quality of the tested difficult technical systems with use of aprioristic information] / A.V. Arkanov, V.I. Lobeyko, A.V. Starusev // Prikaspiyskiy zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii [Caspian journal: management and high technologies] №2-2012 – s. 39-43
2. Bagrov D Atomno-silovaya mikroskopiya polimernykh materialov [Atomic force microscopy of polymeric materials] / Bagrov D., Yaminskiy I. // Nanoindustriya [Nanoindustry] №5-2008, s. 32-36.
3. Brumshteyn Yu.M. Analiz i upravlenie energobezopasnost'yu deyatel'nosti meditsinskikh uchrezhdeniy [Analysis and management of energy security activities of medical institutions] / Yu.M. Brum-

shteyn, D.A. Zakharov, I.A. Dyudikov // Prikaspiyskiy zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii [Caspian journal: management and high technologies] №1 2015.

4. Domkin K.I. Razrabotka samovosstanavlivayushchikhsya predokhraniteley dlya zashchity elektricheskikh tsepey vychislitel'noy tekhniki [Development of resettable fuses for protecting electrical circuits for computing machinery] / Domkin K.I., Nedorezov V.G. // Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Upravlenie, vychislitel'naya tekhnika i informatika [Vestnik of Astrakhan state technical University. Series: Management, computer engineering and computer science.] № 2-2011 s. 90-96.

5. Zatylnkin A.V. Upravlenie issledovaniyami modeley radiotekhnicheskikh ustroystv na etape proektirovaniya [Management studies of models of radio devices at the design stage] / A.V. Zatylnkin, A.G. Leonov, N.K. Yurkov // Prikaspiyskiy zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii [Caspian journal: management and high technologies] № 1-2012 - s. 138-142.

6. Kaminskaya T. P. Atomno-silovaya mikroskopiya dlya elektroniki [Atomic force microscopy for electronics] / T.P.Kaminskaya // Proizvodstvo elektroniki [Electronics manufacturing] №6-2010, s. 37-39.

7. Kaminskaya T.P. Issledovanie granulometricheskogo raspredeleniya poroshkov stekla dlya tolstoplenochnoy tekhnologii s primeneniem lazernoy difraktsii na pribore «ANALYSETTE 22» COMPACT [The study of grain-size distribution of glass powders for thick-film technology using laser diffraction on the "ANALYSETTE 22" COMPACT] / T.P. Kaminskaya, S.V. Podshibyakin, K.I. Domkin // Nadezhnost' i kachestvo: tr. Mezhdunar. simp. [Reliability and quality, proc. Intern. Symp] T. 2 - 2007 s. 69-70.

8. Landau L.D., Lifshits E.M. Statisticheskaya fizika ch.I [Statistical physics part I] M.: «Nauka», 1976. 584 s.

9. Tager A.A. Fiziko-khimiya polimerov [Physico-chemistry of polymers] M.: «Khimiya», 2e izd., 1983. 545 s.

10. Mamunya, Ye.; Boudenne, A.; Lebovka, N.; Ibos, L.; Candau, Y. & Lisunova, M. (2008). Electrical and thermophysical behaviour of PVC-MWCNT nanocomposites. Compos. Sci. Techn., Vol. 68, pp. 1981–1988, ISSN 0266-3538.

11. Gracheva I. E. AFM techniques for nanostructures materials used in opto-electronic and gas sensors / Irina E. Gracheva, Yulia M. Spivak, Vyacheslav A. Moshnikov // Eurocon-2009. International IEEE Conference, May 18-23, 2009. – Saint-Petersburg, Russia, 2009. – P. 1250-1253.

12. Stauffer D, Aharony A. Introduction to Percolation Theory// London: Taylor and Francis, 1991, 304 p.

13. Ansari, S., Gianelis, E. P. Functionalized Graphene Sheet—Poly(vinylidene fluoride) Conductive Nanocomposites // Journal of Polymer Science: Part B: Polymer Physics. 2009. V. 47. № 9. P. 888-897.

14. Alekseev, A., Syurik, Yu. V. et al. Local organization of graphene network inside graphene/polymer composites// Advanced Functional Materials 2012. V.22. №6, P.1311-1318.

УДК 621.396

АЛГОРИТМ ГЕНЕРАЦИИ ЭФФЕКТИВНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА СХЕМУ ДЛЯ ТЕСТИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОННОГО СРЕДСТВА¹

Абрамешин Андрей Евгеньевич, кандидат социологических наук, профессор, Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», 101000, Российская Федерация, г. Москва, ул. Мясницкая, д. 20, e-mail: aabrameshin@hse.ru

Иванов Илья Александрович, кандидат технических наук, Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», 101000, Российская Федерация, г. Москва, ул. Мясницкая, д. 20, e-mail: ivanov_i_a@mail.ru

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 14-07-00414 «Информационная система диагностического моделирования физических процессов в электронных схемах»).