

УДК 691.175.614.841

МОДЕЛЬ ИСПЫТАНИЯ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ, ЭКСПЛУАТИРУЮЩИХСЯ В ЯДЕРНЫХ УСТАНОВКАХ

Н.И. Базалеев, В.Ф. Клепиков, В.В. Литвиненко, Н.Ф. Северин

г. Харьков, НТЦ Электрофизической обработки НАН Украины

С.Е. Селиванов

г. Харьков, Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет,

Одним из условий надежной эксплуатации ядерных установок является обеспечение пожарной безопасности полимерных электроизоляционных материалов [1]. Особенностью испытания устойчивости материалов к воспламенению в условиях воздействия ионизирующего излучения является разнообразие процессов, протекающих в полимере. Данные процессы обусловлены рядом факторов. Стандартные методики определения пожарной безопасности материалов предполагают их тестирование в условиях радиационного воздействия, термического старения, повышенного давления и пр. Вместе с тем, следует отметить, что в реальных условиях эксплуатации характеристики полимеров отличаются от полученных в лабораторных условиях [2]. В этой связи возникает задача построения модели многофакторного эксперимента, позволяющего учитывать совокупность факторов, ответственных за изменение показателей горючести материала. Для этого необходимо выделить группы факторов, способных влиять на физико-химические превращения в полимерах, вызывающих изменения их стойкости к возгоранию. Среди наиболее существенных факторов f следует отметить следующее:

- мощность поглощенной дозы;
- интегральная доза облучения полимера на момент времени t ;
- температура; данный фактор определяет не только пороговый показатель воспламеняемости материала в нормальных условиях, но и существенно влияет на ско-

рость протекания многих радиационно-стимулированных процессов в полимерах во время их эксплуатации.

- газовая среда; состав газовой среды, в которой находится полимер, важно учитывать в связи с тем, что находящиеся в окружающей среде вещества вступают в реакцию с реакционно-способными продуктами, образующимися под действием малых доз излучения. Наиболее характерным примером является радиационно-окислительная деструкция;

- электромагнитные поля, присутствие внешних электромагнитных полей может привести к изменению потоков электронного излучения, попадающего на объект. Под воздействием излучения многие диэлектрики, в том числе полимеры, изменяют свои электрофизические (проводимость, диэлектрическая проницаемость) и, как следствие, теплофизические свойства. Под воздействием поля может также произойти перераспределение образовавшихся свободных носителей заряда, таким образом, изменится поле внутри объекта, что приведет к созданию различных условий выхода комптоновских электронов в разных областях, то есть к пространственной неоднородности зоны радиационного воздействия;

- механические воздействия (растяжение, изгиб, удар, вибрация и др.). Известно, что под действием излучения в полимерах происходят одновременно процессы деструкции и сшивания. Однако, по данным работы [3], предварительное механическое растяжение полиэтиленовых во

- локон приводит к преобладанию процессов сшивания над процессами деструкции. Это объясняется тем, что вторичные акты радиационных превращений в органических соединениях зависят от степени кристалличности или упорядоченности макромолекул. Передача энергии или заряда по полимерной матрице легче идет в полимерах с кристаллически упорядоченным состоянием молекул, что может быть достигнуто путем механического растяжения [4].

Другим примером важности контроля механических воздействий является возможность инициирования электрического пробоя в радиационно заряженном объекте вследствие повреждения поверхности [5], что приводит к необратимому изменению его свойств.

Помимо факторов излучения и окружающей среды может возникать фактор, являющийся результатом взаимодействия излучения с веществом окружающей среды. Такого рода факторы будем называть факторами совокупного воздействия. В качестве наиболее типичного случая можно привести пример образования озона в результате взаимодействия электронного пучка с кислородом, находящимся в воздухе. В процессе облучения происходит ионизация вещества, находящегося в окружающем пространстве, то есть изменяются его электрофизические характеристики, что в свою очередь влияет на процесс нейтрализации объемного электрического заряда, наводимого в облучаемом объекте.

Теперь рассмотрим факторы, формирующиеся непосредственно в самом объекте, назовем их внутренними.

Помимо того, что температура объекта задается внешними условиями, значительная часть энергии излучения при проникновении в объект преобразуется в тепловую энергию. Кроме радиационного нагрева, следует принимать во внимание то, что многие радиационно-стимулированные процессы являются экзотермическими (что также является дополнительным источником тепла в облучаемом объекте) и способны влиять на протекание процессов деструкции [6].

При облучении органических веществ пучками электронов инициируются процессы, сопровождающиеся активным газовыделением. Таким образом, в результате взаимодействия излучения с облучаемым объектом претерпевают изменения совокупные факторы воздействия [7].

Одним из наиболее значимых внутренних факторов, безусловно, является наведенный электрический заряд, так как он изменяет не только собственные электрофизические характеристики облучаемого объекта, но и оказывает воздействие собственным электрическим полем на внешний фактор – электронное излучение и, следовательно, изменяет величину поглощенной дозы и ее распределение по объему полимера.

Наиболее опасным последствием облучения кабельных электросетей и магистралей является их возгорание. Горение вещества и материалов изоляции можно рассматривать как явления, состоящие из ряда последовательно переходящих один в другой процессов, каждый из которых к тому же взаимосвязан с другими и является многостадийным.

Основными процессами и стадиями, протекающими при горении веществ и материалов являются прогрев (неупорядоченный режим, регулярный режим нагревания); деструкция (потеря массы, концентрация летучих компонент); химические реакции; изменение энергии активации. На все эти процессы непосредственное влияние оказывают состав окружающей атмосферы, электрические поля, энергетические показатели источника ионизирующего излучения и др. Комплекс радиационно-стимулированных превращений в полимере влечет изменение его показателей горючести P .

Так как горение полимерных материалов рассматривается как процесс, имеющий тепловую природу (в основном тепловыделение), то при исследовании горения полимерных материалов в условиях радиационного воздействия необходимо рассматривать и физику, и химию горения. Физика горения сводится к рассмотрению процесса тепло- и массообмена в реагирующей системе с учетом ионизации материала, действия электромагнитных полей, выделения джоулевого тепла за счет протекания электрического то-

ка по жилам кабелей и токов утечки изоляционных материалов.

Химия горения заключается в протекании окислительно-восстановительных реакций, состоящих из целого ряда элементарных актов.

На практике возможны самые разнообразные условия разрушения полимерных изоляционных материалов, в которых реализуются самоускоряющиеся химические реакции, протекающие во всем объеме материала или на отдельном участке локального облучения, подвода тепла, действия механической нагрузки, электрического пробоя, что может приводить к воспламенению этой части, после чего остальной материал воспламеняется без внешнего воздействия.

Горение материалов возможно в результате экзотермической самоускоряющейся реакции окисления, которая протекает на поверхности раздела между твердым материалом и газообразным окислителем (гетерогенная реакция на поверхности) при экзотермической реакции газообразных продуктов разложения полимеров с газообразным окислителем (т.е. в газовой фазе). Образующиеся в процессе термического, радиационного и термоокислительного разложения полимерного материала газообразные продукты диффундируют в газовую фазу, где смешиваются с газообразным окислителем окружающей среды и реагируют с ним. Таким образом, в атмосфере окружающей среды в зоне расположения кабельных линий появляются газообразные соединения, свидетельствующие о процессе разложения (горения) полимерного материала. Из этих газообразных продуктов можно выбрать репрезентативные газы-индикаторы, на основе контроля концентрации которых можно судить о состоянии полимерных материалов, в частности, изоляции кабельных линий, и прогнозировать аварийные ситуации. Однако наиболее полная картина истинного состояния кабельных линий может быть получена при комплексном учете всех факторов, оказывающих влияние на физические и химические характеристики кабельных сетей.

Производственная среда, в которой эксплуатируются кабельные линии и полимерные строительные материалы, является, с одной стороны, источником разрушающих

воздействий, с другой стороны – носителем информации о целостности или неисправности кабельных сетей, что может быть использовано при построении систем контроля, диагностики и прогнозирования аварийного выхода из строя электрооборудования.

Решение последней задачи связано с определением (контролем) в различных точках пространства места расположения кабельных сетей некоторой совокупности факторов воздействия с целью принятия своевременных мер к недопущению аварийных ситуаций. Зависимость возникновения аварийных ситуаций от многих технических факторов, в том числе не поддающихся учету, затрудняет прогнозирование развития аварий (разрушение изоляции кабельных сетей, воспламенение полимеров) в пространстве и во времени, принятие эффективных мер по недопущению аварий.

Возрастающие потоки информации, поступающей к оператору в процессе контроля, необходимость ее анализа утомляют оператора, являются причиной неправильной субъективной оценки ситуаций, что служит причиной выдачи ошибочных команд и управляющих воздействий. Поэтому автоматизация функций контроля, формализация в оценке ситуаций и принятии решений на основе математических методов обработки и моделирования процессов – наиболее действенный путь, позволяющий исключить влияние ошибок оператора, повысить безопасность эксплуатации электрооборудования, находящегося в условиях радиационного облучения. В этой связи ставится задача определения интервалов значений совокупности наиболее весомых факторов опасности, регистрация которых позволит контролировать возникновение пожароопасных ситуаций, прогнозировать их развитие, выдавать соответствующие команды-предупреждения, управляющие воздействием.

Целью построения модели испытания пожарной опасности полимеров является установление влияния внешних факторов [8], интервалов их значений и весовых коэффициентов (коэффициентов чувствительности) на показатели горючести P .

Пусть нормальный режим эксплуатации, при котором обеспечивается стабиль-

ный режим показателей горючести, описывается системой уравнений [9, 10]

$$F(p'_j, p_j, f_i, t) = 0, \quad (1)$$

где $i = 1, \dots, n$; $j = 1, \dots, k$; а f_i – постоянные численные значения, характеризующие воздействующие факторы (мощность дозы, температура, содержание газовой среды, и др.), решением которых является набор функций $p_j = p_j(f_i, t)$. При варьировании значений l -того фактора $l \in 1, \dots, n$ на величину Δf_l система уравнений (1) приобретает вид

$$F(p'_j, p_j, f_{i-1}, f_l + \Delta f_l, t) = 0, \quad \text{вил}$$

решением которой будет система функций

$$p_j = p_j(f_{i-1}, f_l + \Delta f_l, t).$$

Коэффициентом чувствительности параметров горючести будем называть величину

$$\lim_{\Delta f_l \rightarrow 0} \frac{p_j(f_{i-1}, f_l + \Delta f_l, t) - p_j(f_{i-1}, f_l, t)}{\Delta f_l} = \lambda_j(f_l, t).$$

Данный коэффициент определен для фактора f_l . Аналогично определяются коэффициенты для других факторов. Решение о повышенной вероятности воспламенения материала принимается на основании значений коэффициента λ_j .

Поскольку речь идет об описании достаточно сложной системы, в которой происходят разнообразные процессы физической и химической природы, их аналитическое описание не представляется возможным. Следовательно, определение вышеуказанных весовых коэффициентов возможно на основании получения экспериментальных данных с использованием средств изучения механизмов воспламеняемости различных материалов [11].

Для анализа экспериментальных данных, не имеющих аналитической связи и функциональной формы, целесообразно использовать методы распознавания образов.

К преимуществу данных методов относится возможность работы с многомерными данными. При различных внешних условиях эксплуатации материал способен изменять показатели горючести. Методы, которыми измеряются параметры горючести, описаны в работах [12,13]. В результате измерения исследуемому полимеру сопоставляется вектор

$$P = \begin{bmatrix} P_1 \\ P_2 \\ P_3 \\ \vdots \\ P_k \end{bmatrix}$$

Для случая, когда рассматривается группа из m - материалов, каждый из которых характеризуется k -показателями горючести, получается следующая матрица

$$\begin{bmatrix} P_{11} & P_{21} & P_{31} & \dots & P_{m1} \\ P_{12} & P_{22} & P_{32} & \dots & P_{m2} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ P_{1k} & P_{2k} & P_{3k} & \dots & P_{mk} \end{bmatrix}$$

Для последующей обработки показателей датчиков полученные величины необходимо представить в виде, удобном для обработки, что решается путем автоматического выбора масштаба. Этот подход позволяет преобразовать данные таким образом, что среднее значение каждого показателя зануляется, а анализу подлежит его отклонение S от средней величины

$$p'_{jm} = \frac{S(p_{jm} - \bar{p}_j)}{\sigma_j}$$

$$\bar{p}_m = \frac{1}{N} \sum_{m=1}^N p_{jm}$$

$$\sigma_j^2 = \frac{1}{N} \sum_{m=1}^N (p_{jm} - \bar{p}_m)^2.$$

Результатом преобразования данного типа является то, что наибольшие весовые коэффициенты присваиваются факторам и их сочетаниям, вызывающим изменение характеристик материалов, ответственных за повышение показателей горючести. Ис-

пользование данной модели применимо для обработки результатов, получаемых на установках комплексной оценки пожароопасности веществ и материалов, работающих в условиях воздействия ионизирующего излучения.

Библиографический список

1. Микеев А.К. Противопожарная защита АЭС. - М.: Энерго-атомиздат, 1990. - 438 с.
2. Финкель Э.Э., Дикерман Д.Н. Кабели и провода для ядерных энергетических установок. - М.: Энергоатомиздат. - 1983. - 136 с.
3. Финкель Э.Э., Брагинский Р.П. Радиационно-химические превращения полиолефинов // Радиационная химия полимеров. - М.: Наука. - 1973. - 455 с.
4. Willard J.E. Organic compounds in the solid state. - In: Fundamental processes in radiation chemistry. Ed. Ausloos. Interscience Publishers. - 1968. - p.599-549.
5. Громов В.В. Электрический заряд в облученных материалах. - М.: Энергоиздат. - 1982. - 112 с.
6. Селиванов С.Е., Дорожко А.М., Шиян А.А. Влияние флуктуаций термодинамических величин на кинетику сшивки молекул полимерного материала: Материалы. первого Межгосударств. семинара "Проблемы огнезащиты материалов и конструкций" - Львов. - 1994. - с.164
7. Базалеев Н.И., Клепиков В.Ф., Литвиненко В.В. Моделирование и прогнозирование изменений физико-химических свойств материалов под воздействием излучений // Доповіді НАН України. - 1997. - №4. - с.82-86
8. Базалеев Н.И., Клепиков В.Ф., Литвиненко В.В. Электрофизические радиационные технологии. - Харьков: Акта, 1998. - 206 с.
9. Быховский Л.М. Динамическая точность электрических и механических цепей. - М.: Изд-во АН СССР, 1958.
10. Кухтенко А.И., Шевелев А.Г. Об одном классе инвариантных относительно изменений параметров систем автоматического управления. // Сложные системы управления. - Киев: Наукова думка, 1965. - С.98-113
11. О приближенной оценке температуры воспламенения твердых горючих веществ // Материалы. I Межгос. семинар "Проблемы огнезащиты материалов и конструкций" - Львов. - 1994. - С.142
12. Клепиков В.Ф., Селиванов С.Е. О приближенной оценке периода индукции воспламенения полимерных материалов: Материалы научно-практ. конф. Пожарная безопасность. - Киев, 1997.
13. Селиванов С.Е., Альбоций В.М. Влияние лучистой энергии на пожароопасность полимерных строительных материалов: Тез. докл. 48 научн.-техн. конф. "Повышение эффективности строительства". - Харьков: Изд-во ХИСИ, 1993.

УДК 621.396.96:629

ОПТИМАЛЬНАЯ ОБРАБОТКА СИГНАЛОВ ИСТОЧНИКОВ РАДИОИЗЛУЧЕНИЯ В УСЛОВИЯХ АПРИОРНОЙ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ

И. В. Перетягин

г. Белгород, ЗАО «НПП «СПЕЦ-РАДИО»

Целью обработки радио- и радиотехнических сигналов является определение параметров и законов модуляции этих сигналов, а также измерение угловых координат источников их излучения. На практике решение указанных задач затрудняется из-за большой априорной неопределенности частотно-временной структуры принимаемых сигналов. К числу основных неизвестных параметров сигналов можно отнести: форму и длительность τ_0 , время их прихода, несущую частоту f_0 , ширину спектра Π_0 , а также закон частотной или фазовой модуляции (манипуляции). Из-за наличия большого количества перечисленных выше неизвестных параметров радио- и радиотехнических сиг-

налов вопросы их надежной обработки до сих пор разработаны явно недостаточно. В наиболее обобщенном виде указанные вопросы были рассмотрены в работах [1, 2]. Однако в указанных работах рассмотрены лишь частные вопросы обработки радио- и радиотехнических сигналов. При этом структура сигналов в основном полагалась простой, время измерения их параметров достаточно большим, плотность потока сигналов достаточно малой, а методы их обработки полагались в основном эвристическими.

Действительно, часть из указанных параметров можно оценить, используя для этого неоптимальные методы обработки