

ФУНКЦИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОЧНОСТИ ПОЛИМЕРНЫХ ДИЭЛЕКТРИКОВ

Киселевич В.В.

Гомельский государственный технический университет им. П.О. Сухого, г. Гомель, Белоруссия,
246746, пр-т Октября, 48
E-mail: valentinkis@list.ru

Ключевые слова: электрический пробой, полимерные диэлектрики, теория катастроф.

Резкое падение электрической прочности полимеров при плавном изменении температуры и/или напряжения означает принципиальную возможность применения теории катастроф для описания пробойных явлений в данных материалах. В основу анализа положим известное выражение для функции Φ катастрофы с одним параметром состояния x :

$$\Phi(x; u_i) = x^{k+2} / (k+2) + \sum_{i=1}^k u_i x^i / i. \quad (1)$$

Здесь u_i – управляющие параметры, плавное регулирование которых приводит к непрерывному либо скачкообразному изменению x ; i – номер параметра, $i \in [1, k]$; k – число управляющих параметров; $k = 1, 2$ и 3 для катастроф типа складки, сборки и ласточкина хвоста соответственно.

В качестве параметра x , характеризующего состояние полимерного диэлектрика, для электрохимической формы пробоя примем время t_E ожидания пробоя при заданной напряжённости поля E_t , а для электрической и тепловой форм – кратковременную электрическую прочность E_{st} . При электрическом пробое разрушение диэлектрика наступает по достижении предельной напряжённости, зависящей от одного управляющего параметра – коэффициента однородности прикладываемого поля $\xi = \bar{E}/E_{\max}$, \bar{E} и E_{\max} – средняя и максимальная напряжённости поля в изоляционном промежутке. При тепловом пробое, сопровождаемом необратимым нарушением тепловой устойчивости диэлектрика, прочность, как правило, определяется двумя факторами – температурой T и длительностью τ воздействия напряжения. Для электрохимической формы, характеризующейся постепенным накоплением повреждений, время ожидания пробоя t_E зависит от трёх параметров – E_t , T и ξ .

Руководствуясь гипотезой аналогии процессов электрического, теплового и электрохимического пробоя диэлектрика и математических катастроф типа складки, сборки и ласточкина хвоста, из формулы (1) можно получить выражения для функций катастроф, моделирующих процессы потери электрической прочности полимерных диэлектриков (см. таблицу). Задействованные в уравнениях безразмерные прочность E и время t определяются из выражений: $E = E_{st}/E_c - 1$; $t = t_E/t_c - 1$; E_c и t_c – значения прочности и времени до пробоя в характеристической точке катастрофы. Для электрического пробоя E_c отвечает условию $\xi \rightarrow 0$; в области теплового пробоя характеристическую точку в зависимости от строения и термической стойкости полимера целесообразно отождествлять с температурой стеклования, плавления либо термодеструкции. Время t_c соответствует пороговой напряжённости поля, выше которой активируются необратимые процессы электрохимического пробоя.

Таблица – Функции катастроф для основных форм пробоя полимерных диэлектриков

Форма пробоя	Физические параметры	Тип и функция катастрофы	Математические управляющие параметры
Электрическая	E_{st}, ξ	Складка: $\Phi(E; u_i) = E^3/3 + u_1 E$	$u_1 = f(\xi)$
Тепловая	E_{st}, T, τ	Сборка: $\Phi(E; u_i) = E^4/4 + u_2 E^2/2 + u_1 E$	$u_1 = f(T, \tau), u_2 = f(T, \tau)$
Электрохимическая	t_E, E_t, T, ξ	Ласточкин хвост: $\Phi(t, u_i) = t^5/5 + u_3 t^3/3 + u_2 t^2/2 + u_1 t$	$u_1 = f(E_t, T, \xi), u_2 = f(E_t, T, \xi),$ $u_3 = f(E_t, T, \xi)$

Функции $\Phi(E; u_i)$ и $\Phi(t; u_i)$ представляют один из возможных вариантов аналитического отражения взаимосвязи между формами пробоя и элементарными катастрофами, вытекающий из анализа влияния управляющих параметров на электрическую прочность и время ожидания пробоя. Преимущество рассмотренного подхода заключается в возможности модификации общих функций $\Phi(x; u_i)$ при необходимости замены либо уменьшения числа управляющих параметров. Учёт дополнительных воздействующих факторов (частоты и полярности напряжения, давления, степени ориентационной вытяжки и др.) возможен при рассмотрении катастроф более высокого порядка.