

ТЕМПЕРАТУРНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ПРОБИВНОЙ НАПРЯЖЁННОСТИ ПОЛИМЕРНЫХ ДИЭЛЕКТРИКОВ

В.В. Киселевич

Гомельский государственный технический университет имени П.О. Сухого, Гомель, Беларусь;
valentinkis@list.ru

Цель работы: вывод уравнения температурной зависимости пробивной напряжённости полимерных диэлектриков.

Теоретическая часть

Экспериментальные температурные зависимости пробивной напряжённости E_{br} многих полимеров характеризуются наличием аномальной области, в окрестности которой плавное изменение температуры T приводит к резкому падению E_{br} . Эта особенность позволяет использовать теорию катастроф при установлении взаимосвязи $E_{br} = f(T)$ для полимерных диэлектриков.

Действуя согласно принятому в данной теории алгоритму, запишем уравнение функции Φ катастрофы сборки, отражающее закономерности температурного поведения напряжённости в момент пробы полимерного диэлектрика:

$$\Phi(F_{br}; A_E, \Theta) = F_{br}^4/4 + A_E F_{br}^2/2 + a_T F_{br} \Theta, \quad (1)$$

где F_{br} – безразмерная напряжённость поля при пробое; A_E – величина, пропорциональная скорости подъёма напряжения; Θ – безразмерная температура; a_T – коэффициент изменения масштаба по шкале температур.

Приравнявая к нулю производную $\partial\Phi/\partial F_{br}$ функции катастрофы сборки и затем выражая безразмерные параметры F_{br} и Θ через размерные величины E_{br} и T посредством соотношений

$$F_{br} = E_{br}/E_D - 1; \quad \Theta = T/T_D - 1, \quad (2)$$

получим искомое уравнение температурной зависимости пробивной напряжённости полимерного диэлектрика:

$$E_{br} = E_D [1 - (a_T(T/T_D - 1) + A_E(E_{br}/E_D - 1))^{1/3}]. \quad (3)$$

Здесь E_D и T_D – значения напряжённости и температуры в характеристической точке электрического пробоя, отождествляемой с точкой перегиба на экспериментальной кривой $E_{br} = f(T)$.

Обсуждение результатов

Проверка применимости формулы (3) была выполнена на примере полиэтилена низкой плотности (ПЭНП). В результате анализа опытной зависимости $E_{br} = f(T)$ ПЭНП [1] нами определены следующие параметры: $a_T = 0,879$; $A_E = 0,032$; $T_D = 320$ К; $E_D = 397$ МВ/м. График $E_{br} = f(T)$ для ПЭНП приведён на рис. 1, из которого видна высокая корреляция теоретической кривой и экспериментальных точек.

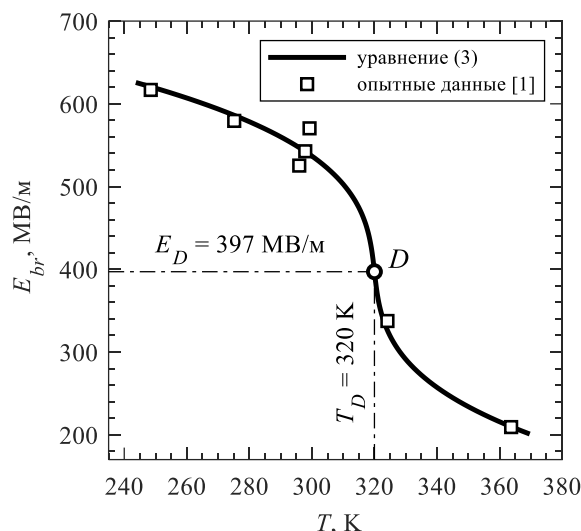


Рис. 1. Температурная зависимость пробивной напряжённости полиэтилена низкой плотности

Максимальная скорость снижения пробивной напряжённости ПЭНП при плавном повышении T имеет место в характеристической точке D электрического пробоя (см. рис. 1), которой соответствует температура $T_D = 320$ К. Наряду с этим известно [2], что при $T_\lambda \approx 317$ К в ПЭНП наблюдается релаксационный λ -переход, ответственный за размораживание подвижности надмолекулярных структур в аморфной фазе полимера. Усиление молекулярной подвижности способствует значительному росту тока в предпробивном состоянии полимера. И поскольку температуры T_λ и T_D довольно близки, естественно предположить, что резкое падение пробивной напряжённости ПЭНП в окрестности T_D обусловлено активацией кинетического процесса λ -релаксации.

Заключение

В рамках теории катастроф получено выражение (3) для описания температурного поведения пробивной напряжённости полимерных диэлектриков. Установлено хорошее согласие между опытной и теоретической зависимостями $E_{br} = f(T)$ ПЭНП. Сделано предположение о наличии взаимосвязи между кинетическими процессами λ -релаксации и электрического разрушения этого полимера.

1. Artbauer J. and Griač J. The intrinsic electric strength of polymers and its relation to the structure. Part I: Experimental // Acta Technica ČSAV. — 1966 (11), no. 3, 416—428
2. Бартев Г.М., Бартев А.Г. Релаксационные свойства полимеров. — М.: Химия. — 1992