

Хейрабади Газала
Сабир кызы

ВЛИЯНИЕ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ НА ПРОВОДИМОСТЬ ИЗОЛЯТОРОВ

В статье изучено влияние напряженного состояния на электрическое сопротивление полимерных материалов. Получено аналитическое выражение для сопротивления в зависимости от механических и реологических свойств полимеры, от напряженного состояния и времени.

Ключевые слова: электропроводные полимеры, напряженное состояние, пористое тело, ядро ползучести, релаксация

Постановка вопроса

Известно, что большинство изоляционных материалов являются полимерными материалами. Но, полимерные материалы пористые и эти поры заполняются жидкостью при контакте ими. Предположим, что полимерный материал имеет контакты с жидкостью, которая является проводником. Из физики известно, что электрическое сопротивление материала вычисляется формулой [1]

$$R = \rho \frac{l}{S}, \quad (1)$$

где R — сопротивление, ρ — удельное сопротивление, l — длина, S — площадь поперечного сечения проводника. Когда материал является полимером, поры которого наполнены жидкостью, на материал можно рассматривать как двух фазных материал: скелет и жидкость в порах. Будем считать, что скелет является диэлектриком т. е. $\rho_2 = \infty$, а жидкость является проводником, удельное сопротивление которого обозначим через. Будем считать, что поры соединены между собой капиллярными трубками, т. е. материал состоит из отдельных параллельных волокон диэлектрика и жидкого проводника. Из физики известно, что при параллельном соединении [1]

$$R = \frac{R_d \cdot R_j}{R_d + R_j}, \quad (2)$$

R_d и R_j — соответственно сопротивления диэлектрика и жидкости. Площади поперечных сечений обозначим соответственно через S_d и S_j . Длина обеих волокон одинаковые и равные l . Тогда

$$R_d = \rho_d \frac{l}{S_d}; R_j = \rho_j \frac{l}{S_j}. \quad (3)$$

Подставляя (3) в (2), имеем

$$R = \frac{\rho_d \frac{l}{S_d} \cdot \rho_j \frac{l}{S_j}}{l \left(\frac{\rho_d}{S_d} + \frac{\rho_j}{S_j} \right)} = \frac{\rho_d \cdot \rho_j \cdot l}{\rho_d \cdot S_j + \rho_j \cdot S_d} = \frac{\rho_j \cdot l}{S_j + \frac{\rho_j}{\rho_d} S_d}. \quad (4)$$

Если учесть, что когда $\rho_2 \rightarrow \infty$, $\rho_j/\rho_d \rightarrow 0$, из (4) получаем

$$R = \frac{\rho_j}{S_j} \cdot l. \quad (5)$$

Равенство (5) запишем в следующем виде:

$$R = \frac{\rho_j/S}{S_j/S} \cdot l = \frac{\rho_j}{S \cdot K} \cdot l, \quad (5)$$

где $S = S_j + S_d$ — общая площадь поперечного сечения изолятора.

$$K = \frac{V_j}{V} = \frac{S_j \cdot l}{S \cdot l} = \frac{S_j}{S}. \quad (6)$$

Коэффициент пористости, $V = V_j + V_d$ — общий объем, V_j и V_d — соответственно объемы пор и диэлектрика.

Теперь предположим, что изолятор находится под действием напряженного состояния σ_{ij} . Тогда с течением времени внутреннее давление передается из одной поры в другую. В результате изолятор деформируется и изменяет свой объем. Причем изменение объема происходит в основном не за счет скелета, а за счет изменения объема пор, т. е. жидкости. Когда изменяются формы и размеры скелета и пор, изменяются и приведенные механические характеристики материала изолятора с течением времени. Поэтому в таких материалах связи между напряжениями и деформациями не подчиняются закону Гука, а определяются следующими равенствами [2, 3]

$$e_{ij} = \frac{1+\nu}{E} \sigma_{ij} - \frac{3\nu}{E} \sigma g_{ij} + \frac{1}{E} \int K(t, \tau) [(1+\nu)\sigma_{ij} - 3\nu\tau\sigma g_{ij}] d\tau, \quad (7)$$

где σ_{ij} и e_{ij} — соответственно компоненты тензора напряжений и деформаций, E , ν — приведенный модуль Юнга и коэффициент Пуассона, σ — гидростатическое давление, причем

$$\sigma = \frac{1}{3} \sigma_{ij} g_{ij}, \quad (8)$$

g_{ij} — компоненты метрического тензора, $K(t, \tau)$ — ядро ползучести, t — время $0 < \tau < t$ — параметр интегрирования.

Если обозначить относительно объемное изменение через θ , то с учетом (7) для θ имеем

$$\theta = e_{ij} g_{ij} = \frac{3(1-2\nu)}{E} \left[\sigma + \int_0^t K(t, \tau) \sigma d\tau \right]. \quad (9)$$

Коэффициент пористости K в этом случае – функция времени, и будет определяться по формуле

$$K = \frac{V_{ж}}{V} - \theta = \frac{S_{ж}}{S} - \theta. \quad (10)$$

Подставляя (10) в (9), имеем:

$$K = \frac{S_{ж}}{S} - \frac{3(1-2\nu)}{E} \left[\sigma + \int_0^t K(t, \tau) \sigma dt \right]. \quad (11)$$

Таким образом, когда известно гидростатическое давление, механические и реологические свойства материала изолятора, по формуле (11) можно определить коэффициент пористости как функцию времени. Подставляя (11) в (5), находится сопротивление материала изолятора как функция времени.

Как видно из (11), для несжимаемого материала, когда $\nu = 0,5$, коэффициент пористости не зависит от времени.

В частном виде, когда напряженное состояние не зависит от времени (11), получает вид:

$$K = \frac{S_{ж}}{S} - \frac{3(1-2\nu)\sigma}{E} \cdot h_1(t), \quad (12)$$

где

$$h_1(t) = 1 + \int_0^t K(t, \tau) d\tau. \quad (13)$$

Для некоторых полимеров ядро ползучести имеет вид [2]

$$K(t, \tau) = \frac{\delta}{(t - \tau)^\alpha}, \quad (14)$$

где α и δ – постоянные определяемые из опыта. Подставляя (14) в (13) для $h_1(t)$, получаем

$$h_1(t) = \frac{\delta}{1 - \alpha} t^{1-\alpha}. \quad (15)$$

Если ввести обозначение $\beta = 1 - \alpha$, из (15) имеем

$$h_1(t) = \frac{\delta}{\beta} t^\beta. \quad (16)$$

Подставляя (16) в (12), для K получаем:

$$K = \frac{S_{ж}}{S} - \frac{3(1-2\nu)}{E} \cdot \frac{\delta}{\beta} \sigma t^\beta. \quad (17)$$

Вычислим изменение коэффициента пористости через каждый 5 лет.

Для следующих значений параметров

$$\beta = 0,25, \delta = 0,04 (с)^{-\beta}; \frac{\sigma}{E} = 10^{-3}; \nu = 0,3$$

и построим график зависимости от t .

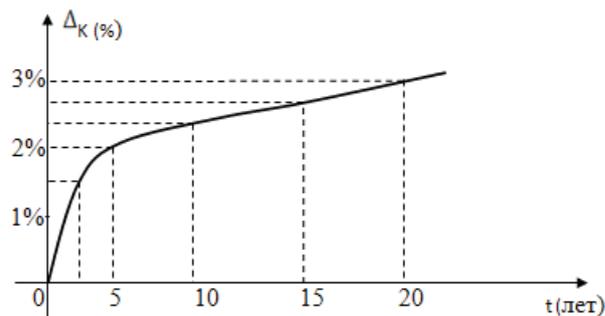


Рис. 1

Выводы

Как видно из рис. 1, изменение коэффициента пористости происходит в основном за первый год, в дальнейшем изменение стабилизируется.

Из формулы (5) видно, что влияние напряженного состояния на электрическое сопротивление зависит от начального значения коэффициента пористости материала.

В частности, если начальная пористость в процентах ближе к трем процентам, при расширении сопротивление материала может уменьшаться в два раза, а при сжатии проводник может стать диэлектриком.

Литература

1. Бушманов Б. Н. Физика твердого тела [Текст] / Б. Н. Бушманов, Ю. А. Хромов. – М.: Высшая школа. – 1971. – 224 с.
2. Уорд И. Механические свойства твердых полимеров [Текст] / И. Уорд. – М.: Химия. – 1975. – 357 с.
3. Булгаков И. И. Ползучесть полимерных материалов [Текст] / И. И. Булгаков. – М.: Наука. – 1973. – 267 с.

ВПЛИВ НАПРУЖЕНОГО СТАНУ НА ПРОВІДНІСТЬ ІЗОЛЯТОРІВ

Хейрабаді Газаля Сабір кизи

У статті вивчено вплив напруженого стану на електричний опір полімерних матеріалів. Отримано аналітичний вираз для опору в залежності від механічних і реологічних властивостей полімеру, від напруженого стану і часу.

Ключові слова: електропровідні полімери, напружений стан, пористе тіло, ядро повзучості, релаксація.

Хейрабаді Газаля Сабір кизи, асистент кафедри прикладної механіки, Азербайджанська Державна Нафтова Академія, e-mail: qezale@mail.ru.

EFFECTS OF STRESS ON CONDUCTIVITY INSULATORS

Heyrabady Qazala Sabyr kyzy

In article influence of a tension on the electric resistance of polymeric materials is studied. Analytical expression for resistance depending on mechanical and rheological properties polymers, from a tension and time is received.

Keywords: elektrowire polymers, tension, porous body, creep kernel, relaxation.

Heyrabady Qazala Sabyr kyzy, assistant, Department of Applied Mechanics, Azerbaijan State Oil Academy, e-mail: qezale@mail.ru.