

бителей при относительно небольшом увеличении математического ожидания недоотпуска электроэнергии.

Л и т е р а т у р а

1. Ничипорович Л.В., Радкевич В.Н. Повышение надежности электроснабжения путем оптимизации процесса поиска повреждения в распределительных сетях. - В кн.: Материалы международной научно-технической конференции. Гливице, 1977, с. 161 - 168.

УДК 537.523.4.621.315.6

К.Ф.Степанчук, канд.техн.наук (БПИ)

КУМУЛЯТИВНАЯ МОДЕЛЬ РАЗРУШЕНИЯ И УСЛОВИЯ УСКОРЕНИЯ ИСПЫТАНИЙ ОБРАЗЦОВ ИЗОЛЯЦИИ

Модель и основные соотношения. Линейная кумулятивная модель разрушения образцов и материалов предполагает, что скорость разрушения зависит только от воздействия, и дефекты в образце при последовательных воздействиях накапливаются простым суммированием [1]. Предлагаемая модель является следующим приближением к реальности и учитывает ослабление образца при накоплении разрушения. Допустим, в образце изоляции (рис. 1) развивается разрушение $y(U, t)$ в виде, напри-

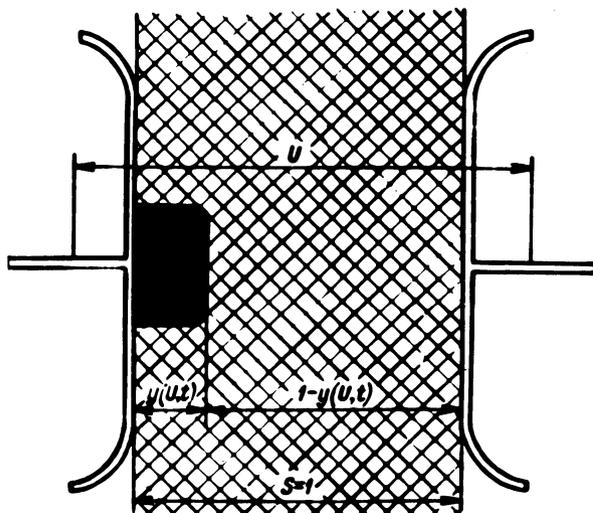


Рис. 1. Развитие разрушения в образце изоляции.

мер, канала с практически нулевым сопротивлением, а скорость разрушения $x(U, t)$ пропорциональна средней напряженности в здоровой части изоляции в некоторой степени m , т.е.

$$x(U, t) = AE_{cp}^m(U, t) = A \left[\frac{U}{1-y(U, t)} \right]^m = A \left(\frac{U}{1-y} \right)^m. \quad (1)$$

Обозначения и условия нормировки приняты такими же, как в [1]. В начале процесса при напряжении $U = U_0 = \text{const}$

$$x(U_0, 0) = x_0 = AU_0^m. \quad (2)$$

При условиях (1), (2) уравнение разрушения будет иметь вид

$$\frac{\partial y(U_0, t)}{\partial t} = \frac{dy}{dt} = \frac{x_0}{(1-y)^m}. \quad (3)$$

Решение этого уравнения приводит к следующим выражениям:

$$y(U_0, t) = 1 - \left[1 - (m+1)x_0 t \right]^{\frac{1}{m+1}}; \quad (4)$$

$$x(U_0, t) = \frac{dy}{dt} = x_0 \left[1 - (m+1)x_0 t \right]^{-\frac{m}{m+1}}. \quad (5)$$

При полном разрушении $y = 1$ и $t = \tau_0$. Из соотношений (4) и (2) получим

$$x_0 = \frac{1}{(m+1)\tau_0}; \quad \tau_0 = \frac{1}{(m+1)AU_0^m}. \quad (6)$$

С учетом (6) выражения (4) и (5) преобразуются соответственно к виду

$$y(U_0, t) = 1 - \left(1 - \frac{t}{\tau_0}\right)^{\frac{1}{m+1}} ; \quad (7)$$

$$x(U_0, t) = \frac{1}{(m+1)\tau_0} \left(1 - \frac{t}{\tau_0}\right)^{-\frac{m}{m+1}} . \quad (8)$$

При испытании образца непрерывно нарастающим напряжением $U(t) = \alpha t$ уравнение разрушения

$$\frac{dy(\alpha, t)}{dt} = A \left[\frac{\alpha t}{1 - y(\alpha, t)} \right]^m \quad (9)$$

приводит к решению

$$y(\alpha, t) = 1 - \left(1 - A \alpha^m t^{m+1}\right)^{\frac{1}{m+1}} ; \quad (10)$$

$$x(\alpha, t) = A \alpha^m t^m \left(1 - A \alpha^m t^{m+1}\right)^{-\frac{m}{m+1}} . \quad (11)$$

При полном разрушении $y=1$, $t = \tau_\alpha$ из соотношения (10) вытекает, что

$$A \alpha^m = \frac{1}{\tau_\alpha^{m+1}} . \quad (12)$$

Подставляя (12) в (10) и (11) соответственно получим

$$y(\alpha, t) = 1 - \left[1 - \left(\frac{t}{\tau_\alpha}\right)^{m+1}\right]^{\frac{1}{m+1}} ; \quad (13)$$

$$x(\alpha, t) = \frac{t^m}{\tau_\alpha^{m+1}} \left[1 - \left(\frac{t}{\tau_\alpha}\right)^{m+1}\right]^{-\frac{m}{m+1}} . \quad (14)$$

Ускорение испытаний. Определим меру ускорения разрушения (ускорения испытаний) $\beta_y = \frac{\tau_1}{\tau_y}$.

При испытании идентичных образцов непрерывным длительным напряжением ($U_1 = \text{const}$; $U_y = \text{const}$; $U_y > U_1$), используя (6), получим

$$\beta_y = \frac{\tau_1}{\tau_y} = \frac{(m+1)AU_y^m}{(m+1)AU_1^m} = \left(\frac{U_y}{U_1}\right)^m. \quad (15)$$

В случае непрерывного нарастания напряжения с нуля соответственно со скоростью α_1 и α_y с учетом (12)

$$\beta_y = \frac{\tau_{\alpha_1}}{\tau_{\alpha_y}} = \left(\frac{\alpha_y}{\alpha_1}\right)^{\frac{m}{m+1}}. \quad (16)$$

При этом пробой будет происходить соответственно при напряжениях

$$\frac{U_{п\alpha_y}}{U_{п\alpha_1}} = \frac{\alpha_y \tau_y}{\alpha_1 \tau_1} = \beta_y^{\frac{1}{m}}. \quad (17)$$

При сравнении результатов испытаний, полученных при длительном воздействии U_1 и непрерывном нарастании напряжения со скоростью α_y , учитывая (6) и (12)

$$\beta_y = \frac{\tau_1}{\tau_{\alpha_y}} = \frac{(A\alpha_y^m)^{\frac{1}{m+1}}}{AU_1^m(m+1)} = \left(\frac{\alpha_y \tau_{\alpha_y}}{U_1}\right)^m \frac{1}{m+1}. \quad (18)$$

Определение кратковременной прочности. Допустим, что кратковременное пробивное напряжение $U_{п\alpha}$ определяется при непрерывном подъеме напряжения с нуля со скоростью α . Найдем зависимость $U_{п\alpha}$ от времени t_1 предварительной выдержки образца под напряжением $U_1 = \text{const}$. Уравнение разрушения при этих условиях имеет вид

$$y(U_1, t_1) + y(\alpha, t_\alpha) = 1. \quad (19)$$

Подставляя в (19) выражения для y (7) и (13) и решая (19) относительно $U_{п\alpha} = \alpha \cdot t_\alpha$, получим

$$\frac{U_{п\alpha}}{U_{п\alpha_0}} = \left\{ 1 - \left[1 - \left(1 - \frac{t_1}{\tau_1} \right)^{\frac{1}{m+1}} \right] \right\}^{\frac{1}{m+1}}, \quad (20)$$

где $U_{п\alpha_0} = \alpha \cdot \tau_\alpha$ - напряжение пробоя при $t_1=0$, т.е. без предварительной выдержки под напряжением.

Нетрудно убедиться, что выражения для β_y (15), (16) и (18) идентичны соответствующим соотношениям, полученным для линейной кумулятивной модели [1]. Расчетное соотношение (20), определяющее снижение кратковременной прочности, например в процессе эксплуатации изоляции, не соответствует выражениям, полученным для линейной кумулятивной модели [2], так как в рассматриваемой модели разрушение происходит с ускорением или замедлением в зависимости от знака m .

Таким образом, предполагаемая модель позволяет определить не только условия ускорения испытаний образцов и конструкций органической изоляции, для которых известно соотношение $\tau = VE^{-m}$ [3], но и оценить снижение кратковременной прочности $\tau_{ср}$ изоляции в процессе ее эксплуатации.

Л и т е р а т у р а

1. Степанчук К.Ф. Линейная кумулятивная модель разрушения и примеры ее использования при планировании и анализе испытаний образцов изоляции. - Изв. вузов. Энергетика, 1977, №4, с.124-128.
2. Степанчук К.Ф. Линейная модель разрушения и анализ кратковременной прочности как меры старения изоляции. - Изв. вузов. Энергетика, 1981, №2, с.87-89.
3. Кучинский Г.С. Частичные разряды в высоковольтных конструкциях. - Л.: Энергия, 1979, с.81 - 90.