

ИССЛЕДОВАНИЯ НАДЕЖНОСТИ ПОЛИЭТИЛЕНОВОЙ  
ИЗОЛЯЦИИ НА ИМПУЛЬСАХ

В. Ф. ВАЖОВ, В. С. ДМИТРЕВСКИЙ, Р. Э. КЛЕЙН, Ю. Б. ФОРТЕС

(Представлена научным семинаром кафедры техники высоких напряжений)

Полиэтиленовая изоляция имеет довольно высокую электрическую прочность, что делает ее весьма перспективной для изготовления ряда электроизоляционных конструкций.

Показано [1, 2, 3], что при длительном действии электрического напряжения происходит заметное снижение электрической прочности полиэтилена. Основной причиной, вызывающей снижение электрической прочности полиэтилена, указывается ионизация в газовых включениях.

Обычно конструирование и изготовление изоляции проводятся так, что при рабочем напряжении ионизации в газовых включениях не происходит. Однако на изоляцию в процессе эксплуатации могут воздействовать перенапряжения, значительно превышающие амплитуду рабочих напряжений. При перенапряжениях может наблюдаться заметный износ электрической изоляции.

В настоящей работе освещаются вопросы поведения полиэтиленовой изоляции при действии импульсного напряжения.

Опыты проводились на цилиндрических образцах при коаксиальной системе электродов. Форма образца приведена на рис. 1. Коаксиальная

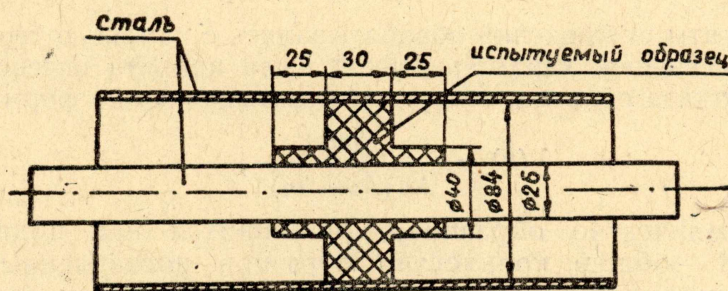


Рис. 1. Система для испытания образцов.

система с образцом помещались в трансформаторное масло. Благодаря принятой форме образцов перекрытие по образцам не наблюдалось, а происходил пробой полиэтилена. Размеры образца были следующие: длина 30 мм; внешний диаметр 84 мм; внутренний диаметр 26 мм (рис. 1).

Напряжение на образцы подавалось от генератора импульсных напряжений, выполненного по схеме умножения Аркадьева—Маркса. Осо-



бенностью схемы используемого генератора является зарядка конденсаторов через индуктивность, что обеспечивает большую частоту следования импульсов. Максимальное напряжение генератора — 300 кВ; частота импульсов напряжения — до 30 герц; разрядная емкость генератора — 12500 пкф.

В опытах использовалась волна напряжения, срезанная на фронте импульса через 0,18 мксек воздушным разрядником.

Амплитуда напряжений в опытах равна 232 кВ. Форма волны импульсных напряжений приведена на осциллограмме (рис. 2) и близка

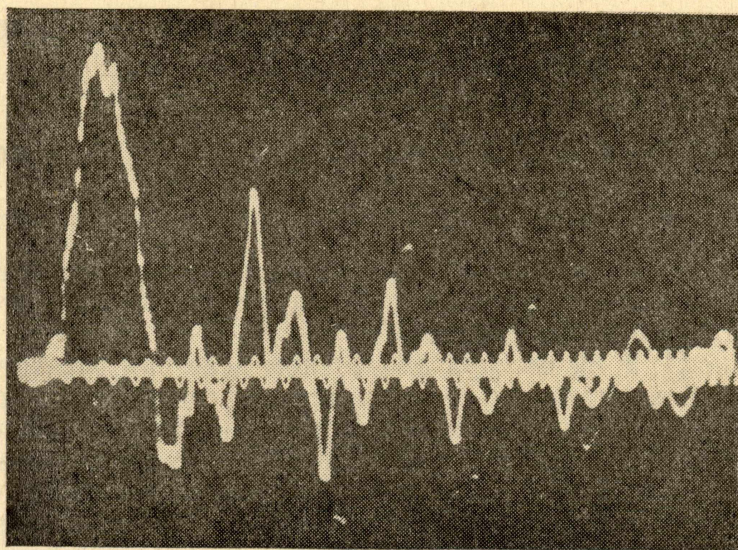


Рис. 2. Осциллограмма напряжения, подаваемого на образец. Частота наложенных градуировочных колебаний 10 мг гц.

по форме к коммутационным перенапряжениям. Осциллограмма получена на осциллографе ОК-19-2М. Частота градуировочных колебаний 10 мгц.

Результаты наблюдений обрабатывались с помощью теории вероятностей [4]. Основной характеристикой была принята интенсивность вероятности отказа образца, которая подсчитывалась по формуле

$$\lambda(n) = \frac{\Delta m}{\Delta n (M - m)}, \quad (1)$$

где  $\Delta m$  — количество образцов, пробившихся при подаче  $\Delta n$  импульсов;  $M$  — общее количество образцов, поставленных на испытание;  $m$  — количество образцов, пробитых к началу рассматриваемого периода.

Для подсчета  $\Delta n$  принималось равным 50 тыс. импульсов. На рис. 3 приводится зависимость  $\lambda(n)$  от количества импульсов. На кривой хорошо видны три области: 1) область приработки  $n \leq 70$  тыс. импульсов; 2) область случайных отказов  $70$  тыс. импульсов  $\leq n \leq 450$  тыс. импульсов; 3) область старения  $n \geq 450$  тыс. импульсов.

В области приработки наблюдается резкое уменьшение интенсивности отказов. В этот период выявляются основные дефекты, встречающиеся в изоляции после изготовления.



Вторая область — область случайных отказов — характеризуется сравнительным постоянством  $\lambda(n)$  и небольшой ее величиной.

Третья область характеризуется возрастанием  $\lambda(n)$  и соответствует большей интенсивности пробоев изоляции.

Перед постановкой образцов на пробой все они подвергались рентгеновской дефектоскопии. Рентгеновская дефектоскопия показала, что в образцах имели место крупные поры размером до 17 мм. Пробой изоляции проходил в основном по местам скопления пор. Однако имели место случаи, когда образцы с большей пористостью выдерживали до

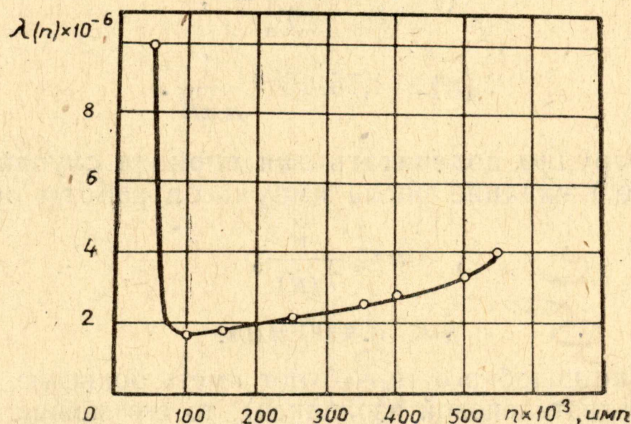


Рис. 3. Зависимость вероятности отказа образца от числа импульсов.

2 млн. импульсов. Было замечено, что по местам пор пробой происходит, если поры расположены вблизи внутреннего электрода, т. е. в области более высокой напряженности поля. Напряженность поля в порах изоляции независимо от их расположения намного превышала пробивное значение. Следовательно, условия для развития ионизационных процессов в порах создавались в процессе испытания. Учитывая, что пробой полиэтилена не всегда происходил по пористым местам, приходится констатировать, что выход образцов был обусловлен не только ионизационными процессами в порах.

Возникает необходимость оценить доверительный интервал для статической характеристики так, чтобы с заданной вероятностью доверия (достоверностью) можно было утверждать, что истинное значение искомой характеристики находится в пределах такого интервала. Для этого необходимо определить суммарную наработку.

$$T_n = \sum_{i=1}^N t_i, \quad (2)$$

где  $T_n = 12092000$  имп.,  $t_i$  — время работы  $i$ -го элемента.

В данном случае применим экспоненциальный закон надежности. На основании этого закона величина  $2T_n\lambda(n)$  распределяется по закону  $\chi^2$ .

Если испытания прекращаются после  $m$ -го отказа, с достоверностью  $\alpha$  можно утверждать, что  $2T_n\lambda(n)$  находится в пределах

$$\chi_{1-\alpha}^2(2n) > 2T_n\lambda(n) > \chi_{1+\alpha}^2(2n), \quad (3)$$



где  $X_{\frac{1-\alpha}{2}}^2(2n)$  и  $X_{\frac{1+\alpha}{2}}^2(2n)$  определяются по [4]

$$\frac{1}{2T_n} X_{\frac{1-\alpha}{2}}^2(2n) > \lambda(n) > \frac{1}{2T_n} X_{\frac{1+\alpha}{2}}^2(2n). \quad (4)$$

С достоверностью  $\alpha = 0,9 \cdot 2 \cdot 10^{-6} > \lambda(n) > 5 \cdot 10^{-7}$ .

Односторонний интервал нахождения  $\lambda(n)$  с достоверностью  $\alpha$  определяется:

$$\lambda(n) \leq \frac{X_{1-\alpha}^2(2n)}{2T_n}, \quad (5)$$

$$\lambda(n) \leq 1,75 \cdot 10^{-6} \frac{1}{\text{имп}}$$

Отсюда нетрудно подсчитать для периода случайных выходов математическое ожидание числа импульсов работы образца

$$\bar{n} \leq \frac{1}{\lambda(n)}, \quad (6)$$

$$\bar{n} \leq 573000 \text{ имп.}$$

Если изделие подобного типа будет иметь большую длину (например кабель с полиэтиленовой изоляцией), то его можно рассматривать состоящим из большого количества одинаковых элементов. Принимая вероятностные характеристики для каждого элемента неизменными, найдем

$$\lambda(n)_{\text{каб}} \leq \frac{L}{e} \lambda(n). \quad (7)$$

Для кабельной изоляции подобного типа в расчете на 1 км кабеля можно получить для периода случайных отказов

$$\lambda(n)_{\text{каб}} \leq \frac{10^5}{3} \cdot 1,75 \cdot 10^{-6} = 0,0583 \frac{1}{\text{имп}}$$

На основании проведенной работы можно сделать следующие выводы:

1. При многоимпульсном воздействии напряжения на полиэтиленовую изоляцию выявлены три области вероятности отказа изоляции.

2. Использование полиэтиленовой изоляции рекомендуется только после приработки, составляющей в исследованных образцах 70 тыс. импульсов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Г. П. Делекторский. О некоторых закономерностях пробоя полиэтиленовой изоляции. Электричество, № 11, 1961.
2. J. Mason. Разрушение и пробой диэлектриков в результате внутренних разрядов Jhe Proc JEE, ч. I, вып. 98, стр. 44, 1951.
3. С. Уайтхед. Пробой твердых диэлектриков. Госэнергоиздат, Ленинград, 1957.