

ВЛИЯНИЕ ПРОДУКТОВ РАЗРЯДА НА ПРОЦЕСС ИОНИЗАЦИОННОГО СТАРЕНИЯ РЕЗИНОВОЙ ИЗОЛЯЦИИ

Ю. Н. ШУМИЛОВ

(Представлена научно-методическим семинаром кафедры электроизоляционной
и кабельной техники)

ВВЕДЕНИЕ

Известно, что органическая изоляция, длительно работающая в условиях интенсивной ионизации, подвергается старению и постепенному разрушению. Разрушение изоляции может быть обусловлено следующими причинами:

- а) химическим воздействием на изоляцию продуктов ионизации воздуха — озона и окислов азота, являющихся сильными окислителями;
- б) бомбардировкой ионами и электронами, освободившимися при ионизации воздуха;
- в) воздействием высокой температуры, созданной в районе ионизации за счет местного повышения потерь.

Кроме указанных причин, было установлено, что при длительном воздействии разрядов внутри газовых включений образуются побочные продукты ионизации — влага, кислоты, продукты разложения твердого диэлектрика и т. д., которые могут оказывать косвенное воздействие на процесс ионизации в газовом включении и на «время жизни» диэлектрика [1—5]. Роджерс [4] и другие [2, 3] показали, что влага и кислоты, осаждаясь на стенках газового включения, образуют тонкую полупроводящую пленку, которая шунтирует газовое включение и вызывает затухание ионизации. При затухании ионизации происходит увеличение «времени жизни» диэлектрика и, в этом смысле, образование побочных продуктов ионизации является благоприятным фактором для длительной работы изоляции. В то же время существует мнение, что побочные продукты могут диффундировать в твердый диэлектрик и образовывать в нем участки с повышенной проводимостью или увеличенными потерями энергии. Это обстоятельство может вызвать снижение длительной электрической прочности и сокращение «времени жизни» изоляции. Гипотеза о влиянии продуктов ионизации на электрические характеристики диэлектрика впервые была высказана Уайтхедом [1] и в дальнейшем получила частичное подтверждение в работе [6], в которой было показано, что при длительном воздействии коронных разрядов происходит заметное снижение удельного объемного сопротивления полиэтилена. Однако вопрос изменения электрической прочности диэлектриков в результате диффузии продуктов разряда в твердый диэлектрик практически не изучен.

Настоящая работа посвящена исследованию процессов в газовых включениях применительно к резиновой изоляции и исследованию влия-

ния продуктов изоляции на электрическую прочность высоковольтной резины.

Исследование процессов в газовом включении

Исследование процессов внутри газового включения производилось на моделях с искусственным газовым включением, приведенных на рис. 1 (тип А, тип Б). Модели типа А использовались для исследования затухания ионизации, модели типа Б — для исследования явлений на поверхности стенок включений. Глубина включения во всех случаях рав-

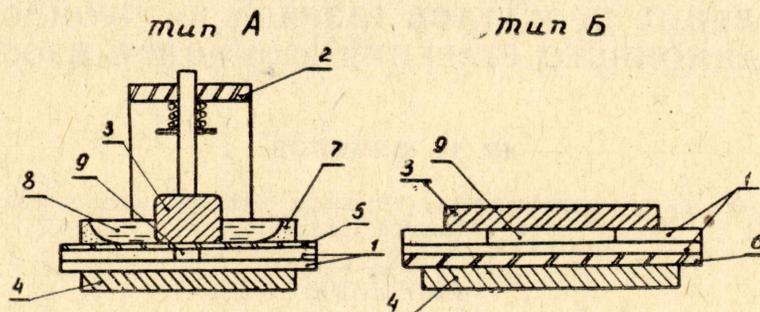


Рис. 1. Эскизы моделей типа А для исследования затухания ионизации и типа Б для исследования явлений на поверхности стенок включения: 1 — резиновые пластины (ТС-35), 2 — держатель электродов, 3 — высоковольтный электрод, 4 — низковольтный электрод, 5 — слюда, 6 — стеклянная пластинка, 7 — буртики из маслостойкой мастики, 8 — трансформаторное масло, 9 — воздушное включение (для модели типа А диаметр включения 1,8—5 мм, для модели типа Б — 50 мм).

нялась 0,4 мм. На модели подавалось переменное напряжение частотой 50 гц и 1000 гц, равно $2,5 U_n$ (U_n — напряжение начала ионизации). Через определенные промежутки времени производилось измерение интенсивности ионизации I , удельного поверхностного сопротивления стенок газового включения ρ_s и определялся водородный показатель рН для капель дистиллированной воды, нанесенной внутри газового включения.

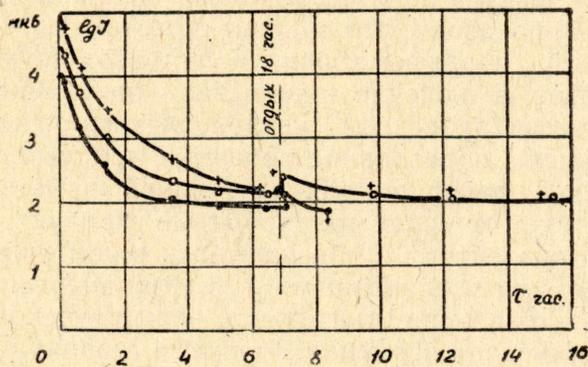


Рис. 2. Зависимость интенсивности ионизации от времени воздействия напряжения: ●● — диаметр включения 1,8 мм, ○○ — диаметр включения 3,5 мм, ++ диаметр включения 5 мм

5 мм. Из приведенного рисунка видно, что наиболее быстрое затухание ионизации имеет место в первые два часа, после чего наблюдается сравнительно медленное затухание ионизации. Во включениях диамет-

Рис. 2. Зависимость интенсивности ионизации от времени воздействия напряжения. Водородный показатель рН служил мерой образования кислой среды внутри газового включения. Интенсивность ионизации определялась согласно методике, описанной в [7]; поверхностное сопротивление измерялось на гальванометрической установке и рН колориметрическим методом. Для определения ρ_s и рН модели типа Б вынимались из испытательного стенда и разбирались. После измерений модели заменялись новыми.

На рис. 2 приведены наиболее характерные кривые затухания ионизации для включений диаметром 1,8; 3,5 и

ром 1,8 мм в течение 3—10 час. произошло полное затухание ионизации. Во включениях диаметром 3,5 мм после 50 час. испытаний полное затухание ионизации имело место только в 4 из 12 испытуемых моделей. В моделях с диаметром включения 5 мм после 10 час. интенсивность ионизации снизилась до $5 \cdot 10^{-12}$ к и практически не уменьшалась в течение всего времени испытаний (около 100 часов).

В табл. 1 приведены результаты измерения ρ_s и рН для моделей типа Б. Из табл. 1 видно, что изменение ρ_s и рН аналогично изменению интенсивности ионизации. Идентичность зависимостей $\lg I = f(\tau)$; $\lg \rho_s = f(\tau)$ и $\text{pH} = f(\tau)$ убедительно подтверждает механизм затухания, вызванный шунтированием газового включения.

Таблица 1

Изменение $\lg \rho_s$ и рН от времени испытания

Время воздействия (час)	0	0,5	1,0	1,5	2,0	3,0	4,0	5,0
$\lg \rho_s$ $f=50$ гц	16	15,3	14,8	14,2	13,8	12,8	12,2	12
$\lg \rho_s$ $f=1000$ гц	16	10	9,5	9	8,5	8,5	8,4	8
рН $f=1000$ гц	7	4	4,5	5,5	6	6	6	6

При разборке моделей было замечено, что резина в зоне разряда приобретает желто-коричневый цвет и на поверхности электрода образуются кристаллы голубого цвета. Химический анализ показал, что образуемые кристаллы являются солями азотной и серной кислоты $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ и CuSO_4 . Качественными реакциями для определения ионов NO_3^- и SO_4^{2-} в растворе явились реакции соответственно с дифениламином $(\text{C}_6\text{H}_5)_2\text{NH}$ и хлоридом бария BaCl_2 . Образование азотной кислоты в газовом разряде в воздушной среде хорошо известно [9]. Образование серной кислоты в газовых включениях очевидно, что присуще только для резиновой изоляции и связано, видимо, с выделением серы из резины при электронной (ионной) бомбардировке.

Таким образом, в резиновой изоляции при длительном воздействии ионизации внутри газовых включений происходит сравнительно быстрое образование полупроводящей пленки и затухание ионизации. При испытательном напряжении, равном $2,5 U_n$, во включениях диаметром 1,8 мм происходит полное затухание ионизации. Во включениях большего диаметра ионизация может существовать длительное время.

Влияние продуктов разряда на кратковременную электрическую прочность резиновой изоляции

При длительном воздействии разрядов на резиновые пластины, помещенные между двумя стеклянными пластинами с зазором, было обнаружено, что кислая среда образуется только в зоне непосредственного воздействия разряда. В связи с этим обработка резиновых пластин продуктами ионизации проводилась не косвенно, как рекомендуется в [5], а при непосредственном воздействии разряда. Резиновые пластины толщиной 0,4 мм помещались в промежуток между медным электродом и стеклянной пластиной, на внешней поверхности которой были нанесены электроды диаметром 15 мм, и выдерживались в течение 30 мин. при напряжении, равном $2,5 U_n$ ($f=1000$ гц). Зазор между поверхностью резины и стеклянной пластиной составлял 0,4 мм. Время обработки и частота испытательного напряжения были выбраны из условий макси-

мального выхода кислой среды и минимального времени воздействия разряда (табл. 1). После обработки разрядом производился осмотр поверхности резиновых пластин в бинокулярный микроскоп. При осмотре не было замечено признаков разрушения поверхности резины. Спустя 5 часов после обработки определялась электрическая прочность резиновых пластин $E_{пр}$ на промышленной частоте ($f = 50$ гц). Для исключения пробоев с края электрода образцы погружались в трансформаторное масло с добавкой 20% дибутилфталата.

В связи с большим разбросом значений $E_{пр}$ резиновых пластин испытания проводились на большом числе образцов и затем проводилась статистическая обработка полученных результатов.

Таблица 2
Ряд распределения электрической прочности резины ТС-35 до и после обработки коронными разрядами.

$E_{пр}$ кв/мм	n_1	n_2
	1	2
31,25	1	2
33,75	1	2
36,25	4	3
38,75	6	5
41,25	8	9
43,75	14	19
46,25	16	17
48,75	20	19
51,25	16	11
53,75	8	9
56,25	5	2
58,75	1	1
Σn_i	100	100

В табл. 2 приведены экспериментальные частоты для необработанных пластин (столбец 2) и для пластин, обработанных продуктами разряда (столбец 3).

Было определено, что распределение значений $E_{пр}$ необработанных пластин подчиняется нормальному закону со средним значением $\bar{E}_{пр1}$, равным 46,9 кв, и с основным отклонением σ_1 , равным 5,47 кв.

$$f(E_{пр}) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(E_{прi} - E_{пр})^2}{2\sigma^2}}$$

Проверка по критерию Пирсона [8] показывает, что экспериментальное распределение соответствует нормальному распределению с достоверностью больше, чем 80%.

Доверительные границы $\bar{E}_{пр1}$ при 5% уровне значимости, определенные как $\bar{E}_{пр1} \pm 1,96 \frac{\sigma_1}{\sqrt{n}}$, составляют соответственно

45,83 кв и 47,97 кв.

Статистики экспериментального ряда обработанных пластин $\bar{E}_{пр2}$ и σ_2 соответственно равны 46,2 кв и 5,46 кв. Можно видеть, что $\bar{E}_{пр2}$ находится внутри доверительных границ распределения электрической прочности первого ряда. Оценка дисперсии σ_1^2 и σ_2^2 по критерию Романовского [8] показывает, что расхождение между дисперсиями 1 и 2 рядов незначимо. Таким образом, обработка резиновых пластин продуктами разряда не приводит к снижению их электрической прочности.

Выводы

1. Исследование процессов ионизации в резине на моделях газового включения позволило обнаружить образование во включениях побочных продуктов ионизации — азотной и серной кислот и их солей.

2. Образование побочных продуктов ионизации приводит к сравнительно быстрому затуханию ионизации и не приводит к снижению электрической прочности резиновых пластин.

3. При напряжении, равном $2,5 U_n$, $f = 50$ гц, во включениях диаметром 1,8 мм в течение 3—10 часов происходит полное затухание ионизации. Во включениях большего диаметра разряды величиной $(5 \div 10) \cdot 10^{-12}$ к могут существовать длительное время.

4. При рассмотрении процесса ионизационного старения резиновой изоляции необходимо учитывать явление быстрого затухания ионизации.

ЛИТЕРАТУРА

1. С. Уайтхед. Пробой твердых диэлектриков, Госэнергоиздат, 1957.
2. A. M. Thomas, J. I. E. E., vol. 91, pt 11, с. 549.
3. Стойкость листовой изоляции к поверхностным разрядам. Отчет BEARA NL/T 379, 1958.
Перевод № 5238. ЦБТИ НИИ электропромышленности.
4. Rogers E. S. Proc. Instn. Electr. Engrs, vol 105A, с. 621—630, 1958.
5. Дж. Б. Беркс, Дж. Г. Шульман. Прогресс в области диэлектриков. Том I, ГЭИ, 1962.
6. В. Г. Сотников. Влияние частичных разрядов в воздушном слое на электрическое сопротивление полиэтилена. «Кабельная техника», 1964, № 33.
7. Г. С. Кучинский, О. О. Тапупере. Регистрация ионизационных характеристик изоляции. «Электричество», 1960, № 11.
8. А. К. Митропольский. Техника статистических вычислений. Физматгиз, 1961.
9. А. Б. Шехтер. Химические реакции в электрическом разряде. ОНТИ, Л.—М., 1936.