

**ИМПУЛЬСНЫЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ПРОБОЙ  
ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫХ КОМБИНАЦИЙ ТРАНСФОРМАТОРНОГО  
МАСЛА С НЕКОТОРЫМИ ПОЛИМЕРНЫМИ ДИЭЛЕКТРИКАМИ  
В ШИРОКОМ ДИАПАЗОНЕ ТЕМПЕРАТУР**

**Ю. И. ЛЕХТ**

(Представлена научным семинаром научно-исследовательского института высоких напряжений)

В практике высоковольтного аппаратостроения широкое применение находит комбинированная изоляция. Широко используемая бумажно-масляная изоляция резко изменяет свои электрические свойства с изменением температуры. А диапазон рабочих температур целого ряда высоковольтных установок для отдельных районов страны может составлять ( $-50 \div +70$ )°С. По литературным данным [1—3], некоторые полимерные твердые диэлектрики почти не меняют своих электрических свойств в широком диапазоне температур. Поэтому исследование импульсных характеристик электрического пробоя комбинации трансформаторного масла с некоторыми полимерными диэлектриками представляет определенный научный и практический интерес.

В настоящей работе исследовались комбинации трансформаторного масла с полиэтиленом высокого и низкого давления и с фторопластом-4 при температурах от  $-40$  до  $+90$ °С.

Образцы полимерных диэлектриков прямоугольной формы нарезались из листов и блоков одной партии поступления. В случае расположения твердого диэлектрика у острия для устранения краевых разрядов в образцах высверливалась коническая лунка с углом при вершине конуса 30°. Толщина образцов в месте пробоя принималась 1 мм и контролировалась прибором ИЗВ-1 с точностью до 0,01 мм. В случае расположения твердого диэлектрика на плоскости толщина образцов по всей поверхности была одинаковой и составляла 1 мм. Толщина образцов контролировалась микрометром с точностью до 0,01 мм.

Исследования проводились в термокамере типа МПС-500 со специально смонтированным высоковольтным вводом на 300 кВ (интервал рабочих температур от  $-70$  до  $+100$ °С). Температура в камере измерялась электрическим термометром с точностью до 1°С.

В качестве изолирующей среды использовалось технически чистое трансформаторное масло, электрическая прочность которого составляла 40 кВ в стандартном маслопробойнике. Толщина масляной прослойки составляла 1 мм.

Партия образцов, а также трансформаторное масло в фарфоровом сосуде перед пробоем выдерживались в термокамере при заданной температуре не менее 60 мин. Исследования проводились в резконеоднородном поле острие — плоскость на импульсах напряжения положительной полярности.

Источником однократных высоковольтных импульсов служил многоступенчатый генератор импульсных напряжений с максимальной амплитудой 400 кВ и емкостью в разряде 0,012 мкФ. Величина пробивного напряжения регистрировалась с помощью осциллографа ОК-19М2, включенного через активный делитель сопротивлением 8200 Ом. Пробивные характеристики снимались на фронте однократного импульса при скоростях нарастания напряжения на образце  $= 5 \cdot 10^{11}$ ;  $2,5 \cdot 10^{11}$  и  $0,3 \cdot 10^{11}$  в/сек. Каждая точка полученных характеристик построена на основе обработки 20 и более осциллограмм пробоа.

На рис. 1 представлены температурные зависимости импульсных пробивных напряжений последовательной комбинации трансформаторного масла с полиэтиленом низкого давления. Напряжения пробоа

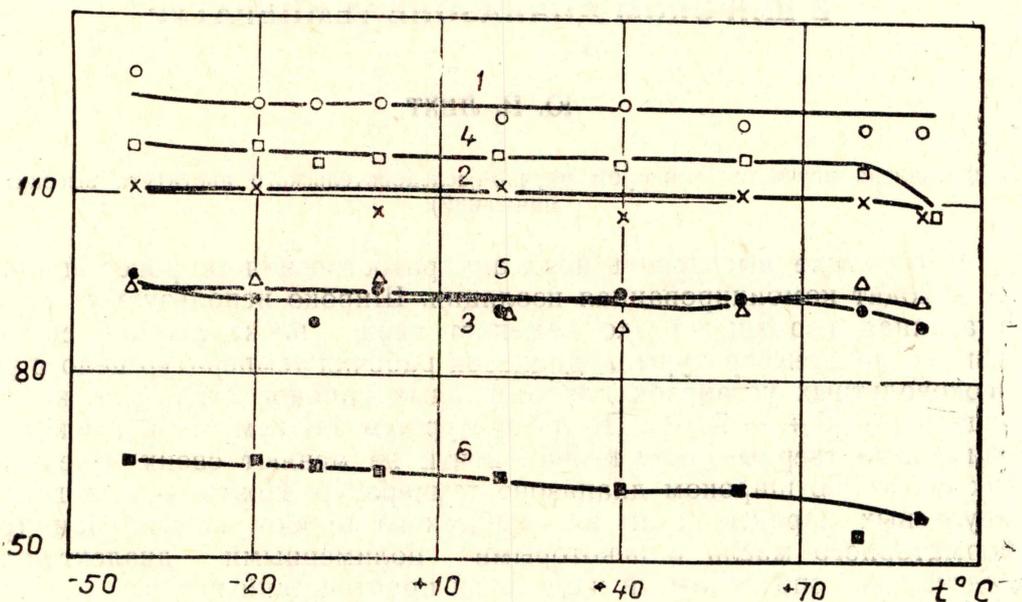


Рис. 1. Температурные зависимости напряжений пробоа комбинации трансформаторного масла с полиэтиленом низкого давления: 1, 2, 3 — полиэтилен расположен у острия ( $a=5 \cdot 10^{11}$ ,  $2,5 \cdot 10^{11}$  и  $0,3 \cdot 10^{11}$  в/сек соответственно); 4, 5, 6 — полиэтилен расположен на плоскости ( $a=5 \cdot 10^{11}$ ,  $1,5 \cdot 10^{11}$  и  $0,3 \cdot 10^{11}$  в/сек соответственно)

с ростом крутизны фронта импульса в исследуемом диапазоне температур увеличиваются как в случае расположения твердого диэлектрика у острия, так и в случае помещения его на плоскости. Отмечено, что в диапазоне исследуемых экспозиций пробивные напряжения практически не зависят от температуры в интервале от  $+90$  до  $-40^\circ\text{C}$ . При этом пробивные напряжения при расположении полиэтилена у электрода с меньшим радиусом кривизны выше, чем при помещении прослойки масла в область больших напряженностей поля. Причем с уменьшением скорости нарастания напряжения на образце эта разница увеличивается. Например, при крутизнах фронта импульса  $5 \cdot 10^{11}$ ;  $2,5 \cdot 10^{11}$  и  $0,3 \cdot 10^{11}$  в/сек разница между пробивными напряжениями составляла 7%, 11% и 25% соответственно. Это объясняется тем, что при пробое последовательных комбинаций определяющую роль играет электрическая прочность диэлектрика, находящегося в области больших напряженностей поля. Известно [4, 5], что при малых временах воздействия напряжения электрическая прочность трансформаторного масла выше прочности полиэтилена. С ростом экспозиции напряжения прочность трансформаторного масла снижается быстрее, чем прочность полиэти-

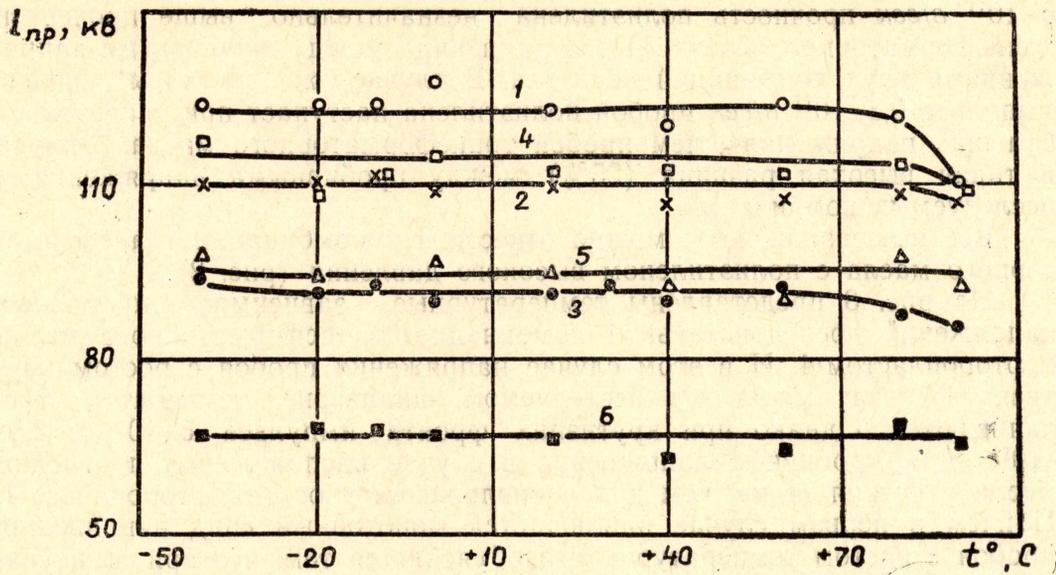


Рис. 2. Температурные зависимости напряжений пробоя комбинации трансформаторного масла с полиэтиленом высокого давления: 1, 2, 3 — полиэтилен расположен у острия  $a = 5 \cdot 10^{11}$ ,  $2,5 \cdot 10^{11}$  и  $0,3 \cdot 10^{11}$  в/сек соответственно; 4, 5, 6 — полиэтилен расположен на плоскости ( $a = 5 \cdot 10^{11}$ ,  $2,5 \cdot 10^{11}$  и  $0,3 \cdot 10^{11}$  в/сек соответственно)

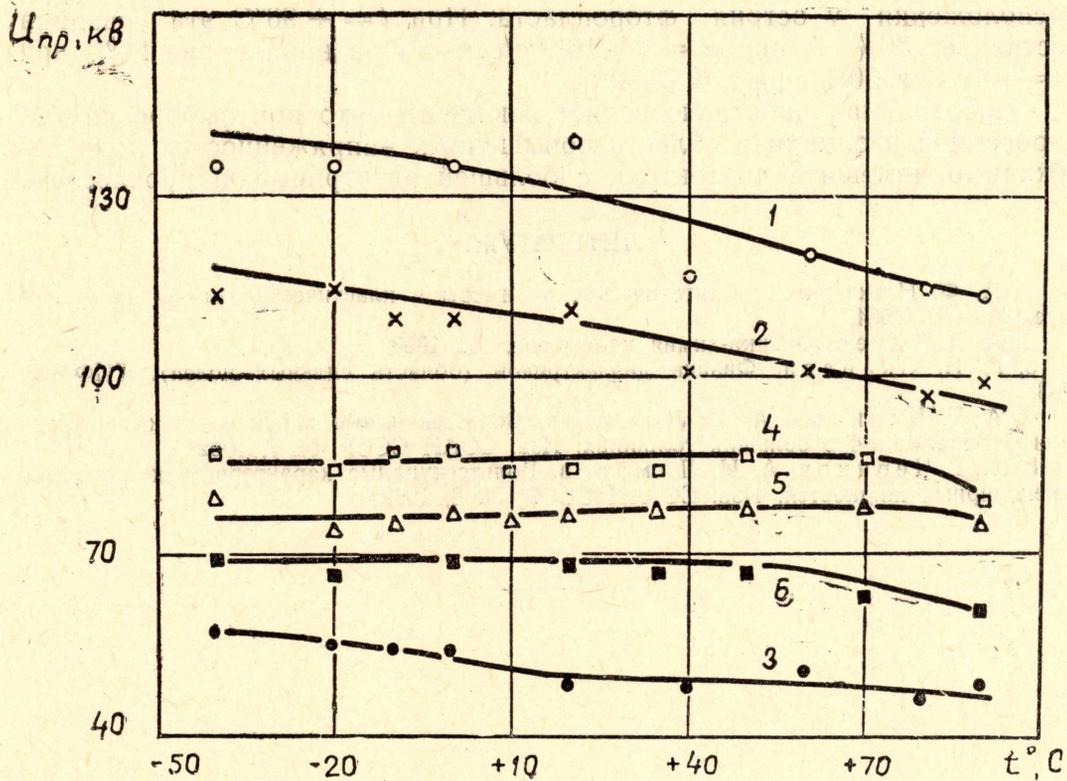


Рис. 3. Температурные зависимости напряжений пробоя комбинации трансформаторного масла с фторопластом-4: 1, 2, 3 — трансформаторное масло у острия ( $a = 5 \cdot 10^{11}$ ,  $2,5 \cdot 10^{11}$  и  $0,3 \cdot 10^{11}$  в/сек соответственно); 4, 5, 6 — фторопласт-4 у острия ( $a = 5 \cdot 10^{11}$ ,  $2,5 \cdot 10^{11}$  и  $0,3 \cdot 10^{11}$  в/сек соответственно).

лена. В наших экспериментах при скорости нарастания напряжения  $5 \cdot 10^{11}$  в/сек прочность полиэтилена незначительно выше прочности трансформаторного масла. Поэтому разница между пробивными напряжениями двух комбинаций невелика. В случае же крутизны фронта импульса  $0,3 \cdot 10^{11}$  в/сек пробой полиэтилена наступает при значительно больших напряжениях, чем пробой трансформаторного масла. Отсюда и такая высокая разница (25%) между пробивными напряжениями исследуемых комбинаций.

Все вышеизложенное можно отнести и к комбинации трансформаторного масла с полиэтиленом высокого давления (рис. 2).

На рис. 3 представлены температурные зависимости пробивных напряжений последовательной комбинации трансформаторного масла с фторопластом-4. И в этом случае напряжения пробоя с ростом крутизны фронта импульса в исследуемом диапазоне температур увеличиваются. Однако при крутизнах фронта импульса  $5 \cdot 10^{11}$  и  $2,5 \cdot 10^{11}$  в/сек пробивные напряжения в случае расположения прослойки масла у острия выше, чем при расположении у острия фторопласта-4. Причем в первом случае наблюдается монотонный спад напряжения пробоя с ростом температуры. Это объясняется тем, что при вышеуказанных экспозициях приложенного напряжения прочность трансформаторного масла выше прочности фторопласта. Прочность масла с ростом температуры падает, а прочность фторопласта практически не меняется. Поэтому разница между пробивными напряжениями двух комбинаций с ростом экспозиций и температуры снижается. Например, при  $t = 40^\circ\text{C}$  и  $a = 5 \cdot 10^{11}$  в/сек пробивные напряжения в случае расположения у острия трансформаторного масла на 35% выше, чем в случае расположения у острия фторопласта. При  $t = +90^\circ\text{C}$  эта разница составляет 30%. А при  $a = 2,5 \cdot 10^{11}$  в/сек эта разница равна 26% при  $t = -40^\circ\text{C}$  и 20% при  $t = +90^\circ\text{C}$ .

Проделанная работа позволяет заключить, что при выборе комбинированной изоляции в область повышенных напряженностей поля необходимо помещать диэлектрик с большей электрической прочностью.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. А. Ф. Николаев. Синтетические полимеры и пластические массы на их основе. М.—Л., 1964.
  2. А. А. Тагер. Физико-химия полимеров. М., 1963.
  3. Г. И. Сканава. Физика диэлектриков (область сильных полей). ГИФМЛ, 1958.
  4. А. Т. Чепиков, А. И. Лимасов. Вольтсекундные характеристики оргстекла и фторопласта-4 в больших толщинах. Изв. СОАН СССР, № 7, 1962.
  5. А. Т. Чепиков, А. И. Лимасов. Вольтсекундные характеристики полярных и неполярных жидкостей. Изв. СО АН СССР, № 8, 1962.
-