

К ОЦЕНКЕ ИМПУЛЬСНЫХ ПРОБИВНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ НЕКОТОРЫХ ДИЭЛЕКТРИКОВ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ

В. В. КРИВКО, Ю. И. ЛЕХТ

(Представлена научным семинаром НИИ высоких напряжений)

В настоящее время в различные технологические процессы успешно внедряется высоковольтная импульсная техника. Необходимость создания малогабаритных, надежных высоковольтных установок и устройств побуждает вести исследования и разработку изоляции с высокими электрическими характеристиками. Наибольшее распространение получает комбинированная изоляция с использованием трансформаторного масла и твердых диэлектриков.

В связи с возможным достаточно широким диапазоном рабочих температур специальных высоковольтных установок изучение температурных характеристик электрического пробоя отдельных компонентов сложной изоляции представляет определенный интерес.

Известно, что с изменением температуры изменяются плотность и вязкость жидкости, состояние влаги, условия эмиссии из катода и т. д. Все это в большей или меньшей степени в различных условиях оказывает влияние на пробивные напряжения жидких диэлектриков. Зависимость, как правило, имеет максимум. Полагают [1, 2], что при достаточно длительном воздействии напряжения для жидкостей технической очистки возможен тепловой пробой. При этом возникновение пробоя связывается с процессом вскипания жидкостей.

В экспериментальных исследованиях по пробоем различных жидкостей на импульсах длительностью 1 мксек и более [1—6] установлено некоторое уменьшение пробивных напряжений с ростом температуры. Причем снижение напряжения происходит по той же кривой, что и снижение ее плотности.

Изучению влияния температуры на импульсное пробивное напряжение твердых диэлектриков также посвящен целый ряд работ [7—12]. Однако измерения напряжений проводились в области положительных температур на импульсах длительностью более 1 мксек и в основном для кристаллических диэлектриков. Данные имеют противоречивый характер. В отдельных работах [8—12] наблюдались температурные максимумы прочности.

В настоящей статье приведены результаты экспериментальных измерений импульсных пробивных напряжений политетрафторэтилена, трансформаторного масла и воды, которая на импульсах с крутым фронтом обладает прочностью несколько десятков кв/см. Рабочий интервал температур для политетрафторэтилена и трансформаторного масла составил $-40 \div +100^\circ\text{C}$. Пробивные напряжения для воды и трансформа-

торного масла в интервале температур от $+15$ до 100°C измерялись при различной крутизне фронта импульса положительной полярности (от 10 до 1250 кВ/мксек).

Методика эксперимента

Температурные зависимости трансформаторного масла, воды технической очистки и политетрафторэтилена исследовались в термокамере типа МПС-500 с интервалом рабочих температур от -70 до $+100^{\circ}\text{C}$ и специально смонтированным высоковольтным вводом на импульсное напряжение 300 кВ. Температура в камере измерялась электрическим и ртутным термометрами с точностью до 1°C . Пробивные характеристики снимались на электродах «стержень — плоскость». На молибденовый стержневой электрод диаметром 3 мм с углом конуса при вершине 30° подавались одиночные импульсы положительной полярности. Латунная плоскость диаметром 90 мм заземлялась. Расстояние между электродами 2 мм. Электродное устройство помещалось в фарфоровый сосуд диаметром 120 мм.

Источником однократных высоковольтных импульсов служил многоступенчатый генератор импульсных напряжений с максимальной амплитудой 400 кВ и емкостью в разряде 12000 пкФ. Величина пробивного напряжения регистрировалась с помощью осциллографа ОК-19, включенного через активный делитель сопротивлением 8200 Ом. Прочность трансформаторного масла в стандартном маслопробойнике составляла 35 кВ. Удельное сопротивление воды было равно $1,5 \cdot 10^{-3}$ Ом·см.

Образцы политетрафторэтилена прямоугольной формы размерами $30 \times 30 \times 5$ мм нарезались на фрезерном станке из листов одной партии поступления. Для устранения краевого эффекта в образцах высверливалась коническая лунка с углом 30° . Толщина образцов контролировалась прибором ИЗВ-1 с точностью до 0,01 мм. Для исключения перекрытия образцов по поверхности при выбранных линейных размерах образцы помещались в трансформаторное масло.

Партия образцов политетрафторэтилена, а также жидкие диэлектрики перед пробоем при заданной температуре выдерживались в термокамере не менее 30 мин.

Пробой жидкостей и образцов политетрафторэтилена проводился на фронте однократного импульса. Каждая точка полученных характеристик построена на основе обработки 20 и более осциллограмм пробоя.

Результаты эксперимента и их обсуждение

На рис. 1 приведены зависимости пробивных напряжений трансформаторного масла (кривая 3), воды (кривая 2) и политетрафторэтилена (кривая 1). Импульсы положительной полярности, крутизна фронта 250 кВ/мксек. Толщина в месте пробоя 2 мм.

В интервале температур от $+20$ до $+90^{\circ}\text{C}$ пробивное напряжение политетрафторэтилена для данных условий опыта оставалось неизменным в связи с достаточно высокой термостойкостью материала (максимальная рабочая температура более 200°C). С уменьшением температуры от $+20$ до -10°C пробивное напряжение политетрафторэтилена снижается на 10—15%, а затем по мере дальнейшего уменьшения температуры возрастает и при температуре -40°C становится таким же, как и при нормальной температуре. Можно полагать, что некоторое снижение пробивного напряжения связано с наличием внутренних механических напряжений. Если при пониженных температурах политетрафторэтилен выдерживать более длительное время, внутренние напряжения, связан-

ные с изменением соотношения между кристаллической и аморфной фазами, снимаются и не оказывают влияния на механическую, а также и электрическую прочность материала. Так, при выдержке времени образцов при температуре -20°C , равной 3 час (вместо 30 мин.) величина пробивного напряжения составила 77 кВ, т. е. оказалась равной напряжению при температуре $+20^{\circ}\text{C}$.

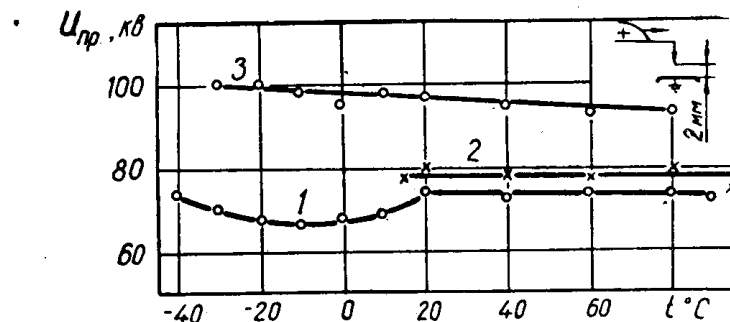


Рис. 1. Температурные зависимости импульсных пробивных напряжений политетрафторэтилена (кривая 1), воды технической очистки (кривая 2) и трансформаторного масла (кривая 3). Крутизна фронта импульса 250 кВ/мксек

В исследованном интервале температур пробивные напряжения трансформаторного масла и воды практически остаются неизменными и превышают пробивное напряжение политетрафторэтилена. Последнее

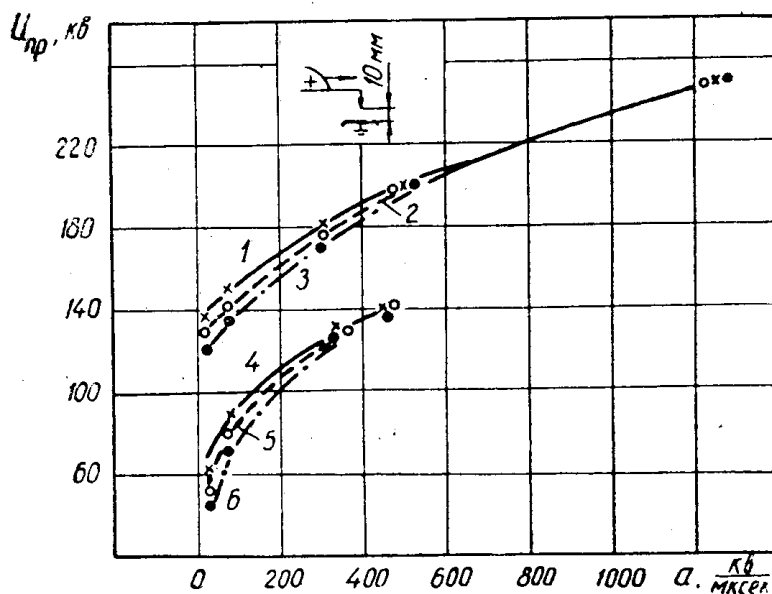


Рис. 2. Зависимости импульсных пробивных напряжений трансформаторного масла (кривые 1, 2, 3) и воды технической очистки (кривые 4, 5, 6) от крутизны фронта импульса при различных температурах.

1 и 4 — $t = 15^{\circ}\text{C}$, 2 и 5 — $t = 60^{\circ}\text{C}$, 3 и 6 — $t = 98^{\circ}\text{C}$

указывает на возможность использования воды технической очистки при импульсах с крутым фронтом (250 кВ/мксек и более) в качестве изоляционной среды. Плотность воды с ростом температуры от 15 до 98°C

уменьшается от 0,01 до 0,002 [13]. Такое незначительное изменение плотности вряд ли окажет существенное влияние на время разряда и соответственно на величину разрядного напряжения [1].

На рис. 2 представлены значения пробивных напряжений трансформаторного масла (кривые 1, 2, 3) и воды (кривые 4, 5, 6) на импульсах положительной полярности с различной крутизной фронта. Расстояние между электродами в месте пробоя 10 мм. Рабочие температуры $+15$; $+60$ и $+98^{\circ}\text{C}$.

Из рис. 2 следует, что с ростом крутизны импульса пробивные напряжения при всех исследованных температурах возрастают. Это вполне согласуется с известными ранее данными [1, 3] и объясняется явлением запаздывания разряда.

Некоторое снижение пробивных напряжений (15—20%) воды и трансформаторного масла при повышенных температурах (98 и 100°C) на импульсах крутизной менее 100 кВ/мксек, вероятно, связано с тем, что при больших временах воздействия напряжения разряд может развиваться по газовым пузырькам. На крутых импульсах газовые пузырьки, как и другие включения в жидкости, влияния на пробивное напряжение не оказывают.

Выводы

1. На импульсах с крутизной фронта 250 кВ/мксек и более вода технической очистки может использоваться в качестве изолирующей жидкости.

2. В интервале температур от -40 до $+90^{\circ}\text{C}$ (для воды от $+15^{\circ}\text{C}$) пробивные напряжения трансформаторного масла, воды и политетрафторэтилена практически остаются неизменными. Это указывает на возможность надежной работы в исследованном интервале температур высоковольтных устройств с использованием воды и трансформаторного масла.

ЛИТЕРАТУРА

1. Г. И. Скана ви. Физика диэлектриков (область сильных полей), ГИФИЛ, 1958.
2. Der ante R. W. J. Appl. Phys. 10, 514, 1959.
3. А. Ф. Вальтер. Физика диэлектриков, ГТТИ, 1932.
4. Edwards. W D. Canadian. J. Phys. 29, 310, 1951.
5. Crowe R. W., Bragg J. K. and Sharbaugh A. H. J. Appl. Phys. 25, 3, 342, 1954.
6. Goodwin P. W. and Mackfadyen K. A. Proc. Phys. Soc. Sondon, B 66, 85, 815, 1953.
7. А. А. Воробьев, И. А. Приходько. Труды СФИТИ, 4, 31, 1938.
8. Calderwood J. H., Cooper R. Proc. Phys. Soc. B66, 74, 1953.
9. Keller K. Physica 17, 511, 1951.
10. А. Ф. Вальтер и Л. Д. Инге. ЖЭТФ 10, 1034, 1940.
11. Vermer J. Physica 20, 313, 1954.
12. Hippel A. J. Appl. Phys. 8, 815, 1937.
13. Д. Кей и Т. Лэби. Справочник физика-экспериментатора, ИИЛ, 1949.