

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ИМПУЛЬСНОЕ ПРОБИВНОЕ НАПРЯЖЕНИЕ НЕКОТОРЫХ ТВЕРДЫХ ПОЛИМЕРНЫХ ДИЭЛЕКТРИКОВ

В. В. КРИВКО, Ю. И. ЛЕХТ

(Представлена семинаром НИИ высоких напряжений)

Благодаря значительным успехам химии в последнее десятилетие, изоляционная и кабельная техника получили большое количество новых полимерных диэлектриков с достаточно хорошими электрофизическими характеристиками (полиметилметакрилат, полиэтилен, политетрафторэтилен, полистирол и др.).

Широкое внедрение высоковольтной и особенно импульсной техники в различные технологические процессы обуславливает необходимость создания специальных изоляционных конструкций и высоковольтных кабелей с использованием и полимерных материалов.

Диапазон рабочих температур целого ряда высоковольтных установок и устройств для отдельных районов страны может быть $-50 \div +70^\circ\text{C}$. Поэтому изучение электрических свойств полимерных материалов в широком интервале температур представляет научный и практический интерес.

В настоящее время уже имеется большой экспериментальный материал [1—4] по исследованию температурных характеристик разнообразных полимерных диэлектриков. Однако данные по влиянию температуры на импульсное пробивное напряжение полимеров при различных временах воздействия напряжения отсутствуют.

Работа посвящена исследованию импульсных характеристик пробоя в неоднородном поле некоторых полимерных диэлектриков (политетрафторэтилен, полиэтилен низкого и высокого давления) при температурах от -40 до $+90^\circ\text{C}$. Результаты работы могут быть полезны при конструировании изоляции специальных высоковольтных импульсных установок и кабелей.

Методика эксперимента

Образцы из полимерных материалов прямоугольной формы размерами $30 \times 30 \times 5$ мм нарезались на фрезерном станке из листов и блоков одной партии поступления. Для устранения краевого эффекта в образцах высверливалась коническая лунка с углом 30° . Толщина образцов в месте пробоя была принята 2 мм и контролировалась прибором ИЗВ-1 с точностью до 0,01 мм. Исследования проводились в термокамере типа МПС-500 с интервалом рабочих температур от -70° до $+100^\circ\text{C}$ и специально смонтированным высоковольтным вводом на 300 кв. Температура в камере измерялась электрическим и ртутным термометрами с точностью до 1°C .

Партия образцов перед пробоем при заданной температуре выдерживалась в термокамере не менее 30 мин.

Пробивные характеристики снимались на электродах «стержень—плоскость». Молибденовый стержневой электрод диаметром 3 мм имел конус 30°. Плоскость диаметром 90 мм выполнялась из латуни. Однократные импульсы положительной полярности подавались на стержень, плоскость заземлялась. Электродное устройство с образцом помещалось в фарфоровый сосуд диаметром 120 мм, заполненный трансформаторным маслом с электрической прочностью 45 кВ в стандартном маслопробойнике. Это исключало возможность перекрытия образцов по поверхности при выбранных линейных размерах образцов.

Источником однократных высоковольтных импульсов служил многоступенчатый генератор импульсных напряжений с максимальной амплитудой 400 кВ и емкостью в разряде 1200 нкФ. Минимальная длина фронта импульса составляла 0,2 мксек и увеличивалась до 4 мксек включением в схему формирующих индуктивности 6 мГн и емкости 160 нкФ. Величина пробивного напряжения регистрировалась с помощью осциллографа ОК-19М2, включенного через активный делитель сопротивлением 8200 Ом.

Пробой образцов проводился на фронте однократного импульса. Вероятность пробоя принималась равной 90%. Каждая точка полученных характеристик построена на основе обработки 20 и более осциллограмм пробоя.

Результаты эксперимента и их обсуждение.

На рис. 1 представлены зависимости импульсных пробивных напряжений политетрафторэтилена в неоднородном поле от температуры при крутизнах фронта импульса $a = 500$ кВ/мксек (кривая 1), $a = 250$ кВ/мксек (кривая 2) и $a = 30$ кВ/мксек (кривая 3). Импульсы положительной полярности, толщина образцов в месте пробоя 2 мм.

С увеличением крутизны импульса пробивное напряжение политетрафторэтилена при неизменной температуре и прочих равных условиях во всем исследованном диапазоне температур от -40 до $+90^\circ\text{C}$ возрастает. Например, для температуры $+20^\circ\text{C}$ и крутизны 30, 250 и 500 кВ/мксек пробивные напряжения соответственно равны 65, 75 и 90 кВ. Полученное в наших опытах увеличение пробивного напряжения с ростом крутизны фронта импульса связано с явлением запаздывания разряда и хорошо согласуется с известными данными [6—7]. В интервале температур от 20 до $70\text{—}80^\circ\text{C}$ пробивные напряжения для всех крутизн остаются неизменными. С дальнейшим ростом температуры выше 80°C имеет место некоторая тенденция к снижению пробивных напряжений, причем максимальное снижение от значения при нормальной температуре (20°C) не превышает 7%. Сохранение пробивного напряжения практически неизменным при повышенных температурах закономерно, так как политетрафторэтилен обладает высокой термостойкостью. Заметное изменение физических свойств наблюдается при температурах выше 200°C [2].

Уменьшение температуры от 20 до $-10 \div -20^\circ\text{C}$ вызывает снижение пробивных напряжений в среднем не более, чем на 15%. С дальнейшим понижением температуры (до -40°C) пробивные напряжения возрастают до значений при нормальной температуре.

При уменьшении температуры от нормальной в полимерных диэлектриках происходит изменение соотношения между кристаллической и аморфной фазами [2]. С увеличением кристаллической фазы диэлектрика его механическая, а равно и электрическая прочности возрастают [5]. С другой стороны, при изменении структуры должны возникать внутренние механические напряжения, которые приводят к снижению пробивных напряжений.

Вероятно, что в температурном интервале структурных изменений материала ($+20 - 20^{\circ}\text{C}$) в условиях данного опыта при сравнительно малой выдержке образцов при неизменной температуре (30 мин.) преобладающее влияние оказывает второй фактор. Поэтому в указанной области температур имеет место снижение пробивных напряжений.

Поскольку при пробе на более низких температурах образцы по мере охлаждения находились в камере большее время, механические внутренние напряжения могли сниматься, и постепенное увеличение кристаллической фазы полимера обуславливало возрастание пробивных

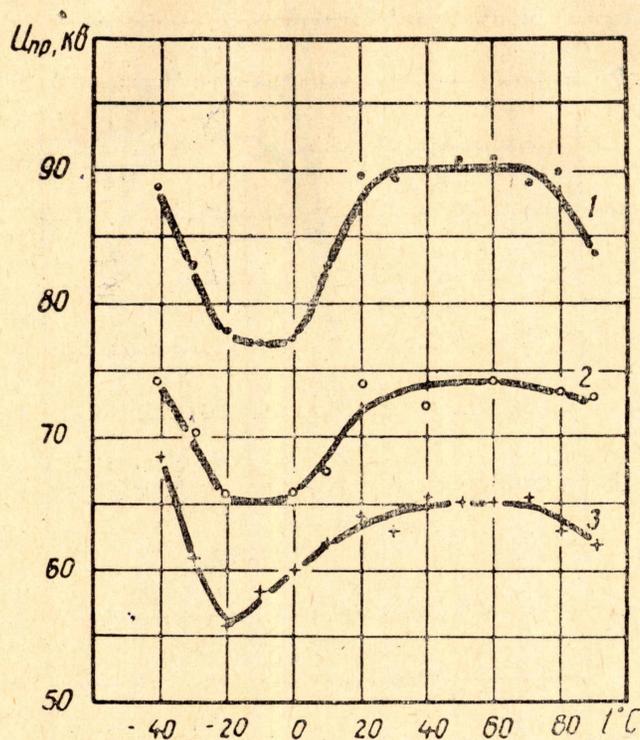


Рис. 1 Температурные зависимости импульсных пробивных напряжений политетрафторэтилена при различных крутизнах фронта. 1— $a=500$ кВ/мксек; 2— $a=250$ кВ/мксек; 3— $a=30$ кВ/мксек.

напряжений. Вышеизложенное объяснение изменения электромеханических свойств материала с изменением температуры подтверждается нашим дополнительным опытом. При температуре -20°C образцы выдерживались в течение 3 часов (вместо 30 мин). Величина пробивного напряжения при крутизне 250 кВ/мксек составила 77 кВ., т. е. оказалось практически равной напряжению при нормальной температуре.

На рис. 2 приведены значения пробивных напряжений полиэтилена высокой плотности (кривые 1,3) и низкой плотности (кривые 2,4) соответственно для крутизны фронта 500 и 30 кВ/мксек в интервале температур от -40 до $+90^{\circ}\text{C}$. Толщина образцов равна 2 мм, электроды стержень-плоскость, импульсы положительной полярности.

Зависимости пробивных напряжений полиэтилена и политетрафторэтилена от температуры подобны. Это вполне естественно, так как оба полимера неполярные и имеют примерно одинаковые электрофизические характеристики $/\epsilon, \text{tg}\delta/$ [2]. Основные толкования температурной зависимости пробивных напряжений политетрафторэтилена допустимы и для полиэтилена. Однако следует указать, что в связи с пониженной

термостойкостью полиэтилена его пробивные напряжения более круто снижаются с повышением температуры. Температурный интервал неизменных пробивных напряжений сдвигается в область более низких температур (60 — 70°C).

Результаты эксперимента позволяют сделать выводы:

1. В интервале температур от — 40 до + 90°C пробивные напряжения политетрафторэтилена и полиэтилена высокой плотности с увеличением крутизны фронта импульса возрастают.

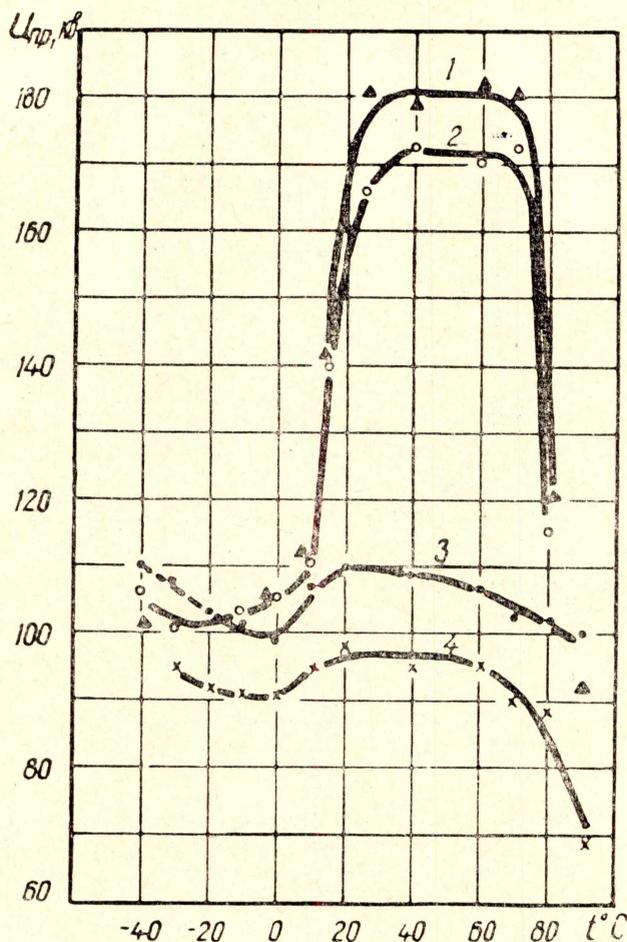


Рис. 2 Температурные зависимости импульсных пробивных напряжений полиэтилена высокой и низкой плотности при различных крутизнах фронта. 1 — полиэтилен высокой плотности, $a = 500$ кВ/мксек, 2 — полиэтилен низкой плотности, $a = 500$ кВ/мксек, 3 — полиэтилен высокой плотности, $a = 30$ кВ/мксек, 4 — полиэтилен низкой плотности, $a = 30$ кВ/мксек.

2. Пробивные напряжения политетрафторэтилена в интервале температур от 20 до 80°C и полиэтилена от 20 до 70°C остаются практически неизменными.

3. Увеличение температуры выше 70°C приводит к резкому снижению пробивного напряжения полиэтилена.

4. Для исследованных полимеров в диапазоне температур от 20 до — 20°C при выдержке образцов при неизменной температуре в течение 30 минут имеет место снижение пробивных напряжений, вызываемое структурными изменениями материала.

5. Уменьшение пробивных напряжений полиэтилена и политетрафторэтилена может не наблюдаться, если изменение в указанной области происходит длительное время, достаточное для снятия внутренних напряжений. Естественно, что определение точной границы влияния временного фактора при изменении температуры на импульсное пробивное напряжение различных полимеров требует дополнительных экспериментальных исследований.

ЛИТЕРАТУРА

1. Г. И. Скана ви. Физика диэлектриков (область сильных полей). Государственное издательство физико-математической литературы. Москва, 1958.
 2. А. Ф. Николаев. Синтетические полимеры и пластмассы на их основе. Издательство «Химия», Москва—Ленинград, 1964.
 3. Дж. Б. Беркс и Дж. Г. Шулман. Прогресс в области диэлектриков. т. I и II. Госэнергоиздат, 1962, 1963.
 4. А. Р. Хиппель. Диэлектрики и их применение. Госэнергоиздат, 1959.
 5. А. А. Воробьев, Е. К. Завадовская. Электрическая прочность твердых диэлектриков. ГИТТЛ, 1956.
 6. Г. А. Воробьев. Диссертация, Томск, 1956.
 7. А. А. Воробьев, Г. А. Воробьев. Известия АН СССР, Серия физическая, том XXIV, № 1, 1960.
-