

ВОЛЬТ-СЕКУНДНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТВЕРДЫХ ОДНОРОДНЫХ ДИЭЛЕКТРИКОВ

А. В. Астафуров, А. А. Воробьев, Г. А. Воробьев,
К. М. Кевролева

Вольт-секундные характеристики диэлектриков позволяют судить о скорости процесса пробоя диэлектриков, что важно знать при расчете изоляции электрических аппаратов.

Нами определены вольт-секундные характеристики большого числа твердых диэлектриков: монокристаллов NaCl, KCl, KBr и KJ, монокри-

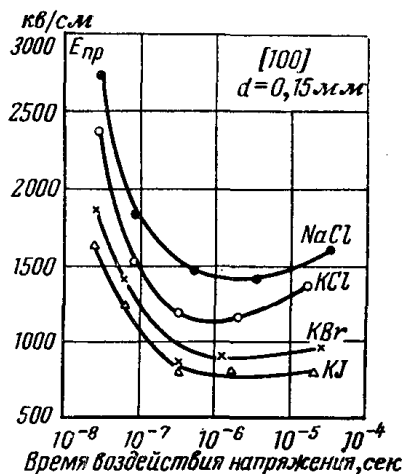


Рис. 1. Зависимость электрической прочности монокристаллов NaCl, KCl, KBr и KJ от времени воздействия напряжения.

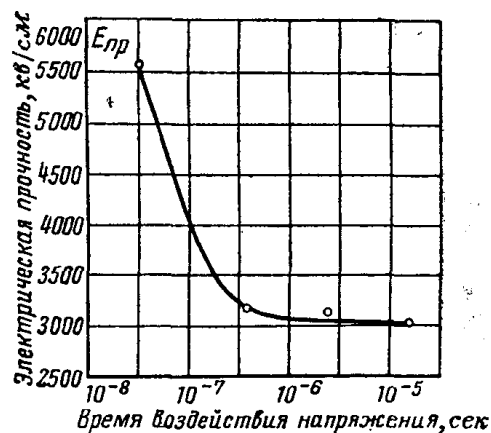


Рис. 2. Зависимость электрической прочности органического стекла от времени воздействия напряжения.

сталлов сегнетовой соли, льда, пластинчатого талька, содержащего кристаллизационную воду, фарфора и др.

Пробивные напряжения различных образцов одного и того же диэлектрика при одном и том же времени воздействия напряжения имеют большой разброс. При таких условиях встает задача правильного построения вольт-секундной характеристики. Следует учитывать, что наибольшее пробивное напряжение соответствует наиболее совершенному образцу. Опытные данные статистически обрабатывались по вероятности пробоя и брались значения пробивного напряжения при вероятности пробоя $\psi=90\%$. Вольт-секундные характеристики при вероятности пробоя, меньшей чем 90% , имеют одинаковый характер, но закономерности выражения слабее. Величины пробивного напряжения при вероятности пробоя $\psi=90\%$ определяются четырьмя—пятью наибольшими значениями пробивного напряжения при общем числе пробитых образцов, равном $20 \div 25$ при одной экспозиции.

На рис. 1, 2, 3 и 4 представлены вольт-секундные характеристики при пробое в однородном поле. На рис. 5 представлены вольт-секундные характеристики каменной соли при пробое в неоднородном поле.

Для всех исследованных диэлектриков толщиной $0,15 \text{ мм}$ повышение электрической прочности наблюдается при экспозиции $1 \cdot 10^{-7} \text{ сек}$ и

меньше, что указывает на одинаковый характер пробоя в этих различных по составу и по строению диэлектриках. Известно, что повышение пробивного напряжения при малых экспозициях, которое наблюдается и для газов и для жидких диэлектриков, обусловлено запаздыванием разряда.

В настоящее время сложилось мнение, что электрический пробой твердых диэлектриков является электронным процессом. Поэтому

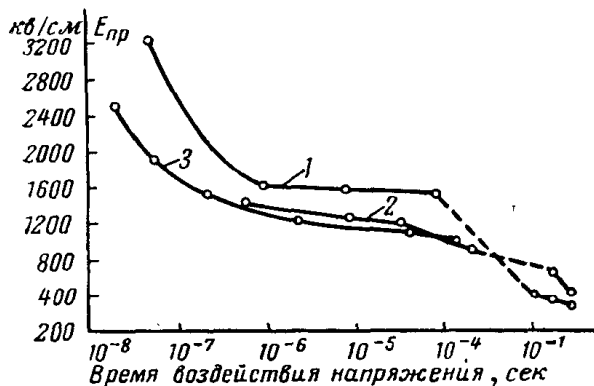


Рис. 3. Зависимость электрической прочности талька 1, льда 2 и гипса 3 от времени воздействия напряжения.

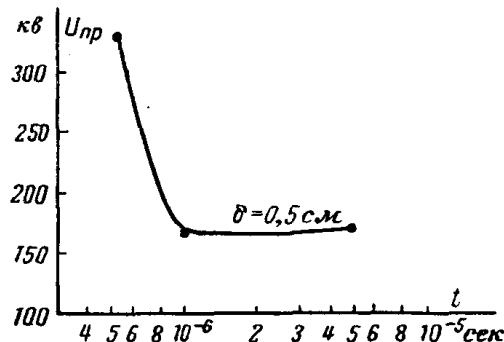


Рис. 4. Вольт-временная характеристика льда при пробое в однородном поле.

время запаздывания разряда в твердых диэлектриках, так же как и в газообразных, должно в общем случае состоять из статистического времени запаздывания и времени формирования разряда. В опытах А. Ф. Вальтера и Л. Д. Инге для пластинок неокрашенной и рентгенизован-

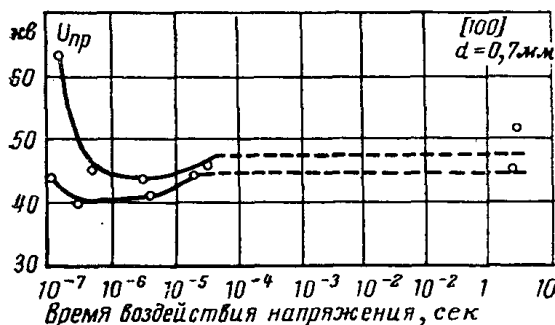


Рис. 5. Вольт-временная характеристика каменной соли NaCl при пробое в неоднородном поле.

верхняя — острие; нижняя + острие.

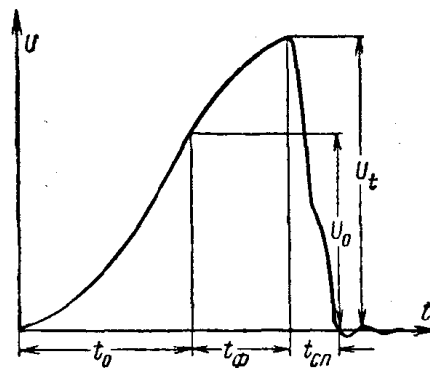


Рис. 6. График к определению времени формирования разряда (t_ϕ).

ной каменной соли в неравномерном поле было получено одинаковое время запаздывания в обоих случаях [1].

При экспозиции $2 \div 3 \cdot 10^{-8}$ сек также были получены одинаковые значения электрической прочности нерентгенизованной каменной соли и рентгенизованной, пробитой при сильном освещении [2]. Учитывая, что в рентгенизованных кристаллах при сильном освещении образуется большое количество свободных электронов, следует сделать вывод, что в каменной соли и, видимо, в других исследованных диэлектриках статистическое время запаздывания при экспозиции $2 \div 3 \cdot 10^{-8}$ сек практически отсутствует. Поэтому следует считать, что время запаздывания разряда в исследованных твердых диэлектриках есть время формирования разряда при данных условиях возрастания напряжения. Время формирования разряда t_ϕ определялось по осциллограмме напряжения, как это показано на рис. 6, где U_0 — пробивное напряжение при том времени воздействия, когда отсутствует запаздывание раз-

ряда, U_t — пробивное напряжение, когда уже есть запаздывание разряда. При этом брались значения пробивных напряжений при вероятности пробоя $\psi = 90\%$.

Считая, что при формировании разряд проходит через всю толщину диэлектрика d , мы определили среднюю скорость распространения разряда $v_{cp} = \frac{d}{t_{\phi}}$. Подсчитанные значения t_{ϕ} и v_{cp} приведены в табл. 1.

Таблица 1

№ п/п.	Исследованные диэлектрики	Экспозиция $6 \cdot 10^{-8}$ — $1,4 \cdot 10^{-7}$ сек		Экспозиция $2-3 \cdot 10^{-8}$ сек	
		3	4	5	6
1	NaCl, $d = 0,15$ мм	1,7	0,88	1,5	1,0
2	KCl, $d = 0,15$ мм	1,6	0,94	1,37	1,095
3	KBr, $d = 0,15$ мм	2,2	0,68	1,2	1,25
4	KJ, $d = 0,15$ мм	2,1	0,72	1,1	1,36
5	NaCl, $d = 0,3$ мм	3,0	1,0	Нет данных	
6	Сегнетова соль, $d=0,15$ мм	2,35	0,64		
7	NaCl, $d = 0,7$ мм;—острие	5,1	1,37		
8	NaCl, $d = 0,7$ мм;+острие	0,9	7,77		
9	Тальк пластинчатый, $d=0,15$ мм	1,95	0,78		
		Экспозиция $2-3 \cdot 10^{-7}$ сек			
10	Лед, $d = 0,5$ см	22,5	2,22	—	
11	Лед, $d = 1,0$ см	16,3	6,14	—	
12	Лед, $d = 1,5$ см	49,2	3,0	—	

Из табл. 1 можно сделать следующие выводы:

1. Средняя скорость распространения разряда в твердых однородных диэлектриках высокой прочности ($\sim 10^6$ в/см) порядка 10^8 см/сек. Такую величину можно принять при ориентировочном расчете вольт-секундной характеристики однородной твердой изоляции электрических аппаратов.

На рис. 7 приведена вольт-секундная характеристика катушки синхронного двигателя типа АМСО-1584 (600 квт, 6 000 в), полученная Н. А. Козыревым и Д. В. Шишман [3] опытным путем и перестроенная в относительных единицах по оси ординат. Ниже приведена вольт-секундная характеристика, рассчитанная нами из условия, что скорость распространения разряда равна $1,5 \cdot 10^8$ см/сек и толщина слоя изоляции $d = 1,5$ мм (10 слоев микаленты толщиной 0,15 мм [4]). При этих условиях время запаздывания составит $t_{\phi} = \frac{d}{v_{cp}} = \frac{0,15}{1,5 \cdot 10^8} = 10^{-7}$ сек. Методика построения этой кривой ясна из чертежа.

На рис. 7 видно, что обе характеристики значительно различаются, причем пологий спуск опытной характеристики, по-видимому, можно объяснить неоднородностью изоляции исследованного участка катушки и наличием воздушных включений. Пробой такой изоляции имел, видимо, сложный ступенчатый характер. На первый взгляд может показаться, что неоднородность изоляции выгодна с точки зрения грозозащиты, так как опытная характеристика лежит выше рассчитанной. Однако если бы избежать неоднородностей в изоляции и полного заполнения всех пустот твердым диэлектриком, то опытная характеристика была бы более полой, но пробивные напряжения были бы значительно больше.

2. Средняя скорость распространения разряда в случае однородного поля в толстых слоях ($d=0,5 \div 1,5$ см) в несколько раз больше, чем в тонких слоях ($d=0,15 \div 0,3$ мм).

3. Средняя скорость распространения разряда в каменной соли получилась значительно больше в случае положительной полярности острия. Такая же закономерность получилась в опытах по пробой монокристаллов KCl, KBr, KJ и органического стекла. Указанная закономерность по-

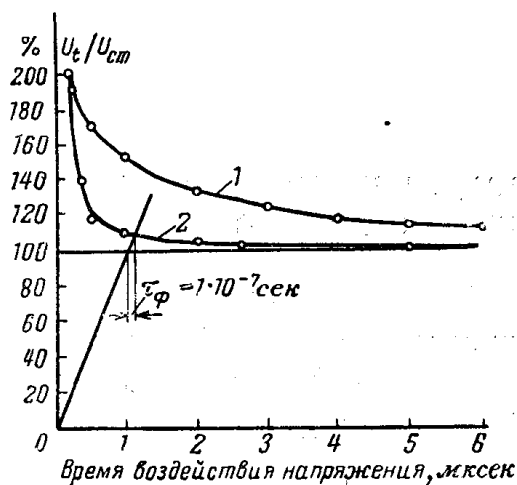


Рис. 7. Опытная 1 и рассчитанная 2 вольт-временные характеристики участка катушки АМСО-1584.

казывает, что импульсы положительной полярности опаснее для изоляции при воздействии на электрод, имеющий большую кривизну.

4. С увеличением перенапряжения скорость развития разряда увеличивается.

Литература

1. Вальтер А. Ф. и Инге Л. Д., ДАН СССР, т. 2, № 2, 65, 1934.
2. Воробьев А. А. и Воробьев Г. А., Исследование электрического пробоя каменной соли, содержащей центры окраски. Известия АН СССР, серия физическая, XXII, 4, 397—400, 1958.
3. Козырев Н. А. и Шишман Д. В., Труды научно-технической сессии по перенапряжениям, ГЭИ, 1950, стр. 293—310.
4. Под общей редакцией проф. Л. И. Сиротинского, Техника высоких напряжений, ч. 2, ГЭИ, 1953, стр. 185.