

ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ПРОЧНОСТЬ НЕКОТОРЫХ ЖИДКИХ ДИЭЛЕКТРИКОВ В НАНОСЕКУНДНОМ ДИАПАЗОНЕ ВОЗДЕЙСТВИЙ НАПРЯЖЕНИЙ

В. С. КОРОЛЕВ, Н. М. ТОРБИН

(Представлена научным семинаром научно-исследовательского института высоких напряжений)

В связи с развитием наносекундной импульсной техники и возможностью использования на импульсном напряжении в качестве изоляции жидкостей с большой диэлектрической проницаемостью [1—3], а также возможностью изучения физических процессов, происходящих при пробое [4], представляет интерес исследование электрической прочности жидких и твердых диэлектриков при малых временах воздействия напряжения.

Пробой жидких диэлектриков в наносекундном диапазоне напряжений в литературе освещен недостаточно и этому вопросу посвящены лишь отдельные работы [2, 3, 4].

Они показывают, что электрическая прочность некоторых жидкостей при временах воздействия напряжения порядка 10^{-8} и меньших может превышать электрическую прочность твердых диэлектриков.

Ниже приведены результаты экспериментальных исследований пробоя некоторых жидкостей технической очистки при временах воздействия напряжения $2 \div 3 \cdot 10^{-9}$ сек и расстояниях между электродами 0,3, 0,5, 0,8, 1,0 и 1,3 мм при отрицательной полярности острия.

В качестве исследуемых жидкостей были выбраны жидкости технической очистки: трансформаторное масло ($\epsilon = 2,2$), гексан ($\epsilon = 2,4$), глицерин ($\epsilon = 39$) и дистиллированная вода ($\epsilon = 80$).

Трансформаторное масло перед испытанием центрифугировалось, и его электрическая прочность в стандартном пробойнике была 180 кВ/см; гексан, глицерин и вода однократно дистиллированы.

Испытуемые жидкости обладают различными физико-химическими и диэлектрическими свойствами и они неоднократно подвергались исследованиям на пробой в широком диапазоне экспозиций напряжений. Источником высокого напряжения служил генератор наносекундных импульсов с максимальной амплитудой до 420 кВ и длиной фронта $\tau_f = 2\text{—}3$ нсек [5]. Для регистрации пробивного напряжения использовался осциллограф ОК-19М; градуировка осциллографа выполнена по методике [5].

Проба жидкости объемом около 100 см³ помещалась в пробойник из органического стекла, и пробойник затем помещался в рассечку центральной жилы коаксиальной линии генератора. Разряд происходил на разомкнутый отрезок коаксиальной линии длиной 20 см.

Пробой жидкости производился в системе электродов игла — игла и игла — плоскость. В качестве электродов использовались сталь-

ные иглы с радиусом закругления около 3 мк и латунная плоскость диаметром 25 мм с закругленными краями. Перед каждой серией опытов плоскость шлифовалась на фетровом круге с пастой ГОИ.

Междуэлектродные расстояния измерялись микрометром с точностью измерения до 0,01 мм. Пробы жидкостей пробивались на фронте импульса с $\tau_{\text{ф}} = 2,5$ нсек. При каждом значении междуэлектродного расстояния производилось 18—20 измерений и пробивное напряжение каждой точки определялось как среднеарифметическое.

После 6—7 пробоев жидкость заменялась и контролировалось состояние электродов и междуэлектродное расстояние.

Установлено, что после 5—8 пробоев наблюдалась сильная эрозия острия, и радиус закругления иглы изменялся от 3 мк до 10—12 мк. При этом пробивное напряжение повышалось приблизительно на 15% при неизменном междуэлектродном расстоянии и в дальнейшем в пределах разброса оставалось стабильным, а радиус закругления иглы оставался почти без изменений до 80—100 пробоев.

На рис. 1 и 2 представлены средние значения пробивной напряженности в зависимости от междуэлектродных расстояний для исследованных нами жидкостей. Из рис. 2, 3 видно, что в наносекундном

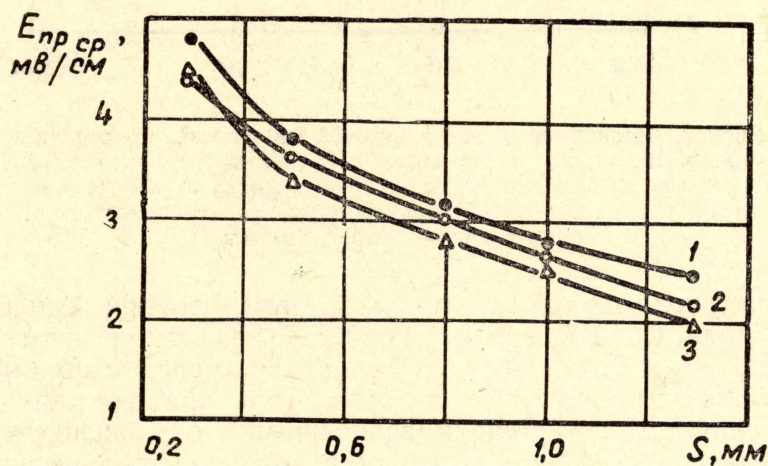


Рис. 1. Зависимость электрической прочности трансформаторного масла (1), гексана (2), дистиллированной воды (3) от расстояния между электродами. Электроды-острие отрицательное — плоскость заземлена

диапазоне времен трансформаторное масло, гексан, глицерин и дистиллированная вода в неоднородном поле при расстояниях между электродами $d = 0,3 \div 1,3$ мм обладают приблизительно одинаковой электрической прочностью. С уменьшением расстояния между электродами электрическая прочность исследованных жидкостей несколько увеличивается. При этом средние значения $E_{\text{пр}}$ в резконеоднородном поле приближаются к величинам $E_{\text{пр}}$ данных жидкостей в слабонеоднородном поле и временах до пробоя, меньших $5 \cdot 10^{-9}$ сек [3].

Указывается [3], что при напряженностях поля порядка 6 мВ/см, время разряда для промежутков $50 \div 500$ мк при временах воздействия около 5 нсек становится практически одинаковым.

В работе [6] установлено, что при крутизне фронта импульсной волны свыше 400 кВ/мсек средние скорости развития разряда становятся близки и достигают порядка 10^7 см/сек, при этом вспышки лидерного канала, характерного для полярной жидкости, не наблюдается.

Еще большая крутизна импульса напряжения ($50 \div 60$) 10^3 кВ/мксек в наносекундном диапазоне в наших экспериментах и работе [3] приводит к еще большим скоростям развития разряда (свыше 10^7 см/сек.). Тот факт, что электрическая прочность жидкостей, обладающих различными физико-химическими свойствами в наносекундном диапазоне воздействия напряжения ($\tau = 2 \div 4$ нсек), имеет одинако-

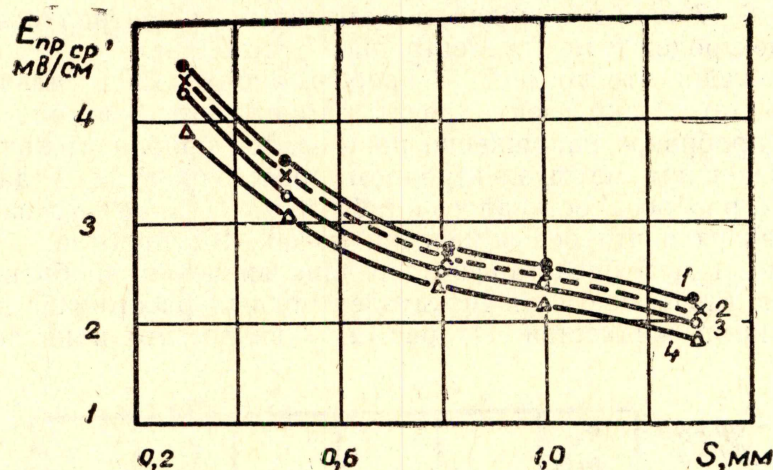


Рис. 2. Зависимость электрической прочности трансформаторного масла $U_{пр} = 180$ кВ/см (1), гексана (2), дистиллированной воды (3), трансформаторного масла $U_{пр} = 44$ кВ/см (4) от расстояния между электродами. Electroды-острие отрицательное — острие заземлено

вую электрическую прочность, говорит о том, что при больших напряжениях поля формирование разряда в различных жидкостях происходит одинаково. Взаимодействия лавин электронов с ионами и молекулами жидкости, играющими большую роль при формировании разряда и в значительной степени зависящими от физико-химических свойств жидкости при формировании разряда в относительно слабых электрических полях, вероятно, играют второстепенную роль при пробое жидкостей с большими перенапряжениями в области наносекундного диапазона напряжений.

Одинаковая электрическая прочность в наносекундном диапазоне напряжений при пробое твердых кристаллических диэлектриков щелочногалогенидного ряда (NaCl, KCl, KBr, KI) наблюдалась при временах около $5 \cdot 10^{-9}$ сек [8].

Полученные результаты автор [8] объясняет нивелировкой времен запаздывания: твердые диэлектрики, обладающие меньшей электрической прочностью, имеют большие времена запаздывания в микросекундном диапазоне воздействия напряжения и наносекундном диапазоне они пробиваются при более высоких напряжениях, так как пробой производится на фронте экспоненциально растущего импульса.

Указывается [4], что времена запаздывания разряда в наносекундном диапазоне напряжений подчиняются нормальному закону распределения, в то время как в [3] получено распределение времен запаздывания по экспоненте.

Измеренные нами времена запаздывания разряда в трансформаторном масле и воде (рис. 3) в зависимости от расстояния между электродами для каждого расстояния достаточно хорошо укладываются на кривые Лауэ [7], при этом с увеличением расстояния между

электродами наблюдается почти линейное увеличение времен запаздывания разряда. Если считать, что время запаздывания разряда в наносекундном диапазоне напряжений состоит из времени формирования разряда [4], то можно ожидать линейное увеличение времени

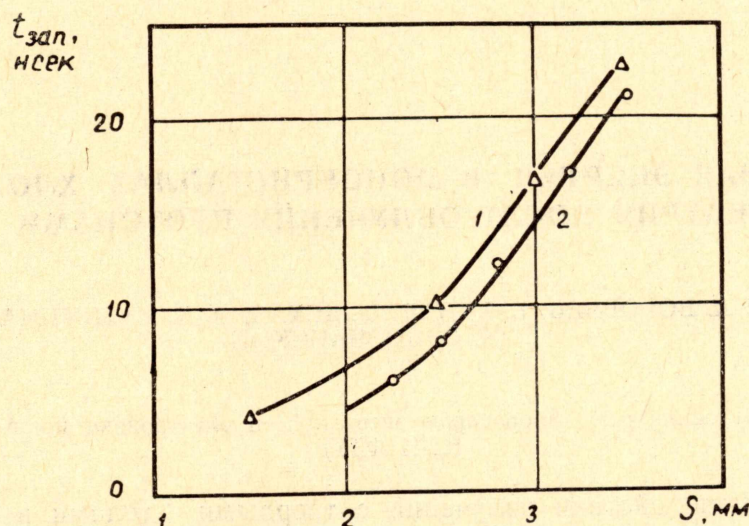


Рис. 3. Зависимость времени запаздывания разряда от расстояния между электродами: 1 — дистиллированная вода, 2 — трансформаторное масло

запаздывания разряда с увеличением расстояния между электродами, как у нас на рис. 3, но постоянство времени разряда при изменении длины промежутка от 50 до 500 мк при почти одинаковых напряженностях поля [3] пока объяснить трудно.

Таким образом, полученные нами результаты подтверждают возможность использования в качестве изоляции в наносекундном диапазоне напряжений дистиллированной воды, глицерина и, вероятно, других жидкостей, которые обладают плохими изолирующими свойствами в обычных условиях. Для выяснения процессов, происходящих при пробое жидкостей в области наносекундного диапазона напряжений, требуются дальнейшие исследования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Под ред. А. А. Рухадзе. Взрывающиеся проволоочки. ИЛ., М., 1963.
2. Н. С. Руденко, И. В. Цветков. ЖТФ, XXXIV, в. 6, 1964.
3. Н. С. Руденко, В. И. Цветков. ЖТФ, XXXV, в. 10, 1965.
4. A. J. Beddow, J. E. Brignell, Electron. Letters, vol 1, № 9, 1965, Electron. Letters, vol 2, № 4, 1966.
5. Г. А. Воробьев, Н. С. Руденко. ПТЭ, № 1, 1965.
6. В. Я. Ушаков. ЖТФ, XXXV, в. 10, 1965.
7. J. B. Birks, Progress in Dielectrics, 4, 1962.
8. М. А. Мельников. Изв. вузов — Физика, № 5, 1958.