

## УВЕЛИЧЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОЧНОСТИ ВОДЫ В СИСТЕМЕ С "ДИФфуЗИОННЫМИ" ЭЛЕКТРОДАМИ

*В.В.Воробьев, В.А.Капитонов, Э.П.Кругляков*

Приведены результаты исследования электрической прочности чистой воды при экранировании электронов тонкими проводящими слоями. Установлено, что экранирование поверхностей электродов существенно увеличивает электрическую прочность воды.

Известно, что пробой жидкости обычно начинается с поверхности электрода [1]. Одна из возможных причин поверхностного пробоя может быть связана, например, с присутствием на поверхностях микронеоднородностей, приводящих к усилению электрического поля. В этом случае эксперименты по пробое жидкости будут характеризовать не столько ее электрическую прочность, сколько приэлектродные процессы.

Для исключения влияния приэлектродных явлений на пробой жидких диэлектриков Рютовым [2] предложено создавать у поверхностей электродов проводящие слои с плавно спадающей в глубь жидкости проводимостью и эффективной толщиной, существенно превышающей размер микронеоднородностей, но много меньшей расстояния между электродами. Реализация данного предложения позволяет изучать собственно объемный пробой жидкостей в более чистых условиях.

В данной работе приводятся результаты исследования электрической прочности чистой воды ( $\rho \sim 10^6$  ом·см) в однородном поле при экранировании электродов тонкими проводящими диффузионными слоями. На плоский промежуток с зазором  $d = 3$  мм, при диаметре электродов  $D = 30$  мм, подавался ступенчатый импульс напряжения с амплитудой  $U = 60 \div 200$  кВ и передним фронтом  $\tau \sim 0,3$  мксек от генератора импульсных напряжений. В экспериментах использовались сплошные и пористые (с размером пор  $\sim 2 \div 5$  мк) электроды из нержавеющей стали. Диффузионные слои формировались медленным (чтобы не возникло перемешивания жидкости) продавливанием проводящих растворов сквозь пористые электроды.

Опасность возникновения конвекционных потоков из-за неустойчивости Рэлея – Тейлора для границы жидкостей с различными плотностями в поле тяжести была устранена следующим образом: через нижний электрод вводился раствор  $\text{CuSO}_4$  в воде с плотностью несколько большей плотности воды, а через верхний электрод – раствор  $\text{FeCl}_3$  в этиловом спирте с плотностью несколько меньшей плотности воды.

Благодаря возникновению в окрестностях электродов градиентов показателя преломления в присутствии проводящих слоев, их толщина могла контролироваться методом Теплера.

При наложении электрического поля слои могут разрушаться под действием пондеромоторных сил<sup>1)</sup>. Однако, как следует из простых оценок

<sup>1)</sup> В тех случаях, когда пробой не происходил (при пониженных напряжениях на зазоре), эффект перемешивания слоев под действием пондеромоторных сил наблюдался экспериментально. При пробое промежутка этот эффект маскируется послепробойным перемешиванием жидкостей, связанным с движением стримера.

(см. [2]), в условиях наших экспериментов характерное время разрушения слоев превосходит 100 мксек и не может повлиять на время запаздывания пробоя, которое в типичных условиях не превышало 5 мксек.

Как отмечалось в работе [1], в однородном поле при временах  $t \lesssim 1$  мксек пробой развивается с положительного электрода. Поэтому эксперименты были начаты с исследования пробоя промежутка при экранировке проводящим слоем только анода<sup>1)</sup>. При этом в качестве катода использовался сплошной электрод. Толщина слоя составляла  $\sim 0,2 - 0,3$  мм. Величина пробивной напряженности электрического поля определялась с помощью эффекта Керра в воде. В качестве источника света использовался гелий-неоновый лазер ЛГ-75 ( $\lambda = 6328 \text{ \AA}$ ); регистрация керрограмм осуществлялась с помощью ФЭУ-30, сигнал с которого подавался на осциллограф И2-7. Напряженность поля, вычисленная таким образом, удовлетворительно согласуется с напряженностью поля, определяемой по амплитуде напряжения на электродах и по эффективному зазору промежутка, измеренному методом Теплера.

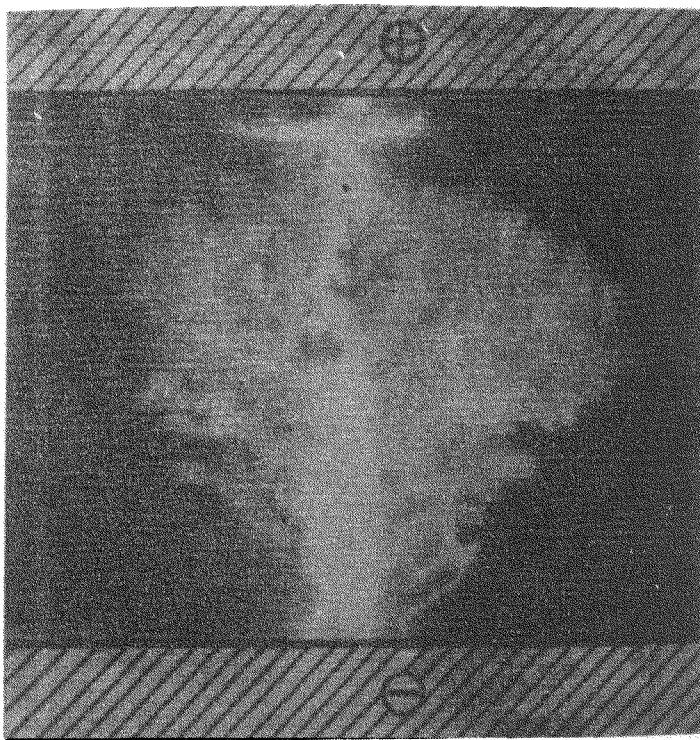


Рис. 1

Одновременно проводилась интегральная съемка пробоя. Одна из фотографий представлена на рис. 1. По направлению ветвей стримерного образования можно заключить, что пробой в присутствии диффузионного слоя у анода развивается с катода. На снимке хорошо видна граница слоя у анода в виде светлой полосы, параллельной плоскости электрода.

1) Отметим, что процедура очистки зазора от загрязнений и приготовления слоев повторялись каждый раз перед подачей напряжения на зазор.

Эксперименты с созданием проводящего слоя только у катода показали, что никаких заметных изменений в характере пробоя не наблюдается. На основании этих результатов можно сделать вывод, что при пробое промежутка, ограниченного сплошными электродами, катодные процессы не влияют на формирование пробоя с анода.

На рис. 2 представлены результаты по измерению пробивной напряженности электрического поля в зависимости от времени запаздывания пробоя. Как видно из рисунка, при временах запаздывания пробоя  $t \lesssim 3$  мксек в случае одного диффузионного слоя (анодного) достигается заметное увеличение пробивной напряженности по сравнению со случаем сплошных металлических электродов. С увеличением времени запаздывания пробоя наблюдается сближение вольтсекундных характеристик.

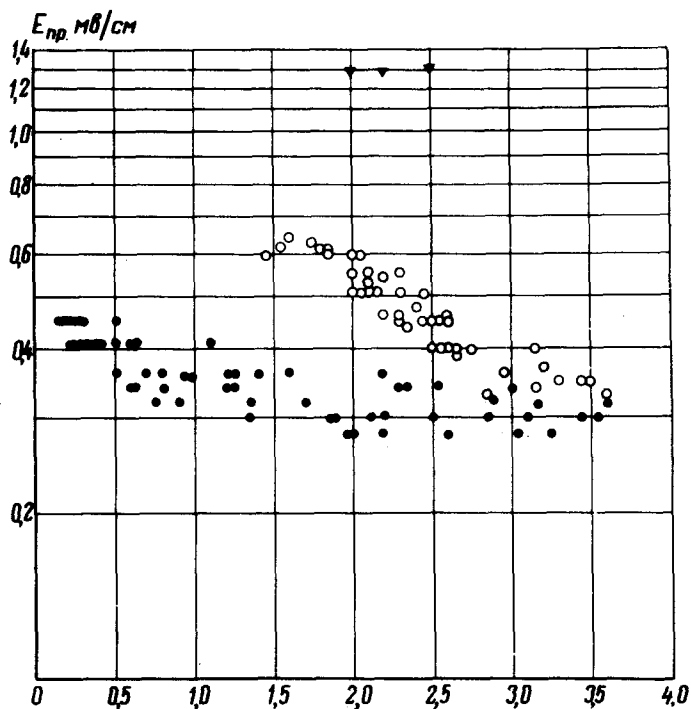


Рис. 2. Зависимость времени запаздывания пробоя от напряженности поля в промежутке: ● — случай сплошных металлических электродов; ○ — анод экранирован проводящим слоем; ▼ — оба электрода экранированы проводящими слоями

Исчезновение эффекта упрочнения при  $t \gtrsim 3$  мксек в экспериментах с одним анодным слоем согласуется с результатами интегральной съемки пробоя промежутка, ограниченного сплошными электродами для того же интервала времени запаздывания. На этих снимках наблюдалось развитие пробоя и, соответственно, закорачивание промежутка как с анода, так и с катода.

В верхней части рис. 2 приведены предварительные результаты, соответствующие пробое воды при создании двух диффузионных слоев.

Эффективный зазор в этих экспериментах составлял  $\sim 1,5$  мм. Как видно из рисунка, экранирование двух электродов приводит к существенному увеличению электрической прочности воды, что позволяет, более чем на порядок увеличить плотность энергии в высоковольтных накопителях энергии.

Авторы благодарят Г.И.Будкера за поддержку работы, Д.Д.Рютова за интерес к работе и полезные дискуссии в процессе ее осуществления а также В.М.Федорова за обсуждение результатов.

Институт ядерной физики  
Академии наук СССР  
Сибирское отделение

Поступила в редакцию  
22 ноября 1973 г.

### Литература

- [1] А.П.Алхимов, В.В.Воробьев, В.Ф.Климкин, А.Г.Пономаренко, Р.И.Солоухин. ДАН СССР, 194, №5, 1970.
- [2] Д.Д.Рютов, ПМТФ, №4, 1972.
-