

*Сергиенко С. Н.**к.т.н., доц.,**Малюта Е. Р.**аспирант**ГОУ ВО ЛНР «ДонГТИ», г. Алчевск, ЛНР*

РАЗРЯД В ЖИДКОСТИ

Развитие представлений о физическом механизме электрического пробоя жидкостей прошло очень сложный путь. Еще в начале двадцатого столетия четко определились два принципиально различных подхода к явлению электрического разряда в жидкостях. Согласно одному из них, электрический разряд в жидкости является разрядом в газовых полостях, которые либо присутствуют в жидкости и на электродах, либо образуются при воздействии напряжения (электролиз, вскипание, кавитация, разложение под действием электронной бомбардировки). Этот механизм разряда обычно называют «пузырьковым». Сторонники иного подхода разряд в жидкости рассматривают как следствие лавинообразного размножения свободных носителей зарядов в самой жидкости и используют модель, которая, по существу, является моделью газового разряда, распространенной на жидкую фазу вещества. Они считают, что в сильных полях электроны могут ускоряться в жидкости и ионизовать молекулы и атомы. Электрическую прочность жидкости через длину свободного пробега электронов, поперечное сечение взаимодействия и энергию ионизации связывают с молекулярной структурой жидкости.

В настоящий момент выделяется четыре возможных механизма инициации разряда в жидкости [1]: пузырьковый, микровзрывной, ионизационный и электротепловой. Ниже приведены основные характеристики перечисленных механизмов. Если не указано иное, речь идет о жидкостях с низкой начальной проводимостью.

Первый механизм инициации разряда — пузырьковый, в котором главную роль играют пузырьки, существовавшие в жидкости и на электродах до подачи импульса напряжения. Согласно основной пузырьковой модели, пузырьки диаметром до нескольких десятков микрон присутствуют, в основном, на электродах [2]. В случае, если амплитуда приложенного напряжения достаточна для наведения на противоположных полюсах пузырька некоторой критической разности потенциалов, в них начинается процесс ионизации, аналогичный процессу ионизации в коротком газовом промежутке (частичный разряд). После разряда результирующее поле внутри пузырька ослабевает вследствие его экранировки зарядами, осевшими на поверхности пузырька, и процесс ионизации либо ослабевает, либо прекращается полностью. Под действием внешнего электрического поля осевшие заряды направляются вглубь жидкости, приводя таким образом к деформации пузырьков. Скорость перемещения при этом определяется подвижностью носителей зарядов. Процесс продолжается периодически до тех пор, пока напряженность электрического поля на полюсе пузырька в жидкости не достигнет критического значения для зажигания разряда в жидкости.

Количественно такая модель направлена на оценку времени пробоя приэлектродного пузырька и на оценку общего времени развития разряда (от момента подачи импульса до момента замыкания промежутка хорошо проводящим каналом) с целью верифицировать модель по существующим экспериментальным данным, которые приводятся именно для полного времени пробоя. Такой механизм инициации разряда наиболее вероятен для недегазированных жидкостей при приложении импульсов напряжения длительностью от десятых долей до десятков микросекунд.

Второй механизм инициации — микровзрывной, характеризуется следующими этапами его развития: эмиссия электронов (в случае инициации на катоде) или ионизация молекул жидкости (при инициации на аноде); сильный локальный разогрев жидкости токами появ-

вившихся носителей заряда и её взрывное вскипание; образование ударной волны; взрывное вскипание жидкости за фронтом ударной волны; ионизация в парогазовых пузырьках; инициация канала разряда [3].

Данный механизм реализуется при высоких значениях напряженности электрического поля вблизи поверхности высоковольтного электрода, малых радиусах скругления электрода, и, как правило, в коротких межэлектродных промежутках. Количественные оценки полного времени задержки пробоя основываются на оценке времени появления хотя бы одного парового пузырька, возникающего при взрывном вскипании жидкости вблизи поверхности электрода.

Третий механизм инициации разряда — ионизационный. Для его реализации перенапряжение на электродах должно быть сверхвысоким (10^8 В/см), а время нарастания напряжения очень коротким (10^{-9} с). При этом происходит ионизация непосредственно молекул жидкости (за счет ударной или автоионизации) и не наблюдается предварительного фазового перехода. Ионизационный механизм — один из самых сложных как для экспериментального наблюдения, так и для расчетно-теоретических исследований. Подход к моделированию ионизационного механизма развивается из представлений о стримере как о волне ионизации, т. е. сводится к решению транспортных уравнений, учитывающих механизмы зарождения и гибели носителей заряда в канале разряда [1].

Четвертый, электротепловой механизм инициации реализуется следующим образом: локальный разогрев жидкости вблизи высоковольтного электрода токами проводимости; фазовый переход в этой области; ионизация в образовавшейся парогазовой области; образование начального плазменного канала разряда. Такой механизм обычно реализуется при больших значениях произведения времени воздействия импульса напряжения и электропроводности жидкости. Поскольку длительность импульса напряжения редко превышает миллисекунду, проводимость жидкости должна быть достаточно большой для развития разряда по электротепловому механизму [4]. Отличительной особенностью рассмотренного механизма, который подразумевает возможность протекания больших предразрядных токов, является принципиальная возможность развития разряда с низкими скоростями роста канала.

Не смотря на существование описанных механизмов инициации, до настоящего времени не сформулировано единой теории пробоя жидкости. Рассматриваются либо пробой по газовому механизму, либо прямая ионизация в жидкой фазе, поэтому поведение разряда в жидкости требует дальнейшего продолжения исследований.

Список литературы

1. Пробой жидкостей при импульсном напряжении / В. Я. Ушаков [и др.] ; под ред. В. Я. Ушаков. — Томск : Изд-во НТЛ, 2005. — 488 с.
2. Korobejnikov, S. M. Model of prebreakdown processes in liquids under pulse voltage / S. M. Korobejnikov, E. V. Yanshin // Ninth International Conference on Conduction and Breakdown in Dielectric Liquids. — 1987. — P. 398–402.
3. Климкин, В. Ф. Механизмы электрического пробоя воды с острейшего анода в наносекундном диапазоне / В. Ф. Климкин // Письма в Журнал технической физики. — 1990. — Т. 16. — Вып. 4. — С. 54–58.
4. Gosse, J. P. Electric conduction in dielectric liquids / J. P. Gosse // IEEE Trans. El. Ins. — 1986. — Vol. 21. — P. 503–517.