

ЭЛЕКТРОВЗРЫВНАЯ НЕЛИНЕЙНАЯ, ОБЪЕМНАЯ КАВИТАЦИЯ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕАКТОРАХ.

Часть 1. (ЭЛЕКТРОРАЗРЯДНОЕ ГЕНЕРИРОВАНИЕ ГАЗОВОЙ ФАЗЫ – ЗАРОДЫШЕЙ КАВИТАЦИИ)

*Институт импульсных процессов и технологий НАН Украины,
просп. Октябрьский, 43 А, г. Николаев, 54018, Украина*

Большая группа разрядно-импульсных технологий (РИТ) основывается главным образом на возможности генерирования подводными электрическими разрядами в реакторах мощной нелинейной объемной кавитации. В первую очередь к ним относятся РИТ обработки малоразмерных объектов, таких, как волоконные или мелкодисперсные структуры неорганического или органического происхождения.

Нами экспериментально подтверждена качественная физическая модель электроразрядной нелинейной объемной кавитации (ЭРНОК). Она базируется на представлении о возникновении газовой фазы в предпробойной стадии подводного электрического разряда, из которой формируется масса зародышей кавитации, превращающихся в обширную кавитационную область на послеразрядной стадии в поле волн разряжения, которое генерирует коллапсирующая послеразрядная полость. Впервые экспериментально зарегистрирован полный цикл зарождения, развития, угасания и исчезновения электроразрядной кавитационной области в реакторе, время жизни которой многократно превышает время активной стадии подводного электрического разряда (может достигать 500 мс и больше).

В наших ранних работах [1] отмечалось влияние электроразрядной кавитации на процессы тонкого измельчения минеральных сред, но механизм возбуждения такой кавитации не рассматривался из-за отсутствия прямых экспериментальных данных о ее генезисе. Первые результаты были установлены и опубликованы [2], но прямой однозначной связи предпробивных процессов с послеразрядной кавитацией еще не удалось установить, хотя при анализе экспериментальных данных такие гипотетические мысли были высказаны.

Однако в работе [2] была наработана масса экспериментальных фактов в пользу полного осмысления генезиса электроразрядной кавитации и роли предпробойной стадии разряда в ее генерировании, но цель работы была иной и эта сторона явления тогда не анализировалась.

Значительно позже в работе [3], посвященной практическому применению предпробивных явлений в воде, высказано предположение о существенной их роли в генерировании ультразвука импульсным электрическим полем непосредственно в объеме жидкости. При этом авторы [3] называли совершенно фантастические частоты ультразвука – до 10^{10} Гц и выше, что экспериментально не подтверждалось и, конечно, является ошибочным предположением. Однако высказанная здесь же мысль о возможности управляемой перестройки основной частоты ультразвука за счет изменения параметров электрического поля (то есть через изменения механизма предпробивных явлений) была правильной и в нужном направлении – изучение генезиса электроразрядной кавитации.

Основные методические положения

Нами были проведены исследования процессов газовыделения при формировании электрического пробоя воды в основном по методике, изложенной в [2]. Образцы воды имели различное исходное удельное сопротивление, которое выбиралось таким образом, что обеспечивался пробой и по электротепловому механизму, и по электрическому в соответствии с [4]. По первому обеспечивалось предпробойное газовыделение в разрядном промежутке, по второму – гарантировался его минимум. При этом обеспечивалась и соответствующая напряженность электрического поля в разрядном промежутке. Использовалось также внешнее магнитное поле, в значительной степени подавляющее предпробойное газовыделение [2] в большей части диапазона варьирования удельным сопротивлением воды.

Использовалось предположение, что процесс возбуждения электроразрядной кавитации значительно усиливается использованием предпробойных явлений, которые служат источниками газовых микропузырьков–зародышей кавитации. При исследовании предпробойных явлений как процессов генерирования зародышей кавитации, использовалась плоская разрядная камера объемом $0,6 \text{ дм}^3$, снабженная вольфрамовыми электродами диаметром 2 мм с заточкой острия на угол при вершине от 20 до 30° , обращенный в разрядный промежуток и радиусами закруглений, которые обеспечивали заданную напряженность электрического поля в интервале $1 \cdot 10^7 - 2 \cdot 10^8 \text{ В} \cdot \text{м}^{-1}$. Величина разрядного промежутка варьировалась от $0,002$ до $0,020 \text{ м}$. Использовалась батарея из четырех конденсаторов ИМН100-0,1, которые включались в различных сочетаниях параллельно, последовательно или смешанно так, что емкость накопителя установки могла изменяться от $0,05$ до $0,4 \text{ мкФ}$. Устанавливалось рабочее напряжение от 3 до 10 кВ и от 15 до 25 кВ .

Разрядная камера была снабжена вакуумным вводом дополнительной оптической системы на основе световода передачи изображения для наблюдения пространственно-временной картины происходящих процессов в двух взаимно перпендикулярных направлениях. В таком варианте использовались две установки ВФУ-1. Основной коэффициент увеличения $K_\phi = 15$. Применялся мощный импульсный осветитель, который обеспечивал равномерную достаточную освещенность кадрового окна как по площади, так и по времени. Неравномерность освещенности в поле кадра не превышала 5% . Для выравнивания освещенности применялось стандартное выходное, матовое стекло. Импульс света имел плоскую вершину длительностью 400 мкс , передним фронтом длительностью 80 мкс и срезом 300 мкс . Тело свечения образовывалось импульсными лампами ИФК-50. Имелась схема задержки синхроимпульса для управляемого запуска ВФУ. Скорость съемки была принята от 125000 до 400000 кадров/с .

Электрический взрыв в воде в целом длится сотни миллисекунд и проходит по стадиям: формирования пробоя, или предпробойная; собственно пробоя и активного преобразования энергии в канале электрического разряда (КЭР); послеразрядная.

При осуществлении средних по мощности разрядов стадия формирования пробоя длится от нескольких сотни микросекунд, стадия активного преобразования энергии в КЭР – от нескольких десятков до нескольких сотен микросекунд, а послеразрядная стадия, как считалось до последнего времени, от нескольких сотен микросекунд до нескольких миллисекунд.

Пока что не существует такой кинорегистрирующей моноблочной аппаратуры, которая позволила бы в деталях рассмотреть такой процесс, быстропротекающие стадии которого, представляющие самостоятельное физическое явление (в целом непрерывном процессе), длятся от $1 \cdot 10^{-6}$ до хотя бы $2 \cdot 10^{-3} \text{ с}$. В то же время, из косвенных наблюдений за последовательностями разрядов с частотой посылок импульсов свыше $1,5 \text{ Гц}$, ясно, что длительность третьей стадии может простираться, по крайней мере, вплоть до $1 \cdot 10^{-1} \text{ с}$. Попытки рассмотреть и зарегистрировать для одного единичного разряда все стадии с помощью нескольких сблокированных кинорегистраторов были неудачными, поскольку в этом случае резко осложняются проблемы расположения всей оптической аппаратуры относительно объекта наблюдения, обеспечения разных требований к системам подсветки процессов, наладки систем синхронизации пусков и остановок съемки процессов и т.п.

Путем анализа результатов наших предшествующих исследований установлено, что предпосылки последующих кавитационных процессов нужно пытаться обнаружить при изучении предпробойной стадии ЭВ в водных электролитах с удельным сопротивлением от 6 до $8000 \text{ Ом} \cdot \text{м}$. При этом следует захватить кинорегистратором уже только первые от 10 до 20 мкс после возникновения пробоя. Соответственно этому скоростной кинорегистратор запускался заведомо задолго до наступления электрического пробоя так, чтобы гарантированно зафиксировать в кадре вспышку разряда и принять ее за момент окончания предпробойной стадии разряда.

Экспериментальные исследования

По определению кавитация заключается в образовании разрывов сплошности тех участков жидкости, в которых в результате перераспределения давления, вызванного движением жидкости, происходят значительные местные понижения давления. Но сами кавитационные разрывы жидкости могут возникнуть только на зародышах кавитации после возбуждения в жидкости отрицательного (растягивающего) давления. Минимальная величина такого давления называется кавитационной прочностью жидкости.

Теоретически кавитационная прочность чистой воды составляет несколько десятков мегапаскалей, однако наличие в реальной воде различных нерастворимых примесей и газов сильно понижают ее прочность. При этом из всех разнообразных примесей, содержащихся в жидкости, на ее электрическую прочность существенное влияние могут оказывать только газовые или паровые пузырьки.

В обычной отстоявшейся воде таких пузырьков-зародышей сравнительно немного, и чтобы вызвать мощную кавитацию необходимо каким-то образом генерировать их до возбуждения в жидкости растягивающих напряжений. Естественными генераторами зародышей кавитации в электро-разрядных реакторах могут стать явления, происходящие на предпробойной стадии.

Известно [5], что явление кавитации сильно зависит от количества газовой фазы в кавитирующей жидкости. Величина давления p_m , соответствующая порогу возникновения кавитации в воде зависит от величины радиуса R_0 , зародыша кавитации. В интервале изменения R_0 от $1 \cdot 10^{-4}$ до $1 \cdot 10^{-3}$ см порог возникновения кавитации составляет $p_m \approx 0,1$ МПа. Увеличение R_0 до $1 \cdot 10^{-2}$ см снижает p_m до 0,03 МПа.

Уменьшение R_0 быстро повышает порог возникновения кавитации. Так, для $R_0 = 1 \cdot 10^{-5}$ см – $p_m \approx 1$ МПа, для $R_0 = 1 \cdot 10^{-6}$ см – возрастает до 10 МПа, для $R_0 = 1 \cdot 10^{-7}$ см – $p_m \approx 50$ МПа.

В отстоявшейся воде отсутствуют пузырьки с $R_0 > 10^{-3}$ см, свежая водопроводная вода имеет существенно более низкую кавитационную прочность, поскольку в ней присутствует значительное количество зародышей кавитации с радиусом $R_0 > 10^{-3}$ см.

Необходимо оценить возможность генерирования газовой фазы самим электрическим разрядом, естественно, в его предпробойной стадии. Такая диспергированная газовая фаза и должна служить источником зародышеобразования ЭРНОК.

Существуют различные физические представления о предпробойной стадии электрического разряда. По 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, разложение под действием электронной бомбардировки) [4]. Образование газа может происходить за счет локального (вблизи геометрических неоднородностей на катоде) разогрева жидкости. Условием пробоя является нарушение равенства энергии, необходимой для вскипания некоторой массы жидкости m и энергии W , выделяемой в жидкости.

Ранее и нами показано [2], что в предпробойной стадии практически всегда выделяется газовая фаза, но для отличающихся режимов пробоя и свойств среды в разрядном промежутке ее выделяется различное количество. На рис. 1, по данным нашей работы, приводится зависимость газовой выделенности от удельного сопротивления рабочей жидкости в обычных условиях, при пониженном давлении и в магнитном поле. Все разряды осуществлялись в режиме самопробоя. Предпробойные процессы во всех этих растворах при выбранных давлениях сопровождаются более или менее интенсивным газовой выделением. Но ясно, что в магнитном поле газовой выделенности всегда меньше, за исключением двух аномалий – в растворах с $\rho = 12$ Ом·м в магнитном поле, где газовой выделенности больше, чем при нормальном внешнем давлении в два раза, и даже больше, чем при пониженном давлении – в 1,8 раза. В то же время при изменении ρ от 60 до 800 Ом·м в магнитном поле газовой выделенности практически полностью отсутствует.

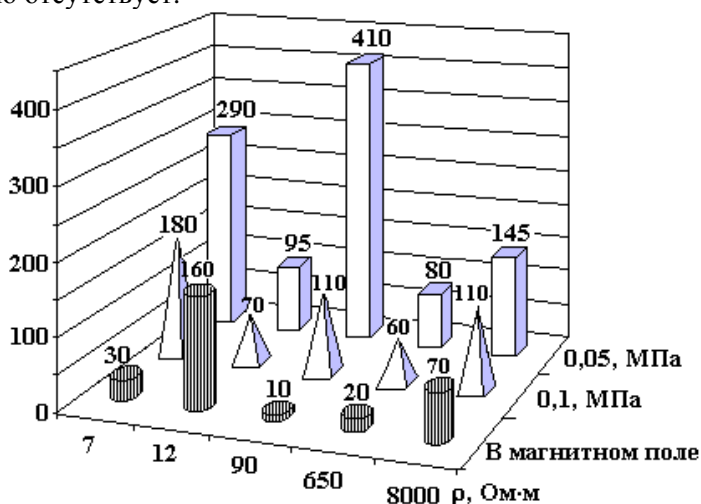


Рис. 1. Зависимость относительного газосодержания V от удельного сопротивления жидкости ρ в разрядной камере гипотезой с уменьшением предпробойного газовой выделенности кавитация на послеразрядной стадии должна заметно ослабляться.

Это указывает на необходимость проведения исследования кавитации на послеразрядной стадии для разрядов с высоким газовой выделением в предпробойной стадии и разрядов с заведомо малым или нулевым газовой выделением в предпробойной стадии. Для больших ρ и малых t образование парогазовой фазы в предпробивной период маловероятно [4]. При высоких значениях напряженности электрического поля в разрядных промежутках и коротких временах экспозиции характер пробоя все ближе к чисто электрическому, при котором газовой выделение ничтожно. При этом в соответствии с выдвинутой нами

кавитация на послеразрядной стадии

Нами выбраны электрические разряды в чистой (бидистиллят и деионизация) воде и растворах водных электролитов. При этом ρ фиксировалось в диапазонах: 6 – 7; 10 – 15; 50 – 100; 500 – 800; 1000 – 8000 Ом·м. Разряды воспроизводились при пониженном и нормальном давлении с установлением режимов как пробойных, так и беспробойных, а также при осуществлении разрядов в магнитном поле.

На рис. 2 приведены отдельные кадры кинограмм процессов в водных электролитах при пониженном до $p_b = 0,089$ МПа давлении в режиме беспробойных разрядов и длительности воздействия напряжения от 10 до 60 мкс. Хорошо виден процесс образования парогазовой фазы на аноде и катоде. Пузырьки и предкавитационные структуры образуются практически одновременно, хотя затем развиваются несинхронно. На кинограмме зафиксировано (см. рис. 2, а), как на аноде образуется предкавитационная, туманообразная, радиально-факельная структура. Она быстро радиально расширяется и одновременно движется в аксиальном направлении к катоду. При этом радиальная скорость больше аксиальной. Далее радиально-факельная структура продолжая разлет достигает плоскости, проходящей через острие катода, и разлетается за пределы зоны наблюдения. К этому моменту на аноде образуется новая (узкая) факельная структура, прорастает на треть в разрядный промежуток и через примерно 20 мкс исчезает, оставив в разрядном промежутке только тень. Пробой не возникает, емкость накопителя недостаточна.

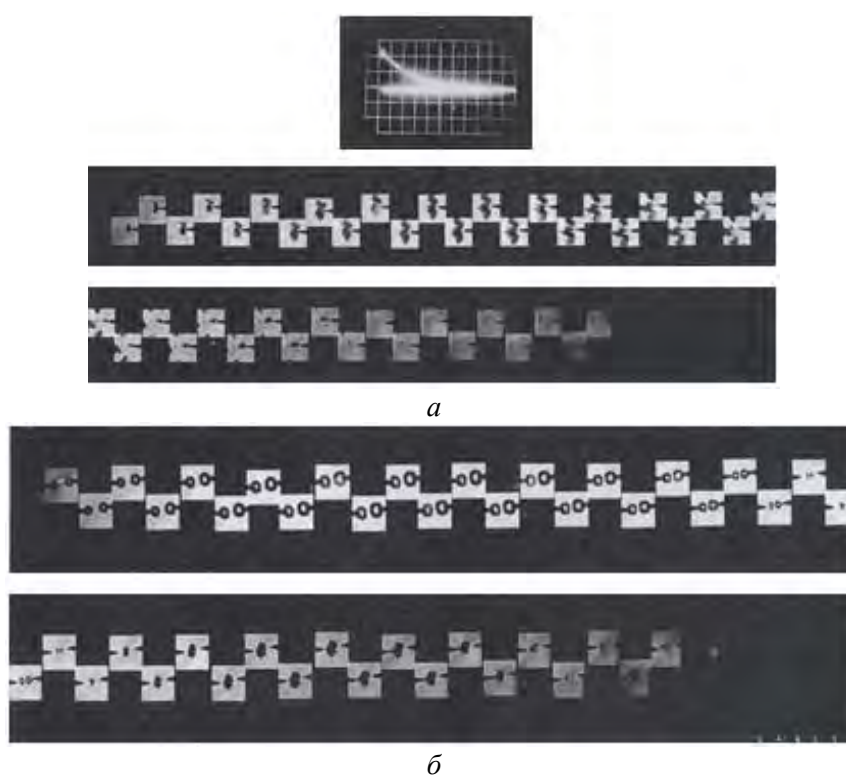


Рис. 2. Образование пузырьковых и предкавитационных структур в разрядном промежутке при беспробойном разряде

Существуют режимы беспробойных разрядов в растворах водных электролитов с удельным сопротивлением в диапазоне 12 – 13 Ом·м, при которых на аноде возникает, растет и развивается сложная пузырьковая структура, состоящая из основного крупного пузырька (диаметром в максимуме 1,2 мм), на поверхности передней (обращенной к катоду) полусфере которого высаживаются изнутри и тянутся к катоду несколько мелких (диаметром от ~ 0,05 до 0,1 мм) пузырьков. К тридцатой микросекунде такая пузырьковая структура достигает максимальных размеров и тут же начинается ее спад до полного исчезновения к 60 мкс без каких-либо последствий, поскольку пробой не наступил.

На рис. 2, б представлен беспробойный разряд в водном электролите с удельным сопротивлением 8,17 Ом·м. Здесь характерным является возникновение (практически одновременное) пузырьков на аноде и катоде. Затем пузырьки увеличиваются в размерах, их передние полусферы вдвигаются в разрядный промежуток навстречу друг другу. К 45 мкс пузырьки уже сокращаются (каждый в отдельности) в размерах и захлопываются так же раздельно в середине разрядного промежутка, и на их месте образуется слабое кавитационное облачко, достигающее через 15 мкс максимальных размеров

3 мм по собственной оси, расположенной перпендикулярно оси разрядного промежутка. Кавитационное облачко “садится” на острие катода, прогрессивно сокращается в размерах, внезапно отрывается и, переместившись за время от 3 до 5 мкс в середину разрядного промежутка, исчезает примерно к сотой микросекунде. В данном режиме разряд тоже беспробойный и пузырьки не превращаются в кавитационные структуры.

Таким образом, мы смогли получить только одно из обязательных условий возбуждения послеразрядной объемной нелинейной кавитации – газовыделение на предпробойной стадии, но не диспергирование газовых пузырьков на зародыши кавитации (нет ударной волны пробойного разряда), то есть значительная послеразрядная кавитация не может возникнуть. Следовательно, получено условие обязательное, но недостаточное.

Возникновение на электродах пузырьковых структур во время действия импульсов напряжения может рассматриваться как тепловой взрыв, обусловленный перегревом жидкости токами проводимости. Как показано в работе [4], необходимы достаточно большие размеры пузыря, чтобы скомпенсировать энергетически невыгодный эффект образования поверхности раздела между жидкостью и паром. И таким образом всегда можно установить нужный режим разряда, когда образуется достаточное количество газа, которое сможет диспергировать образующийся после пробоя канал электрического разряда, подготавливая массу кавитационных зародышей.

Для рассмотренных беспробойных разрядов характерным свойством является относительно слабая зависимость завершенности пробоя разрядного промежутка от начальной напряженности электрического поля. Так, пробой l_p не наступает даже при напряженности $E = 1,4 \cdot 10^6$ В/см при нормальном и пониженном до 0,05 МПа внешнем давлении, если емкости относительно невелики (0,05 – 0,2 мкФ). Но с увеличением емкости (до 0,4 мкФ) пробой наступает стабильно и при высоких и средних значениях начальной напряженности. Длительность беспробойных разрядов слабо зависит от начальной напряженности электрического поля и внешнего давления и составляет 50 – 150 мкс.

На рис. 3 приведены кадры заключительных перед пробоем процессов в водном электролите $\rho = 6,9$ Ом·м при нормальном внешнем давлении 0,1 МПа и $E = 1,8 \cdot 10^6$ В/см (при этом емкость накопителя – 0,4 мкФ). Подобные кинограммы получены для такого же электролита и внешнего давления, но при $E = 0,6 \cdot 10^6$ В/см; при понижении p_v до 0,05 МПа в режиме пробойного разряда и $E = 0,6 \cdot 10^6$ В/см; при том же пониженном внешнем давлении, но $E = 1,2 \cdot 10^6$ в/см.

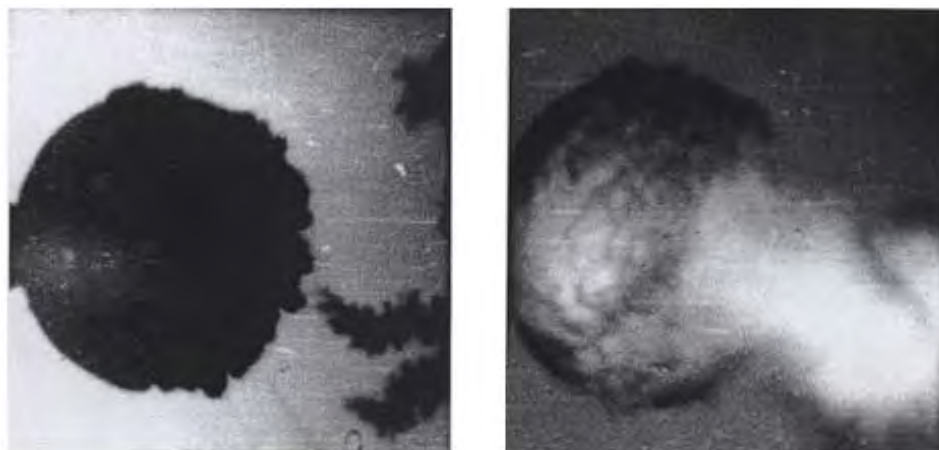


Рис. 3. Финальные кадры кинограммы формирования газосодержащих структур в предпробойной стадии электрического разряда в водном электролите с $\rho = 6,9$ Ом·м

При всех режимах характер предпробойного газовыделения практически одинаков: на катоде возникновение и рост пузырька, а на аноде – возникновение и сравнительно быстрое продвижение в разрядный промежуток группы лидеров, движущихся в парогазовых рубашках, как кустообразный ансамбль. В интервале от 50 до 60 мкс один из лидеров достигает поверхности катодного пузырька, и происходит инициирование пробоя.

КЭР очень быстро развивается, и волна давления разрывает и диспергирует обе парогазовые структуры. Тут же, с приходом отраженной от свободной поверхности волны разряда вокруг еще расширяющегося КЭР, возбуждается кавитация, и кадр становится светонепроницаемым. Но это кавитация, относящаяся только к активной стадии электрического взрыва (ЭВ).

На рис. 4 приведены заключительные перед пробоем кадры кинограммы предпробойных процессов в водном электролите $\rho = 12$ Ом·м, аналогичные для пробоя при пониженном до $p_v = 0,070$ и

0,089 МПа давлении. При этом устанавливалась начальная напряженность $E = 0,2 \cdot 10^6$ В/см, а $C = 0,4$ мкФ.

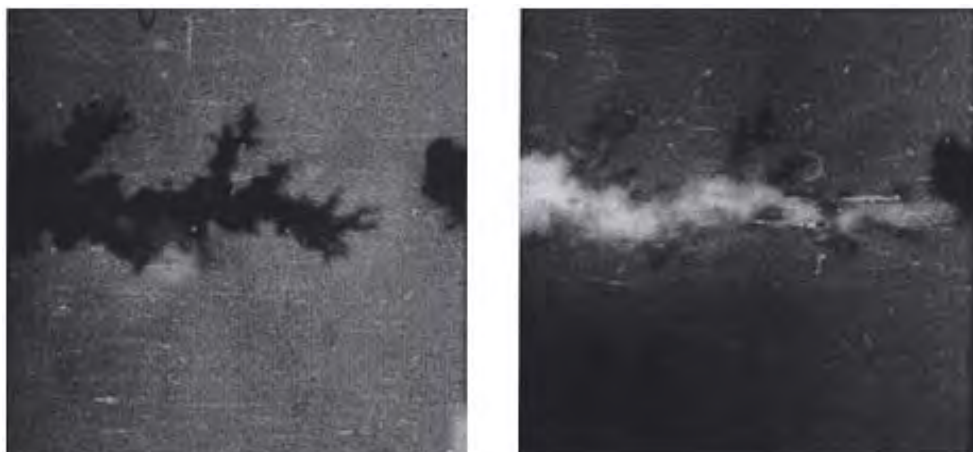


Рис. 4. Финальные кадры кинограммы формирования газосодержащих структур в предпробойной стадии электрического разряда в водном электролите с $\rho = 12$ Ом·м

Для этого режима разряда предпробойная стадия в макрокартине процесса существенно отличается от описанной выше. Она не содержит крупнопузырьковых структур на катодах. От анодов распространяются древовидные лидерные структуры в парогазовых оболочках. Движение их относительно медленное, противозлектрод достигается ими за ~ 100 мкс. Вся древовидная структура, "веточки" которой не что иное, как газонаполненные каналчики, разрушается этим электрическим взрывом и превращается в массу кавитационных зародышей. Через 20 мкс вся периферия кадра так же, как и в рассмотренном выше случае, становится светонепроницаемой, что позволяет пока предположить о возникновении первой волны ЭРНОК.

Подобным образом, но в отсутствие пузырьковых структур на катоде, развивается газовыделение в водных электролитах с удельным сопротивлением $\rho = 59$ Ом·м, когда напряженность $E = 1,2 \cdot 10^6$ В/см при $C = 0,05$ мкФ и $p_v = 0,070$ МПа.

Для предпробойного газовыделения в воде с высоким удельным сопротивлением (деионизованная вода), когда процесс пробоя очень затруднен, также имеется характерная особенность. Сразу после приложения импульса напряжения к разрядному промежутку на катоде образуется микропузырек, который сравнительно медленно растет, порождая иногда вторичные пузырьки, и занимает все межэлектродное пространство. Когда происходит практически касание стенки пузырька с анодом, происходит пробой по внутренним стенкам пузырька. Естественно такой пузырек взрывается изнутри, демпфируя первичные ударные волны ЭВ, но все же диспергируясь и давая начальные зародыши последующей послеразрядной кавитации.

Таким образом, для электрических разрядов в водных электролитах с удельным сопротивлением ρ от 6,9 до 50 Ом·м характерным для практического использования в реальных разрядно-импульсных технологиях и в воде с ρ от 50 до 8000 Ом·м, не характерном для реальных разрядно-импульсных технологий, всегда можно установить режим пробойного разряда, когда в предпробойной стадии наблюдается значительное газовыделение в структуры, сходные с пузырьковыми или многоканальными, кистеобразными. При наступлении пробоя эти газосодержащие структуры диспергируются, мельчайшие пузырьки остаются в жидкости и могут служить зародышами кавитации на всех последующих стадиях электрических взрывов в воде. В тех же случаях, когда электрический пробой не наступает, после разрядки конденсаторов пузырьковые структуры спадают, смыкаются и исчезают, не вызывая кавитационных последствий.

Интересно, на наш взгляд, рассмотреть возможность осуществления пробойных разрядов с минимальным газовыделением в разрядном промежутке. К ним можно отнести разряды, осуществляемые в магнитном поле и по механизму ударной ионизации в объеме жидкости. Однако следует помнить [4], что носителями положительных зарядов являются ионы основной жидкости и примесей, а также ионы и протоны, образующиеся при разложении жидкости в сильном электрическом поле.

На рис. 5 представлены заключительные перед пробоем кадры кинограммы в постоянном магнитном поле $B = 0,02$ Т, направленном под углом 45° к продольной оси разрядного промежут-

ка. Этот разряд осуществлялся при нормальном внешнем давлении $p_v = 0,1$ МПа в воде с удельным сопротивлением $\rho = 4555$ Ом-м, при $E = 5,0 \cdot 10^5$ В/см.

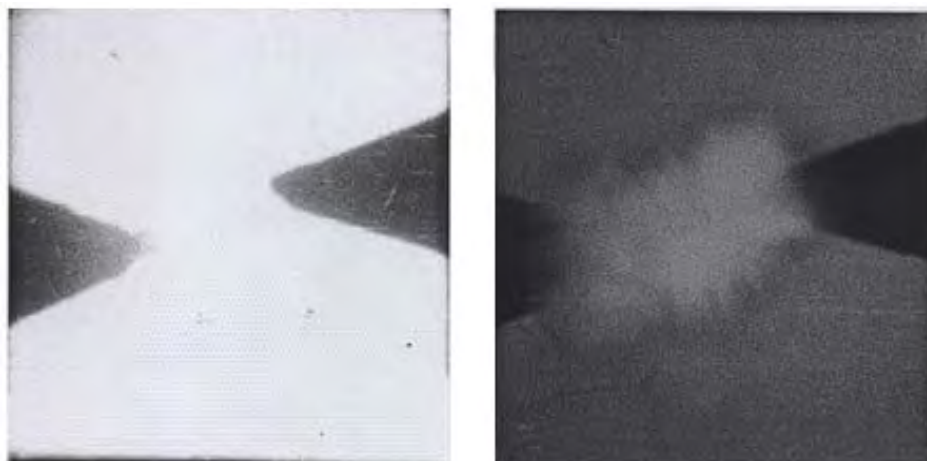


Рис. 5. Финальные кадры кинограммы формирования минимальных газосодержащих структур в предпробойной стадии электрического разряда в водном электролите с $\rho = 60,37$ Ом-м в постоянном магнитном поле

При этих условиях предпробивные процессы очень короткие – электрический пробой наступает к моменту 6,7 мкс, предпробивное газовыделение очень незначительное, что не позволяет надеяться на мощную послеразрядную кавитацию.

Об этом же свидетельствует хорошо видимое (см. рис. 6, пробой по чисто электрическому механизму) с 26 мкс волновое поле, не вызвавшее заметную общую послеразрядную кавитацию. Это поле образовано, очевидно, взаимодействующими прямыми и отраженными ударными волнами. Если бы в разрядном промежутке было достаточно зародышей кавитации, возникающих при диспергировании предпробойных газовых образований, то зоны разрежений волнового поля заполнились бы кавитирующими пузырьками.

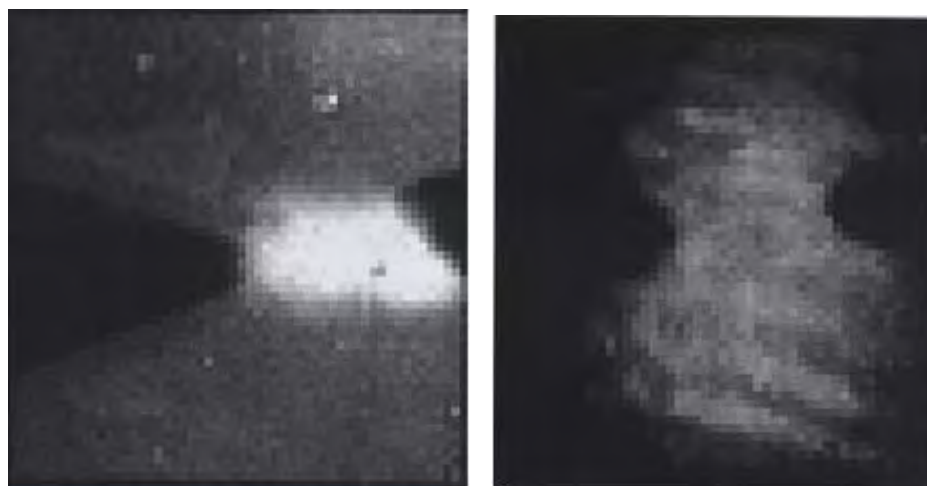


Рис. 6. Финальные кадры кинограммы предпробойной стадии электрического разряда (по чисто электрическому механизму пробоя) в водном электролите с $\rho = 4555$ Ом-м в постоянном магнитном поле

Итак, характерные кинограммы процессов формирования разряда показали, что практически во всем диапазоне изменения ρ , через несколько микросекунд после подачи импульса напряжения на межэлектродный промежуток, на электродах и в приэлектродной зоне развиваются пузырьковые структуры, в которых проявляются и развиваются следы лидеров. При высоком начальном удельном сопротивлении жидкости пузырьковые структуры обволакивают перемещающийся в разрядном промежутке след лидера. При этом чем больше развита пузырьковая структура, тем труднее формируется КЭР. Внешне это выглядит так, что для завершения пробоя необходим прорыв лидеров сквозь границу раздела фаз, и этот процесс требует значительных затрат энергии.

Более энергетически выгоден режим формирования электрического пробоя при появлении газовой фазы сразу в форме кавитационной области, распространяющейся в разрядный промежуток, но наименьшими энергозатратами в наших экспериментах характеризуются процессы с факелообразным распространением газовой фазы.

К сожалению, не выявлено пропорциональной связи между величиной предпробивных потерь энергии и объемом образующейся газовой фазы в зависимости от изменения удельного сопротивления жидкости.

Приведенные результаты экспериментальных исследований позволяют сделать важные выводы.

Существуют такие режимы электрического пробоя водных электролитов и воды, которые обеспечивают активное газообразование, что позволяет ожидать возникновения послеразрядных кавитационных процессов на дальнем временном отрезке. Это режимы так называемых “медленных разрядов”. При относительно длительном импульсе напряжения и низком значении удельного сопротивления жидкости в разрядной камере облегчается газообразование вследствие вскипания и электролиза и уменьшается $E_{пр}$. Рабочая среда электроразрядных реакторов, например, для обработки волоконных материалов или глинистых дисперсий имеет низкое удельное сопротивление, что способствует возбуждению послеразрядной кавитации.

Образовавшаяся в той или иной форме газовая фаза разрушается ударной волной разряда и на ее месте образуется хорошо заметное облако микроскопических зародышей, которое, вероятно, под действием одновременно возникающих микротечений, может изменять свою форму.

Импульсные и постоянные магнитные поля способствуют переводу “медленных разрядов” в режим пробоя, соответствующий “быстрым разрядам”. Последние, полученные любым способом, не приводят к появлению в предпробойной стадии достаточных объемов газовой фазы, обеспечивающих эффективные кавитационные процессы на дальней послеразрядной стадии. Что касается вопроса подавления газовыделения, то это может происходить за счет уменьшения интенсивности теплообмена в магнитном поле. Область максимального уменьшения теплообмена связана со сдвигом критического значения числа Рейнольдса в магнитном поле [6]. Однако, по существу наших исследований, это имеет второстепенное значение, поскольку практически электрический взрыв в разрядно-импульсных технологиях применяется без использования внешних магнитных полей.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Малюшевский П.П.* О механизме тонкого измельчения материалов при электрическом взрыве в ограниченном объеме // *Электронная обработка материалов*. 1982. № 3. С. 58 – 63.
2. *Малюшевский П.П., Горovenko Г.Г., Левда В.И. и др.* Исследование влияния внешнего давления и магнитных полей на электрический разряд в жидкости // *Электронная обработка материалов*. 1987. № 4. С. 33 – 39.
3. *Лекомцев В.А., Сыромятников А.Г.* О возможности практического применения предпробивных явлений в воде // *Физика импульсных воздействий на конденсированные среды* // Тез. докл. VI науч. школы, сентябрь 1993. Николаев, 1993. С.
4. *Ушаков В.Я.* Импульсный электрический пробой жидкостей. Томск, 1975.
5. *Розенберг Л.Д.* Мощные ультразвуковые поля. М., 1968.
6. *Солоухин Р.И.* Ударные волны, образующиеся при электрическом разряде в воде // *Физическая газодинамика*. М., 1959. С. 143 – 145.

Поступила 07.07.2003

Summary

The phenomenon of originating and formation of a non-linear, volumetric cavitation in water electrolytes filling the reactor, under the influence of electrical explosions is studied. It is noted, that a role of outgassing, as source of blastemals of a cavitation in premonitory stage of underwater electric discharge is great. The ranges of variation by resistivity of solutions, in which one outgassing sufficient for generation of effective cavitation area are established.