

8. Пикаев А.К., Кабакчи С.А., Макаров И.Е. Высокотемпературный радиолиз воды и водных растворов. М., 1988.

9. Измайлов Н.А. Электрохимия растворов. М., 1966.

Поступила 15.07.02

### Summary

The comparison kinetics investigations of electrolytes solutions, activated by glow and diaphragm gaseous discharges at atmospheric pressure there was explored. The aqueous solutions of organic active dyes, inorganic acids, hydroxides, the salts solutions of varying valences metals were the subjects of investigation. It was established that diaphragm and glow discharges initiate both oxidizing and redoxing processes. The rate of the processes initiated by the diaphragm discharge in all cases was much higher. The proof of significant effects of the "shock wave" generated by the diaphragm discharge in solutions was received by means study of solid materials failures processes. The assumption of liquids structures change under the action of the diaphragm discharges shock wave was made on the basis of experimental data on change solutions electroconductivity of acids and alkalis.

---

А.П. Малюшевская, А.А. Смалько, П.П. Малюшевский, С.М.Тихоненко

## ВЫСОКОЧАСТОТНАЯ СОСТАВЛЯЮЩАЯ АКУСТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ПОДВОДНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО РАЗРЯДА

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

Экспериментальные исследования всех стадий преобразования энергии подводными электрическими взрывами (ЭВ) являются необходимой физической основой разработки адекватных разрядно-импульсных технологий (РИТ). Заключительная стадия подводных ЭВ простирается далеко за момент завершения активной стадии электрического разряда и проявляется как мощная объемная кавитация в электроразрядном реакторе. Но до настоящего времени это наименее изученная стадия ЭВ.

В некоторых РИТ наибольшее воздействие на обрабатываемое вещество, находящееся в мелкодисперсном состоянии, осуществляется именно электровзрывной кавитацией [1, 2]. Следовательно, развитие исследований условий возбуждения и поддержания такой кавитации по-прежнему актуально.

Первичные ударные волны являются самостоятельным средством возбуждения электроразрядной нелинейной, объемной кавитации (ЭРНОК) и при наличии в воде зародышей кавитации, образованных предпробойными явлениями, эффективно ее генерируют еще в активной стадии преобразования энергии. Послеразрядная парогазовая полость практически развивается на фоне мощной ЭРНОК и только поддерживает, как бы подхлестывает ее.

Одна из особенностей подводного ЭВ заключается именно в образовании и пульсации подводного пузыря, активно развивающегося в послеразрядной стадии и, конечно, оказывающего влияние на генезис ЭРНОК – подводный послеразрядный пузырь сам является источником волн давления и разрежения, которые, в свою очередь, создают кавитационную область.

Поведение каждого кавитационного пузырька в кавитационной области зависит от акустической частотной характеристики первичных волн давления, генерируемых ЭВ. Наиболее эффективная пульсация их происходит тогда, когда в спектре акустического излучения есть частоты, соответствующие резонансным, для кавитационного пузырька данных размеров.

---

© Малюшевская А.П., Смалько А.А., Малюшевский П.П., Тихоненко С.М., Электронная обработка материалов, 2003, № 1, С. 59–62.

Как показали экспериментальные исследования [3], до 60% кавитационных пузырьков в кавитационной области в электроразрядном реакторе имеют характерные максимальные диаметры от 0,2 до 2 мм, резонансная частота которых находится в окрестности 15–35 кГц; остальная часть кавитационных пузырьков области кавитации имеет максимальные диаметры от 0,1 до 0,05 мм, резонансная частота которых находится в окрестности 70–125 кГц.

Таким образом, ЭВ может активировать эти кавитационные пузырьки, если в его акустическом спектре присутствуют указанные частоты.

Ранее нами показано [4], наличие в спектре акустического излучения ЭВ частот 15–35 кГц, причем, имеющих достаточную интенсивность. Диапазон же частот 70–125 кГц акустического излучения ЭВ не исследовался, и одной из причин были сомнения о возможности появления таких частот в спектре излучения ЭВ.

Однако в основательной работе [5] обоснованно указывается, что при высоких интенсивностях ультразвука чрезмерное увеличение интенсивности приводит к уменьшению скорости звукохимических реакций, потока сонолюминесценции и эрозионной активности. Называются несколько причин этого явления, среди которых – имеющие прямое отношение к электровзрывному источнику акустического излучения.

С учетом [6] предполагается, что при значительном увеличении амплитуды звуковых колебаний возрастает максимальный радиус кавитационного пузырька, и он не успевает схлопываться за половину периода.

Кроме того, эти эффекты связываются с резким уменьшением скорости звука в жидкости, содержащей большое число кавитационных пузырьков. В момент, когда колебательная скорость источника звуковых волн становится соизмеримой со скоростью звука в среде, эффективность передачи энергии в среду резко падает вследствие перехода к сверхзвуковому движению акустического излучателя. При этом ширина фронта ударной волны становится меньше диаметра кавитационного пузырька, который настолько быстро попадает из зоны разрежения в зону повышенного давления, что "не успевает" сжиматься.

Таким образом, именно акустическое излучение малой интенсивности в диапазоне 70–125 кГц спектра излучения ЭВ может играть определяющую роль в развитии послеразрядной кавитации в реакторе. Следует отыскать условия получения таких ЭВ, которые обеспечивают в спектре акустического излучения получение нужных частот именно в указанном сравнительно высокочастотном ультразвуковом диапазоне. В высокочастотную область спектра акустического излучения происходит сдвиг при укорочении переднего фронта импульса давления, генерируемого ЭВ.

Из физических основ теории подводных электрических взрывов [7] известно, что для получения импульсов давления с коротким передним фронтом необходимо обеспечить получение такого токового импульса, в котором передний фронт имеет длительность, в 1,2–1,5 раза меньшую.

Определялись характеристики разрядного тока подводных электрических разрядов при различных параметрах разрядного контура и геометрии оконечности электрода-анода в разрядном промежутке. Некоторые из них приведены в таблице.

*Амплитудно-временные характеристики генерируемых импульсов тока. (Емкость конденсатора  $C=0,25$  мкФ, запасенная энергия  $W_0=250$  Дж)*

Режим	Амплитуда тока $I$ , кА	Длина анода $h$ , мм	Период тока $T$ , мкс	Длительность импульса тока $\tau$ , мкс	Индуктивность разрядного контура, $L$ , мкГн	Длительность переднего фронта $t$ , мкс
1	16	4	5,4	2,7	1,2	1,35
2	12	10	6,5	3,25	1,2	1,62
3	14	9	9,0	4,5	2,6	1,80

На рис. 1 приведены осциллограммы тока каждого из приведенных в таблице режимов. Анализируя данные экспериментов, можно убедиться, что, варьируя длиной оголенной части электрода-анода  $h$  и индуктивностью разрядного контура  $L$ , удается добиться заметных изменений длительности переднего фронта токового импульса  $t$ . При этом существуют режимы (см. режим 3), при которых передний фронт импульса тока становится несимметричным заднему фронту и имеет меньшую длительность, хотя его амплитудное значение все же меньше, чем у импульса по режиму 1, полученному при предельно короткой оголенной части  $h$  электрода-анода.

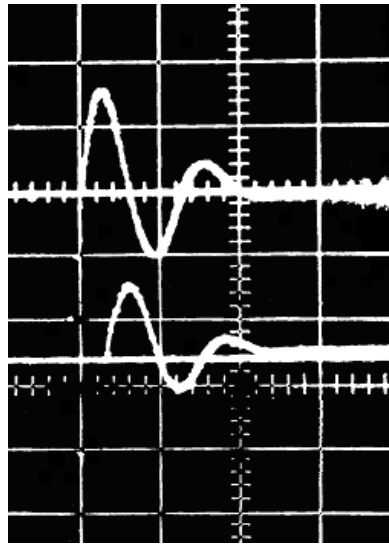


Рис. 1. Осциллограммы тока режимов 1 (верхняя) и 2 (нижняя)

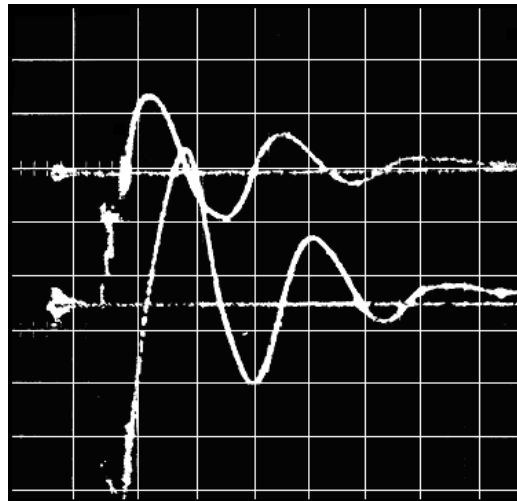


Рис. 2. Осциллограммы тока (верхняя) и напряжения (нижняя) в разрядном контуре по режиму 3

Были получены акустические спектры импульсов давления электрических взрывов, соответствующих токовым режимам, приведенным выше. Гидрофон устанавливался на расстоянии 1 м по глубине от оси горизонтального разрядного промежутка электродной системы, размещенной в глубоком (более 2,5 м) бассейне на расстоянии от его стенок не менее 1,5 м, и на расстоянии от свободной поверхности 1 м, так, чтобы волны разгрузки от свободной поверхности не могли исказить картину акустического поля. Анализ подтвердил, что установленные электрические режимы, позволяющие получать короткие фронты токовых импульсов, обеспечили очень короткие передние фронты (2; 2,78 и 3,2 мкс соответственно) акустических импульсов, а значит, и существенное расширение полосы частот акустического излучения подводных электрических взрывов до ультразвукового диапазона 120 кГц по сравнению с обнаруженными и описанными в [4], соответствующим верхнему звуковому диапазону 20 кГц.

После обработки результатов экспериментов получены новые данные об акустическом поле ЭВ в диапазоне от 20 до 120 кГц. Оказалось, что уровни интенсивностей на значительном расстоянии установки гидрофонов, по акустическим меркам, еще велики в нижней части диапазона (20 кГц) и составляют соответственно 125; 117,5 и 123 дБ. Они существенно уменьшаются при переходе в ультразвуковую часть спектра 120 кГц и составляют здесь (в переводе в более привычную систему измерений давления): для табличного режима 1 –  $5 \cdot 10^{-1} - 2 \cdot 10^{-1}$  Па, для режима 2 –  $3 \cdot 10^{-1} - 1 \cdot 10^{-1}$  Па, для режима 3 –  $1 \cdot 10^{-2} - 1 \cdot 10^{-3}$  Па. Естественно, что столь же значительно уменьшились перемещения, скорости и ускорения частиц среды, облучаемой этими высокочастотными акустическими импульсами.

Хорошо видно, что интенсивность в высокочастотной части спектра сильно зависит от изменения величины индуктивности разрядного контура и выступающей в разрядный промежуток оголенной части токовода электрода-анода.

Таким образом, экспериментальные результаты настоящей работы позволили установить условия и само появление в ранее неисследованном диапазоне ультразвуковой составляющей (в полосе частот акустического излучения) подводных электрических взрывов, а также показать, что при ЭВ кавитации появляется возможность резонансного возбуждения и кавитационные пузырьки с размерами меньшими 0,1 мм.

Такие исследования открывают возможность получения количественных данных о структурировании кавитационной области в электроразрядных реакторах.

## 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., Малюшевская А.П.* Физические факторы интенсификации электрическим взрывом процессов удаления инкрустирующих веществ из льноволокна // *Электронная обработка материалов.* 1999. № 5. С. 41–44.
3. Исследовать принципы создания и управления электроразрядной нелинейной, объемной кавитацией для использования в механо-химических процессах обработки льноволокна для получения текстильной нити. Том 1. Отчет о НИР//ИИПТ НАН Украины. Рук. П.П. Малюшевский. Гос. регистр. № 0100U004075. Николаев, 2002. 131 с.
4. *Малюшевская А.П., Катаев Н.М., Малюшевский П.П.* Установление акустических характеристик подводных электрических разрядов и среды // *Электронная обработка материалов.* 1999. № 6. С. 33–36.
5. *Маргулис М.А.* Звухохимические реакции и сонолюминесценция. М., 1986.
6. *Розенберг Л.Д.* Мощные ультразвуковые поля. М., 1968.
7. *Гаврилов Г.Н., Горovenko Г.Г., Малюшевский П.П., Рябинин А.Г.* Разрядно-импульсная технология в обработке минеральных сред. К., 1979.

Поступила 03.07.02

## Summary

The capability of generation by underwater electric discharges of acoustic fields in ultrasonic range up to 120 kHz is established at usage of current impulses with short leading edges. The relation of duration of such fronts to the size of a stripped part of a current-conductive rod – anode adjoining to a discharge gap is rotund. Is demonstrated that at an electrodigit cavitation there is a capability of a resonance activation cavitation is bubble dimensioned less than 0,1 mms in cavitation area.

---