

УДК 637.52.03:621.313

UDC 637.52.03:621.313

**ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК
ЭЛЕКТРОИМПУЛЬСНОГО РАЗРЯДА В
ВОДНЫХ РАСТВОРАХ ХЛОРИСТОГО
НАТРИЯ**

**RESEARCH OF THE CHARACTERISTICS OF
ELECTRIC PULSE DISCHARGE IN CHLORIDE
SODIUM SOLUTIONS**

Нагдалян Андрей Ашотович
аспирант
e-mail: geniando@yandex.ru

Nagdalyan Andrey Ashotovich
postgraduate student
e-mail: geniando@yandex.ru

Оботурова Наталья Павловна
к.т.н., доцент

Oboturova Natalia Pavlovna
Cand.Tech.Sci., associate professor

Барыбина Людмила Ивановна
к.т.н., доцент
*Северо-Кавказский федеральный университет,
Ставропольский край, Россия*

Barybina Lyudmila Ivanovna
Cand.Tech.Sci., associate professor
*North Caucasus Federal University, Stavropol region,
Russian Federation*

Лукьянченко Павел Петрович
к.т.н., главный инженер
ЗАО «РИТА», г. Москва, Россия

Lukyanchenko Pavel Petrovich
Cand.Tech.Sci., chief engineer
“RITA” Company, Moscow, Russian Federation

В статье приведены результаты исследований электрофизических и энергетических свойств электроимпульсного разряда в растворах хлорида натрия различной концентрации. Рассмотрена возможность применения эффекта Юткина в технологических процессах пищевой промышленности

Electro physical and energetic properties of electric pulse discharge in various concentration solutions of chloride sodium as the results of the researches are provided in this article. The possibility of applying the Yutkin effect in technological processes of food industry has been reviewed

Ключевые слова: ЭЛЕКТРОГИДРАВЛИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ, ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ ДАВЛЕНИЯ, АМПЛИТУДА ТОКА, КАВИТАЦИЯ, ХЛОРИД НАТРИЯ

Keywords: ELECTRO HYDRAULIC EFFECT, HYDRAULIC PRESSURES, CURRENT PEAK, CAVITATIONS, CHLORIDE SODIUM

Документально установлено, что первые электрические разряды в воде были осуществлены около 240 лет назад. Однако, возникающие при этом мощные гидродинамические импульсы не нашли практического применения в то время. Обнаруженный эффект был надолго забыт.

Позднее, по мере развития электротехники, при создании мощных высоковольтных установок вновь столкнулись с электрическими разрядами в жидкостях, используемых в этих установках в качестве диэлектриков. Разрушающее действие, возникающее при электрическом пробое диэлектрических жидкостей, сформировало устойчивое мнение о бесперспективности электрического разряда в жидкости. Многие

десятилетия это мнение сохранялось среди ученых и инженеров электриков [2].

В 1950 г. Л.А. Юткин предложил использовать в технологических процессах электрические разряды в жидкости, а точнее, возникающие при этом гидродинамические импульсы. Так был изобретен способ получения высоких и сверхвысоких давлений, который получил название электрогидравлического эффекта, или эффекта Юткина.

В настоящее время электрогидравлический эффект нашел широкое применение в строительстве, машиностроении, металлургии и даже медицине в России, Швеции, Испании, Венгрии и Японии [4].

Разрядно-импульсная обработка жидких систем и объектов, помещенных в жидкую среду, вызывает интерес и в пищевой промышленности, в т. ч. мясоперерабатывающей. С целью изучения эффекта Юткина и возможности его применения в технологических процессах пищевой промышленности, нами были исследованы характеристики электроимпульсного разряда в растворах хлорида натрия различной концентрации.

Для образования электрогидравлического эффекта необходимо формирование импульса высокого давления в передающей среде [1]. Наиболее простой способ реализации данного процесса является использование низкоиндуктивных высоковольтных накопителей энергии с малой емкостью: высокое напряжение обеспечивает требуемое количество энергии, а маленькие индуктивность и емкость электрического контура - быстрый ввод энергии в разрядный промежуток.

Научно-исследовательские работы по изучению электроимпульсного воздействия на растворы хлорида натрия проводились с применением излучателя №63 (межэлектродное расстояние 45 мм.). Излучатель подключался к генератору импульсного тока (ГИТ-6 (9,5 кВ, 120 мкФ)) кабелем КВИМ длиной 7 м. (активное сопротивление кабеля 0,14 Ом, индуктивность 5,1 мкГн).

Данные исследования проводились на базе ЗАО «РИТА» совместно с главным инженером, к.т.н. Лукьянченко П.П..

Опыты были осуществлены в полиэтиленовой емкости диаметром 60 см. и высотой 100 см. Излучатель погружался на глубину 35 см. и его торец находился на расстоянии 50 см. от дна емкости. На этой же отметке находился датчик, фиксирующий степень упругой деформации емкости при каждом разряде. Для измерения давления в воде применялись пьезоэлектрические датчики давления. Использовались диски из пьезокерамики ЦТС-19 диаметром 8мм. и толщиной 1 мм. Полный диаметр датчиков с учетом изоляции и акустической развязки от корпуса бочки составил 20 мм. Датчики размещались на той же глубине, что и рабочая головка, но вблизи стенки бочки. Давление определялось по манометру, класс точности которого 0,5. Датчик при этом подключался к осциллографу через эмиттерный повторитель с входным сопротивлением не менее 1 ГОм.

Все разряды проводились при одном и том же напряжении 9,5 кВ, что соответствует запасаемой энергии 5,4 кДж. Повышение концентрации раствора осуществлялось путем добавлением соли в уже обработанный раствор с меньшей концентрацией. На рисунках 1-3 представлены

электрические и энергетические характеристики разрядов в растворах с различной концентрацией соли.

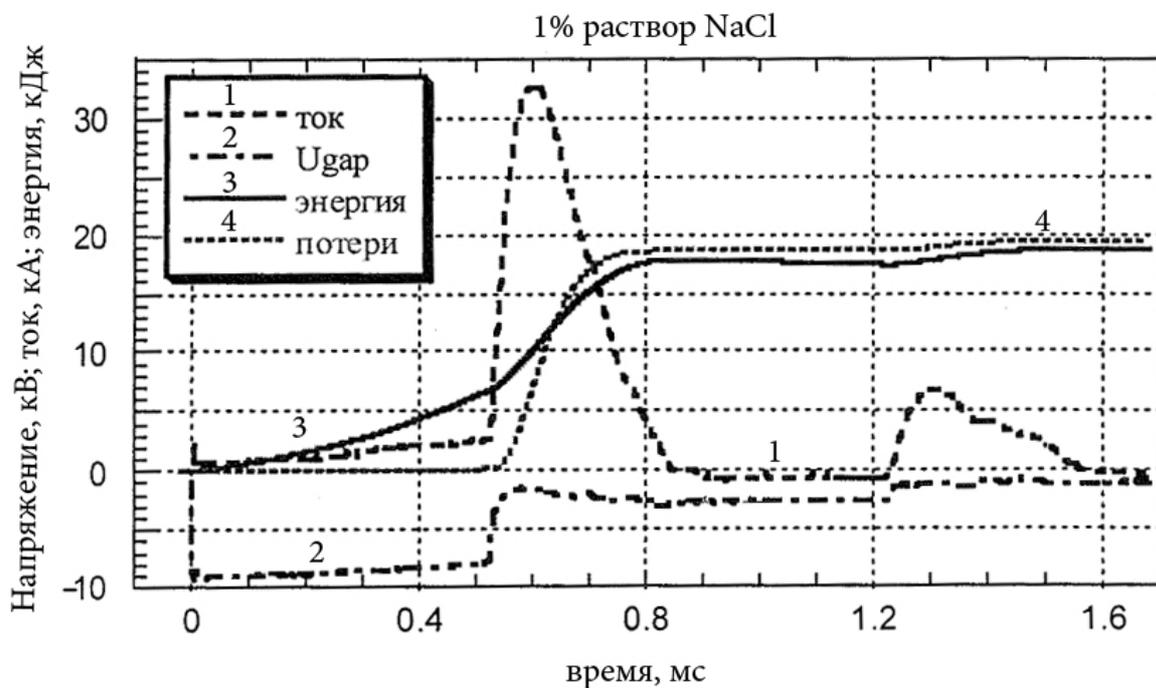


Рисунок 1 - Электрические и энергетические параметры разряда в 1% растворе NaCl

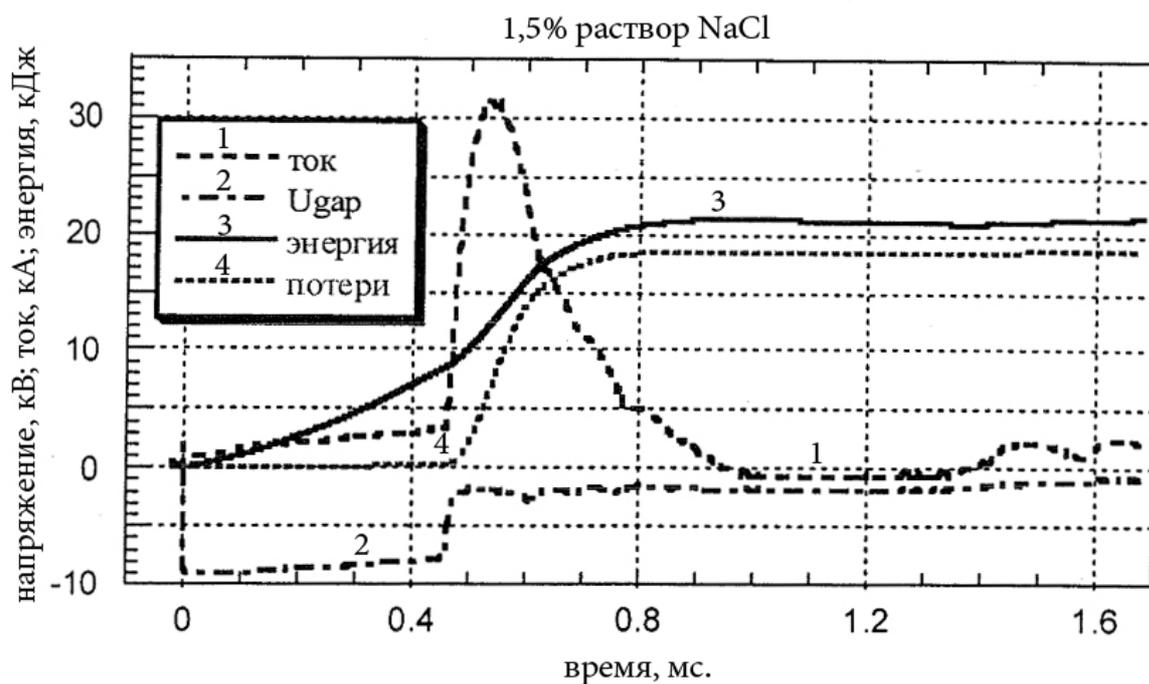


Рисунок 2 - Электрические и энергетические параметры разряда в 1,5% растворе NaCl

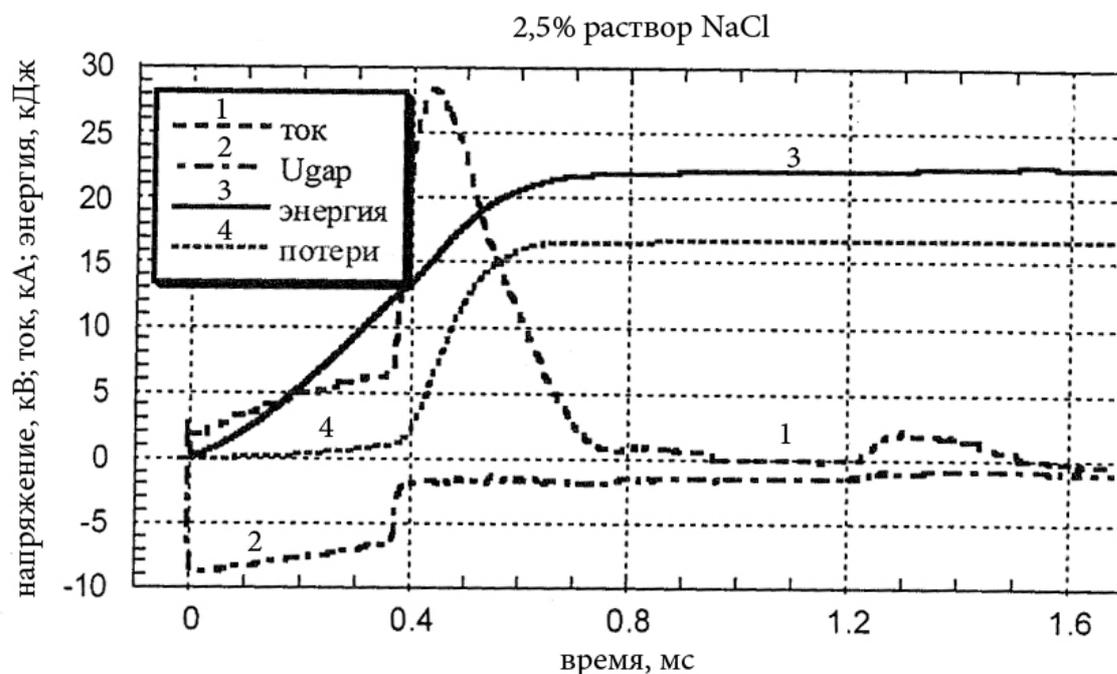


Рисунок 3 - Электрические и энергетические параметры разряда в 2,5% растворе NaCl

При пробое рабочего промежутка высоким напряжением всегда имеет место стадия стекания. На этой стадии ток от электроразрядного аппарата течет от положительного электрода к отрицательному, растекаясь по объему электролита. В зависимости от электропроводности раствора и размера высоковольтного электрода величина этого тока может достигать нескольких единиц кА. В результате, при увеличении межэлектродного расстояния выше определенной критической величины, пробой промежутка не происходит. Это обусловлено тем, что конденсаторная батарея успевает довольно сильно разрядиться и напряжение на промежутке становится слишком маленьким для пробоя последнего [3].

Как видно из рисунков 1-3, разряд в 1% растворе хлорида натрия характеризуется более поздним временем пробоя рабочего промежутка и

более низким его сопротивлением. В результате ток стекания значительно больше, и, соответственно, меньше напряжение на батарее к моменту пробоя.

Количество энергии, выпускаемой через рабочий промежуток на стадии пробоя при разряде в исследуемых растворах, увеличивается с повышением концентрации, что, скорее всего, связано с уменьшением потерь энергии на стадии стекания.

Как и следовало ожидать, по мере повышения концентрации хлорида натрия, ток стекания, так же, как и энергия, вкладываемая в разрядный промежуток на этой стадии, увеличивается, при этом сокращается длительность стадии стекания и уменьшается амплитуда тока при пробое. Так, согласно результатам исследования, амплитуда тока при пробое 1% раствора NaCl достигает 34 кА, в 1,5% - 32 кА, а в 2,5% - 28 кА.

Это связано с тем, что повышение концентрации хлорида натрия ведет к увеличению количества ионов в растворе, а чем больше ионов, тем большее количество зарядов способно переноситься через раствор. Т.е. с повышением концентрации хлористого натрия увеличивается электропроводность раствора.

Жидкая среда, в которой происходит высоковольтный электрический разряд, является трансформатором энергии, выделившейся в канале. Импульсное выделение электрической энергии в последнем, благодаря малой сжимаемости жидкости, приводит к росту давления в плазме. Высокое давление формирует и распространяет в окружающей среде интенсивные возмущения. Вблизи канала разряда вследствие высокого давления на формирование возмущения сильно влияют нелинейные эффекты, которые могут привести к увеличению крутизны волны сжатия и образованию ударной волны. Для учета нелинейных эффектов необходимо использование полных уравнений гидродинамики.

Однако, при этом возможно лишь математическое решение задачи о возникающих гидравлических давлениях [6].

На следующем этапе исследований нами была исследована природа возникновения интенсивных возмущений в растворах электролитов эмпирическим методом. Физика процесса представлена на рисунке 4.

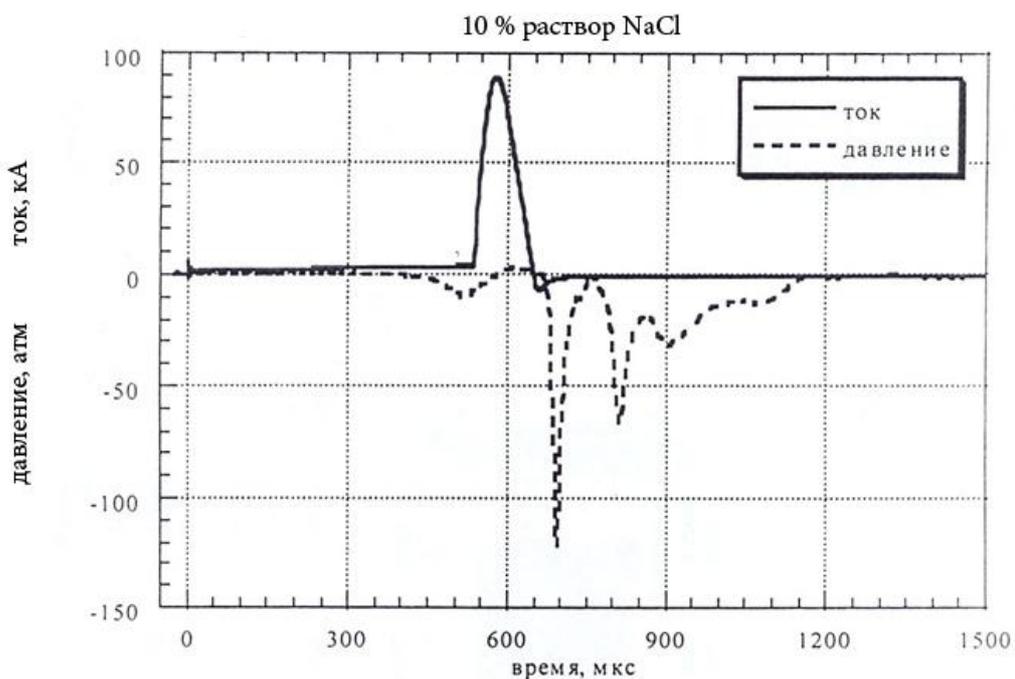


Рисунок 4 - Давление в 10% растворе NaCl вблизи стенки рабочей камеры

На рисунке 4 графически отображены сигналы датчика давления, зарегистрированные осциллографом. На графике изменения силы тока видно, что формирование рабочего промежутка (паро-газовых пузырьков), предшествующему пробое разряда в жидкости потребовалось около 500 мкс. Сам разряд длился около 100 мкс, причем амплитуда тока достигла 90 кА. К 650 мкс процесса разряд практически полностью прекратился. Это означает, что выделение энергии в рабочем промежутке к этому моменту тоже закончилось. Но, тем не менее, импульсы давления в объеме исследуемого раствора были активны гораздо большее время, вплоть до 1мс с момента начала процесса.

Давление на фронте ударной волны в жидкости, по данным осциллографа, достигало 120 атм. или 12,16 МПа. Воздействие давления такой величины на обрабатываемый объект может вызывать структурную перестройку материала объекта (деформацию, диспергирование, разрыхление поверхности и т.д.).

Как видно, полная осциллограмма давления состоит из нескольких импульсов с уменьшающейся амплитудой. Причем, никакой закономерности между величинами временного интервала и отдельными импульсами не наблюдается. С одной стороны, второй и последующие импульсы давления обусловлены законами гидродинамики и представляют собой резонансные колебания жидкости. С другой стороны, появление на осциллограмме импульсных давлений может иметь отношение к схлопыванию парогазовой полости рабочего промежутка, т.е. кавитации.

Временной сдвиг между импульсами тока и давлением, равный примерно 100 мкс, соответствует времени распространения звука в воде на расстояние 14,8 см. Расстояние между разрядным промежутком и датчиком давления в рабочей камере составляло 15 см. Следовательно, скорость движения первой ударной волны в рабочем объеме была эквивалентна скорости звука.

Помимо гидродинамического удара под действием электрического разряда в жидкости возникают гидродинамические потоки, а также акустическая волна. И одно и другое приводят к возникновению кавитации. Кавитация возникает в результате местного понижения давления в жидкости, которое происходит при увеличении ее скорости (гидродинамическая кавитация), а так же при прохождении акустической волны большой интенсивности во время полупериода разрежения (акустическая кавитация) [5]. После разряда искровой канал превращается в газовый пузырь, который расширяется до тех пор, пока кинетическая энергия растекающегося потока полностью не перейдет в потенциальную

энергию и давление в пузыре станет меньше гидростатического. Вследствие этого происходит обратное движение жидкости, и потенциальная энергия пузыря вновь переходит в кинетическую энергию сходящегося потока [7]. При этом наблюдается захлопывание полости, давление газа резко возрастает, и жидкость отбрасывается назад. Согласно осциллограмме рисунка 4, указанный процесс в ходе эксперимента повторился 3 раза в форме затухающих пульсаций вследствие потерь энергии.

Кавитационные воздействия схлопывающихся пузырьков, возникающие при электрогидравлическом ударе, позволят интенсифицировать многие технологические процессы, протекающие в жидких средах. Прежде всего, это относится к массообменным процессам, когда за счет схлопывания кавитационных пузырьков образуются кумулятивные микро-струи и микро-вихри с большой плотностью энергии, что позволяет получать высокую однородность смешиваемых частиц в жидкости - эмульгирование. Весьма эффективен при гидродинамической кавитации и механизм диспергирования – измельчение частицы твердой или упругой фазы, находящейся в залитой жидкости [8]. Немаловажно, что в сравнении, например, с ультразвуковой обработкой, необходимые затраты энергии на гидродинамическую кавитацию являются меньшими (не менее, чем в 10-15 раз).

Помимо высоких и сверхвысоких гидравлических давлений, возникающих во время образования ударной волны и захлопывания парогазовых пузырьков, электрогидравлический эффект характеризуется мощным комплексным воздействием на жидкость и помещенные в нее объекты [8]. Электромагнитные поля разрядов, образование плазмы вблизи разрядного канала, интенсивная ионизация и рекомбинация ионов в зоне разряда в совокупности способствуют возникновению в жидкости

сложных физико-химических процессов, которыми можно управлять, варьируя параметры разряда.

Таким образом, электроимпульсная обработка жидкости и объектов, помещенных в нее, является мощным высокоэффективным технологическим средством с широким спектром возможного применения. Использование данного вида воздействия позволит усовершенствовать существующие и создавать новые технологии получения различных пищевых продуктов.

Работа выполнена в рамках победы в программе «Участник молодежного научно-инновационного конкурса» («УМНИК») при поддержке фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере.

Список используемой литературы

1. Баранов М.И. Прогрессивные импульсные технологии обработки материалов: история, физические основы и технические возможности//Электротехника и электромеханика. – 2009. – №1. – С.42-54.
2. Еремин В.Я. Разрядно-импульсные технологии на стройках России//СТРОЙКЛУБ. – 2002. – №2. – С.11-15.
3. Малюшевский П.П. Основы разрядно-импульсной технологии. -Киев: Наукова Думка, 1983. - 272 с.
4. Нагдалян А.А., Оботурова Н.П. Разрядно-импульсные технологии как способ интенсификации процесса посола мясопродуктов/ А.А.Нагдалян, Н.П. Оботурова// Материалы V международной научно-практической конференции "Инновационные направления в пищевых технологиях" г.Пятигорск.- 2012.- с.245-247
5. Промтов М.А. Машины и аппараты с импульсным энергетическим воздействием на обрабатываемые вещества: Учебное пособие. – М.: Машиностроение, 2004. –136с.
6. Поздеев В.А. Прикладная гидродинамика электрического разряда в жидкости.- Киев: Н.Думка, 1980.
7. Сытник И.А. Электрогидравлическое действие на микроорганизмы. –К, Здоровья: 1982, -94с.
8. Юткин Л.А. Электрогидравлический эффект и его применение в промышленности. -Л.: Машиностроение, 1986.