

ВСЕРОССИЙСКАЯ (С МЕЖДУНАРОДНЫМ  
УЧАСТИЕМ) КОНФЕРЕНЦИЯ  
"ФИЗИКА НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ПЛАЗМЫ"  
ФНТП-2014

и

МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНАЯ ШКОЛА  
МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ И СПЕЦИАЛИСТОВ  
«ПЛАЗМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ  
В ИССЛЕДОВАНИИ И ПОЛУЧЕНИИ  
НОВЫХ МАТЕРИАЛОВ»

20 - 23 мая 2014 года  
Сборник материалов

2014

Российская академия наук  
Академия наук Республики Татарстан  
Министерство образования и науки Республики Татарстан  
Научный совет РАН по комплексной проблеме «Физика  
низкотемпературной плазмы»  
ФГБУН «Объединенный институт высоких температур» РАН  
ФГБУН «Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова» РАН  
ФГБУН «Институт нефтехимического синтеза им. А.В. Топчиева» РАН  
ОАО «Татнефтехиминвест-холдинг»  
ФГАОУ ВПО «Московский физико-технический институт  
(Государственный университет)»  
ФГБОУ ВПО «Казанский национальный исследовательский  
технологический университет»  
ФГБОУ ВПО «Казанский национальный исследовательский технический  
университет им. А.Н.Туполева»

**ВСЕРОССИЙСКАЯ (С МЕЖДУНАРОДНЫМ  
УЧАСТИЕМ) КОНФЕРЕНЦИЯ**

**«ФИЗИКА НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ПЛАЗМЫ»  
ФНТП-2014**

и

**МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНАЯ ШКОЛА МОЛОДЫХ  
УЧЕНЫХ И СПЕЦИАЛИСТОВ  
«ПЛАЗМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ИССЛЕДОВАНИИ  
И ПОЛУЧЕНИИ НОВЫХ МАТЕРИАЛОВ»**

19 - 23 мая 2014 года

Сборник материалов школы

Казань  
Издательство КНИТУ  
2014

УДК 533.9

Всероссийская (с международным участием) конференция «Физика низкотемпературной плазмы» ФНТП-2014 и Международная научная школа молодых ученых и специалистов «Плазменные технологии в исследовании и получении новых материалов» : сборник материалов; М-во образ. и науки России, Казан. нац. исслед. технол. ун-т. – Казань : Изд-во КНИТУ, 2014. – 144 с.  
ISBN 978-5-7882-1581-5

Представлены материалы Всероссийской (с международным участием) конференции «Физика низкотемпературной плазмы» ФНТП-2014 в 2 томах и Международной научной школы молодых ученых и специалистов «Плазменные технологии в исследовании и получении новых материалов», где отражены новые направления работ по физике низкотемпературной плазмы.

Представляет интерес для специалистов, инженеров, молодых ученых и студентов в области физики низкотемпературной плазмы.

**Редакционная коллегия:**

Абдуллин И.Ш. – проректор по научной работе КНИТУ, председатель

Гайнуллин Р.Н. – профессор КНИТУ, секретарь

Шаехов М.Ф. – профессор КНИТУ

ISBN 978-5-7882-1581-5

© Казанский национальный исследовательский  
технологический университет, 2014

## МЕТОДЫ ОЧИСТКИ ВОДЫ

Ахатов М.Ф., Садилов Л.Д., Камалтдинова Д.М.

*Казанский национальный исследовательский технический университет им.*

*А.Н. Туполева, 420111, РФ, К.Маркса,10, [Ahатов.81@yandex.ru](mailto:Ahатов.81@yandex.ru)*

С быстрым развитием современного общества постоянно возрастают потребности в воде во всех секторах хозяйствования. Среди известных методов обеззараживания воды наибольшее распространение, несоизмеримое по масштабам с другими методами, получило хлорирование с использованием в основном жидкого хлора, а также хлорной извести и гипохлорита кальция. Однако хлорирование не обеспечивает дезинфекцию воды от спорообразующих организмов и большинства вирусов. Кроме того, давно установлено, что хлорирование воды приводит к образованию в ней многих побочных хлорсодержащих веществ, обладающих высокой токсичностью мутагенностью и канцерогенностью [1].

Альтернативой хлорированию в настоящее время выступают методы УФ облучения и озонирования, которые также имеют ряд недостатков. В виду сложности технологии и больших затрат электроэнергии озонирование применяется в основном на небольших объемах воды. Чувствительность УФ излучения к мутности обеззараживаемой воды и отсутствие эффекта последствия не позволяет использовать данную технологию как самостоятельную.

На протяжении последних 40 лет в России и за рубежом ведутся разработки электроимпульсных методов обеззараживания жидкостей основанных на осуществлении высоковольтных разрядов в жидкости как наиболее перспективных с точки зрения непосредственного введения в обрабатываемую воду окислительных реагентов. Разновидностью импульсного разряда в жидкости является диафрагменный электрический разряд (ДЭР), в канале которого возникают эффекты кавитации, образуются активные радикалы, перекись водорода, озон, УФ излучение, а так же происходит диффузия ионов металла с поверхности электродов [2].

Выбор метода очистки воды обусловлен ее составом, требованиями к качеству очищенной воды и областью ее применения. Задача получения воды для технических нужд может сводиться к простому обезжириванию, то есть к удалению железа и иногда марганца. Если не удалить из воды ионы этих металлов достаточно глубоко, она становится непригодной даже для технических нужд, так как желтеет на воздухе или при нагреве и кипячении. Это происходит потому, что при окислении растворимое двухвалентное железо переходит в форму нерастворимого оксида трехвалентного железа. Данный

оксид отлично знаком всем - это обычная ржавчина. Задача обезжелезивания при очистке воды может быть решена многими способами, которые сводятся к его окислению с последующей фильтрацией [3].

Новый метод для получения чистой воды пригодной для использования промышленности и пищевом хозяйстве» в простоте, дешевизне и экологически чистом методе очистки воды. Электрические разряды с использованием жидких электродов создают мощные УФ излучение, ударные волны и активные радикалы (ОН, атомарный кислород, пероксид водорода и т.д.) каждый из них является эффективным средством против биологических и химических загрязнений. В связи с этим электрические разряды с жидкими электродами становятся особенно полезными для целей стерилизации и очистки. Это основная причина исследований электрических разрядов в последние годы[4].

Анализ горения электрического разряда с источником питания ВЧЕ разряда, СВЧ чистка электрическими разрядами– это безвредная и безопасная очистка воды по сравнению с хлорированием и другими методами так, как очистка происходит без добавления каких либо кислот или микроорганизмов [5].

## ЛИТЕРАТУРА

1. Вторушина, К.А. Бактерицидные свойства растворов, обработанных электрическим разрядом / К.А. Вторушина, А.С. Юдин, Е.А. Железнова // Вест.междунар. акад. наук экологии и безопасности жизнедеятельности. – 2008. – Т. 13, № 3 (приложение). – С. 200–203.

2. Воронов, Ю.В. Водоотведение и очистка сточных вод. Учебник для вузов. / Ю.В. Воронов, С.В. Яковлев. – М.: Изд. Ассоциации строительных вузов, 2006 – 704 с.

3. В. Я. Цуцукский Очистка и использование сточных вод в промышленном водоснабжении, 1983; 2 изд., М., 1985.

4. А.с. № 1441991 СССР. Способ очистки поверхности изделия / Гайсин Ф.М. Заявл. 18.07.86.

5. Ахатов М.Ф. Преимущества плазменно-электролитной очистки/ Ахатов М.Ф., Садиков Л.Д // Международная научная конференция «плазменные технологии исследования, модификации и получения материалов различной физической природы» и международная школа молодых ученых и специалистов «плазменные технологии в исследовании и получении новых материалов»- Казань. 2012 г.

## ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ РАЗРЯД В ГАЗО-ЖИДКОСТНОЙ МИКРОПУЗЫРЬКОВОЙ СРЕДЕ

Василяк Л.М.<sup>1</sup>, Ветчинин С.П.<sup>1</sup>, Куликов Ю.М.<sup>2</sup>, Печеркин В.Я.<sup>1</sup>,  
Панов В.А.<sup>2</sup>, Сон Э.Е.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Объединенный институт высоких температур Российской академии наук, Россия, г. Москва, ул. Ижорская, д.13, стр.2, 125412. vasilyak@ihed.ras.ru

<sup>2</sup> Московский Физико-Технический Институт, Россия, г. Долгопрудный, Институтский пер., д.9. vladislav.panov@phystech.edu

Электрический разряд в микропузырьковой среде является малоизученным явлением [1], несмотря на потенциальную возможность их применения в таких важных областях человеческой жизни, как например, плазменная медицина, экология, безопасность маслonaполненного оборудования. На протяжении истории исследования всевозможных разрядных явлений внимание уделялось, в основном, процессам и явлениям, происходящим в одиночных пузырьках. [2,3]. Данная работа посвящена экспериментальному исследованию формирования импульсного электрического пробоя в микропузырьковой среде с объемным газосодержанием порядка 10%.

Принципиально, установка представляет собой электрическую цепь, в которой конденсатор  $C$  большой емкости, предварительно заряженный до рабочего напряжения (порядка 30-40 кВ) через управляемый разрядник и токоограничивающие элементы  $R_b$  (порядка 10 кОм) разряжается на пробойный промежуток и токовый шунт  $R_s$  (2 Ом) (рис. 1).

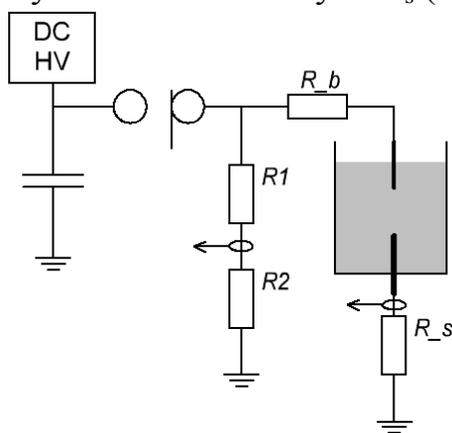


Рисунок 1 – Принципиальная схема экспериментальной установки.

Электрический импульс имеет положительную полярность. Время нарастания фронта порядка 300 мкс. Длительность импульса на полувысоте составляет порядка 10мс. Анод электродной системы выполнен в виде стержня диаметром 3 мм, рабочий конец которого имеет форму конуса с полным углом в  $20^\circ$ . Катод выполнен из стержня диаметром 2 мм, с плоской рабочей

поверхностью. Расстояние между электродами составляет 15 мм. Система помещена в вертикально расположенную кварцевую трубку с внутренним диаметром 16.4 мм и заполнена рабочей 10% смесью водопроводной воды и изопропилового спирта. Удельное сопротивление среды без пузырьков протеканию постоянного тока составляет 3,5 кОм/см. В нижней части трубки расположен блок генерации микропузырьков, работающий на фильтр-элементе. Размер пор составляет 50-60 мкм. Воздух через поры поступает в объем жидкости. Средний диаметр пузырьков – 100 мкм, определялся по фотографии.

Сигналы с делителя напряжения и токового шунта поступают на осциллограф TektronixDPO7054C. Фото-регистрация проводилась с помощью высокоскоростной камеры RedlakeMotionProX3. Запуск элементов установки осуществляется синхронно с дополнительного генератора сигналов.

Разрешающая способность и чувствительность приборов позволяет проводить анализ с точностью до 100 мкс, определяемой скоростью съемки камерой.

Для сравнения и выявления характерных отличий развития дугового канала в микропузырьковой жидкости при данной электродной системе, были проведены серии экспериментов по пробою рабочей жидкости без пузырьков, а так же серии пробоя в воздухе.

Всего по пробою микропузырьковой жидкости с малым количеством пузырьков (не более 3%), микропузырьковой жидкости с большим количеством пузырьков (не более 10%), рабочей жидкости без пузырьков, и воздуха проведено, соответственно, 18, 18, 18 и 6 серий эксперимента.

На основании полученных данных выделены стадии развития искрового канала и сделаны следующие выводы:

На начальном этапе (от 500 до 2000 мкс в зависимости от прикладываемого напряжения) происходит растекание тока в прианодной области и формирование импульсной стримерной короны.

Второй этап начинается с формирования около анода плазменной области с высокой проводимостью, что сопровождается нелинейным участком сопротивления промежутка длительностью порядка 500 мкс. Данный процесс фиксируется по достаточно сильному свечению на фотографии, осциллограф фиксирует повышение уровня тока.

На третьем этапе, длительностью порядка 3000 мкс, происходит распространение теплового канала от анода к катоду. Сопротивление промежутка при этом слабо меняется в сторону уменьшения. Этап завершается замыканием теплового канала на катоде, быстрым развитием тепловой неустойчивости и резким падением сопротивления промежутка.

Четвертый этап представляет собой участок горения дугового разряда с низким слабоменяющимся в сторону увеличения сопротивлением. Длительность составляет порядка 7 мс для 3% пузырьков, и порядка 12 мс для 10%. Этап заканчивается гидродинамическим размытием дугового канала.

На завершающем этапе канал гаснет, свечение отсутствует, остаточные напряжение и ток свидетельствуют о возрастании сопротивления промежутка на 30-40% по сравнению с начальным значением.

Сравнение осциллограмм и изображений разрядного процесса с аналогичными для жидкости без пузырьков выявило следующие особенности:

Наличие большого количества микропузырьков снижает время задержки разряда приблизительно в 2 раза во всем диапазоне прикладываемого напряжения.

Присутствие микропузырьков задает отрицательное дифференциальное сопротивление на начальном участке ВАХ, в то время как для жидкости он состоит из двух линейных, разделенных нелинейным участком развития прианодной плазменной области. Это объясняется увеличением начального тока за счет частичных разрядов в микропузырьках, формирующих большое по сравнению с жидкостью количество проводящих каналов.

Критическое напряжение непосредственно перед замыканием теплового канала для микропузырьковой жидкости превышает аналогичное значение для жидкости в среднем в 2 раза.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Yu. Akishev *et al.* *Generation of a nonequilibrium plasma in heterophase atmospheric-pressure gas-liquid media and demonstration of its sterilization ability.* Plasma Physics Reports, vol. **32**, 12, 1052-1061.
2. Yu. Akishev *et al.* *Dynamics of relay electric breakdown along gas bubble chain in a liquid.* 28th ICPiG, Prague, Czech Republic, 2007.
3. Коробейников С.М., Мелехов А.В., Бесов А.С. *Зажигание разряда в воде с помощью пузырьков.* ТВТ, **40** (2002), 706-713.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВРЕМЕНИ ЗАДЕРЖКИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО РАЗРЯДА ДЛЯ ЖИДКОСТИ БЕЗ И С МИКРОПУЗЫРЬКАМИ

Василяк Л.М.<sup>1</sup>, Ветчинин С.П.<sup>1</sup>, Куликов Ю.М.<sup>2</sup>, Печеркин В.Я.<sup>1</sup>,  
Панов В.А.<sup>2</sup>, Сон Э.Е.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Объединенный институт высоких температур Российской академии наук, Россия, г. Москва, ул. Ижорская, д.13, стр.2, 125412. vasilyak@ihed.ras.ru

<sup>2</sup> Московский Физико-Технический Институт, Россия, г. Долгопрудный, Институтский пер., д.9. vladislav.panov@phystech.edu

Время задержки формирования разряда после приложения напряжения к электродам является важным параметром. В некоторых случаях с его помощью можно сделать выбор в пользу того или иного механизма инициации разряда.

В данной работе экспериментально исследовалась задержка формирования искрового канала при импульсном пробое водо-спиртовой смеси с микропузырьками и без них.

Эксперименты проводились для 10% раствора изопропилового спирта в водопроводной воде. Удельное сопротивление среды постоянному току составило 3,5 кОм/см. Электроды выполнены в виде двух стержней. Конец анода выполнен в виде конуса, конец катода – в виде ровной площадки. Межэлектродное расстояние составляет 15 мм. Амплитуда положительного импульса может меняться в диапазоне (0-20) кВ. Электрические параметры разряда регистрировались при помощи осциллографа TektronixDPO7054C, делителя напряжения, и токового шунта. Высокоскоростное фотографирование велось камерой RedLakeMotionProX3. Коммутация цепи разряда, запуск камеры и осциллографа производились синхронно.

Основываясь на осциллограммах и фотографиях видно, что разряд замыкается не мгновенно, а с задержкой. Развитие разряда происходит в несколько стадий. Можно выделить две стадии, предшествующие стадии искрового разряда (рис. 1).

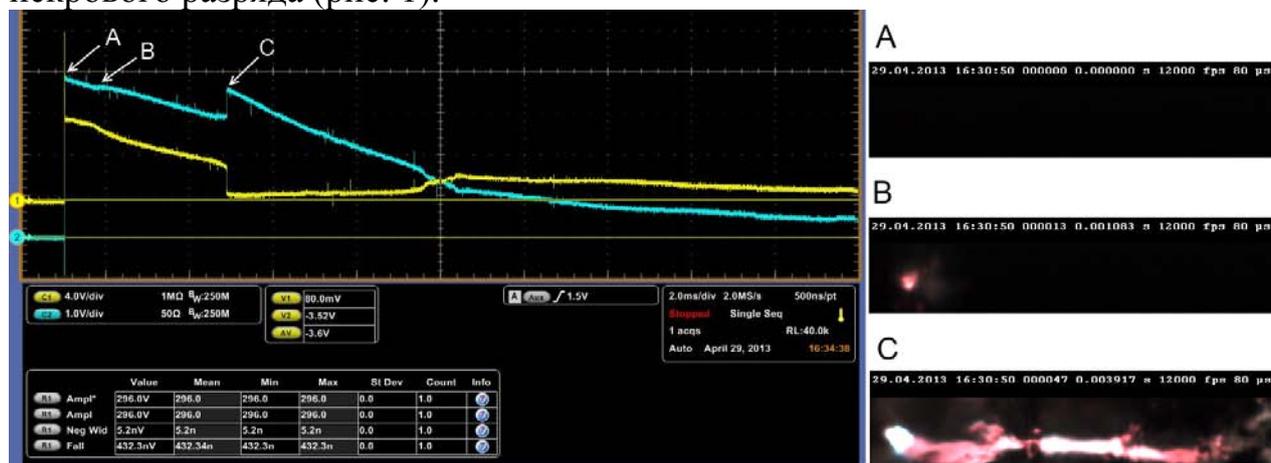


Рисунок 1 – Осциллограмма напряжений на разрядном промежутке и токовом шунте для рабочей среды без пузырьков. Приложенное напряжение 8 кВ (нижняя желтая кривая). Начальный ток 2,2 А (верхняя синяя кривая). А – момент приложения напряжения, В – появление прианодного свечения, С – момент достижения искровым каналом второго электрода.

Первая стадия начинается с момента приложения напряжения и завершается появлением свечения в прианодной области. На втором этапе наблюдается прораствание канала по направлению к катоду. Таким образом, общее время задержки искрового разряда в нашем случае состояла из двух компонент: время формирования прианодного свечения и время распространения искрового канала до второго электрода. Эксперименты проводились для рабочей среды без микропузырьков, с объемным газосодержанием 3% и 10%. Результаты эксперимента приведены на рис. 2.

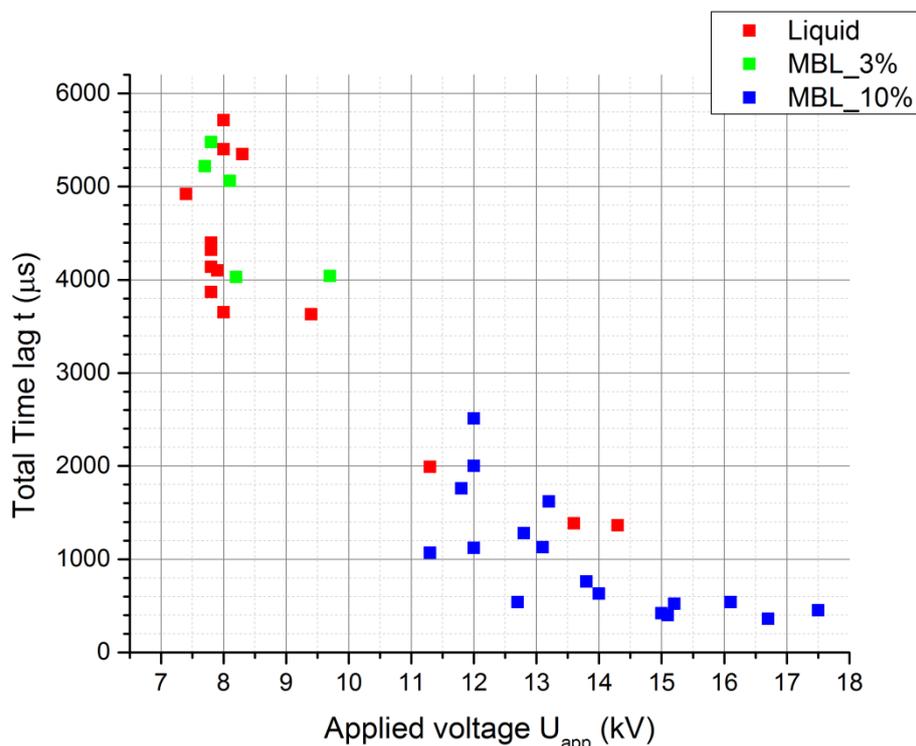


Рисунок 2 – График зависимости суммарного времени задержки искрового разряда от приложенного напряжения для рабочей среды без пузырьков (Liquid), с объемным газосодержанием 3% (MBL\_3%), с объемным газосодержанием 10% (MBL\_10%).

Из графика (рис. 2) следует, что суммарное время задержки в микропузырьковой среде примерно в три раза меньше по сравнению с жидкостью без пузырьков и находятся на уровне 1500 и 4500 мкс соответственно. Это связано, предположительно, с тем, что частичные разряды в приэлектродных микропузырьках развиваются значительно быстрее, чем тепловой механизм, действующий в проводящей среде. На графике также отражена зависимость суммарного времени задержки от газосодержания: при увеличении количества пузырьков время задержки снижается.

## ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ РАЗРЯД ВДОЛЬ КАПЕЛЬНО-СТРУЙНОГО ЭЛЕКТРОДА

**Гасимова Л.Ш., Гайсина А.И., Гайсин Ал.Ф., Леушка М.А., Сон Э.Е.**

*Московский Физико-Технический Институт, Россия, г. Долгопрудный,  
Институтский пер., д.9.*

*Казанский национальный исследовательский технический университет  
им. А.Н. Туполева-КАИ*

*Россия, Республика Татарстан, г. Казань, ул. Карла Маркса, 10*

*E-mail: [gasimova.techph@kstu-kai.ru](mailto:gasimova.techph@kstu-kai.ru)*

Неравновесная низкотемпературная плазма электрического разряда (ЭР) постоянного тока с электролитическими электродами представляет как научный, так и практический интерес.

Анализ известных работ [1-12] показал, что теория ЭР с струей электролита отсутствует и для ее разработки первостепенное значение имеет накопление экспериментальных данных. В настоящее время ограниченность диагностических методов для исследования ЭР с электролитическими электродами не позволяет понять многих физических процессов.

Исследования электрического разряда постоянного тока вдоль струйного электролитического анода проводились на экспериментальной установке, которая состоит из разрядной камеры, источника питания и вакуумной системы. Разрядная камера состоит из ванны для сбора электролита, струйного электролитического анода и медной пластины – катода. Фотографирование разряда осуществлялось фотоаппаратом «SonyDSC-H9», а также проводились видеосъемка на видеокамеру «SonyDSC-SR72E». Анализ получаемых видеороликов проводился в покадровом режиме. Время экспозиции одного кадра составляет  $t = 0,04$  с.

На фотографиях рис. 1, 2, 3 и 4 показаны электрические разряды вдоль струйного электрического анода. После зажигания между струйным электролитическим анодом и медным катодом (фотография рис. 1) наблюдается электрический разряд, где струя является необычным электродом с различными областями перехода: первая область перехода – металл – струя; вторая – однородная – неоднородная струи; третья – струя – металл (анод). Эти переходы существенно влияют также как и в случае ЭР струйным электролитическим катодом [4]. Однако наблюдаются значительные отличия в случае разряда струйным электролитическим анодом. Как видно из фотографии рис. 1 ( $t = 0,04$  с), на границах переходов видны разряды. На границе второй области с первой наблюдается ЭР кольцевой формы. Появление разряда на границе кольцевой формы объясняется тем, что появляется разность потенциалов между однородной и неоднородной областями. Электрический разряд появляется также вблизи поверхности металлического катода.



Рис. 1. Фотография ЭР между струйным электролитическим анодом и медным катодом при  $t = 0,04$  с,  $P = 10^5$  Па,  $G = 4$  г/с,  $v = 0,5$  м/с,  $U = 485$  В,  $l_c = 10$  мм и  $d_c = 3$  мм. Электролит – насыщенный раствор NaCl в технической воде

С течение времени от  $t = 0,04$  до  $t = 0,08$  с электрические разряды по объему возрастают. На границе однородной – неоднородной струи наблюдается объемный ЭР, на которой влияет движение воздуха (фотография рис. 2). С ростом времени от  $t = 0,08$  с до  $t = 0,12$  с электрический разряд распространяется вдоль струйного электролитического анода и принимает форму цилиндра (фотография рис. 3). Анализ экспериментальных данных показал, что наблюдаются двойные ЭР цилиндрической формы вдоль струйного электролитического анода. Размеры и интенсивности излучения цилиндрических объемных разрядов вдоль струйного электролитического анода отличаются. С течением времени объемные электрические разряды объединяются и принимают форму шара (фотография рис. 4).



Рис. 2. Фотография ЭР между струйным электролитическим анодом и медным катодом при  $t = 0,08$  с,  $P = 10^5$  Па,  $G = 4$  г/с,  $v = 0,5$  м/с,  $U = 475$  В,  $l_c = 10$  мм и  $d_c = 3$  мм. Электролит – насыщенный раствор NaCl в технической воде

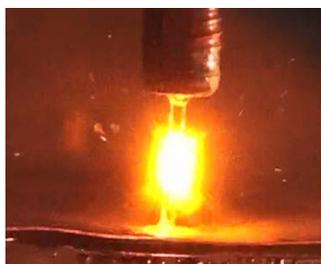


Рис. 3. Фотография ЭР между струйным электролитическим анодом и медным катодом при  $t = 0,12$  с,  $P = 10^5$  Па,  $G = 4$  г/с,  $v = 0,5$  м/с,  $U = 465$  В,  $l_c = 10$  мм и  $d_c = 3$  мм. Электролит – насыщенный раствор NaCl в технической воде



Рис. 4. Фотография ЭР между струйным электролитическим анодом и медным катодом при  $t = 0,16$  с,  $P = 10^5$  Па,  $G = 4$  г/с,  $v = 0,5$  м/с,  $U = 455$  В,  $l_c = 10$  мм и  $d_c = 3$  мм. Электролит – насыщенный раствор NaCl в технической воде

Таким образом, установлено, что границы перехода однородной – неоднородной части струйного электролитического анода приводят к образованию объемных ЭР различной конфигурации вдоль струйного электролитического анода.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Bruggman P, Chryphe L. *Нетермические плазмы в жидкостях и контактирующие с жидкостями*: (обзорная работа). J. Phys.D: Appl.Phys.42 (2009)053001 (28pp).
2. Гайсин Ал.Ф., Насибуллин Р.Т. *об особенностях электрического разряда между электролитическим катодом и металлическим анодом* // Физика плазмы. 2011. Т. 37. С. 959.
3. Гайсин Ал.Ф., Саримов Л.Р. *Некоторые особенности электрического разряда между электролитическим анодом и металлическим катодом* // Физика плазмы. 2011. Т. 37. С. 574.
4. Гайсин Ал.Ф., Сон Э.Е. *Паровоздушные разряды между струйным электролитическим катодом и металлическим анодом при пониженных давлениях* // Теплофизика высоких температур. 2010. Т. 48. № 3. С. 470.
5. Гайсин Ал.Ф., Сон Э.Е. *Электрический пробой вдоль струйного электролитического катода при пониженных давлениях* // Теплофизика высоких температур. 2010. Т. 48. № 5. С. 785.
6. Шакирова Э.Ф., Гайсин Ал.Ф., Сон Э.Е. *Многоканальный разряд между струйным электролитическим катодом и струйным электролитическим анодом* // Теплофизика высоких температур. 2011. Т. 49. № 3. С. 333.
7. Мустафин Т.Б., Гайсин Ал.Ф. *Многоканальный разряд между струйным электролитическим анодом и твердым катодом* // Теплофизика высоких температур. 2011. Т. 49. № 4. С. 634.
8. Логинов Н.А., Гайсин Ал.Ф., Сон Э.Е., Гайсин Ф.М. *Особенности многоканального разряда в пористом твердом катоде* // Теплофизика высоких температур. 2009. Т. 47. № 4. С. 633.

9. Каюмов Р.Р., Гайсин Ф.М. *Некоторые особенности многоканального разряда между струей электролита и электролитической ячейкой при атмосферном давлении* // Теплофизика высоких температур. 2008. Т. 46. № 5. С. 784.
10. Гайсин Ал.Ф. *Электрические разряды вдоль струи электролита* // Вестник Казанского технологического университета. 2013. №19. С. 307-310.
11. Мустафин Т.Б., Гайсин Ал.Ф., Гасимова Л.Ш., Абдуллин И.Ш. *Характеристики электрического разряда со струйным электролитическим анодом при пониженных давлениях* // Вестник Казанского технологического университета. 2012. № 6. С. 178-180.
12. Гайсин Ал.Ф., Абдуллин И.Ш., Суворов И.Ф., Какуров С.В., Гайсин Аз.Ф., Соловьева Т.Л., Юдин А.С., Рахлецова Т.В. *Электрические разряды с жидкими электродами* // Вестник Казанского технологического университета. 2013. № 23. С. 199-204.

## **ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО РАЗРЯДА В ЖИДКОСТЯХ**

**Гильманов Р.Н., Садыкова А.Р., Ахатов М.Ф.**

*Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева, 420111, РФ, К.Маркса,10, E-mail: [kai@kstu-kai.ru](mailto:kai@kstu-kai.ru)*

Плазма электрического разряда может быть использована как источник возбужденных частиц, инициирующих химические реакции для осуществления их в промышленных масштабах.

Обзор литературы показал различные возможности генерирования частиц различных растворах. Среди них для инициирования реакций в газовой фазе можно выделить высокочастотный разряд в воздухе при пониженном давлении [1], электроионизационный [2], коронный [3] и тлеющий [4] разряды при атмосферном давлении, импульсный стримерный разряд [5], а так же многоканальный разряд.

Детальное изучение химических процессов, протекающих под действием электрических разрядов, необходимо для разработки возможных технологических процессов получения новых материалов, разработки новых способов технологической обработки материалов и рабочих сред, а также для проведения очистки сточных вод от органических и неорганических примесей. Научный интерес в указанной области обусловлен особыми условиями протекания химических реакций, как на электродах, так и в объеме, их механизмом и кинетикой, а так же относительно низкой стоимостью.

Технология обеззараживания и очистки воды ДЭР представлен на рисунке 1. Обрабатываемая вода поступает в камеру через входной патрубок 6. На металлические электроды 4 и 5 подается напряжение от источника питания 8, возникает электрический ток, протекающий от одного электрода к другому. Протекая в толще воды, он достигает диафрагменной мембраны 2 и