

УДК 537.528

Высоковольтный импульсно-периодический многоэлектродный кольцевой разряд в жидкости: основные характеристики и возможности применения

А. М. Анпилов, Э. М. Бархударов, А. В. Двоенко, Ю. Н. Козлов, И. А. Косский,
И. В. Моряков, М. И. Тактакишвили, С. М. Темчин

В работе представлены результаты исследования многоэлектродного кольцевого высоковольтного импульсно-периодического искрового разряда в жидкости с инжекцией газа в межэлектродное пространство. Энергия импульса $W = 1,6$ Дж. Приведена конструкция и принцип работы разрядной системы, а также ее электрические и оптические характеристики. Измерена интенсивность УФ-излучения в интервале $200 \text{ нм} < \lambda < 400 \text{ нм}$. Выполнены эксперименты, связанные с решением ряда прикладных задач: очистка воды от микробиологических загрязнений, обработка отходов гальванического производства, получение коллоидного раствора углерода в этаноле.

PACS: 52.80.Wq

Ключевые слова: разряд, жидкость, плазма, ультрафиолет, наночастицы, бактерии, водоочистка.

Введение

Исследования импульсного высоковольтного (ВВ) разряда в жидкости, вдоль границы жидкость–газ, а также в газовых пузырях в объеме жидкости помимо научного интереса важны для решения различных прикладных задач, например, таких, как очистка воды от микробиологических, органических, химических загрязнений, получение

микроструктур на основе углерода, металлов и их оксидов и др.

Известно, что воздействие импульсного высоковольтного разряда на воду (жидкость) является многофакторным: генерация активных частиц (гидратированные электроны, О, О₃, Н₂О₂, ОН и др.), УФ-излучение, сильные акустические и ударные волны (УВ), кавитация и др. При этом может иметь место такое явление как синергизм воздействия [1], эффективность которого зависит от типа разряда и энерговыклада.

В последнее время проблеме реализации импульсных электрических ВВ-разрядов в воде посвящено большое число работ (см. обзоры [2, 3]). Отличительной особенностью этих разрядов является возможность сообщения веществу большой плотности энергии, что обеспечивает высокие скорости изменения физических и термодинамических параметров вещества.

Отдельный интерес представляют работы с энергией в импульсе $W = 1 \dots 10$ Дж, поскольку результаты в этих случаях в значительной степени зависят от свойств среды, параметров источников питания и др., а также благодаря простоте их реализации. Ранее нами была предложена импульсно-периодическая многоэлектродная искровая разрядная система с инжекцией газа в межэлектродное пространство, обладающая линейной геометрией ($W = 1,6$ Дж) и максимальной средней мощностью $N = 180$ Вт [4–7].

Анпилов Андрей Митрофанович, научный сотрудник¹.

Бархударов Эдуард Михайлович, ведущий научный сотрудник¹.

Двоенко Александр Вилорьевич, директор².

Козлов Юрий Никитич, зав. лабораторией^{3,4}.

Косский Игорь Антонович, зав. лабораторией¹.

Моряков Игорь Витальевич, младший научный сотрудник¹.

Тактакишвили Мирабэ Иванович, старший научный сотрудник¹.

Темчин Савелий Мусиевич, научный сотрудник¹.

¹ Институт общей физики им. А. М. Прохорова РАН.

Россия, 119991, Москва, ул. Вавилова, 38.

E-mail: kossyi@fpl.gpi.ru

² ООО «Плазма-про».

Россия, 410005, Саратов, ул. Большая Садовая, 239.

³ Институт химической физики РАН.

Россия, 119991, Москва, ул. Косыгина, 4.

⁴ Российский экономический университет им. Плеханова.

Россия, 117997, Москва, Стремянный пер., 36.

Статья поступила в редакцию 11 мая 2016 г.

© Анпилов А. М., Бархударов Э. М., Двоенко А. В., Козлов Ю. Н., Косский И. А., Моряков И. В., Тактакишвили М. И., Темчин С. М., 2016

В данной работе представлена модификация этой системы, обладающая кольцевой геометрией ($N = 800$ Вт). Она значительно проще, обладает рядом конструктивных преимуществ, в частности рабочий объём свободен от элементов разрядного устройства. А также позволяет усилить интенсивность воздействия на жидкость за счет «фокусировки» УФ-излучения и гидродинамических возмущений.

Экспериментальная установка

На рис. 1, А и Б приведены соответственно фотографии реактора в работе и установки в целом.

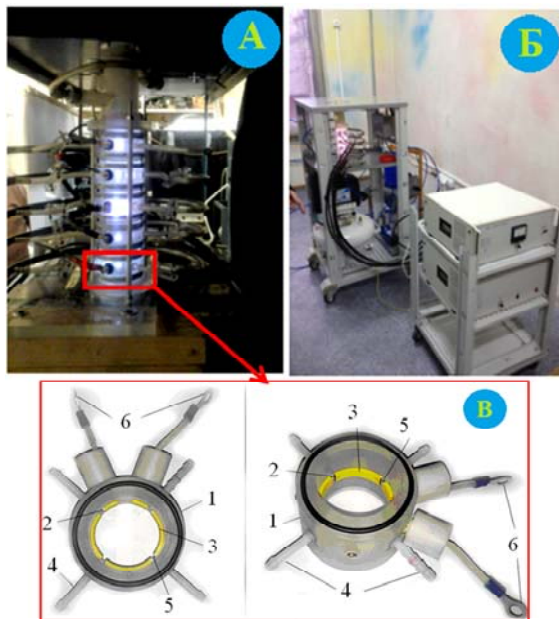


Рис. 1. Экспериментальная установка: А — реактор в работе, Б — общий вид установки, В — одна из секций реактора, где введены обозначения: 1 — диэлектрическая камера; 2 — электроды; 3 — электроизоляционный материал; 4 — патрубок для инжекции газа в отверстие 5; 6 — клеммы для подачи ВВ-напряжения.

Реактор состоит из пяти цилиндрических, последовательно соединённых камер, в каждой из которых располагается многоэлектродный кольцевой разрядник. (Возможно параллельное включение камер). Одна из секций реактора показана на рис. 1, В, где 1 — диэлектрическая камера, 2 — электроды, расположенные по кольцу на внутренней поверхности камеры с одинаковым зазором (1,5...2 мм) между ними. Поверхность электродов, обращенная к центру трубы, покрыта электроизоляционным материалом 3, патрубок 4 служит для подачи газа, который через отверстие 5 поступает в межэлектродное пространство. Диаметр отверстия $d \leq 1$ мм. К клеммам 6 подается ВВ-напряжение. Расположение разрядных промежутков симметрично по кольцу обеспечивает «фокусировку» УФ-излучения и гидродинамических возмущений. Суммарная емкость пяти камер $V = 400$ см³.

В качестве источника питания используется пятиканальный генератор ВВ-импульсов. Параметры канала, запитывающего одно разрядное устройство, следующие: энергия накопительного конденсатора $W = 1,6$ Дж; напряжение $U \leq 20$ кВ; ток $I \leq 300$ А; частота импульсов $f \leq 100$ Гц, длительность импульса $\tau = 1,5 \dots 2$ мкс. Максимальная средняя мощность пяти каналов составляет $N = 800$ Вт. Система обеспечена устройством, регулирующим скорость прокачки воды и подачу газа (воздух, Ar, O₂, N₂, CH₄ и др.). Расход газа менялся в пределах 0,5...3,0 л/мин.

На рис. 2, А и Б схематически представлено разрядное устройство и соответствующая эквивалентная электрическая схема. Система работает по принципу скользящего разряда. Эквивалентные сопротивления, указанные на рис. 2, Б, ($R_1 \dots R_6$) — это сопротивления воды между соответствующими электродами и землей. Высокое значение сопротивления воды обеспечивает развитие скользящего разряда (последовательный пробой разрядных промежутков). Наличие границы трёх сред, а именно, газ—металл—вода (для воды $\epsilon = 81$) снижает порог электрического пробоя, который формируется вдоль границы вода—газ.

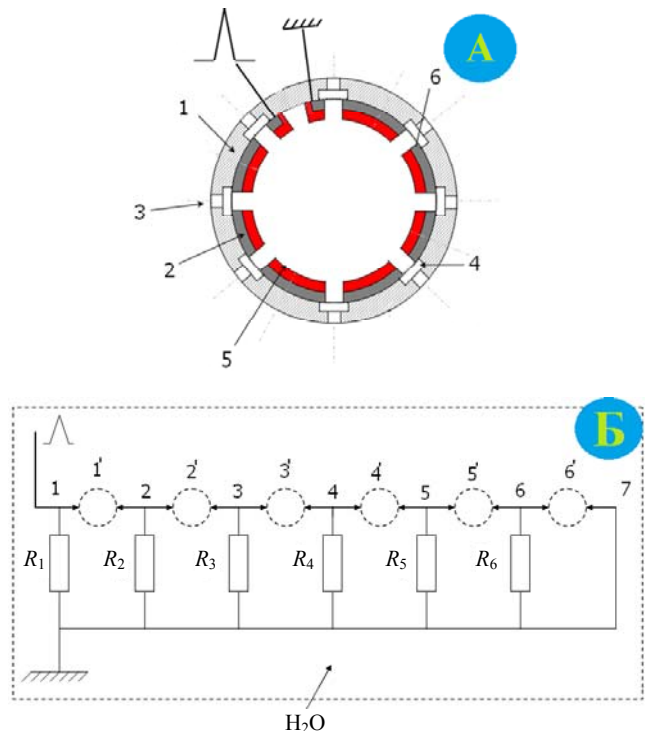


Рис. 2. Разрядное устройство: А — схема разрядного устройства (1 — диэлектрическая трубка, 2 — электроды, 3 — отверстие для подачи газа в полость, 4, 5 — электроизоляционный материал, 6 — рабочая поверхность электрода); Б — эквивалентная электрическая схема (1...7 — электроды, 1'...6' — газовые полости, $R_1 \dots R_6$ — эквивалентные сопротивления между электродами и землёй).

На рис. 3 приведены типичные осциллограммы тока и напряжения.

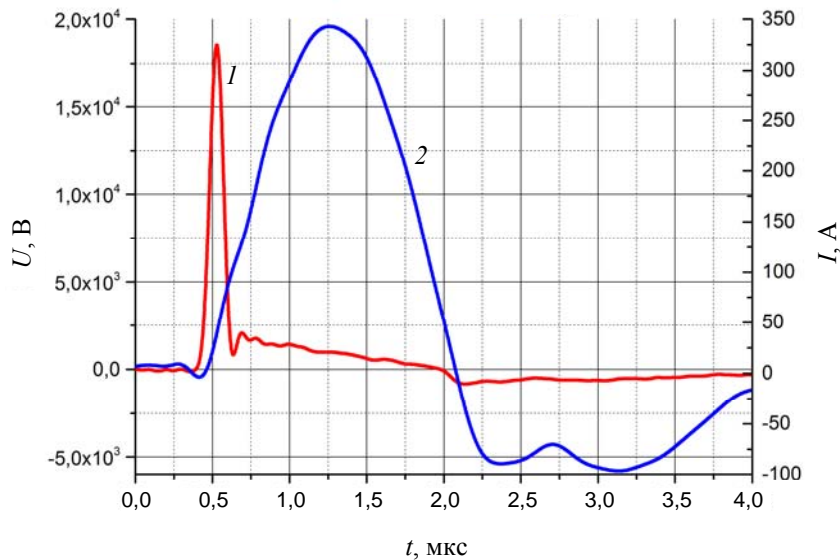


Рис. 3. Осциллограммы тока и напряжения. (кривая 1 — напряжение U , В; кривая 2 — ток I , А).

Формирование искрового канала начинается с задержкой $\leq 0,5$ мкс, и сопровождается резким падением напряжения и ростом разрядного тока. Основная энергия выделяется на искровой стадии за времена $\sim 1,5 \dots 2$ мкс.

На рис. 4, А представлен интегральный спектр излучения разряда (спектрограф — AvaSpec 2048FT). В спектре выделяются уширенные линии H_{α} и H_{β} . В области УФ-излучения присутствуют линии железа Fe (материал электродов).

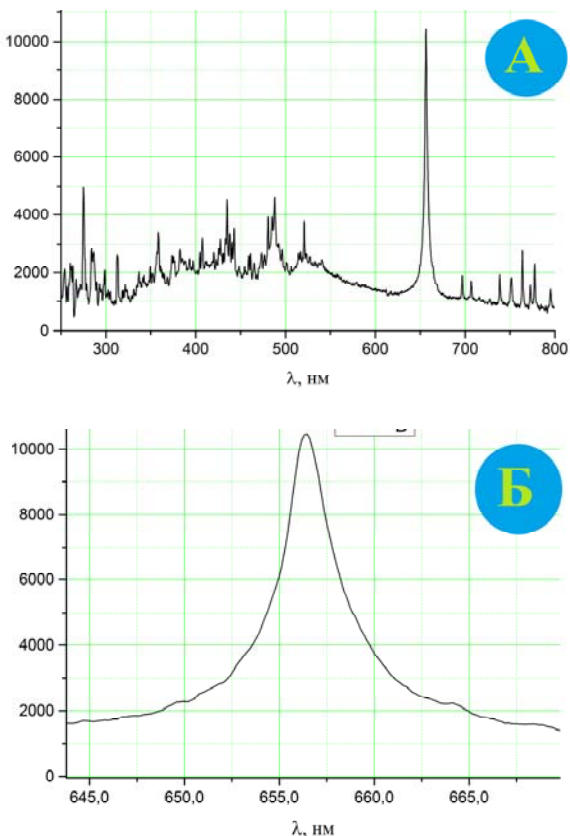


Рис. 4. Спектральные измерения: А — интегральный спектр излучения разряда, Б — контур H_{α} (газ — Ar.)

Считая, что уширение линии H_{α} (см. рис. 4, Б) обусловлено электрическими полями плазмы (эффект Штарка), была измерена концентрация электронов, согласно формуле из работы [8]:

$$\Delta\lambda = 2,5 \times 10^{-10} \alpha_{1/2} N_e^{2/3} \quad (1)$$

где $\Delta\lambda$ — полуширина спектральной линии [нм], N_e — электронная концентрация [см^{-3}]. Для данного случая $N_e = 3 \times 10^{17} \text{ см}^{-3}$.

Интересно отметить, что такой же результат получен в экспериментах со скользящим вдоль границы вода—газ разрядом при использовании аналогичного источника питания [9].

Измерение УФ-излучения в диапазоне $200 \text{ нм} < \lambda < 400 \text{ нм}$

Как отмечалось ранее, УФ-излучение — один из важных факторов воздействия разряда на жидкость. Эффективность трансформации энергии, вложенной в разряде в УФ-излучение, существенно зависит от типа разряда и энерговклада. В литературе сравнительно мало количественных измерений УФ-излучения. Особенно это касается разрядов с энергетикой импульса $W = 1 \dots 10$ Дж. В [10] выполнены измерения УФ-излучения коронного разряда в воде ($W = 1 \dots 3$ Дж; $\lambda = 190 \dots 280$ нм). В [5] объектом аналогичных исследований был искровой разряд ($W = 2,0$ Дж).

Измерения интенсивности излучения кольцевой разрядной системы были выполнены с использованием жидкостного ферриоксалатного актинометра [5, 10—12] по схеме, приведённой на рис. 5.

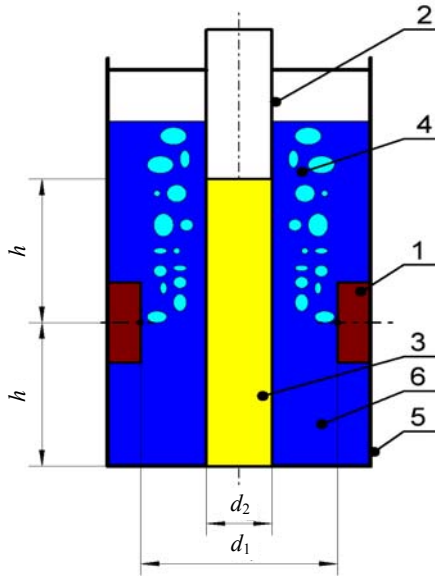


Рис. 5. Схема эксперимента по измерению интенсивности излучения кольцевой разрядной системы.

Вдоль оси симметрии кольцевого разрядника (1) ($d_1 = 4$ см) помещалась кварцевая трубка (2) ($d_2 = 1,8$ см), заполненная актинометрической жидкостью (3), содержащей ферриоксалат калия либо объёмом 9,6 мл, либо — 4,8 мл, что соответствовало уровню жидкости $2h$ и h соответственно ($h = 1,9$ см). Пространство между сосудом (5) и цилиндром (2) заполнялось водой (6) с проводимостью $\sigma = 150$ мкСи/см. В отверстия между электродами кольцевого разрядника инжектировался

Ar (4). Расход газа — 2 л/мин. Когда уровень актинометрической жидкости равнялся h , ферриоксалат калия облучался только излучением разрядника, не рассеиваемым пузырьками газа. Если же уровень актинометрической жидкости равнялся $2h$, то половина объёма ферриоксалата (нижняя часть столба жидкости) по-прежнему облучалась нерассеиваемым светом разрядника, а другая половина (верхняя часть столба жидкости) облучалась излучением, которое рассеивалось пузырьками газа (Ar).

Выполненные измерения показали, что количество квантов света, поглощённых актинометрической жидкостью в первом случае (h) равно $N_1 = 2,2 \times 10^{18}$ квантов/мин., а во втором — ($2h$) $N_2 = 4 \times 10^{18}$ квантов/мин. Параметры источника питания: $U = 20$ кВ, частота $f = 25$ Гц. Время облучения составляло $t = 1$ мин.

Из полученных результатов следует, что на пузырьках газа рассеивается примерно 20 % УФ-излучения.

Для оценки интегральной интенсивности света была принята модель, которую иллюстрирует рис. 6. Предполагаем, что каждая искра является точечным источником света и пренебрегаем отражением света на границе вода—кварц. Последнее допущение частично компенсируется выбором наибольшего из возможных расстояний от искры до плоскости сечения цилиндра, следом которой является линия A-A.

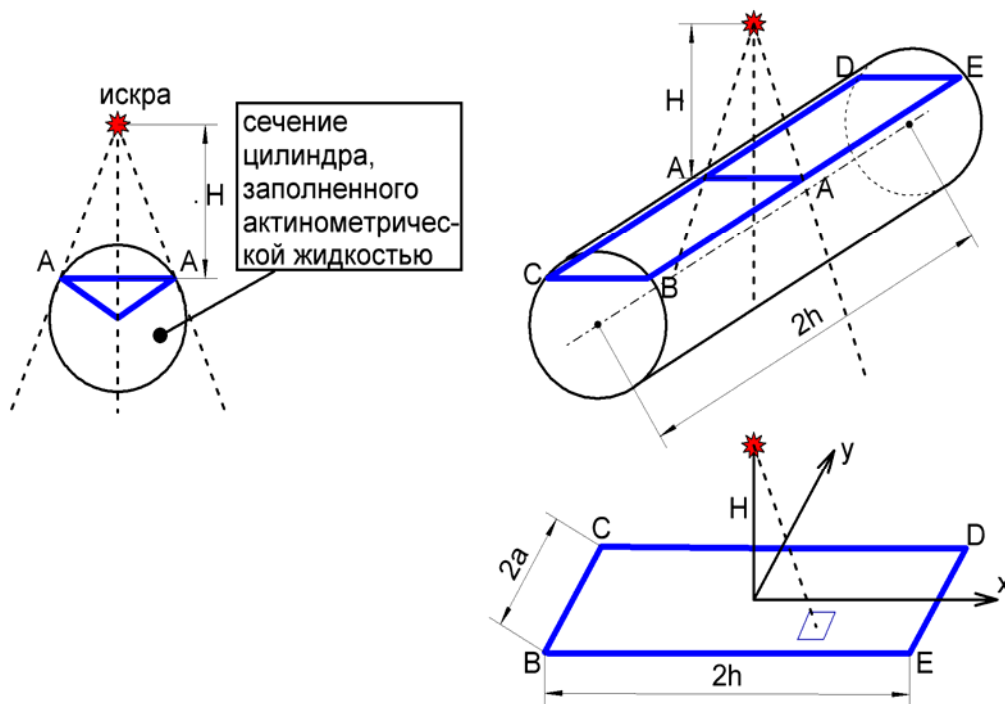


Рис. 6. Модель для приближённой оценки интегральной интенсивности света.

Полное число квантов, поглощённых актинометрическим раствором, определяется поверхностным интегралом:

$$2N_1 = \frac{2nN}{4\pi Ha} \times \arctg \left(\frac{ha}{H\sqrt{x^2 + y^2 + H^2}} \right). \quad (2)$$

Здесь n — число искр кольцевого разрядника; N — число квантов, испускаемых одной искрой за единицу времени (одну минуту); $2N_1$ — число квантов, поглощаемых актинометрическим раствором при отсутствии рассеяния на пузырьках газа.

Если учесть конкретную геометрию (диаметр кольцевого разрядника $d_1 = 4$ см, внутренний диаметр цилиндра $d_2 = 1,8$ см, $a = 1,6$ см, $H = 1,6$ см, $h = 1,9$ см) и подставить численные значения в выражение (2), то можно получить, что отношение полного числа квантов, испускаемых разрядником, к числу квантов, поглощённых актинометром, выражается следующим соотношением:

$$\frac{nN}{2N_1} \approx 17. \quad (3)$$

Другими словами, реальная интенсивность излучения кольцевого разрядника в 17 раз превышает измеренную по ферриоксалату калия. Учитывая приближённость используемой для расчёта модели, можно достоверно принять, что полная интенсивность излучения кольцевого разряда порядка 4×10^{19} квант/мин.

Условия эксперимента: $\sigma = 150$ мкСм/см, температура $T = 25$ °С, напряжение $U = 20$ кВ, длительность импульса $\tau = 1,5 \dots 2$ мкс, время обработки $t = 60$ с, энергия накопительного конденсатора $W_c = 1,6$ Дж ($C = 8 \times 10^{-9}$ Ф), частота следования импульсов $f = 25$ Гц.

Полное число квантов, поглощенное ферриоксалатом, заполняющим кварцевую трубку с учетом рассеяния излучения на пузырьках, составляет $4,4 \times 10^{18}$ квант/мин.

Согласно расчетам, число квантов, излучаемое кольцевым разрядом, равно $8,8 \times 10^{19}$ квант/мин, а в одном импульсе 6×10^{16} квантов, что соответствует энергии УФ-излучения импульса — $W_u \geq 3 \times 10^{-2}$ Дж. За энергию кванта УФ-излучения было принято 3 эВ (длина волны $\lambda = 400$ нм).

Поскольку энергия накопительного конденсатора $W_c = 1,6$ Дж, то КПД УФ-излучения составляет ≥ 2 %.

Если учесть, что в искровую стадию разряда вкладывается 0,4 от энергии конденсатора, то на долю УФ-излучения приходится ≥ 5 %.

В условиях проведённого эксперимента ($f = 25$ Гц, $U = 20$ кВ) средняя мощность УФ-излуче-

ния (всей установки — реактора, состоящего из пяти разрядных устройств) — 3,75 Вт. В случае увеличения частоты до $f = 100$ Гц средняя мощность может составить 15 Вт.

Эксперименты, связанные с решением прикладных задач

На установке был выполнен ряд экспериментов, связанных с решением ряда прикладных задач.

1. Воздействие на воду верхних слоёв открытого водоёма, заражённую мезофобными аэробными организмами в количестве $N_0 = 3,4 \times 10^4$ бактерий в 1 см^3 . Параметры воды: рН = 8,1, удельная проводимость $\sigma = 360$ мкС/см, температура $T = 26$ °С. Показано, что для уменьшения количества микроорганизмов в 10 раз требуется удельный энергозатрат в жидкость $\gamma \approx 0,3 \dots 0,5$ Дж/см³. На рис. 7 приведена зависимость относительного изменения числа бактерий от удельного энергозатрата γ .

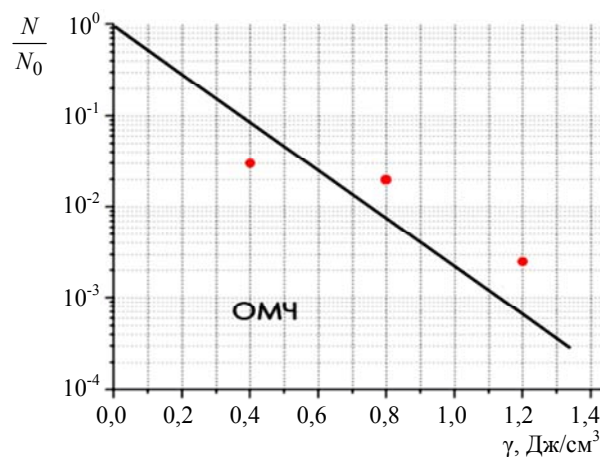


Рис. 7. Зависимость относительного изменения числа бактерий от удельного энергозатрата γ .

2. Обработка отходов гальванического производства (хромово-кислотно-щелочные стоки) привела к снижению концентрации ряда металлов в несколько раз, в частности, для хрома в 30 раз ($\gamma = 10 \dots 15$ Дж/см³). После центрифугирования обработанная жидкость даёт осадок в три раза больше, чем необработанная.

3. Получение устойчивого коллоидного раствора нанокремнезёма. Использовался этиловый 95%-спирт при инъекции газа — Аг. Проведенные исследования позволили выявить следующие особенности коллоидного раствора.

3.1. Коллоидный раствор устойчив (более двух лет наблюдения [13]).

3.2. Наночастицы обладают отрицательным зарядом.

3.3. Размеры и структура наночастиц зависят от удельного энергозатрата. Анализ порошка, полученного при испарении коллоидного раствора,

показал, что основную массу наночастиц составляет разупорядоченный углерод в виде графитовых наночастиц. В то же время использование дифрактометрии и рефлектометрии показало

наличие частиц, обладающих кристаллической структурой. Метод электрофореза позволил выделить на положительном электроде кубические алмазные частицы размером ≤ 50 нм (см. рис. 8).

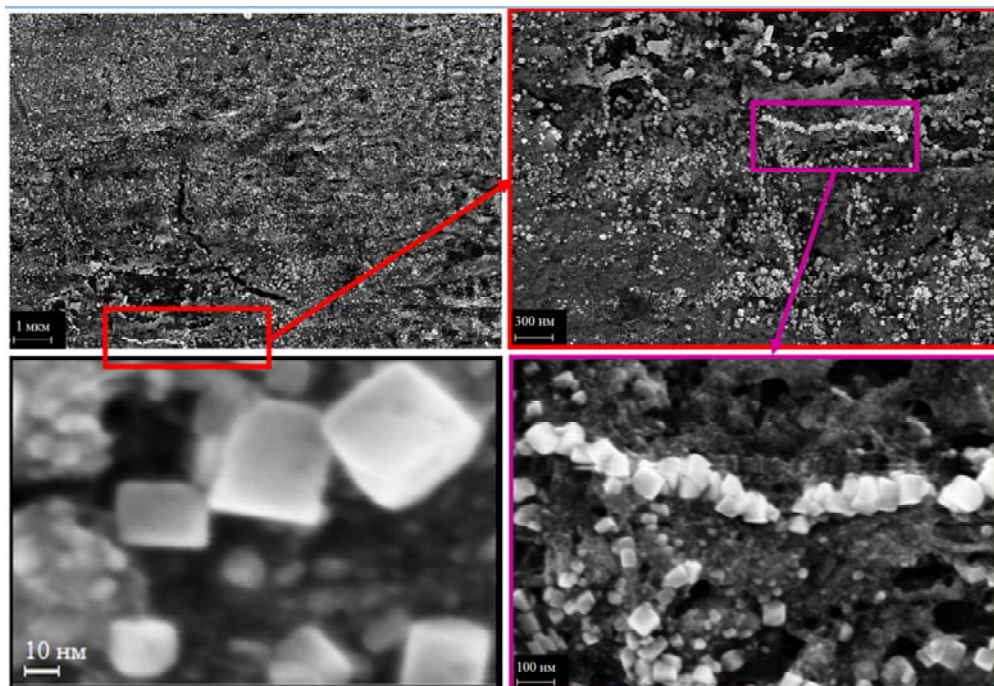


Рис. 8. Фотографии наноуглеродного покрытия, полученные при электрофорезе на положительном электроде с помощью электронного микроскопа при различном разрешении.

Заключение

В ходе проведенных экспериментальных работ создан многофункциональный реактор на основе кольцевого многоэлектродного скользящего высоковольтного импульсного разряда в жидкости с максимальной потребляемой мощностью 800 Вт. Эффективность микробиологической очистки воды (снижения числа бактерий в 100 раз) при импульсно-периодическом режиме работы — $1 \text{ м}^3/\text{час}$.

Измерена энергия УФ-излучения в диапазоне $200 \text{ нм} < \lambda < 400 \text{ нм}$. Показано, что средняя мощность УФ-излучения может достигать 15 Вт, то есть $\approx 5\%$ от вложенной в искровую стадию разряда энергии.

Полученные результаты могут быть использованы для решения ряда прикладных задач: очистка воды от микробиологического загрязнения; обработка отходов гальванического производства; получение коллоидного раствора наноуглерода, на основе которого получены плёнки на поверхности элементов СВЧ-техники, снижающие коэффициент вторичной электронной эмиссии [13]; создание алмазных покрытий и стёкол [14] и др.

Работы проводились согласно программе фундаментальных научных исследований (ФНИ) государственных академий наук на 2014—2016 годы (01200953487). Комплексная программа отделения фундаментальных наук. Подпрограмма: "Фундаментальные проблемы электродинамики и волновой диагностики атмосферы".

ЛИТЕРАТУРА

1. Goryachev V. L., Rutberg F. G. & Fedukovich V. N. // *Izv. RAN, Applied Energy, Russ. J. Fuel Power Heat Sys.* 1998. No. 36. P. 35.
2. Bruggeman P., Leys Ch. // *J. Phys.D: Appl. Phys.* 2009. Vol. 42. P. 28.
3. Locke B. R., Sato M., Sunka P., Hoffmann M.R., Chang J.-S. // *Ind. Eng. Chem. Res.* 2006. Vol. 45. P. 882.
4. Zadiraka Yu. V., Barkhudarov E. M., Kossyi I. A., Taktakishvili M. I. RF Patent 65 58638, Appl. No. 09/875293, 2003.
5. Anpilov A. M., Barkhudarov E. M., Bark Yu. B., Zadiraka Yu. V., Christofi N., Kozlov Yu. N., Kop'ev V. A., Kossyi I. A., Silakov V. P., Taktakishvili M. I., Temchin S. M. // *J. Phys. D: Appl. Phys.* 2001. Vol. 34. No. 6. P. 993.
6. Шмелёв В. М., Евтюхин Н. В., Козлов Ю. Н., Бархударов Э. М. // *Химическая физика.* 2004. Т. 23. № 9. С. 77.
7. Анпилов А. М., Бархударов Э. М., Давыдов А. М. // *ЖТФ.* 2011. Т. 81. Вып. 11. С. 48.

8. Griem H. R. Spectral line broadening by plasmas. — Academic Press, New York and London, 1974.

9. Anpilov A. M., Barkhudarov E. M., Kop'ev V. A., Kossyi I. A. / Proc. 28th ICPIG, July 17–20, 2007, pp. 1030–1033.

10. Lukes P., Clupek M., Babicky V., Sunka P. // Plasma Sources Sci. Technol. 2008. No. 17. P. 1.

11. Bark Yu. B., Barkhudarov E. M., Kozlov Yu. N., Kossyi I. A., Silakov V. P., Taktakishvili M. I., Temchin S. M. // J. Phys. D: Appl. Phys. 2000. Vol. 33. P. 859.

12. Hatchard C. G. and Parker C. A. // Proc. R. Soc. 1956. Vol. A235. P. 518.

13. Анпилов А. М., Бархударов Э. М., Косый И. А., Лукьянчиков Г. С., Мисакян М. А., Моряков И. В. // Прикладная физика. 2014. № 4. С. 11.

14. Bogdanov S. A., Chernov V. V., Anpilov A. M., Barkhudarov E. M., Vikharev A. L., Kossyi I. A., Radishev D. V. / Proc. International Conference on Diamond and Carbon Materials. (2013, Riva del Garde, Italy).

High-voltage pulse-periodic multielectrode ring discharge in liquid: key features and application possibilities

A. M. Anpilov¹, E. M. Barkhudarov¹, A. V. Dvoenko², Yu. N. Kozlov^{3,4}, I. A. Kossyi¹,
I. V. Moryakov¹, M. I. Taktakishvili¹, and S. M. Temchin¹

¹ Prokhorov General Physics Institute, RAS
38 Vavilov str., Moscow, 119991, Russia
E-mail: kossyi@fpl.gpi.ru

² PLAZMA-PRO COMPANY, LTD.
239 Bolshaia Sadovaia str., Moscow, 410005, Russia

³ Institute Chemical Physics of the RAS
4 Kosygina str., Moscow, 119991, Russia

⁴ Plekhanov Russian University of Economics
36 Stremyanny lane, Moscow, 117997, Russia

Received May 11, 2016

Consideration is given to results of the study of a multielectrode ring of high-voltage pulse-periodic spark discharge in liquid with the gas injection into an inter-electrode space. The pulse energy is $W = 1.6$ J. The design and principle of operation of the discharge system, as well as its electrical and optical characteristics are presented. The intensity of UV radiation in the range of $200 \text{ nm} < \lambda < 400 \text{ nm}$ has been obtained. Experiments were carried out related to the solution of a number of technological problems: cleaning water from microbiological contamination, treatment of waste galvanic production, obtaining a colloidal solution of nanocarbon in ethanol.

PACS: 52.80.Wq

Keywords: discharge, fluid, plasma, ultraviolet, nanoparticles, bacteria, water treatment.

REFERENCES

1. V. L. Goryachev, F. G. Rutberg, and V. N. Fedukovich, Izv. RAN, Applied Energy, Russ. J. Fuel Power Heat Sys., No. 36, 35 (1998).

2. P. Bruggeman and Ch. Leys, J. Phys. D: Appl. Phys. **42**, 28 (2009).

3. B. R. Locke, M. Sato, P. Sunka, M. R. Hoffmann, and J.-S. Chang, Ind. Eng. Chem. Res. **45**, 882 (2006).

4. Yu. V. Zadiraka, E. M. Barkhudarov, I. A. Kossyi, and M. I. Taktakishvili, RF Patent 65 58638, Appl. No. 09/875293, 2003.

5. A. M. Anpilov, E. M. Barkhudarov, Yu. B. Bark, Yu. V. Zadiraka, N. Christofi, Yu. N. Kozlov, V. A. Kop'ev, I. A. Kossyi, V. P. Silakov, M. I. Taktakishvili, and S. M. Temchin, J. Phys. D: Appl. Phys., **34**, 993 (2001).

6. V. M. Shmelev, N. V. Evtyukhin, Yu. N. Kozlov, and E. M. Barkhudarov, Russ. J. Phys. Chem. B. **23** (9), 77 (2004).

7. A. M. Anpilov, E. M. Barkhudarov, and A. M. Davydov, Tech. Phys. **81** (11), 48 (2011).

8. H. R. Griem, *Spectral Line Broadening by Plasmas* (Academic Press, New York and London, 1974).

9. A. M. Anpilov, E. M. Barkhudarov, V. A. Kop'ev, and I. A. Kossyi, in Proc. 28th ICPIG, (July 17–20, 2007), pp. 1030–1033.

10. P. Lukes, M. Clupek, V. Babicky, and P. Sunka, Plasma Sources Sci. Technol., No. 17, 1 (2008).

11. Yu. B. Bark, E. M. Barkhudarov, Yu. N. Kozlov, I. A. Kossyi, V. P. Silakov, M. I. Taktakishvili, and S. M. Temchin, J. Phys. D: Appl. Phys. **33**, 859 (2000).

12. C. G. Hatchard and C. A. Parker, Proc. R. Soc., **A235**, 518 (1956).

13. A. M. Anpilov, E. M. Barkhudarov, I. A. Kossyi, G. S. Luk'yanchikov, M. A. Misakyan, and I. V. Moryakov, Prikladnaya Fizika, No. 4, 11 (2014).

14. S. A. Bogdanov, V. V. Chernov, A. M. Anpilov, E. M. Barkhudarov, A. L. Vikharev, I. A. Kossyi, and D. V. Radishev, in Proc. International Conference on Diamond and Carbon Materials. (2013, Riva del Garde, Italy).