

Д.В. Винников, К.В. Корытченко, В.И. Ткачев, В.В. Егоренков, Д.В. Кудин, Т.Ю. Мирная

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ВОДОПРОВОДНОЙ ВОДЫ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ МОЩНЫХ ПОДВОДНЫХ ИСКРОВЫХ РАЗРЯДОВ

Надані результати експериментального дослідження змінення фізико-хімічних властивостей водопровідної води під впливом потужних підводних іскрових розрядів атмосферного тиску. Виявлена залежність змінення окисно-відновлювального потенціалу і рН оброблюваної води від параметрів імпульсів, що задаються параметрами електричного розрядного кола, та їх кількістю. Дослідження проведені на розрядних електродах, виготовлених з матеріалів двох типів: нержавіюча сталь і графіт. Бібл. 10, табл. 5, рис. 13.

Ключові слова: підводний іскровий розряд, матеріал електродів, властивості води, окисно-відновлювальний потенціал, водневий показник рН.

Представлены результаты экспериментального исследования изменения физико-химических свойств водопроводной воды под воздействием мощных подводных искровых разрядов атмосферного давления. Выведена зависимость изменения окислительно-восстановительного потенциала и рН обрабатываемой воды от параметров импульсов, задаваемых параметрами электрической разрядной цепи, и их количеством. Исследования проведены на разрядных электродах, изготовленных из материалов двух типов: нержавеющей стали и графит. Библ. 10, табл. 5, рис. 13.

Ключевые слова: подводный искровой разряд, материал электродов, свойства воды, окислительно-восстановительный потенциал, водородный показатель рН.

Введение. Мощные подводные искровые разряды (ПИР) нашли широкое применение в различных областях промышленности и науки. Это разрушение и деформация материалов, очистка технологических отверстий, изменение физико-химических свойств жидких сред и их обеззараживание [1-3].

Подводный разряд характеризуется множеством физических факторов, воздействующих на обрабатываемую среду, как на стадии пробоя, так и на последующих стадиях развития разряда. К этим факторам относятся: воздействие сильного электрического поля на среду в предпробойной стадии разряда, ударное сжатие окружающей среды, интенсивное ее импульсное облучение в широком диапазоне длин волн, термическое воздействие в области токопроводящего канала, выброс в парогазовую среду высокотемпературных мелкодисперсных частиц материала электродов в результате электроэрозии, кавитационные процессы. Такое многофакторное воздействие позволяет не только изменять физико-химические свойства обрабатываемой среды, но, из-за развития интенсивных гидрогазодинамических течений в больших объемах, реализовать на основе ПИР электрохимические реакторы идеального смешения дискретного действия. Таким образом, дискретность воздействия и идеальное смешение являются основными отличительными характеристиками электрохимических реакторов на основе мощных ПИР.

Одними из основных показателей, характеризующих воздействие разряда на химический состав воды, являются показатель рН и окислительно-восстановительный потенциал (ОВП – redox potential). Изменение этих показателей приводит к активации воды. Установлено [4], что для нормального протекания биохимических процессов в организме человека ОВП питьевой воды должен соответствовать ОВП межклеточной жидкости и находиться в диапазоне от +100 до –200 mV. ОВП питьевой практически всегда

больше нуля, и обычно находится в пределах от +100 до +400 mV [4]. Вода с ОВП ниже –200 mV обладает высокой биологической активностью, и её приём должен быть ограничен.

Из-за большого количества воздействующих факторов ПИР, представляет трудность выявить влияние каждого из них в отдельности на изменение свойств обрабатываемой жидкости. В тоже время, для управляемого изменения физико-химических свойств воды, необходимо количественно оценить изменение требуемых свойств жидкости в используемом химическом реакторе в зависимости от параметров разрядных импульсов и их количества.

Цель работы – исследование на установке «ГИДРА» [4] зависимости изменения ОВП и рН обрабатываемой воды от количества импульсов, а также их параметров, задаваемых такими параметрами электрической разрядной цепи как емкость и зарядное напряжение накопителя.

Постановка эксперимента. Устройство установки «ГИДРА» и возможные области ее применения ранее описаны в работах [4-6]. Общий вид реактора установки «ГИДРА» и электрическая схема представлены на рис. 1, 2.

Батарея конденсаторов C_1 через управляемый трехэлектродный воздушный разрядник F разряжается на химический реактор 1, электроды которого 2 и 3 образуют разрядный промежуток l и подключенное параллельно ему демпфирующее сопротивление R_d . В конденсаторной батарее использовались импульсные конденсаторы типа ИК-100/0,4 и ИК-100/0,25.

Зарядка конденсаторной батареи C_1 осуществляется от источника постоянного напряжения, образованного следующими элементами: зарядным устройством CU в виде повышающего высоковольтного трансформатора УРС-70 и автотрансформатора; однополупериодным выпрямителем VD в виде последовательно соединенных диодных сборок типа КЦ-201Е; заряд-

ным сопротивлением R_1 , набранного из последовательного соединения резисторов типа ТВО-60 с эквивалентным сопротивлением 270 kOhm.

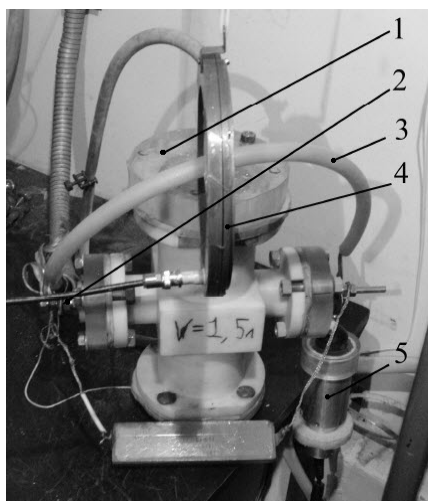


Рис. 1. Общий вид электрохимического реактора:
1 – корпус реактора; 2, 3 – токопроводы к разрядным электродам; 4 – пояс Роговского; 5 – делитель напряжения

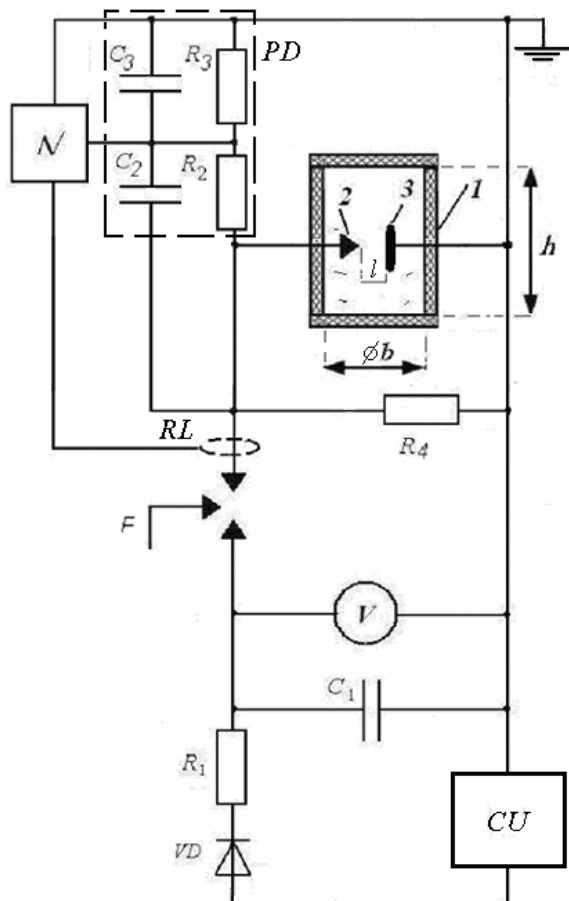


Рис. 2. Электрическая схема установки «ГИДРА»:
1 – электроразрядный химический реактор;
2, 3 – разрядные электроды

Работа воздушного разрядника F осуществлялась в качестве двух- или трех- электродного разрядника. В случае работы разрядника F без использования третьего электрода напряжение заряда конденсаторной батареи регулировалось величиной межэлектродного промежутка разрядника F . При использовании

третьего управляющего электрода разрядника напряжение заряда конденсаторной батареи регулировалось при помощи автотрансформатора. Зарядное напряжение конденсаторной батареи равнялось 10 kV, 15 kV и 20 kV.

Напряжение заряда конденсаторной батареи C_1 измерялось электростатическим киловольтметром типа С 196. Паспортная погрешность составляла $\pm 1\%$ от максимального значения диапазона измерений.

Измерение разрядного тока осуществлялось поясом Роговского RL , имеющего чувствительность 3627 A/V. Определение чувствительности датчика PP осуществлялась на частоте 2,2 МГц по паспортизированному безиндукционному датчику тока CSNM 191 фирмы Honeywell с выходом по току и работающему на эффекте Холла. Результаты сравнения эталонного сигнала, получаемого с датчика CSNM 191, и сигнала с изготовленного пояса Роговского представлены на рис. 3. Относительная погрешность эталонного сигнала не превышала $\pm 0,5\%$.

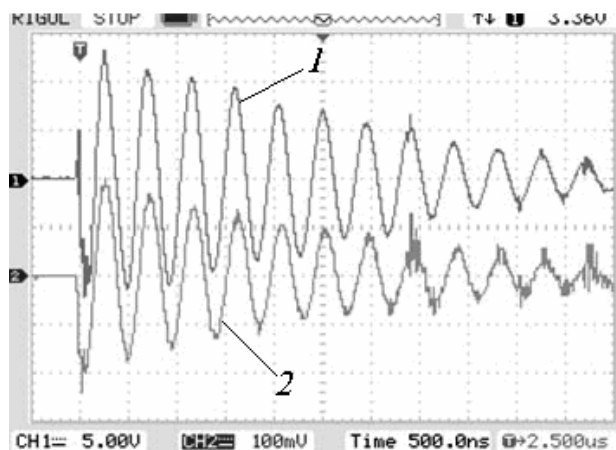


Рис. 3. Результаты осциллографирования разрядного тока:
1-й канал – датчиком тока CSNM 191;
2-й канал – изготовленным поясом Роговского

Напряжение на разрядном промежутке измерялось с помощью компенсированного емкостно-омического делителя напряжения PD фирмы North Star High voltage типа $PVM-12$ с коэффициентом деления 1:1000, полосой пропускания 80 МГц и максимальным напряжением в импульсе 32 kV.

Демпфирование высокочастотных электрических колебаний, возникающих из-за наличия паразитных емкостей цепи, обеспечивалось резистором R_4 , подключенным параллельно разрядному промежутку. R_4 безындуктивный резистор типа ТВО-60 номиналом 47 kOhm.

Регистрация напряжения на промежутке и разрядного тока производилась на двухканальном электронном осциллографе фирмы ATTEN типа ADS 1102 CAL⁺ с полосой пропускания 100 МГц и частотой дискретизации 1 GSa/s. Развертка сигналов осуществлялась в ждущем режиме по фронту входного сигнала с делителя напряжения.

Электрохимический реактор представлял собой диэлектрическую камеру, корпус которой был изготовлен из капролона (рис. 2). Толщина стенки корпуса 5 mm. Высота камеры $h = 240$ mm, ее

диаметр $b = 90$ мм. Использовалась система электродов вида игла – полусфера (рис. 4). С целью исследования влияния материала электродов, были изготовлены две пары электродов: из нержавеющей стали марки 12X18Н10Т и из графита для производства электроугольных изделий (ГОСТ 10274-79). Марка стали определялась рентгенофлуоресцентным методом на установке «СПРУТ». Электрод-игла имел форму конуса с углом 60° при высоте 25 мм и диаметре основания 30 мм. Радиус полусферы второго электрода 10 мм. Токовводы в виде шпилек, к которым крепились электроды, были помещены в диэлектрик, для предотвращения их окисления, уменьшения предпробивных потерь. Величина межэлектродного промежутка l варьировалась в диапазоне 1...5 мм.

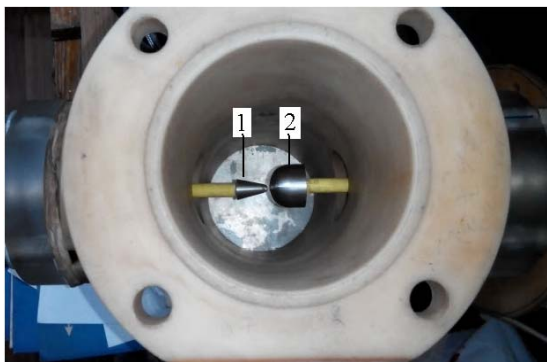


Рис. 4. Внешний вид разрядных электродов: 1 – игла; 2 – полусфера

Промышленные конденсаторы типа ИК-100/0,4 и ИК-100/0,25 имеют высокий разброс номинальных значений (допустимое отклонение $\pm 10\%$), что не позволяет с достаточной точностью рассчитать полную энергию разряда. Абсолютная ошибка определения емкости возрастала при соединении конденсаторов в конденсаторную батарею. Для получения уточненных значений полной емкости, проводилось ее измерение двумя способами: косвенным способом по результатам осциллографирования изменения напряжения в процессе разряда конденсаторной батареи и прямым измерением с помощью приборов.

В косвенном способе параметры зарядной цепи подбирались таким образом, чтобы выполнялось условие:

$$R_c \gg 2\sqrt{\frac{L}{C}}, \quad (1)$$

где R_c – зарядное сопротивление; C – емкость конденсаторной батареи; L – эквивалентная индуктивность зарядной цепи.

Также выполнялось условие по соотношению сопротивлений в виде:

$$R_c \gg R_{ir}, \quad (2)$$

где R_{ir} – внутреннее сопротивление источника постоянного тока.

В этом случае емкость конденсатора C рассчитывается из постоянной времени τ , определяемой экспериментально, по выражению:

$$C = \tau/R_c. \quad (3)$$

Емкости заряжались от источника постоянного напряжения $U_{const} = 4$ В. Зарядное сопротивление рав-

нялось $R_c = 1 \pm 0,01$ МОhm. Результаты измерения напряжения на конденсаторе представлены на рис. 5. Из представленной осциллограммы напряжения видно, что снижение напряжения от -4 В до $U_{const}/e = -1,47$ В происходит через $\tau = 390$ ms. Отсюда, в данном случае имеем $C = 0,39$ μ F.

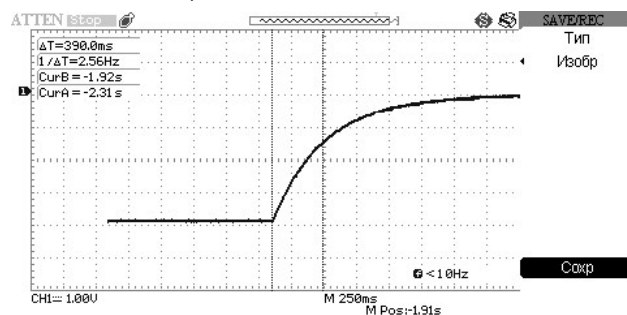


Рис. 5. Определение τ из кривой напряжения на конденсаторе при его разряде

Также емкость конденсаторных сборок измерялась с помощью измерителя LCR цифрового Е 7–8, имеющего погрешность в диапазоне измерений до 10 μ F не более $\pm 1,6$ nF, и измерителя DL-6243. Результаты измерений представлены в табл. 1.

В расчетах принималось значение емкости конденсаторной батареи, определяемое методом наименьших квадратов (МНК) по представленным результатам измерений: для № 1 принималось $C = 1,037$ μ F, для № 2 – $C = 1,924$ μ F, для № 3 – $C = 2,947$ μ F.

Таблица 1
Результаты измерения емкостей конденсаторных батарей в μ F

Номер батареи	Способ измерения			
	косвенный	Прибор Е 7-8	Прибор DL 6243	МНК
№ 1	1,05	1,0495 \pm 0,0016	1,013	1,037
№ 2	1,92	1,927 \pm 0,0016	1,925	1,924
№ 3	2,95	2,947 \pm 0,0016	2,945	2,947

При расчете энергии разряда, емкости батареи задавались по результатам пяти измерений с их обработкой методом наименьших квадратов.

Мощность ПИР значительной мерой задается индуктивностью разрядной цепи. Эквивалентная индуктивность цепи определялась из анализа кривой тока разряда в режиме короткого замыкания по выражению [7]:

$$L = \frac{T}{C \left[4 \cdot \pi^2 + \left(\ln \frac{I_1}{I_3} \right)^2 \right]}, \quad (4)$$

где T – период разряда; I_1 и I_2 – амплитуда тока в первый и третий полупериоды разряда.

Из-за сильного влияния паразитных высокочастотных колебаний на кривую разрядного тока в первый полупериод разряда, индуктивность рассчитывалась по амплитудным значениям тока второго и четвертого полупериода разряда.

Эквивалентное сопротивление цепи, включающее активное сопротивление соединительных проводов и внутреннее сопротивление конденсаторной батареи, определялось методом перебора, подбираемого при аппроксимации кривой разрядного тока. Резуль-

таты измерения разрядного тока в режиме короткого замыкания и соответствующая аппроксимирующая кривая тока при подобранном сопротивлении представлена на рис. 6. Осциллограмма получена при разряде конденсаторной батареи $C = 1,924 \mu\text{F}$ с напряжением заряда $U_{\text{charge}} = 10 \text{ kV}$.

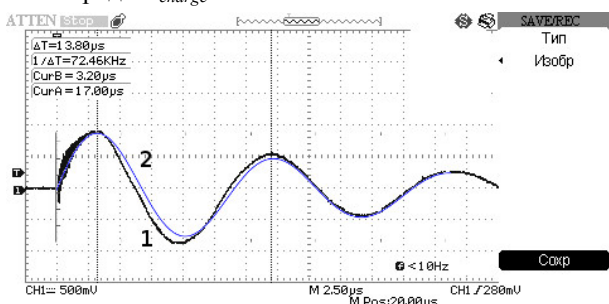


Рис. 6. Разрядный ток в режиме короткого замыкания 1 и кривая аппроксимации 2

В представленных результатах индуктивность разрядной цепи составила $2,398 \mu\text{H}$, а расчетное активное сопротивление разрядной цепи равнялось $R = 200 \text{ mOhm}$. Подобным образом были измерены параметры цепи в случае применения разных батарей (табл. 2).

Таблица 2

Результаты измерения индуктивности и сопротивления разрядной цепи

Номер батареи	Индуктивность, μH	Сопротивление, mOhm
№ 1	2,40	200
№ 2	2,54	225
№ 3	2,62	240

Незначительное изменение индуктивности и сопротивления при изменении емкости конденсаторной батареи дает основание считать достаточным установление зависимости изменения свойств воды в установке «ГИДРА» от емкости, напряжения заряда батареи и количества импульсов.

Измерение свойств воды проводилась следующими приборами. Измерение концентрации нитратов в воде осуществлялось нитратометром ИТ – 1201 с диапазоном показаний массовой концентрации от $0,001$ до 9999 mg/l и пределом погрешности $\pm 11\%$. Использовался измеритель проводимости BANTE 902 с диапазоном $0\text{--}200 \text{ mS/cm}$, погрешностью $\pm 0,5\%$. ОВП (redox potential) измерялся анализатором вод Анион – 7051 с пределом абсолютной погрешности измерения ЭДС $\pm 2 \text{ mV}$. pH воды измерялось прибором BANTE 902 с диапазоном измерений $\text{--} 2.000 \sim 20.000 \text{ pH}$ и абсолютной погрешностью $\pm 0,002 \text{ pH}$. Изменение концентрации железа в водном растворе определялось фотометрическим методом анализа по способу [8], позволяющему определить Fe в концентрациях $\sim 10^{-6} \text{ mole/l}$.

Электроды диагностических приборов промывались в дистиллированной воде перед каждым измерением. Измерения одного и того же образца (исходная и обработанная вода) проводилось до трех раз. Образцы диагностировались в течении первых 15 минут после обработки, а также через 3 и 6 часов после эксперимента.

Измерение массы разрядных электродов прово-

дилось на весах марки ВЛР – 200 с погрешностью взвешивания до $50 \text{ g} - 0,5 \text{ mg}$, от 50 g до $200 \text{ g} - 1 \text{ mg}$. Для электродов из нержавеющей стали сравнение их массы осуществлялось после 280 импульсов, для электродов из графита – после 30 импульсов. При этом ПИР осуществлялись при следующих параметрах: $U_{\text{charge}} = 10 \text{ kV}$, $C = 2,947 \mu\text{F}$, энергия одиночного импульса равнялась $W = 152,5 \text{ J/pulse}$.

Объектом исследования была выбрана водопроводная вода, отстоянная в течение суток, с проводимостью $758 - 766 \mu\text{S/cm}$. Для определения изменения рассматриваемых свойств воды проводилась серия импульсов от 1 до 200.

Результаты исследований. В результате обработки воды с помощью ПИР на установке «ГИДРА» в ней образовывалась взвесь частиц, которые со временем выпадали в осадок. Результаты обработки со стальными электродами представлены на рис. 7 при следующих электрических параметрах цепи: $U_{\text{charge}} = 20 \text{ kV}$, $C = 2,947 \mu\text{F}$.

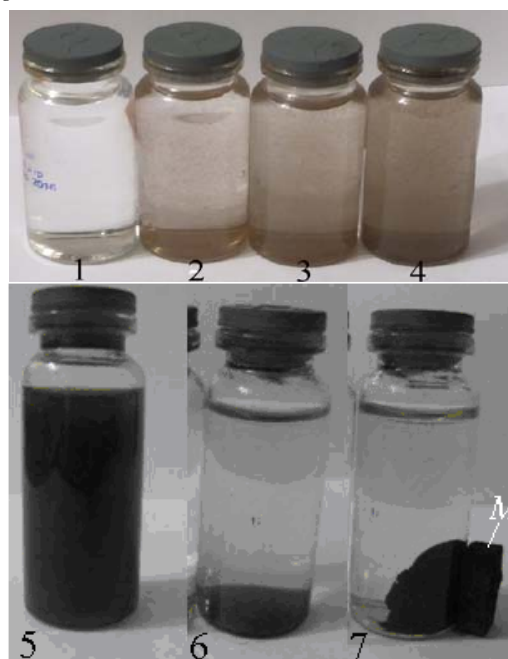


Рис. 7. Образцы с водопроводной водой, обработанной подводными искровыми разрядами:

- 1 – исходный образец; 2 – образец после 5 импульсов;
- 3 – 25 импульсов; 4 – 50 импульсов; 5 – 200 импульсов;
- 6 – образец №5, отстоянный в течение 4-х суток,
- 7 – образец №5 с осадком, отсепарированным постоянным магнитом (М)

Образование осадка во времени происходит не равномерно, что свидетельствует о наличии во взвешенном состоянии частиц разных размеров. Наиболее интенсивно осадок образовывался в течение первых минут после обработки. При этом, с увеличением числа импульсов, воздействующих на водопроводную воду, происходит возрастание объема осадка. По результатам визуальных наблюдений, осаждение частиц в стоячей воде завершается после 3-х, 4-х суток с момента завершения обработки.

На основании обработки результатов исследований на установке «ГИДРА» выявлены зависимости изменения ОВП и pH обрабатываемой воды от коли-

чества N импульсов при разных параметрах электрической разрядной цепи (емкость и напряжение заряда конденсатора), представленные на рис. 8-10, на которых приняты следующие обозначения для напряжения заряда конденсаторной батареи: ■ – 10 kV, ▲ – 15 kV, ● – 20 kV. Результаты получены на стальных электродах.

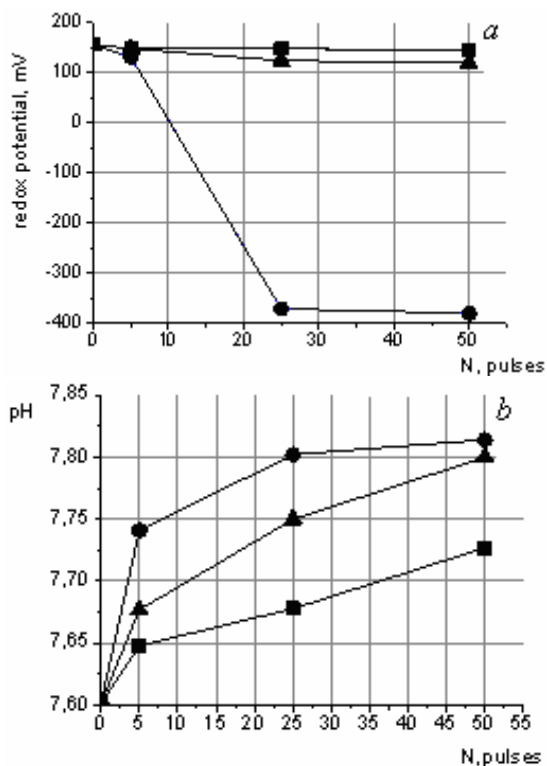


Рис. 8. Зависимость свойств воды от количества импульсов при $C = 1,037 \mu\text{F}$: a – ОВП, b – pH

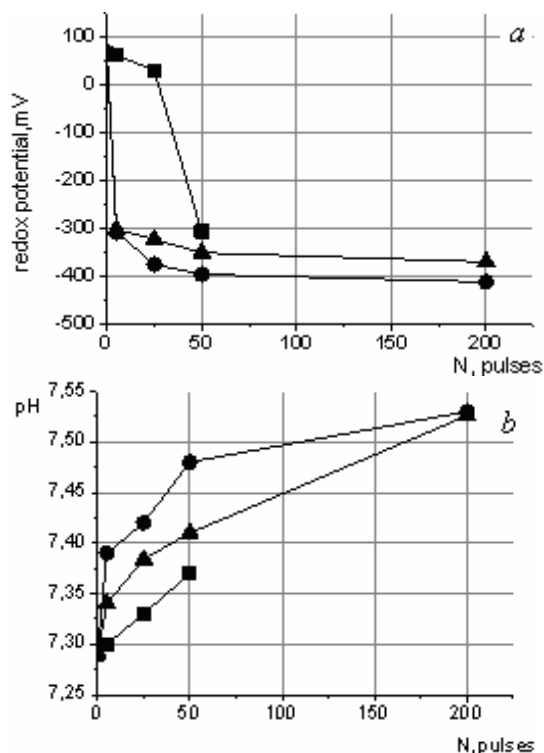


Рис. 9. Зависимость свойств воды от количества импульсов при $C = 1,924 \mu\text{F}$: a – ОВП, b – pH

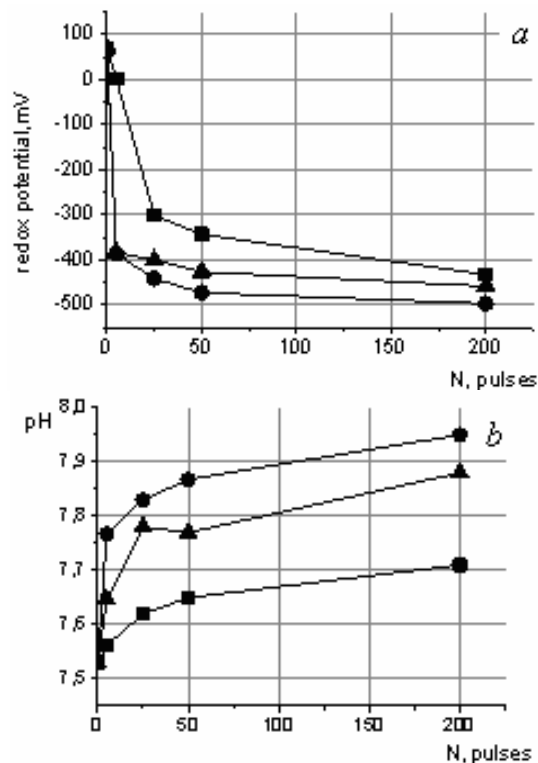


Рис. 10. Зависимость свойств воды от количества импульсов при $C = 2,947 \mu\text{F}$: a – ОВП, b – pH

С ростом количества импульсов наблюдается уменьшение ОВП, а при определенном пороге импульсов происходит изменение положительного ОВП на отрицательный. Имеет место возрастание pH обрабатываемой воды с увеличением количества импульсов N .

Для уточнения точки перехода ОВП дискретность шага по количеству импульсов была уменьшена. Шаг в один импульс был выбран вплоть до 5 ПИР, затем было проведена дополнительная серия импульсов с возрастающим шагом. Результаты представлены на рис. 11.

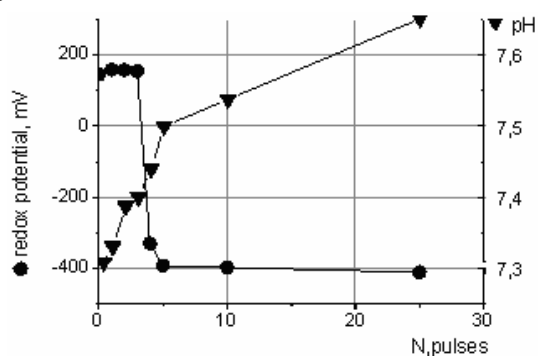


Рис. 11. Зависимость показателей воды от количества импульсов при $U_{\text{charge}} = 20 \text{ kV}$, $C = 1,924 \mu\text{F}$

Выявлено, что изменение положительного ОВП на отрицательный происходит уже после 3-5 импульсов.

Полагается, что изменение данных свойств воды происходит под воздействием продуктов эрозии электродов. Известно [9], что масса продуктов эрозии практически линейно зависит от энергии разряда. Поэтому потребовалось выявление зависимости измене-

ния ОВП от полной энергии серии разрядов (рис. 12). Под полной энергией понимается сумма полных энергий одиночных импульсов ($\Sigma[C \times U_{charge}^2/2]$).

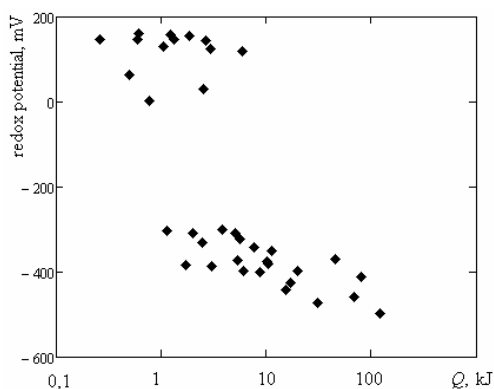


Рис. 12. Зависимость ОВП воды от полной энергии серии разрядов

На установке «ГИДРА» изменение положительного ОВП воды на отрицательный происходит в диапазоне полной энергии от 1 до 10 kJ. Наличие такого широкого диапазона может быть связано с отличием дисперсности частиц, через которую задается площадь поверхности взаимодействия материала частиц с водой. То есть, при одинаковой массе продуктов эрозии имеет место отличие в площади поверхности частиц.

Отмечен некоторый рост проводимости воды и нахождение количества нитратов в пределах ПДК не более 20 mg/l, при нормах ЕС 50 mg/l.

С целью определения влияния материала электрода на зависимость изменения исследуемых свойств воды, проведены эксперименты с электродами из графита. Следует отметить, что данный материал из-за своей хрупкости выдерживает меньшие ударные нагрузки. Поэтому количество импульсов в серии уменьшено в 2...2,5 раза. Результаты исследований представлены на рис. 13.

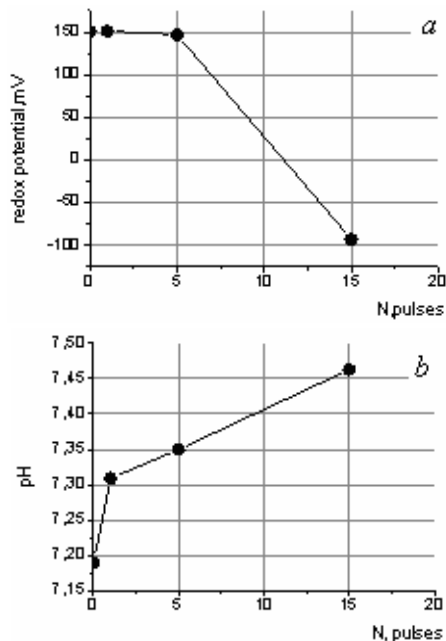


Рис. 13. Зависимость свойств воды от количества импульсов при $U_{charge} = 20 \text{ kV}$, $C = 1,924 \mu\text{F}$, где *a* – ОВП, *b* – pH

На графитовых электродах тенденция по изменению положительного ОВП воды на отрицательный с ростом количества ПИР сохранилась. При тех же параметрах разрядной цепи скачек ОВП произошел уже при третьем импульсе. Это может быть связано с более интенсивным уменьшением массы электродов, как вследствие эрозии, так и из-за механического разрушения.

В табл. 3 представлены результаты изменения массы электродов. Видно, что графитовый электрод эродирует быстрее. Изменение массы катода из графита не удалось измерять из-за его механического разрушения. В таблице принято: m_1 , m_2 – масса электродов до и после разрядов, соответственно.

Таблица 3

Изменение массы разрядных электродов

	m_1, g	m_2, g	массопотеря $\mu\text{g}/\text{J-pulse}$
Анод-игла из нерж.ст.	3,86520	3,79025	1,76
Катод-полусфера из нерж. ст.	62,31290	62,24010	1,7
Анод-игла из графита	5,48075	5,47880	1,96

Для определения устойчивости внесенных изменений в свойства воды, спустя сутки анализу подвергалась вода, обработанная при параметрах разрядной цепи: $C = 2,947 \mu\text{F}$, $U_{charge} = 20 \text{ kV}$, $N = 200$, где: №1 – исходный образец воды, №2 – исходный образец, пропущенный через фильтр, №3 – отфильтрованный образец воды после серии из 200 импульсов, №4 – образец воды после серии из 200 импульсов, отстоянный сутки и пропущенный через угольный фильтр (табл. 4).

Таблица 4

Сравнение свойств воды в результате ее обработки на установке «ГИДРА»

	№1	№2	№3	№4
ОВП	+160	+158	-496	-330
pH	7,745	7,745	7,95	7,78

Фильтрация проводилась с целью исключения влияния на свойства воды примесей, в частности, материала эрозии электродов. Из представленной таблицы видно, что образцы №1 и №2 отличаются друг от друга в пределах погрешности приборов, т.е. угольный фильтр сам по себе не вносит изменений в показания. Образец №3 имеет сильно отрицательный ОВП и увеличившийся показатель pH. Свойства образца №4 дают основание полагать о необратимости внесенных изменений в свойства воды, полученных в результате ее обработки.

Дополнительно проведено исследование изменения pH дистиллированной (ДВ) и водопроводной воды (ВВ) после воздействия подводными искровыми разрядами при следующих параметрах электрической цепи: $U_{charge} = 20 \text{ kV}$; $C = 2,947 \mu\text{F}$; количество импульсов $N = 100$. Измерение pH потенциометрически с точностью до 0,1 ед. pH. Результаты измерений представлены в табл. 5 (нижний индекс «0» соответствует измерениям воды, не обработанной ПИР, индекс «1» – после обработки).

С течением времени (6-7 суток) pH незначительно увеличивается. Полагается, это является следстви-

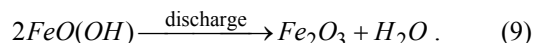
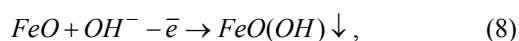
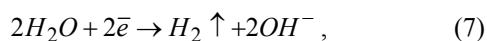
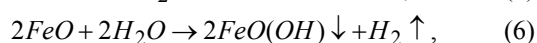
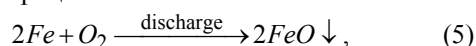
ем удаления из водного раствора газообразных продуктов после электролиза и продуктов хлорирования.

Таблица 5

Результаты исследования изменения pH дистиллированной (ДВ) и водопроводной воды (ВВ)

Время \ Тип воды	30 минут после обработки	24 часа	7 суток	14 суток
ДВ ₀	6,65	6,66	6,67	6,65
ДВ ₁	7,12	7,14	7,12	7,12
ВВ ₀	7,70	7,72	7,71	7,71
ВВ ₁	8,1	8,34	8,68	8,64

Выявлено, что при прохождении электрического разряда с использованием электродов из стали возможны такие процессы:



При этом в растворе может образовываться очень малое количество Fe(III). Поэтому спектрофотометрическим методом проведено исследование изменения концентрации железа в воде в результате обработки ПИР. Измерения проводились в необработанной воде (ВВ₀) и в четырех образцах после обработки разрядами с одинаковыми параметрами электрической цепи: $U_{charge} = 20 \text{ kV}$, $C = 2,947 \text{ }\mu\text{F}$. Количество импульсов – 100. Получены следующие концентрации железа: ВВ₀ = 0,48 mg/l; ВВ₁₁ = 0,54 mg/l; ВВ₁₂ = 0,56 mg/l; ВВ₁₃ = 0,54 mg/l; ВВ₁₄ = 0,56 mg/l. Данные результаты свидетельствуют о пренебрежимо малом изменении концентрации чистого железа в воде в результате обработки ПИР. Для сравнения, количество железа в водопроводной воде составляет 0,3 mg/l.

Выявлена возможность магнитной сепарации частиц из воды, находящихся как во взвешенном состоянии в воде, так и выпавших в осадок. Известно, что магнитными свойствами обладает оксид железа (II, III), называемый магнитным железняком FeO·Fe₂O₃. При этом образование оксид железа (III) по реакции (9) возможно за счет термического воздействия разряда на ранее образовавшиеся частицы оксид железа (II). Таким образом, установку «ГИДРА» с магнитной сепарацией представляется возможным использовать для управляемого изменения окислительно-восстановительного потенциала и pH воды.

Изменение свойств воды в установке «ГИДРА» имело место и при использовании электродов из графита. Это дает основание предположить о наличии реакции (7) в процессе ПИР. Следует отметить, что теоретическое исследование влияния газоразрядных процессов на свойства воды сделано в работе [10].

Выводы.

На установке «ГИДРА» проведено исследование зависимости изменения ОВП и pH обрабатываемой

воды от количества импульсов и параметров импульсов, задаваемых параметрами электрической разрядной цепи (емкостью, зарядным напряжением). Выявлено уменьшение ОВП при возрастании напряжения заряда конденсаторной батареи, ее емкости и полной суммарной энергии разрядов. При этом, pH воды возрастает. Изменение ОВП и pH воды сохраняется в течение продолжительного времени после удаления осадка. Для заданных параметров разряда существует порог импульсов, при превышении которого происходит изменение положительного ОВП на отрицательный. Установку «ГИДРА» с магнитной сепарацией можно использовать в качестве электрохимического реактора идеального смешения дискретного действия с удалением продуктов воздействия.

Особое уважение за обсуждение результатов проф. В.Б. Юферову.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ушаков В.Я. Импульсный электрический пробой жидкостей. – Томск: Изд-во Томского университета, 1975. – 258 с.
2. Юткин Л.А. Электрогидравлический эффект и его применение в промышленности. – Л.: Машиностроение, 1986.
3. Баранов М.И. Прогрессивные импульсные технологии обработки материалов: история, физические основы и технические возможности // *Электротехника и электромеханика*. – 2009. – №1. – С. 42-54. doi: 10.20998/2074-272X.2009.1.10.
4. Винников Д.В., Озеров А.Н., Юферов В.Б., Сакун А.В., Корытченко К.В., Месенко А.П. Экспериментальное исследование электрического разряда в жидкостях, создаваемого между электродами с конусной выемкой // *Электротехника и электромеханика*. – 2013. – №1. – С. 55-60. doi: 10.20998/2074-272X.2013.1.13.
5. Юферов В.Б., Винников Д.В., Пономарев А.Н., Буравилов И.В., Муфель Е.В. Сравнительный анализ акустических импульсов от излучателей от излучателей милли – и микросекундного диапазонов // *Вестник НТУ «ХПИ»*. Серия: «Электрофизика высоких напряжений». – 2009. – №11. – С. 185-189.
6. Юферов В.Б., Винников Д.В., Буравилов И.В., Муфель Е.В., Пахомов А.Ю., Гарбуз В.В., Живанков К.И., Пономарев А.Н. Электрогидравлический метод обезгаживания вакуумируемых жидкостей // *Вестник НТУ «ХПИ»*. Серия: «Электрофизика высоких напряжений». – 2011. – №16. – С. 211-217.
7. Кондриков Б.Н., Вовченко А.И., Анников В.Э., Иванов В.В. Взрывные превращения электрической и химической энергии. – Киев: Наук.думка, 1987. – 128 с.
8. Патент РФ № 2298171. Способ фотометрического определения железа (III) в растворах чистых солей и искусственных смесей / Новопольцева В.М., Коровина О.А., Осипов А.К., Нищев К.Н. – 2006.
9. Горovenko Г.Г., Ивлиев А.И., Малюшевский П.П., Пастухов В.Н. Электровзрывные силовые импульсные системы. – Киев: Наук.думка, 1987. – 220 с.
10. Vinnikov D.V. Numerical investigation of the influence produced by electric circuit parameters on the formation of chemically active radicals in water vapors // *Вопросы атомной науки и техники*. – 2015. – №3(97). – С. 159-165.

REFERENCES

1. Ushakov V.Ya. *Impul'snyj elektricheskij proboj zhidkостей* [Pulsed liquid breakdown]. Tomsk, Tomsk State University Publ., 1975. 258 p. (Rus).
2. Yutkin L.A. *Elektrogidravlicheskij effect i ego primeneniye v promyshlennosti* [Electrohydraulic effect and its application in industry]. Leningrad, Mashinostroeniye Publ., 1986. 252 p. (Rus).

3. Baranov M.I. Breakthrough impulse material processing technologies: history, basic physics and technical feasibilities. *Electrical engineering & electromechanics*, 2009, no.1, pp 42-54. (Rus). doi: 10.20998/2074-272X.2009.1.10.
4. Vinnikov D.V., Ozerov A.N., Yuferov V.B., Sakun A.V., Korytchenko K.V., Mesenko A.P. Experimental investigation of electrical discharge in liquid initiated between cone channel electrodes. *Electrical engineering & electromechanics*, 2013, no.1, pp. 55-60. (Rus). doi: 10.20998/2074-272X.2013.1.13.
5. Yuferov V.B., Vinnikov D.V., Ponomaryov A.N., Buravilov I.V., Mufel' E.V. Comparative analysis of acoustic pulses generated by the sources of millisecond and microsecond ranges. *Bulletin of NTU «KhPI»*, 2009, no.11, pp 185-189. (Rus).
6. Yuferov V.B., Vinnikov D.V., Buravilov I.V., Mufel' E.V., Pahomov A.Yu., Garbuz V.V., Zhivankov K.I., Ponomaryov A.N. Electrohydraulic method of degassing of de-aerated liquids. *Bulletin of NTU «KhPI»*, 2011, no.16, pp. 211-217. (Rus).
7. Kondrikov B.N., Vovchenko A.I., Annikov V.E., Ivanov V.V. *Vzryvnye prevrasheniya elektricheskoy i himicheskoy energii* [Explosive conversions of electric and chemical energies]. Kyiv, Naukova Dumka Publ., 1987. 128 p. (Rus).
8. Novopolzeva V.M., Korovina O.A., Osipov A.K., Nishev K.N. *Sposob fotometricheskogo opredeleniya zheleza (III) v rastvorah chistyyh soley i iskusstvennyh smesey* [Fe (III) photometric definition process in the pure salt solutions and synthetic mixtures]. Patent Russian Federation, no. 2298171, 2006. (Rus).
9. Gorovenko G.G., Ivliev A.I., Malyushevskiy, Pastuhov V.N. *Elektrovzryvnye silovye impul'snye sistemy* [Electroexplosive power pulsed systems]. Kyiv, Naukova Dumka Publ., 1987. 220 p. (Rus).
10. Vinnikov D.V. Numerical investigation of the influence produced by electric circuit parameters on the formation of chemically active radicals in water vapors. *Problems of Atomic Science and Technology*, 2015, no.3(97), pp. 159-165.

Поступила (received) 01.11.2016

Винников Денис Викторович¹, м.н.с.,
 Кoryтченко Константин Владимирович², д.т.н.,
 Ткачев Виталий Иванович¹, м.н.с.,
 Егоренков Владимир Владимирович¹, м.н.с.,
 Кудин Дмитрий Викторович¹, м.н.с.,
 Мирная Татьяна Юрьевна², к.х.н.,

¹ Национальный научный центр
 «Харьковский физико-технический институт»,
 61108, Харьков, ул. Академическая, 1,
 тел/phone +38 057 3356326, e-mail: vinniden@mail.ru

² Национальный технический университет
 «Харьковский политехнический институт»,
 Факультет военной подготовки,
 61098, Харьков, ул. Полтавский шлях, 192,
 тел/phone +38 057 3726167, e-mail: korytchenko_kv@ukr.net

D.V. Vinnikov¹, K.V. Korytchenko², V.I. Tkachov¹,
 V.V. Egorenkov¹, D.V. Kudin¹, T.Y. Mirnaya²

¹ National Science Center «Kharkov Institute of Physics and Technology»,

1, Akademicheskaya Str., Kharkov, 61108, Ukraine.

² National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute»,
 192, Poltavskyy Shliakh Str., Kharkiv, 61098, Ukraine.

Investigation of changes of physical and chemical properties of tap water under influence of powerful underwater spark discharges.

Purpose. The purpose of this investigation is to study the changes in the redox potential and pH-value of the tap water as a function of underwater spark discharges, storage device capacitance and the charging voltage. **Methodology.** To define the electric parameters of discharge circuit we used the Rogowski loop and the compensated capacitance-ohm potential divider. To determine water properties before and after the treatment we used the following devices: the water analyzer Anion -7051 with the limit of absolute error of the EMF measurement ± 2 mV, the BANTE 902 device with the absolute error of ± 0.002 pH. **Results.** We managed to establish the time of the origination of changes in the properties of treated water. A change in the positive redox potential to a negative one occurred already after the third pulse at a total energy input of ≥ 1 kJ. The pH value increased in the range of 0.2 – 0.45 pH units. We obtained the relationship of a change in the redox potential as a function of total energy of the pulse train that actually exhibits the linear relation to the mass of erosion products. We established that the electrodes made of stainless steel and the electrodes made of graphite provide similar changes in water properties. An increase in pH is indicative of the progress of reactions that result in the formation of OH⁻. **Originality.** The obtained experimental data prove a rapid and reliable change in the redox potential from positive to negative changes in the redox potential exponent can persist during ten days and even longer. The erosion products of electrodes can be removed from the treated water using the method of magnetic separation. **Practical value.** The «HYDRA» plant can be used as the electrochemical ideal mixing reactor of a discrete action with the removal of erosion products of the electrode using the method of magnetic separation. References 10, tables 5, figures 13.

Key words: underwater spark discharge, electrodes material, water properties, redox potential, pH – value.