

**В.В. Гончарук, И.В. Божко, Н.И. Фальковский,  
А.О. Самсоны-Тодоров, В.А. Яременко, В.В. Маляренко**

## **ДИАФРАГМЕННЫЙ РАЗРЯД И ЕГО ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДЛЯ ОЧИСТКИ ВОДЫ**

*Исследованы свойства диафрагменного разряда, создаваемого в водопроводной воде и водных растворах, а также возможность использования такого разряда для очистки загрязненной воды. Диафрагменный разряд, плазма которого разрушает структуру загрязнителей воды, получали, подводя напряжение 12 кВ к отверстиям в стеклотекстолитовой диафрагме, погруженной в воду или раствор. Осциллограммы и электронные фотографии разряда показывают возможность управлять его длительностью и мощностью для окислительной очистки воды от органических загрязняющих веществ. Выявлено, что одновременная продувка воды воздухом усиливает очистительное действие диафрагменного разряда.*

Электрофизические методы обработки (УФ-облучение, озонирование, различные виды электрического разряда, воздействие электронными пучками и др.) в последнее время приобретают все более широкое применение [1 – 6]. Преимуществами таких методов по сравнению с обычными физико-химическими является безреагентность и экологичность. Дальнейшая разработка электрофизических методов направлена на улучшение их основных показателей, в том числе повышение степени удаления из воды загрязняющих веществ, уменьшение необходимых для этого энергозатрат и упрощение технологичности метода.

Наиболее широко известный электрофизический метод – озонирование, используемый для обеззараживания питьевой воды, технологически исполним для обработки различных объемов воды; его энергозатраты (при обработке питьевой воды) приемлемы на уровне 0,3 – 0,5 кВт·ч/м<sup>3</sup>. Использование УФ-облучения эффективно для обеззараживания прозрачных слабоокрашенных вод, но не всегда приводит к требуемым результатам при очистке от органических веществ. Благодаря высокой проникающей способности излучения обработка электронным пучком эффективна для обеззараживания и разрушения органических молекул загрязняющих веществ. Однако широкое использование этого метода пока сдерживается большими энергозатратами и сложностью аппаратного оформления [7].

Методы очистки воды электрическим разрядом по условиям обработки подразделяются на три основные группы: разряд в объеме воды [3,

4, 6 – 11], разряд на поверхности воды через газовую фазу [5, 11 – 13] и разряд в водовоздушной дисперсной системе [14 – 16]. При разряде в объеме очищаемой воды все частицы растворенных органических веществ оказываются в зоне окисляющего действия разряда или в зоне образованных разрядом короткоживущих активных частиц. Поэтому методом разряда в объеме жидкости можно сильно снизить концентрацию в воде исходных загрязняющих веществ, доведя их разрушение до низкомолекулярных или простых веществ. Однако это достигается большими энергозатратами [3, 8, 10] из-за расхода электричества не только на образование разряда, но и на непроизводительный нагрев жидкости и другие потери. Кроме того, разряд в объеме жидкости сопровождается электрохимическими процессами на электродах. Как следствие, вода может загрязняться продуктами разрушения электродов [6]. Для исключения этого необходимо использование дорогостоящих малоокисляющихся электродов, что также затрудняет реализацию метода.

Проведение разряда в газовой фазе (надводный разряд) резко снижает эффективность его действия на находящиеся в воде био- и органические загрязняющие вещества [11, 12]. При этом обеззараживающее действие, как правило, достигается [12], однако существует проблема обеспечения проникновения короткоживущих активных частиц, образующихся при разряде, в толщу воды для разрушения этих веществ. Для методов, использующих разряд в водовоздушной дисперсной системе, характерны преимущества и недостатки разрядов в объеме жидкости и газовой фазе. В частности, слабопроводящие компоненты водовоздушной дисперсной системы (дисперсные частицы, пузырьки воздуха) снижают общую электропроводность системы и, соответственно, непроизводительные потери электричества. При этом, однако, из-за частичной экранировки плазменной зоны происходит ослабление действия разряда и вторичных активных частиц на растворенные и диспергированные загрязняющие вещества.

В нашей работе для очистки воды была использована недостаточно изученная разновидность разряда в объеме жидкости, так называемый диафрагменный разряд (ДР) [9]. При ДР инициирование плазмы происходит в мелких отверстиях диэлектрической перегородки (диафрагмы), разделяющей весь объем обрабатываемой воды на два пространства, в которых расположены токоподводящие электроды.

Разряд возникает в отверстиях диафрагмы, локализуется вблизи них и может распространяться в глубь раствора, не касаясь электродов. Поскольку электропроводность образовавшейся плазмы выше, чем у жидкости, то большая часть энергии выделяется в переходном слое плазма – жидкость. Это явление используется для очистки воды.

Цель данной работы – исследование свойств диафрагменного разряда в воде и растворах с электропроводностью ( $\sigma$ ) до  $10^{-3}$  Сим/см, что характерно для многих видов загрязненных вод.

**Методика эксперимента.** ДР получали на установке, схема которой изображена на рис. 1. Разряд осуществляли в заполненном водой прозрачном сосуде 1, разделенном стеклотекстолитовой перегородкой 3 толщиной  $b = 0,48$  мм с отверстием ( $d = 0,5$  мм). Медные электроды 2 диаметром 4 мм были установлены параллельно перегородке на расстоянии друг от друга  $l = I_a + I_k + b = 20$  мм. Здесь  $I_a, I_k$  – расстояния соответственно от анода и катода до перегородки. Напряжение на электроды подавали через коммутирующий разрядник  $P$  с конденсатора емкостью  $C = 0,1$  мкФ, который заряжался до 12 кВ через сопротивление  $R_0 = 50$  МОм от источника постоянного тока. Кривые напряжения и тока разряда записывались осциллографом С8-9, излучение разряда фиксировалось цифровым фотоаппаратом. Влияние электропроводности жидкости на разряд изучали на водопроводной воде с  $\sigma = 5,5 \cdot 10^{-5}$  Сим/см и растворах 0,005 М NaCl ( $\sigma = 6 \cdot 10^{-4}$  Сим/см) и 0,05 М NaCl ( $\sigma = 5,5 \cdot 10^{-3}$  Сим/см). Степень обработки воды путем ДР определяли по снижению концентрации метиленового голубого (МГ) в 1%-ном растворе и концентрации водного раствора КJ, а также по снижению ХПК сточной воды шламонакопителя.

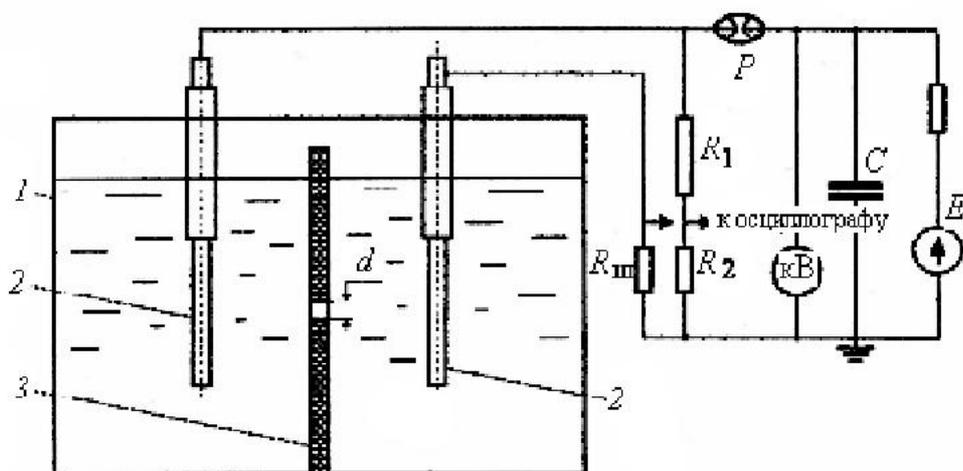


Рис. 1. Схема установки для изучения диафрагменного разряда в воде

**Результаты и их обсуждение.** *Электрофизические свойства ДР.* Осциллограммы напряжений и токов ДР имеют вид, присущий для импульсных разрядов в воде. Для начальных участков кинетики тока и напряжения разряда в водопроводной воде характерны небольшие всплески в момент времени  $t = 40$  мкс (рис. 2), обусловленные началом ионизационных процессов в жидкости.

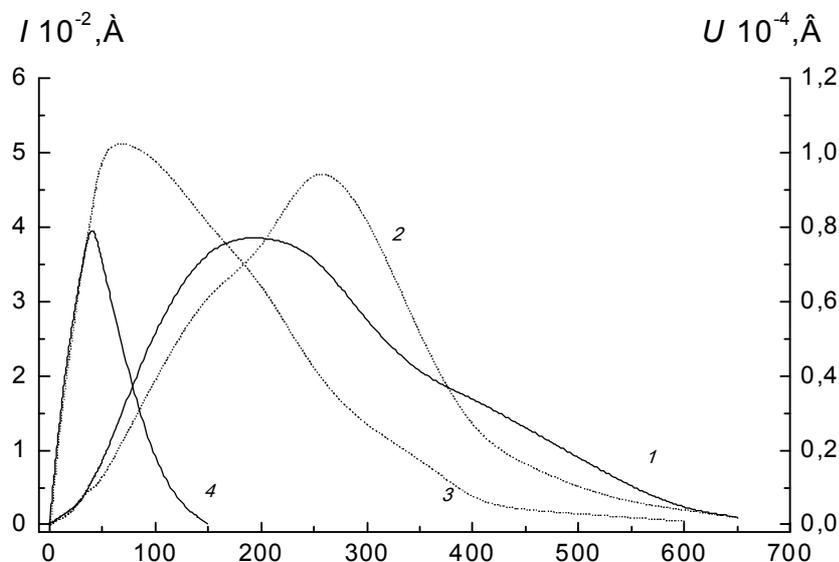
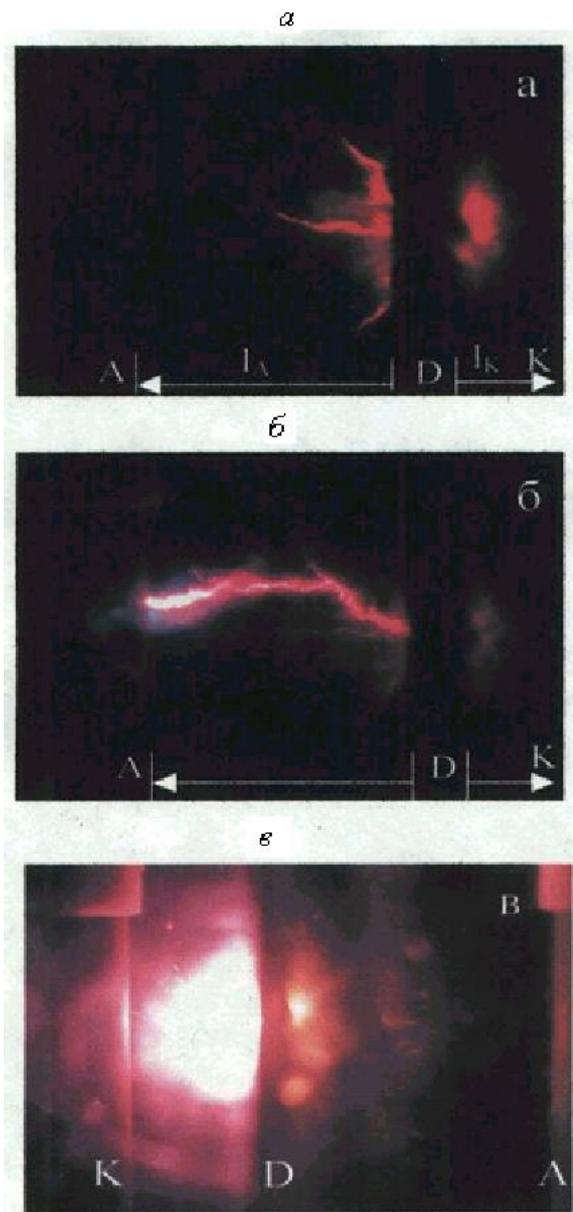


Рис. 2. Зависимость разряда тока ( $I$ ) (1, 2) и напряжения ( $U$ ) (3, 4) от продолжительности процесса

Сформировавшийся разряд локализуется в отверстии диафрагмы и вблизи него (рис. 3, *а*), или достигает одного из электродов (рис. 3, *б*). Распространение разряда до электрода, связанное с перекрытием плазменным каналом промежутка отверстие – электрод, вызвано пробоем этого промежутка. При разряде без пробоя ток, достигнув максимума, плавно спадает (рис. 2, кривая 1). При разряде с пробоем на осциллограмме тока наблюдается значительный скачок (кривая 2).

Для растворов с большими значениями  $\sigma$  амплитуда импульса тока возрастает, а общая длительность разряда уменьшается. Так, при разряде в растворе 0,04 М NaCl (рис. 2, кривая 4), по сравнению с разрядом в водопроводной воде, амплитуда тока возросла в 4 раза и примерно во столько же уменьшилась продолжительность разряда. Изменяется и внешний вид факелов разряда. Если в водопроводной воде они представляют собой стримеры малинового цвета (рис. 3, *а*), то в растворе 0,05 М NaCl – это светящаяся область полусферической формы, занимающая в десятки раз больший объем (рис. 3, *б*). При этом спектр излучения становится близким к сплошному.



*Рис. 3. Формирование диафрагменного разряда: а – локализация разряда в отверстии диафрагмы; б – распространение разряда до одного из электродов; в – увеличенный в объеме факел разряда в растворе хлорида натрия*

Согласно существующим представлениям [9] ДР связан с образованием паров воды в отверстии диафрагмы и последующим их электрическим пробоем. Результаты экспериментов, представленные в настоящей работе, позволяют уточнить механизм формирования ДР. В частности, установлено, что при малой электропроводности жидкости

( $\sigma < 10^{-3}$  Сим/см) формирование ДР обусловлено ионизационными процессами, а при большой электропроводности ( $\sigma > 10^{-2}$  Сим/см) – джоулевым разогревом жидкости в отверстии. В жидкостях с промежуточными значениями электропроводности формирование ДР связано с сочетанием обоих этих процессов.

Начальный ток между электродами соответствует геометрическим параметрам промежутка и электропроводности среды. Электрическое сопротивление отверстия в диафрагме диаметром  $d$  и толщиной  $b$  составляет:

$$R_{\text{отв}} = 4b/(\pi d^2 \sigma).$$

Сопротивление воды (как полупространства с одной стороны диафрагмы) относительно среза этого отверстия равно [16]:

$$R_{\text{в}} = 1/(2d\sigma).$$

Сопротивление цилиндрического электрода радиусом  $a$  и длиной  $l$  относительно воды составляет:

$$R_{\text{э}} = [\ln(2l/a - 1)]/(2\pi l\sigma).$$

Таким образом, суммарное сопротивление между электродами можно записать в виде

$$R_{\text{мэ}} = R_{\text{отв}} + 2R_{\text{в}} + 2R_{\text{э}}.$$

Начальный ток в отверстии равен:

$$I_{\text{н}} = U/R_{\text{мэ}}.$$

Плотность начального тока в сечении диафрагмы представим как

$$J_{\text{н}} = 4I_{\text{н}}/\pi d^2. \quad (1)$$

Мощность разряда в отверстии  $P_{\text{отв}} = I_{\text{н}}^2 R_{\text{отв}}$ . Начальная напряженность электрического поля в отверстии будет:

$$E_{\text{н}} = J_{\text{н}}/\sigma. \quad (2)$$

Продолжительность испарения воды в отверстии составляет:

$$t_{\text{н}} = Q_{\text{н}}/P_{\text{отв}},$$

где  $Q_{\text{и}} = q_{\text{и}} m$  – энергия испарения воды в отверстии;  $q_{\text{и}}$  – удельная энергия испарения воды, имеющей начальную температуру 20°C;  $m$  – масса воды в отверстии.

Расчеты показали, что для водопроводной воды, 0,005 и 0,05 М растворов NaCl значения  $t_{\text{и}}$  равны соответственно 1200, 105 и 12 мкс. Реальное время формирования разряда, судя по осциллограмме тока (рис. 2, кривая 1), для водопроводной воды составляет ~40 мкс. Значительное отличие  $t_{\text{и}}$  от реальных времен поджига разряда указывает на то, что в случае водопроводной воды испарение жидкости не играет ведущей роли в иницировании ДР. Величина  $E_{\text{н}}$  достигает значений ~160 кВ/см (табл. 1), что в несколько раз превышает напряженность начала ионизации воды. Пробой, по-видимому, начинается с образования нитеобразного канала на краю отверстия, где электрическое поле имеет наибольшее значение. На это также косвенно указывает малая величина скачка тока (рис. 2, кривая 1, 2) и напряжения (кривая 3). О нитеобразном стримерном характере канала пробоя свидетельствуют и снимки разряда (рис 3, а, б).

Таблица 1. Электрические характеристики диафрагменного разряда в воде и растворах хлорида натрия

Обрабатываемая водная система	Электрические характеристики						
	$\sigma$ , Сим/см	$R_{\text{мэ}}$ , Ом	$I_{\text{н}}$ , А	$J_{\text{н}}$ , А/см <sup>2</sup>	$Q_{\text{н}}$ , Дж	$t_{\text{н}}$ , с	$E_{\text{н}}$ , кВ/см
Водопроводная вода	$5,5 \cdot 10^{-5}$	$6,8 \cdot 10^5$	$1,8 \cdot 10^{-2}$	9	0,26	$1,2 \cdot 10^{-3}$	164
Раствор NaCl, 0,005 моль/дм <sup>3</sup>	$6 \cdot 10^{-4}$	$6,2 \cdot 10^4$	0,2	100	0,26	$1,05 \cdot 10^{-4}$	167
Раствор NaCl, 0,05 моль/дм <sup>3</sup>	$5,5 \cdot 10^{-3}$	$6,8 \cdot 10^3$	1,8	900	0,26	$1,2 \cdot 10^{-5}$	164

Для раствора 0,05 М NaCl продолжительность формирования разряда, судя по осциллограмме тока (рис. 2, кривая 4), составляет единицы мкс, что коррелирует с расчетным значением  $t_{\text{и}} = 12$  мкс. В этом случае начало (поджиг) разряда, по-видимому, действительно связано с испарением воды в отверстии.

Полученные данные указывают на то, что при  $\sigma < 10^{-3}$  Сим/см формирование ДР обусловлено ионизационными процессами, а при  $\sigma > 10^{-2}$  Сим/см – джоулевым разогревом жидкости в отверстии. В жидкостях с промежуточными значениями электропроводности формирование ДР связано с сочетанием обоих этих процессов.

Уменьшение  $d$  в диафрагме по своему влиянию на разряд подобно увеличению начальной электропроводности раствора. Оно повышает плотность тока и, соответственно, напряженность электрического поля в отверстии (1), (2), облегчая условия зажигания ДР. Внешний вид разряда в отверстиях с  $d = 2; 1,5; 1,0$  и  $0,6$  мм представлен на рис. 4, а – г, из которого видно, что при больших диаметрах отверстия разряд "привязан" к краю отверстия и не заполняет все сечение последнего. Изучение более мощного разряда (с энергией  $\sim 330$  Дж) в отверстиях большего диаметра (6 мм) [9] также показало, что разряд начинается одновременно во многих точках по периметру отверстия.

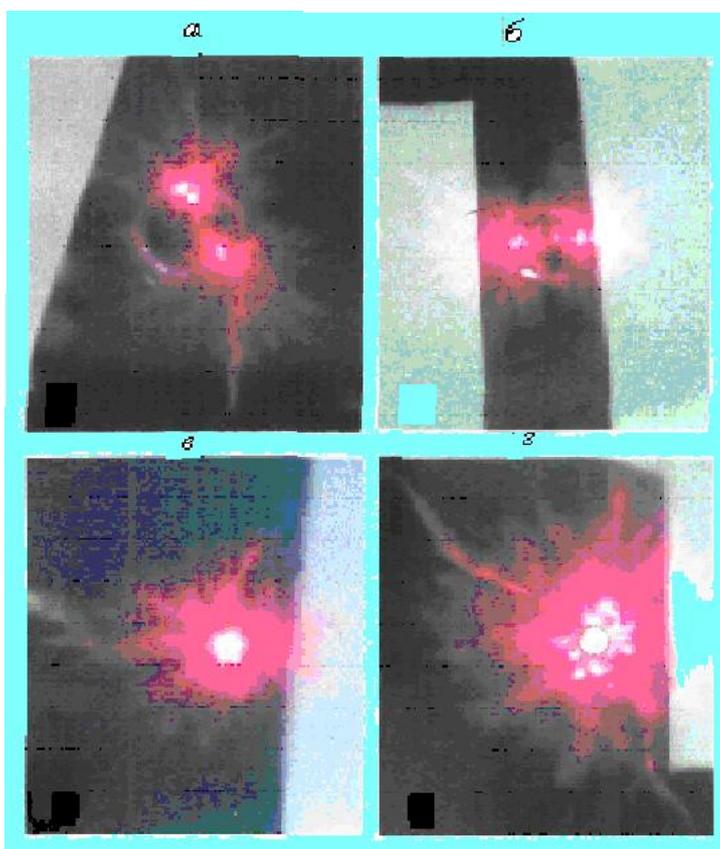


Рис. 4. Влияние на внешний вид разряда диаметра отверстия в диафрагме (мм): 2,0(а); 1,5(б); 1,0(в); 0,6(г)

Следовательно, разряд, независимо от значения  $d$ , всегда начинается у кромки отверстия. Заполнение отверстия плазмой происходит в процессе разряда и при данной энергии разряда ( $\sim 7$  Дж) оно полностью заполняется при  $d \sim 1$  мм и меньше (рис. 4, в, г).

Таким образом, сечение отверстия в диафрагме, наряду с  $\sigma$ , является фактором, определяющим свойства ДР.

*Действие ДР на водные системы.* Опыты по обработке воды с помощью ДР проводили в цилиндрической камере из нержавеющей стали диаметром 60 мм. По оси камеры располагался электропроводящий стержень диаметром 10 мм, покрытый стеклотекстолитовой изоляцией толщиной 2 мм. В изоляции сделаны восемь отверстий диаметром 1,2 мм. Корпус камеры был заземлен, а на стержень подавали импульсное напряжение положительной полярности от высоковольтного источника, схема которого подобна приведенной на рис. 1. Общая импульсная энергия, подводимая к образцу воды в камере, при амплитуде напряжения 13 кВ составляла 8 Дж при частоте следования импульсов 1 – 10 Гц. Эффективность воздействия ДР определяли по снижению концентрации 1%-ного раствора МГ и концентрации водного раствора КJ при титровании тиосульфатом натрия, а также по уменьшению ХПК и прозрачности сточной воды шламонакопителя.

Заметные изменения характеристик растворов наблюдаются при превышении некоторого уровня удельной объемной энергии  $w$ , сообщаемой очищаемой воде (табл. 2). Достижимая высокая удельная объемная энергия ДР вызывает следующие процессы: ионизацию молекул воды и органических примесей; возбуждение молекул до более высоких энергетических состояний; диссоциацию молекул на нейтральные частицы или ионы; образование свободных радикалов. Последнее явление при протекании ДР наиболее важно для очистки воды, так как оно сопровождается вторичными процессами, такими, как окисление, восстановление.

Как видно из рис. 5, уменьшение оптической плотности раствора фенола зависит от приложенной удельной объемной энергии разряда. При ее значении 280 Дж/см<sup>3</sup> разложение фенола за одно и тоже время обработки происходит более полно, чем при 10,8 Дж/см<sup>3</sup>.

Для раствора №1 (табл. 2)  $w \sim 10$  Дж/см<sup>3</sup>. При такой удельной энергии значения рН и коэффициента светопропускания ( $A$ ) остаются почти неизменными, а ХПК снижается на 10%. Увеличение энергозатрат до  $w = 286$  Дж/см<sup>3</sup> снижает ХПК более чем на 50%, повышает почти вдвое прозрачность  $A$  и переводит рН из кислой среды в щелочную. По-видимому, диссоциация воды в зоне ДР по реакции

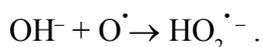
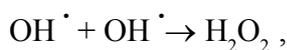
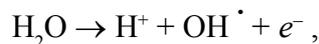


способствует образованию большого количества ионов в объеме воды и вблизи электродов. В данном случае протоны расходуются на реакции обмена и окисления, что приводит к повышению рН.

Таблица 2. Результаты обработки растворов методом диафрагменного разряда

Раствор	Природа образца	$w$ , Дж/см <sup>3</sup>	До обработки			После обработки			$w_1$ , Дж/мг	$C$ , мг/дм <sup>3</sup>
			pH	XПК, мгО/дм <sup>3</sup>	A, %	pH	XПК, мгО/дм <sup>3</sup>	A, %		
№1	Метиленовый голубой, 1 масс.%	10,8	3,75	670	35	3,75	613	33	-	
		286	4,35	670	35	8,2	291	58	-	
№2	Сточные воды свалки бытовых отходов	187	8,35	25,24	6	9	1738	5	-	
		280	8,35	25,24	6	9,1	1640	4,5	-	
№3	Раствор КJ, 1 масс.% Раствор КJ, 1 масс.% с продувкой воздухом	85	-	-	-	-	-	-	$1,25 \cdot 10^{-4}$	
		90	-	-	-	-	-	-	$1,2 \cdot 10^{-3}$	

Кроме указанной реакции, диафрагменный разряд высокой энергии, аналогично ионизационному облучению [17], вызывает для очистки воды следующие реакции:



Наиболее важной является реакция образования короткоживущих гидроксильных радикалов  $\text{OH}^\cdot$ , которые аккумулируются в растворе в виде пероксида водорода. В результате связывания атомарного кислорода с ионом гидроксила образуется более гидрофильный анион-радикал  $\text{HO}_2^\cdot$ , также участвующий в разрушении органических загрязняющих веществ в воде.

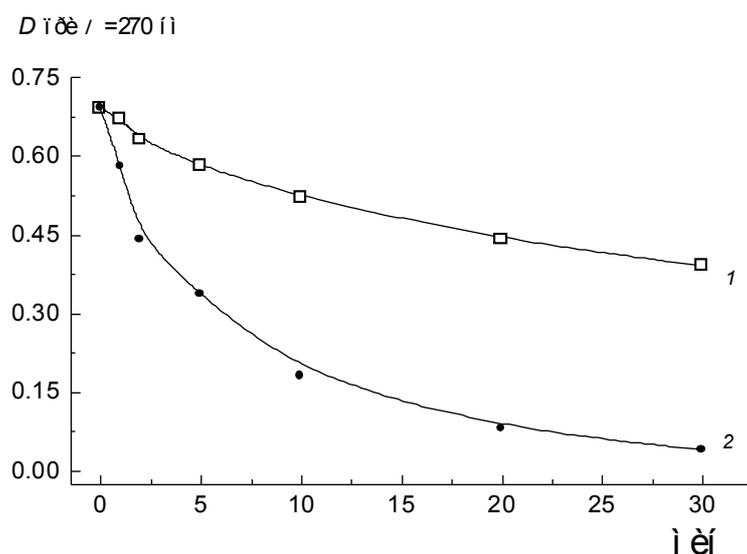


Рис. 5. Зависимость оптической плотности  $D$  раствора фенола ( $50 \text{ мг/дм}^3$ ) при  $l=270 \text{ нм}$  от продолжительности обработки диафрагменным разрядом. Объемная мощность разряда,  $\text{дж/см}^3$ : 10,8 (1); 280 (2)

Удельные энергозатраты для очистки сточной воды (табл. 2, раствор №2), вероятно, должны быть выше, так как при  $w = 280 \text{ Дж/см}^2$  ХПК уменьшается на 35%, а рН и  $A$  изменяются незначительно. Малое изменение рН при обработке ДР сточной воды объясняется ее большой бу-

ферной емкостью, обусловленной высокой концентрацией солей слабых органических и минеральных кислот, а также растворенных газов. Для сложных по составу водных систем, подобных свалочным сточным водам, на эффективность ДР, кроме величины  $\sigma$ , могут влиять также другие условия. Пузырьки газа и загрязняющие вещества, первоначально присутствующие в воде, несколько снижают напряжение пробоя. После их удаления напряжение пробоя повышается. Затем вода загрязняется продуктами разрушения поверхности электродов и напряжение пробоя снова снижается. Влияет на напряжение пробоя также плотность и вязкость жидкости и, следовательно, температура образца. Присутствие дисперсных веществ в воде может существенно изменить картину ДР. Дисперсные частички, находясь в межэлектродном пространстве, в зависимости от их электропроводности создают местное изменение напряженности поля. При попадании дисперсных частиц в отверстие диафрагмы они могут существенно уменьшить площадь сечения отверстия, в котором развивается ДР, и тем самым изменить градиент потенциала и плотность тока, что влияет на степень разрушения загрязняющих веществ.

Полученные данные по обработке ДР раствора №1 можно сопоставить с таковыми работы [8] по обесцвечиванию разрядом в объеме жидкости 0,01%-ных растворов родамина, метилоранжа и др. Сравнение показывает, что двукратное увеличение прозрачности растворов требует примерно одинаковых энергозатрат  $w \sim 280$  Дж/см<sup>2</sup>. Однако, если учесть, что в наших экспериментах исходная концентрация раствора №1 была на два порядка выше, чем для жидкостей, исследованных в [8], то можно утверждать, что степень обесцвечивания с помощью ДР существенно больше, чем у коронного разряда в объеме жидкости.

Как правило, в плазменной зоне заряды не скомпенсированы полностью, и поэтому при протекании разряда плазменная зона приобретает определенный знак заряда. В сильном электрическом поле возникает дипольфоретическое и электрофоретическое смещение жидкости разрядной зоны к одному из электродов, что приводит к обновлению раствора в отверстиях диафрагмы. Поэтому обработка диафрагменным разрядом не ограничивается только областью отверстия диафрагмы, но вызывает перемешивание раствора, вовлекая в реакции окисления большие объемы жидкости приэлектродных зон. Кроме того, на разрушение органических веществ в области, примыкающей к отверстиям в диафрагме, влияет знак заряда электрода, причем объем плазменной зоны всегда увеличен в сторону одного из электродов. Большое различие величин поверхности электрода и отверстия создает сильную неоднородность поля в области электрод/отверстие диафрагмы, что способствует образованию лавины электронов и ионов, вызывающей пробой жидкости. Это сокращает

минимальную длительность импульса, при котором достигается постоянное значение пробивного напряжения, и тем самым достигается максимальный эффект воздействия ДР на очищаемую воду.

Известно [10], что подача в зону разряда в объеме жидкости газа, содержащего кислород, повышает химическую эффективность разряда, в частности содержание растворенного в воде озона. Исследования показали, что это свойство присуще и ДР. Эксперименты проводили на установке с диафрагмой, в которой было одно отверстие диаметром 1,2 мм. Через это отверстие прокачивали воздух (~ 1 дм<sup>3</sup>/мин). Обработываемой жидкостью служил 1%-ный раствор КJ. Химическую эффективность ДР определяли по массе йода, выделившегося при разряде в результате протекания совокупности всех возможных окислительных реакций. Как видно из табл. 2, при почти одинаковых энергозатратах (~ 90 Дж/см<sup>3</sup>) подача воздуха на порядок снижает удельные энергозатраты на выделение йода. Это указывает на целесообразность использования продувки воздуха через зону ДР.

Если предположить, что выделение йода происходит в результате только одной реакции  $O_3 + 2 KJ + H_2O = J_2 + 2 KOH + O_2$  с образованием при разряде озона, то по результатам титрования можно определить некую эквивалентную концентрацию растворенного в воде озона  $C_3$ . При разряде с продувкой воздуха она достигает внушительных значений ( $C_3 = 80$  мг/дм<sup>3</sup> (табл.2)).

Практическое использование ДР, помимо показателей эффективности, определяется также и ресурсом установки, прежде всего ресурсом электродной системы. Исследования показали, что при ДР металлические электроды не подвержены заметной эрозии. Ресурс диафрагмы зависит от материала диафрагмы и величины энергии импульса, приходящейся на отверстие в диафрагме. Среди используемых материалов (полиэтилен, фторопласт и стеклотекстолит) именно стеклотекстолит показал наибольшую устойчивость к разрушению диафрагмы. Разрушение заключалось в увеличении выходного диаметра отверстия в диафрагме, что приводило к неустойчивому поджигу ДР. Ресурс работы стеклотекстолитовой диафрагмы при средней энергии  $I$  составляет ~ 10<sup>4</sup> импульсов. Увеличению ресурса способствует снижение этой энергии разряда в отверстии.

Сравнение с другими методами электрообработки показывает, что ДР по расходу мощности является типичным высоковольтным методом обработки. Так, если при электролизе расходуется 0,12 ÷ 2 кВт·ч/м<sup>3</sup> обработанной воды, импульсном электроискровом методе – 0,5 ÷ 3, то при диафрагменном разряде – 0,5 ÷ 7 кВт·ч/м<sup>3</sup>.

**Выводы.** На основании изложенного можно заключить, что свойства ДР определяются электропроводностью жидкости, сечением отвер-

стия в диафрагме и энергией импульса, а его природа имеет электротепловой характер.

Привлекательность ДР для практического использования обусловлена отсутствием загрязнения жидкости вследствие незначительной эрозии электродов и устойчивостью к разрушению диафрагмы при сравнительно малых импульсных энергиях, приходящихся на одно отверстие в диафрагме. Благоприятным, с точки зрения практического использования ДР, является и тот факт, что с увеличением электропроводности жидкости от  $10^{-3}$  до  $10^{-2}$  Сим/см в десятки раз возрастает объем области, занимаемой разрядом.

Химическая эффективность обработки воды ДР выше таковой импульсных объемных водных разрядов и может быть существенно увеличена за счет продувки газа, содержащего кислород через отверстие в диафрагме.

**Резюме.** Досліджено властивості діафрагмового розряду, що утворюється у водопровідній воді та водних розчинах, а також можливості використання такого розряду для очищення забрудненої води. Діафрагмовий розряд, плазма якого руйнує структуру забрудників води, отримували, підводячи напругу 12 кВ до отворів у стеклотекстолітовій діафрагмі, що занурена у воду, або розчин. Осцилограми і електронні фотографії розряду вказують на можливість керування його тривалістю і потужністю для окислювальної очистки води від органічних забруднень. Одночасна продувка води повітрям підсилює очисну дію діафрагмового розряду.

*V.V.Goncharuk, I.V.Bozhko, N.I.Phalkovski, A.O. Samsoni-Todorov,  
V.A.Yaremenko, V.V.Malyarenko*

## **DIAPHRAGM DISCHARGE AND ITS SUPPLEMENT TO WATER PURIFICATION**

### Summary

The properties were studied for diaphragm discharge that originating in town water and aqueous solutions, and capabilities to employ the discharge for purification of foul waters. The diaphragm discharge, which plasma destruct of water pollution agents were made by potential 12 kV laying on to perforation at glass-textolite diaphragm in water or solution. Oscillograms and the electronic photos of the discharge show an opportunity of management of its duration and capacity for oxidizing clearing of water from organic pollution. It is

showed, the simultaneous purge of water by air strengthens purificatory action of diaphragm discharge.

1. Гончарук В.В., Вакуленко В.Ф., Сова А.Н., Олейник Л.М., Швадчина Ю.О. // Химия и технология воды. – 2005.– **25**, № 5.– С. 407 – 427.
2. Экологические аспекты современных технологий охраны водной среды/ Под ред. В.В. Гончарука. – Киев: Наук. думка, 2005. – 400 с.
3. Гончарук В.В., Маляренко В.В. //Доп. НАНУ. – 2004. – № 11. – С. 144 – 150.
4. Пат. 71475 Украина, C02F 1/46 /В.В. Гончарук, В.В.Маляренко, В.А.Яременко, А.О.Самсоні-одоров, О.М. Жукова. – Оpubл. 15.12.05, Бюл. №12.
5. Пат. 69282Украина, МПК H01T 19/00, C02F 1/46 М.О. /В.В.Гончарук, І.В.Божко, О.А.Самсоні-Тодоров, В.В.Маляренко, В.А.Яременко, В.В. Погребнов, А.В. Щербина. – Оpubл. 17.04.06, Бюл.№4.
6. Горячев В.Л., Рутберг Ф.Г., Федюкович В.Н. // Изв. РАН, Энергетика.– 1998. – № 1. – С. 40 – 55.
7. Котов Ю.А., Соковник С.Ю. //Тез. докл. Междунар. выставки "Чистая вода Урала" (г. Екатеринбург, 30.10. – 04.11.1995). – Екатеринбург, 1995. – С.55.
8. Sigurto T.A., Ohshima T. // J. Electrostatics. – 2003. – N 58.– P.135 – 145.
9. Дробышевский Э.М., Дунаев Ю.А., Розов С.И. // Журн. техн. физики.– 1973. – **43**, № 6. – С. 1217 – 1221.
10. Clements. J.S., Sato M., Davis R. H. //IEEE Trans. on Industry Applic. – 1987. – N2. – P. 224 – 235.
11. Черняк В.Я., Цыбулев П.Н., Ольшевский С.В., Воронин П.Н // Инж.-физ. журн. – 1997. – **70**, № 4. – С. 625 – 629.
12. Suarasan J., Madura M., Chiro R.A. // J. Electrostatics. – 2005.– N63. – P. 831 – 836.
13. Bovev S., Yavorovsky N. // IEEE Trans. on Industry Applic. – 1999. – P. 181– 184.
14. Низкотемпературная плазма: Плазмохимическая технология: В 4 т. /Под ред. В.Д. Пархоменко и Ю.Д. Третьякова. – Новосибирск: Наука, 1991. – Т.4. – 391 с.
15. Пивоваров А.А., Тищенко А.П. Неравновесная плазма: процессы активации воды и водных растворов. – Днепропетровск, 2006. – 225 с.
16. Лурье А.И. Испытание заземляющих устройств электрических установок. – М.: ГЭИ, 1950.– 112 с.
17. Пикаев А.К., Кабакчи С.А. Реакционная способность первичных продуктов радиолиза воды: Справочник. – М.: Энергоатомиздат, 1982. – 201 с.

Ин-т коллоид. химии и химии воды  
им. А.В. Думанского НАН Украины,  
г. Киев

Поступила 12.07.2007