

# ОБРАБОТКА ВОДЫ В ПЛАЗМЕ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОГО БАРЬЕРНОГО РАЗРЯДА ДЛЯ ИЗМЕНЕНИЯ ЕЕ ВОДОРОДНОГО ПОКАЗАТЕЛЯ

Горбунова М.А.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
г. Минск, Республика Беларусь

Котов Д.А. – канд. техн. наук, доцент

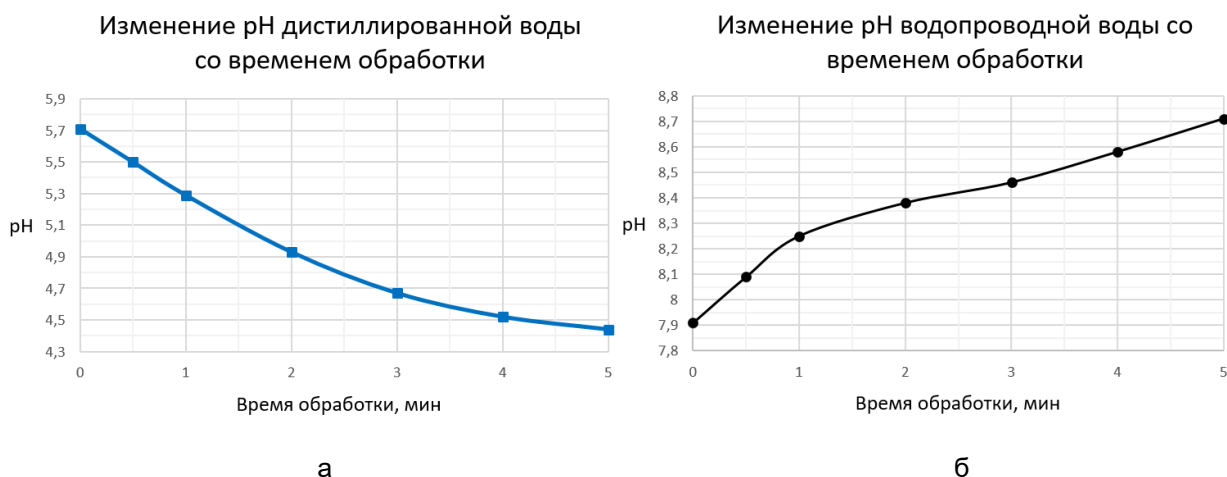
Проведена обработка воды различного состава с помощью плазмы диэлектрического барьерного разряда при атмосферном давлении. Было исследовано изменение pH воды в зависимости от длительности обработки (до 5 минут). Установлено, что в случае обработки дистиллированной воды, ее pH снижается с увеличением времени воздействия плазмы на 22,24 %. А для случая обработки водопроводной и питьевой воды было выявлена обратная динамика – pH увеличивался с увеличением времени обработки на 10,11% и 8,11 % соответственно.

Вода, активированная плазмой (plasma activated water (PAW)) [1], благодаря своей уникальной биохимической активности является перспективной в технологиях пищевой промышленности, сельского хозяйства, а также отраслях экологии и биомедицины. Также одним из основных применений плазмы в природоохранном секторе является очистка промышленных сточных вод за счёт образования озона, который является сильным окислителем и способен разлагать токсичные вещества. Доказано, что вода, активированная плазмой, эффективна для обеззараживания пищевых продуктов, прорастания семян, улучшения роста растений [1, 2, 3].

Широкое применение диэлектрического барьерного разряда (ДБР) в технике обуславливается возможностью возбуждения нестационарной низкотемпературной плазмы при атмосферном давлении, что значительно снижает стоимость технологических процессов с их применением и упрощает их. Также достоинством ДБР по сравнению с другими типами разрядов атмосферного давления является отсутствие прямого деструктивного воздействия на обрабатываемый объект. Применение электрических разрядов низкого и атмосферного давления позволяет оперативно управлять параметрами генерируемой плазмы, что в свою очередь обеспечивает создание уникальных условий для обработки объектов различной природы и направленного изменения их свойств [4]. Исходя из этого, целью работы являлось исследование изменений водородного показателя (pH) различных видов воды при обработке в плазме диэлектрического барьерного разряда при атмосферном давлении.

Обработка воды «холодной» плазмой при атмосферном давлении проводилась на экспериментальном комплексе, который включает в себя разрядную систему, систему электрического питания и систему подачи прекурсора. Данная разрядная система позволяет формировать плазменный факел длиной до 3 см с зоной обработки диаметром в 1 см. В качестве плазмообразующего газа использовался аргон. Обработка проводилась при разрядном напряжении 2 кВ, расстоянии от источника до поверхности воды – 5 мм, расходе газа – 100 л/ч. Объем жидкости, обрабатываемой в чашке Петри диаметром 9 см, составлял 10 мл. Таким образом обрабатывалась слой воды толщиной 1,57 мм. Температура воды составляла 20°C. Зона воздействия плазменного факела находилась по центру чашки Петри, обработка проводилась в статичном режиме. Для измерения pH образцов использовался портативный pH-метр Hanna Instruments HI83141-1. Была проведена калибровка pH-метра с помощью калибровочных растворов с pH = 7,01 и pH = 4,01, построены калибровочные кривые.

Полученные по результатам исследований графики изменения pH воды от длительности обработки представлены на рисунке 1.



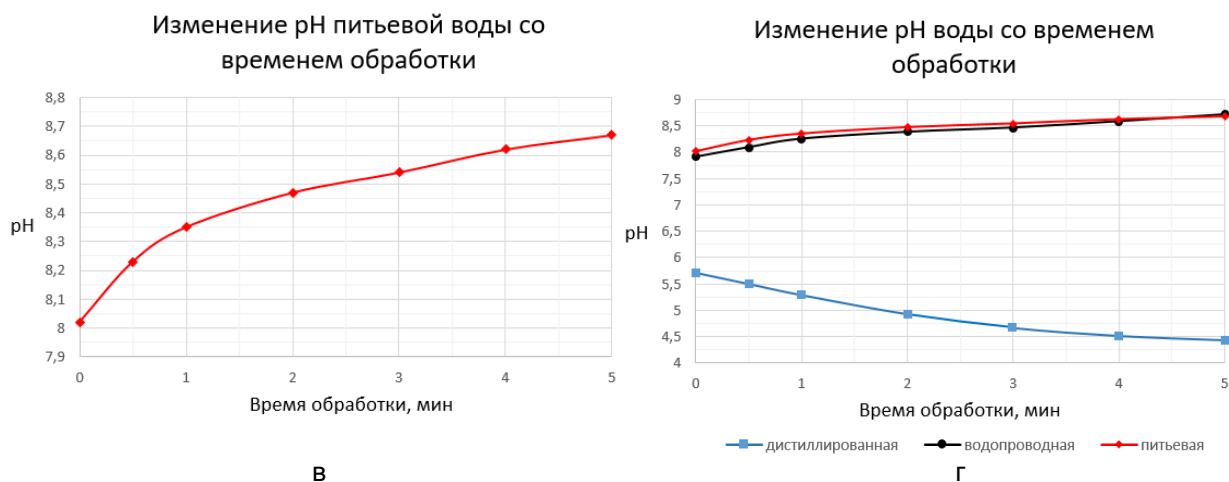
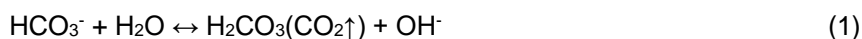


Рисунок 1 – Изменение pH воды от длительности обработки в плазме диэлектрического барьерного разряда в атмосферной среде (а – дистиллированная вода, б – водопроводная вода, в – питьевая вода, г – совмещение графиков а, б, в).

В случае плазменной обработки воды при атмосферном давлении, концентрация активных форм кислорода и азота, которые взаимодействуют с водой и встраиваются в неё, приводит к образованию раствора с более высоким окислительным потенциалом, чем у необработанной воды, что происходит за счет образования в результате воздействия плазмы значительных концентраций кислот, таких как азотная ( $\text{HNO}_3$ ) и азотистая кислота ( $\text{HNO}_2$ ). Типичные долгоживущие активные формы кислорода и азота включают нитриты ( $\text{NO}_2^-$ ), нитраты ( $\text{NO}_3^-$ ), озон ( $\text{O}_3$ ) и пероксид водорода ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ). Короткоживущие формы, такие как гидроксильные радикалы ( $\text{OH}^\cdot$ ), супероксид-анион-радикал ( $\text{O}_2^-$ ), синглетный кислород ( $^1\text{O}_2$ ), оксид азота ( $\text{NO}$ ) и пероксинитрит ( $\text{ONOO}^-$ ), существуют только в течение короткого промежутка времени с периодом полураспада порядка секунды [1].

С увеличением времени обработки дистиллированной воды, ее водородный показатель снижался на 22,24 % до значения pH = 4,44 (график 1а), так как в растворе, вероятно, идет накопление азотной ( $\text{HNO}_3$ ) и азотистой ( $\text{HNO}_2$ ) кислот.

Для случая обработки минерализованной природной воды (водопроводной и питьевой) было выявлено, что pH увеличивался с увеличением времени обработки на 10,11% (до pH = 8,71) и 8,11 % (до pH = 8,67) соответственно (графики 1б, 1в). Минерализованная вода содержит катионы:  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ , анионы:  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$  [5]. Гидролизу подвергаются только  $\text{HCO}_3^-$ , являющиеся анионами слабой угольной кислоты, сдвигая pH минерализованной воды в щелочную область:



Другие катионы и анионы образуют сильные основания и сильные кислоты соответственно, поэтому эти ионы в обменное взаимодействие с водой не вступают и не влияют на ее pH.

При воздействии диэлектрического барьерного разряда на минерализованную природную воду, образующиеся в результате ионизации молекул воды ионы  $\text{H}_3\text{O}^+$  влияют на равновесие процесса гидролиза анионов  $\text{HCO}_3^-$ , смещая его вправо, что способствует выделению  $\text{CO}_2$  из минерализованной воды и, соответственно, ее дополнительному защелачиванию [6, 7].

Минерализованная природная вода в результате обработки плазмой диэлектрического барьерного разряда имеет щелочную среду и содержит некоторую концентрацию нитрат-ионов, поэтому она может быть использована для эффективного полива растений, так как будет снижать кислотность почвы и дополнительно насыщать ее азотом. Дистиллированная вода имеет кислотную среду в результате обработки, поэтому имеет перспективы использования в сфере медицины, в качестве дезинфицирующих средств.

#### Список использованных источников:

1. Plasma activated water (PAW): Chemistry, physico-chemical properties, applications in food and agriculture / T. Rohit [et al.] // Trends in food science & technology 77. – 2018. – P. 21–31.
2. Plasma bioscience for medicine, agriculture and hygiene applications / E. H. Choi [et al.] // Journal of the Korean Physical Society. – 2022. – P. 817–851.
3. Recent Progress in Applications of Atmospheric Pressure Plasma for Water Organic Contaminants' Degradation / Y. Yin [et al.] // Applied Sciences – 2023. – № 13. – 12631.
4. Plasma–Saline Water Interaction: A Systematic Review / T.F.d. Melo [et al.] // Materials. – 2022. – Vol. 15, № 4854. – P. 1–18.
5. Review on discharge plasma for water treatment: Mechanism, reactor geometries, active species and combined processes / H. Zeghroud [et al.] // Journal of Water Process Engineering. – 2020. – Vol.38. – 101664.
6. Влияние различных форм угольной кислоты в воде на её значение pH / И. Тихонов // СОК. – 2024. – №11. – С. 24–29.
7. Вода. Методы определения щёлочности и массовой концентрации карбонатов и гидрокарбонатов : ГОСТ 31957-2012. – Введ. 03.12.2012 – Москва : Стандартинформ, 2019. – 23 с.