

Мат. УШ Всесоюз. конф. „Физика низкотемпературной плазмы.“ Ташкент, 1987. Ч. 1. С. 21.

- [5] Макасы А.Л., Назаров Э.Г., Первухин В.В., Расулев У.Х. // Письма в ЖТФ. 1990. Т. 16. В. 12. С. 41-45.

Поступило в Редакцию

23 апреля 1991 г.

Письма в ЖТФ, том 17, вып. 12

26 июня 1991 г.

04; 12

© 1991

ОБ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИМПУЛЬСНОГО
ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО РАЗРЯДА
ПРИ ОБЕЗЗАРАЖИВАНИИ ВОДЫ

А.А. Богомаз, В.Л. Горячев,
А.С., Ременны й, Ф.Г. Рутберг

Бактериальное действие импульсных разрядов известно [1, 2]. Однако до настоящего времени остается неясным физический механизм обеззараживающего действия разряда и энергетическая эффективность этого процесса. Это обстоятельство затрудняет разработку установок, необходимых для решения одной из важнейших экологических задач – биологической очистки сточных и бытовых вод.

Известно, что электрический разряд в воде [3] сопровождается образованием газоплазменного каннла относительно малого диаметра ($d = 10^{-3} - 10^{-1}$ мм), окруженного многочисленными микроканалами в оболсти размером (5-10) мм. В зависимости от величины вложенной энергии в разряд и скорости ввода движение границы плазменного канала приводит либо к появлению акустических колебаний жидкости, либо к образованию в ней ударных волн. Кроме того, плазма является достаточно мощным источником ультрафиолетового излучения. Если учесть, что в плазменном столбе и микроканалах образуются ионы, радикалы и гидратированные электроны [4], то можно предположить, что бактерицидное действие импульсного электрического разряда обусловлено следующими воздействиями.

1. Локальное воздействие. Сосредоточено в области плазменных образований и обусловлено воздействием гидратированных электронов, ионов и активных радикалов. Это воздействие гидратированных электронов, ионов и активных радикалов. Это воздействие аналогично радиационному [5].

2. Н е л о к а л ь н о е в о з д е й с т в и е. Это воздействие вызвано ультрафиолетовым излучением и ударной волной.

Если локальное воздействие и ультрафиолетовое излучение, в принципе, возникают в разрядах с любой энергией, то для создания ударных волн необходима энергия не менее (1-10) кДж при длительностях импульса $\tau_{и} = (1-10)$ мкс [6, 7]. Это обстоятельство было использовано в настоящей работе.

Экспериментально изучалось бактерицидное свойство импульсного электрического разряда в двух предельных по величине энергии случаях.

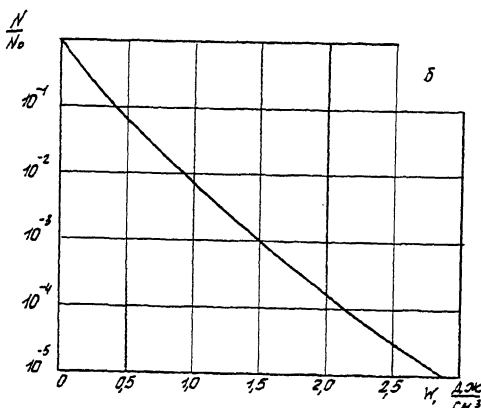
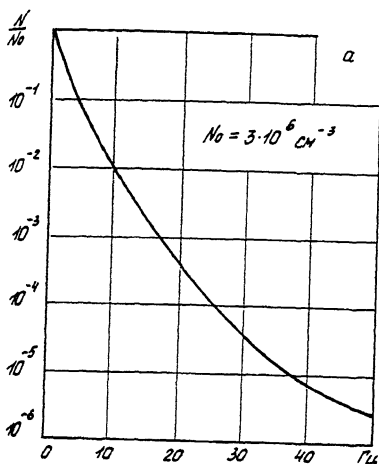
В первом режиме энергия в импульсе была $W_{и} = 0.3$ Дж. Длительность импульса $\tau_{и} = 20$ мкс. Разряд возбуждался в потоке воды. Поперечное сечение канала 1.5 см^2 . Геометрия электродов - острие, плоскость. Пробивное напряжение $U_0 = 25$ кВ, напряжение на плазменном промежутке $U_{п} = 1$ кВ, величина тока $J = 30$ А. Скорость движения воды изменялась в пределах $v = 1-50$ см/с. Частота повторения импульсов изменялась в пределах 10-100 Гц.

Во втором случае разряд осуществлялся в замкнутых камерах объемом $V = 0.5-3$ л. Энергия в импульсе составляла величину $W_{и} = (2.5-7)$ кДж. Длительность $\tau_{и} = 10-15$ мкс.

Эксперименты выполнялись на модельных биологических растворах, полученных на основе обычной и дистиллированной воды, содержащей бактерии кишечной палочки. При этом начальная концентрация варьировалась от 10^3 до 10^9 Кл/мл.

Результаты, полученные в первом случае в виде зависимости концентрации оставшихся живых бактерий от частоты импульсов, представлены на рисунке, а. Видно, что эта зависимость является экспоненциальной $N^2 = N_0 \exp(-kW)$, где N_0 - начальная концентрация, k - постоянная „гибели“ бактерии, W - средняя энергия воздействия. Подобного рода зависимости характерны для радиационного обеззараживания, обусловленного действием ионов и радикалов, возникающих в результате ионизации воды быстрыми электронами или γ -квантами. Используя зависимости, представленные на рисунке, а, можно оценить величину энергии, необходимой для полной стерилизации воды (рисунок, б). Эта величина оказалась равной $w = 3$ Дж/г, что по порядку величины совпадает со значением энергии, необходимой для радиационного обеззараживания (1-3) Дж/г.

Во втором режиме, когда разряд осуществлялся в центре цилиндрической камеры длиной $L = 1.5$ м и диаметром $d = 2 \cdot 10^{-2}$ м, бактерицидное действие разряда оказалось существенно меньшим, несмотря на то, что пьезодатчик, установленный в торцах камеры, зафиксировал образование волн давления с амплитудой $p = 1000$ атм. Основная причина такого результата, по-видимому, связана с тем, что на относительно большом расстоянии от разряда не удалось получить ударные волны с резким нарастанием фронта волны. Это обстоятельство подтверждают результаты специальных опытов, которые проводились в цилиндрической камере объемом $V = 3$ л (высота 29 см, диаметр 11.6 см). В случае, когда электрический



- а) Зависимость безразмерной концентрации (N_0 – начальная концентрация живых бактерий) от частоты высоковольтных импульсов.
 б) Зависимость безразмерной концентрации живых бактерий от величины энергии воздействия.

разряд инициировался за счет взрыва проволоочки, образуя ударные волны с резким фронтом, концентрация бактерий снижалась на шесть порядков: до разряда – 10^9 кл/л, после – 10^3 кл/л. При этом энергетическая эффективность воздействия оказалась равной $\omega = 2.4$ Дж/г. В то же время электрический разряд без проволоочки при таких же энергозатратах практически ни оказывал никакого воздействия на бактерии: до разряда – 10^9 кл/л, после $2 \cdot 10^8$ кл/л.

Таким образом, установлено, как и в [8], что в условиях, осуществленных в настоящей работе, основной вклад в обеззараживание вносят локальное воздействие и ультрафиолетовое излучение плазменного столба.

Создание ударных волн в жидкости, обладающих эффективным бактерицидным воздействием, является, как показали эксперименты, достаточно сложной задачей, связанной с быстрым вводом относительно большой энергии [7]. В этих условиях электроды и стенки разрядной камеры подвергаются значительным механическим нагрузкам.

Исходя из этого, конструкция узла очистки и электротехническая схема источника питания, удовлетворяющая требованиям надежности и эффективности, по-видимому, должна быть такой. Камера обработки, изготовленная из изоляционного материала, должна содержать (в зависимости от площади поперечного сечения) несколько пар электродов (от единиц до десятка), расположенных друг от друга на расстоянии, не превышающем радиуса „обеззараживания“. Вклад энергии в импульсе должен быть $W = (1-10)$ Дж. При этом

в зависимости от величины межэлектродного промежутка величина амплитуды импульса $U_0 = 20-40$ кВ, величина тока $J = 20-100$ А, длительность импульса $\tau = 5-20$ мкс. Частота следования импульсов зависит от скорости потока воды и величины радиуса обеззараживания и лежит в диапазоне $f = 50-100$ Гц. Такой режим электрической нагрузки практически не создает гидродинамическую нагрузку на стенки камеры и приводит к появлению в канале волн сжатия с амплитудой вблизи стенок $P = 1-2$ атм. Электроды подвергаются незначительной эрозии. В высоковольтном источнике питания, по-видимому, наиболее целесообразно использовать тиристорный блок формирования и коммутации высоковольтных импульсов.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Кульский Л.А., Савук О.С., Дейнега Е.Ю. Влияние электрического поля на процессы обеззараживания воды. Киев, 1980.
- [2] Сытник И.А. Электрогидравлическое действие на микроорганизмы. Киев: Здоровье, 1982.
- [3] Ушаков В.Я. Импульсный электрический пробой жидкостей. Томск, 1975.
- [4] Горячев В.Л., Ременный А.С., Силин Н.А. // Письма в ЖТФ. 1990. Т. 16. В. 11.
- [5] Шубин В.Н., Шарапин Ю.И., Бруснецова С.А. и др. Радиационное обеззараживание сточных и природных вод. М.: Энергоатомиздат, 1985.
- [6] Иоффе А.И., Наугольных К.А. // ПМТФ. 1968. № 1.
- [7] Иванов В.В., Швец И.С., Иванов А.В. Подводные искровые разряды. Киев, 1982.
- [8] Рязанов И.Д., Перевязкина Е.Н. Действие обеззараживающих факторов импульсного электрического разряда в воде. Электронная обработка материалов, 1984, с. 43-45.

Поступило в Редакцию
22 апреля 1991 г.