

# ПРОЦЕССЫ СТЕРИЛИЗАЦИИ РАСТВОРОВ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ТЛЕЮЩЕГО И НИЗКОВОЛЬТНОГО ДИАФРАГМЕННОГО РАЗРЯДОВ

И.К. Стройкова, А.И. Максимов

Институт химии растворов РАН

153045, Академическая, 1, Иваново, Россия. aim@ihnr.polytech.ivanovo.su

Газовый разряд атмосферного давления в настоящее время широко применяется для модифицирования поверхностных свойств полимеров, очистки воды и стерилизации жидкостей и твердых объектов. Так, большое количество исследований посвящено проблеме очистки сточных и природных вод посредством высоковольтных электроимпульсных разрядов в жидкости [1-2]. Другая часть работ связана с процессами дезинфекции воздуха, пищевых продуктов и производственных емкостей компонентами барьерного разряда в воздухе или воздушной смеси газов [3-4]. В этом отношении применение плазменно-электролитных систем оказывается более эффективным и универсальным методом. Их действие включает вклады окисляющих агентов нескольких традиционных способов (химически активные частицы, УФ излучение, ударная волна), включая их достоинства и устраняя большую часть недостатков. Однако использование таких разрядов в целях дезинфекции пока крайне ограничено. В связи с этим, целью работы стало исследование стерилизующего действия газовых разрядов атмосферного давления с электролитными электродами на водные растворы электролитов.

В качестве исследуемых разрядов в работе использованы тлеющий и диафрагменный газовые разряды. В отличие от хорошо изученного [5-6] тлеющего разряда, горящего между металлическим электродом и поверхностью раствора, диафрагменный разряд возникает в объеме электролита, когда в месте сужения токового канала из-за перегрева образуется паровой пузырь, в котором при достаточно высокой ЭДС источника происходит электрический пробой. Нестационарность и импульсный характер разряда приводят к возникновению избыточного давления в микрообъеме плазмы, что сопровождается образованием ударной волны в зоне горения разряда.

Для проведения эксперимента кварцевая разрядная ячейка объемом 50 мл снабжалась охлаждающей «рубашкой» во избежание влияния температурного фактора на стерилизующее действие разряда и мешалкой для равномерной обработки всего исследуемого раствора. Electrodes, выполненные из молибдена или графита, впаивались в крышку плазмохимической ячейки. Высоковольтный источник питания, используемый для зажигания тлеющего газового разряда, и электрический блок для генерирования диафрагменного разряда позволяли задавать следующие электрические параметры разрядов:  $I = 50 \text{ mA}$ ,  $U = 1500 \text{ V}$  – для тлеющего разряда;  $I = 30 - 100 \text{ mA}$ ,  $U = 500 \text{ V}$  – для диафрагменного разряда.

В качестве микробных тест - культур использовали штаммы аспорогенных бактерий *Escherichia coli* M-17 и *Staphilococcus aureus* с концентрациями  $10^3 - 10^7$  клеток на 1 мл исследуемого раствора. Объектом исследования служил водный раствор хлорида натрия с концентрацией 2 г/л.

Проведенные эксперименты показали, что при воздействии диафрагменного разряда эффект полной стерильности достигался в 2-4

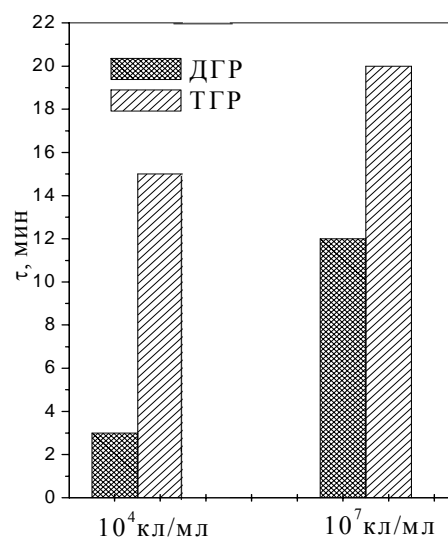
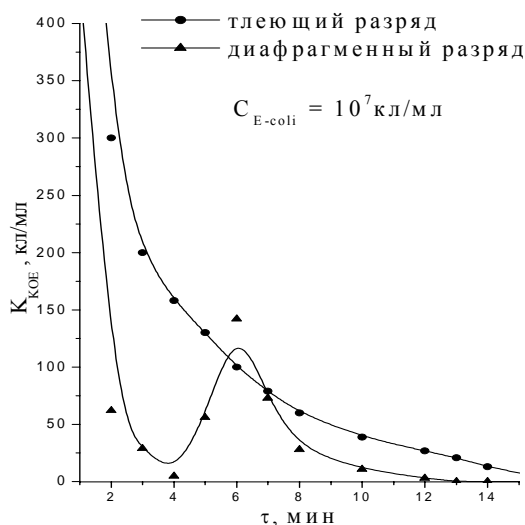


Рис. 1. Эффективность стерилизующего действия разных типов разряда

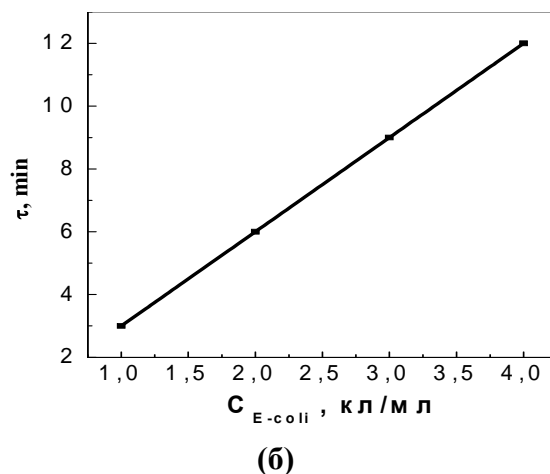
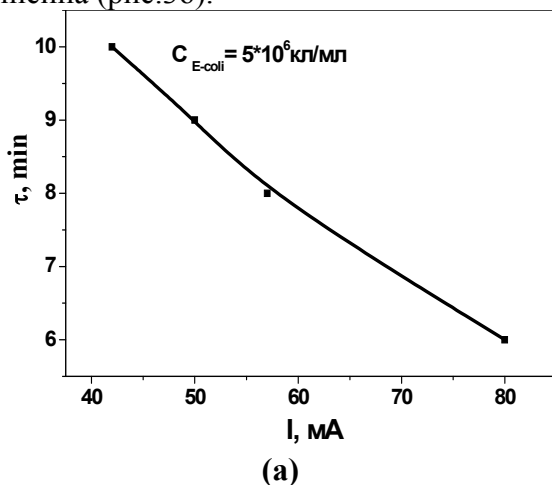
раза быстрее по сравнению с тлеющим разрядом, что свидетельствует о большей эффективности угнетающего действия на бактериальную клетку диафрагменного газового разряда (рис.1).



**Рис. 2.** Зависимость степени подавления жизнедеятельности микроорганизмов в плазме тлеющего и диафрагменного разрядов от экспозиции.

микробной клетки (задержке роста, способности к размножению), способных частично или полностью восстановиться при изменении внешних условий.

Средняя скорость гибели микроорганизмов зависела не только от тока разряда (рис. 3а), но также от биологических особенностей бактериальной культуры и массивности обсеменения ею исследуемого объекта, причем зависимость времени стерилизации от исходной концентрации микробных клеток в растворе была практически линейна (рис.3б).



**Рис.3.** Зависимость времени стерилизации раствора хлорида натрия диафрагменным разрядом от условий эксперимента:

**а** - от электрических параметров разряда; **б** - от концентрации E-coli в растворе.

Мы установили, что степень подавления жизнедеятельности микроорганизмов зависит от экспозиции (рис.2). При этом оказалось, что стерилизующее действие компонентов тлеющего разряда на микробную культуру формально может рассматриваться как мономолекулярная реакция, подчиняющаяся логарифмическому закону, математическое выражение которого может быть записано в виде уравнения реакции первого порядка, где N – концентрация микроорганизмов в момент времени t; N<sub>0</sub> – исходная концентрация микроорганизмов; k – константа скорости:

$$N = N_0 * e^{-k*t} \quad (1).$$

Наблюдаемая в случае диафрагменного разряда экстремальная зависимость свидетельствует о проявлении **бактериостатического** эффекта газоразрядной плазмы, заключающегося во временном торможении жизненных функций

Полученные данные свидетельствуют, что эффективность газоразрядного воздействия на растворы, содержащие *Staphylococcus aureus*, гораздо ниже, чем в случае *Escherichia coli*, что, по нашему мнению, является следствием различного строения клеточной стенки исследуемых микроорганизмов.

При исследовании поведения клеток *Escherichia coli* и *Staphylococcus aureus* в растворе хлорида натрия после его кратковременной активации диафрагменным разрядом обнаружено, что после кратковременной активации (1-3 мин.) раствора даже у частично обеззараженной жидкости в период его 1-2 часового хранения происходит полное самообеззараживание. При разбавлении стерильного активированного раствора новой порцией зараженной микробной среды, в течение 2 – 3 часов достигалась полная стерильность раствора (рис.4), что свидетельствует о бактерицидных свойствах компонентов самого разряда и обработанной им жидкости. Наведенный эффект действовал не менее нескольких дней.

При использовании тлеющего разряда подобный стерилизующий пост-эффект газоразрядной плазмы не наблюдался.

Анализируя опытные данные и говоря о механизме бактерицидного действия тлеющего разряда, мы предполагаем, что стерилизация среды осуществляется в основном за счет окислительной деструкции оболочек микробных клеток в результате воздействия образующихся при горении разряда химически активных частиц. Характерной особенностью плазменно-растворных систем является то, что они имеют несколько областей образования активных частиц: это зона газовой плазмы и тонкий слой раствора на границе раздела фаз газ-жидкость, где образуются радикалы  $H, OH, O$  и сольватированные электроны. В этом смысле отличие тлеющего разряда от диафрагменного состоит в том, что в его генерировании участвует воздух, в котором могут дополнительно образовываться атомарный азот, кислород и озон.

Диффундирующие с поверхности раздела фаз газ – жидкость в объем раствора активные частицы проникают внутрь микробной клетки и вступают в реакцию с ее компонентами, ответственными за жизненно важные для микробов процессы ферментативной деятельности (обмена веществ, дыхания, размножения и др.). При этом в основном происходит окисление ароматических аминокислот, фосфопротеидов и других органических соединений, составляющих микробную оболочку, а затем и их полное разрушение.

При воздействии же компонентов диафрагменного разряда и обеззараженной им жидкости на бактериальную клетку возможно, как мы считаем, протекание не одного, а нескольких независимых процессов, разрушающих ее целостность.

Во-первых, как и при иницировании тлеющего разряда, в растворе происходит накопление химически активных частиц, приводящих к ингибированию жизнедеятельности бактериальной клетки. Этими "ядовитыми" для микроорганизмов веществами, возникающими в растворе в момент разряда, являются в основном, свободные радикалы и активный кислород, к присутствию которого особенно чувствительна бактериальная оболочка. Под их влиянием происходит распад аминокислот и белка, деполаризация нуклеиновых кислот, расщепление других биологически активных

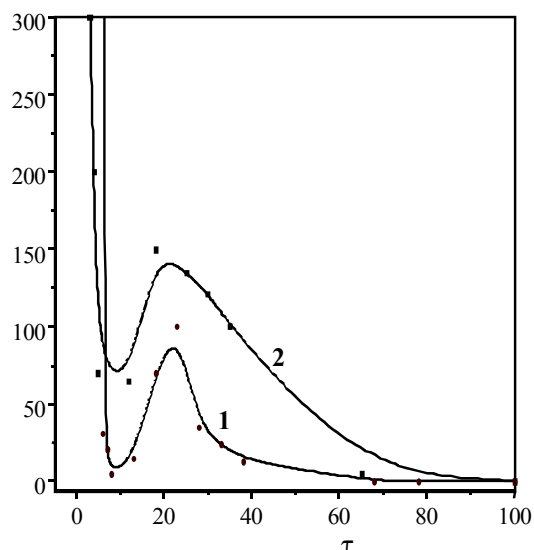


Рис.4. Кривые выживаемости клеток *Escherichia coli* (1) и *Staphylococcus aureus* (2) в водном растворе хлорида натрия после 1-3 минутной активации раствора диафрагменным разрядом

веществ. Их накопление оказывает также бактерицидное действие на микрофлору обрабатываемой жидкости.

Вторым стерилизующим фактором может являться изменение структуры жидкости под действием ударной волны диафрагменного разряда. При этом возможно изменение структуры не только гидратных оболочек ионов, но и свободного объема раствора. Сама жидкость при этом приобретает необычные свойства и вносит дополнительный стерилизующий вклад в эффективность антимикробного действия диафрагменного разряда.

В-третьих, ударная волна способна осуществлять интенсивные химические процессы синтеза, полимеризации, обрыва сорбционных и химических связей в клетке, тем самым, разрушая ее стенку. Более того, возможен разрыв самого тела бактерии с ее уничтожением. К тому же, ударная волна также инициирует электрохимические окислительно-восстановительные реакции в загрязненной жидкости.

Мы полагаем, что комплексное воздействие перечисленных выше факторов приводит к гибели микроорганизмов и полной стерилизации раствора, обеспечивая высокую эффективность действия диафрагменного разряда.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Bert J.M. van Heesch; A. Wekhof. Pulsed corona discharges for gas and water treatment // XI IEEE International Pulsed Power Conference , Paper O1-6, Baltimore, USA, 1997.c. 115-117
2. Karl H. Schoenbach. The effect of pulsed electrical fields on biological cells // IEEE International Pulsed Power Conference , Q-7803-4212, P. 85-90.
3. Болога М.К., Литинский Г.А. Электроантисептирование в пищевой промышленности. Кишинев, «ШТИИИЦА», 1988, 181с.
4. А.с. 272484 СССР, мки А 61 L 3/00
5. Hickling A., Ingram M.D. Glow-discharge electrolysis (review)// Journ. of Electroanalytical Chemistry. -1964.- V.8. -P. 65-81.
6. Rami Ben Gadri, J. Reece Roth, Thomas C. Montie. Sterilization and plasma processing of room temperature surfaces with a one atmosphere uniform glow discharge plasma (OAUGDP).