

03;12

Обеззараживающее действие мощного импульсного электрического разряда в воде. II. Экспериментальные результаты

© К.В. Вилков, А.Л. Григорьев, Ю.А. Нагель, И.В. Уварова

Федеральное государственное унитарное предприятие
„Исследовательский центр им. М.В. Келдыша“, Москва
E-mail: kerc@elnet.msk.ru

Поступило в Редакцию 18 марта 2003 г.
В окончательной редакции 11 сентября 2003 г.

Экспериментально исследована эффективность обеззараживающего действия мощных импульсных разрядов в модельных растворах, природной и сточных водах, содержащих кишечную палочку 1257 и колифаг MS-2. Обнаружено снижение эффективности обеззараживания при наличии в воде взвешенных макрочастиц. Достигнута удельная энергоемкость обеззараживания $0.02\text{--}0.04\text{ kW} \cdot \text{h}/\text{m}^3$.

Введение. В работах [1–4] экспериментально исследована энергетическая эффективность бактериального обеззараживания воды импульсно-периодическими разрядами с энергией в импульсе $\sim 1\text{--}20\text{ J}$. Воздействие таких разрядов носит локальный характер: поражение микроорганизмов достигается в зоне, прилегающей к разрядному каналу при многократном воздействии разрядов, реализованная удельная энергоемкость $\sim 0.5\text{--}1.0\text{ kW} \cdot \text{h}/\text{m}^3$. Обеззараживание в значительно большем объеме воды может быть достигнуто мощными импульсными разрядами с энергией в импульсе порядка нескольких кДж. Такие разряды по сравнению с импульсно-периодическими позволяют снизить удельную энергоемкость за счет значительного сокращения числа разрядов и существенного увеличения объема обеззараживаемой воды, увеличить ресурс емкостного накопителя вследствие уменьшения числа циклов „заряд–разряд“. Серьезный негативный момент связан с существенным ростом термомеханических нагрузок на электроразрядный узел, парирование которых требует неординарных инженерных и технологических решений.

Экспериментальная установка. Исследования проводились на модельной камере, выполненной из стального толстостенного цилиндрического сосуда объемом $\sim 10 \text{ dm}^3$, к которому пристыковывались каналы с углом между осями 90° (рис. 1). Каналы состояли из отдельных секций конической формы, соединявшихся между собой. Наборно-секционная конструкция позволяла варьировать размер модельной камеры вдоль оси каналов от 0.24 до 2 м и использовать в исследованиях сравнительно небольшое количество воды (от 10 до 50 dm^3). Вследствие прохождения ударных волн через отверстия (диафрагмы) в узлах стыковки сосуда с каналами картина распространения ударных волн будет отличаться от той, которая наблюдалась бы в неограниченной среде. По данным работы [5] отличие будет иметь место в зоне $0.5 < r/r_0 < 1.5$, где r_0 — расстояние диафрагмы от источника ударных волн. Электроразрядный узел крепился к верхней крышке сосуда через изолирующую втулку и посредством токоподводящих шин коммутировался с емкостным накопителем. Емкость накопителя $72 \mu\text{F}$, напряжение зарядки 24.6 kV , энергия в импульсе 21.5 kJ . Измерение давления осуществлялось манганиновыми датчиками, интегрального импульса — крешерными устройствами (поршни с иглой с набором бумажных дисков в цилиндрах). Результаты измерений максимального давления p на фронте ударной волны в безразмерных координатах $p/p_c, r/l$ (p_c — расчетное значение для эффективного показателя адиабаты плазмы в канале разряда 1.31–1.45 [6], r — расстояние от оси электродов до точки измерения, l — межэлектродное расстояние в электроразрядном узле) приведены на рис. 1. В пределах имеющегося разброса результаты измерения удовлетворительно согласуются с данными, полученными в осесимметричных камерах [6].

Результаты исследований. Обобщенные данные по эффективности обеззараживающего действия мощных разрядов, полученные на модельных растворах (физиологическом, дехлорированной водопроводной и кипяченой водах), природной и сточной водах, зараженных кишечной палочкой 1257 и колифагом MS-2, приведены на рис. 2 в координатах концентрация микроорганизмов — удельная энергоемкость обеззараживания.¹ При расчете последней затраченная энергия относилась к объему воды, содержащейся в ова-

¹ Санитарно-бактериологический анализ исходной и обеззараженной воды проводился специалистами ОАО „НИИ коммунального водоснабжения и очистки воды“ под руководством к.м.н. Н.А. Русановой.

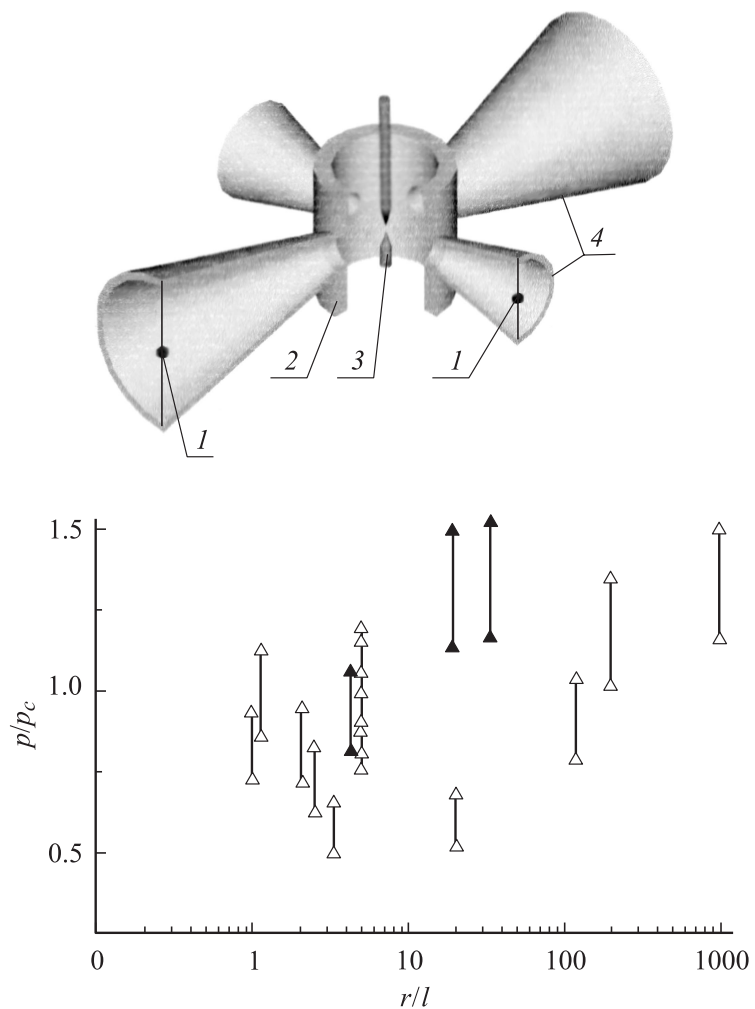


Рис. 1. Расположение датчиков в модельной камере и данные измерений максимального давления на фронте ударной волны: 1 — датчик, 2 — цилиндрический сосуд, 3 — электроразрядный узел, 4 — конический канал, \blacktriangle — данные наших измерений, \triangle — данные измерений в осесимметричных камерах [6].

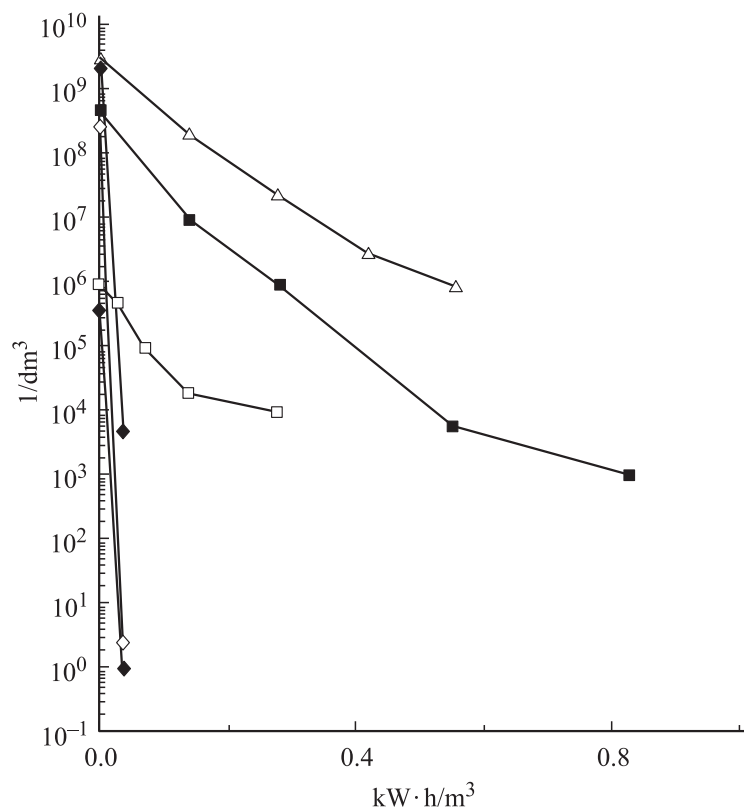


Рис. 2. Эффективность обеззараживания импульсным разрядом: ◇, □, △ — кишечная палочка 1257, ◆, ■ — колифаг MS-2; △ — [1,2], □, ■ — [3,4], ◇, ◆ — данные авторов.

лоиде, образованном вращением изобары (линии равных давлений на фронте ударной волны) вокруг оси разряда в неограниченной среде. Изобара задавалась уравнением, предложенным в [6], большая полуось овалоида принималась равной расстоянию R от оси модельной камеры до торца канала. Величина R , при которой в результате единичного разряда достигалось снижение концентрации микроорганизмов ниже 10^3 l/dm^3 , составляла $\cong 0.6$ м. Для сравнения

на рис. 2 приведены также данные, полученные в [1–4] при применении импульсно-периодических разрядов. По данным измерений усредненная по 5 экспериментам величина перепада давления на внутренней стенке торцевой заглушки ($R \cong 0.6 \text{ m}$) при взаимодействии с нею ударной волны составила 10^2 МПа , что соответствует перепаду давления на фронте падающей волны $\Delta p \sim 0.5 \cdot 10^2 \text{ МПа}$ [7]. Отметим, что эта величина качественно согласуется с теоретически предсказанным значением, согласно которому для деструкции микроорганизма необходимо, чтобы перепад давления на фронте ударной волны был $\Delta p > (0.6–1.35) \cdot 10^2 \text{ МПа}$.

Полученные данные свидетельствуют, что при выбранных параметрах экспериментальной установки удалось реализовать режим, при котором в достаточно большом объеме воды деструкция микроорганизмов осуществлялась при однократном воздействии разряда. Этим объясняется значительное снижение удельной энергоемкости обеззараживания по сравнению с импульсно-периодическими разрядами малой мощности (см. данные работ [1–4]).

В процессе исследований было обнаружено снижение эффективности обеззараживания воды, содержащей взвешенные макрочастицы органического происхождения. Так, удельная энергоемкость обеззараживания сточной воды, в которой весовая доля макрочастиц составляла $\alpha \sim 5 \cdot 10^{-5}$, оказывалась примерно в 2 раза выше по сравнению со сточной водой с $\alpha \cong 0$. Проведенные расчеты показали, что объяснить столь значительную разницу за счет увеличения затухания ударных волн, эффекта экранировки микроорганизмов макрочастицами нельзя. Однако, учитывая малость характерного времени, необходимого для „встречи“ микроорганизма с макрочастицей (по оценкам $\sim 20 \text{ min}$), можно предположить, что подавляющая часть микроорганизмов находится на частицах или внутри них, что и приводит к росту потребной для их деструкции энергии.

Заключение. В результате экспериментального исследования эффективности обеззараживающего действия мощных импульсных разрядов в модельных растворах, природной и сточной водах, зараженных кишечной палочкой 1257 и колифагом MS-2, показано что при однократном воздействии снижение концентрации микроорганизмов до требуемых санитарных норм (менее 10^3 l/dm^3) реализуется при перепаде давления на фронте ударной волны не менее 50 МПа , потребный энергозатрат составляет $0.02–0.04 \text{ kW} \cdot \text{h/m}^3$.

Список литературы

- [1] *Горячев В.Л., Рутберг Ф.Г., Федюкович В.Н.* // ТВТ. 1996. Т. 34. № 5. С. 757–760.
- [2] *Горячев В.Л., Рутберг Ф.Г., Федюкович В.Н.* // Изв. РАН. Энергетика. 1998. Т. 34. № 1. С. 40–55.
- [3] *Авчинников А.В., Недачин А.Е., Рахманин Ю.А.* и др. // Медицинская консультация. 1996. № 1 (9). С. 9–11.
- [4] *Авчинников А.В.* // Вест. Смоленской мед. академии. 2001. № 3. С. 75–80.
- [5] *Атанов Г.А., Куницын Л.А.* // ЖВММФ. 1975. Т. 15. № 4. С. 1069–1072.
- [6] *Кривицкий Е.В., Шамко В.В.* Переходные процессы в высоковольтном разряде в воде. Киев: Наук. думка, 1979. 207 с.
- [7] *Яковлев Ю.С.* Гидродинамика взрыва. Л.: Судпромгиз, 1961. 316 с.