

---

## 8574 Обеззараживание воды комплексной электрохимической обработкой с использованием пероксида водорода

*Н.О. Сиволобова, В.Е. Коротницкая, Д. Ндильбэ, Н.В. Грачева,*

*В.Ф. Желтобрюхов*

*Волгоградский государственный технический университет, Волгоград*

**Аннотация:** В работе представлены результаты экспериментальных исследований по эффективности применения комплексной электрохимической обработки с использованием пероксида водорода для обеззараживания воды. Подтверждена эффективность метода для санитарно-показательных микроорганизмов. Были выявлены наиболее значимые параметры для проведения процесса обеззараживания и на их основе разработана математическая модель, позволяющая проектировать промышленные обеззараживающие устройства, представляющих собой отдельные модули.

**Ключевые слова:** Обеззараживание воды, электрохимические методы, пероксид водорода, бактерицидный эффект, дезинфекция.

Стадия обеззараживания является обязательной для всех технологических процессов, связанных с водоподготовкой (для питьевого и технического использования), очисткой стоков, сбрасываемых в открытые водоемы, консервацией, хранением и транспортировкой воды.

Необходимость применения стадии обеззараживания в системах водоподготовки повлекла за собой разработку большого количества методов, позволяющих реализовать данный процесс, как с использованием химических реагентов, физических воздействий, так и комбинированных физико-химических методов. Для их реализации были разработаны устройства, позволяющие реализовывать обеззараживание различных объемов воды в периодическом или проточном режимах [1].

Несмотря на разнообразие научно-технических работ в направлении по обеззараживанию воды, на практике, как правило, применяют химические методы. Наиболее распространенными реагентами, применяющимися в стадиях обеззараживания, остаются хлор и озон [2,3].

Простота и компактность установок для хлорирования воды, доступность хлора и хлорсодержащих агентов, а также значительный опыт

---

применения данного метода при обеззараживании воды сопровождается рядом серьезных недостатков, таких, как: образование хлорорганических соединений, высокие дозы “активного хлора”, а также высокая токсичность самого хлора и многих хлорсодержащих агентов [4].

Важным преимуществом применения озонирования является отсутствие дополнительных примесей в обрабатываемой воде. Остаточный озон через короткий промежуток времени распадается и превращается в кислород. Именно поэтому дозировка озона не требует такой осторожности, как дозировка хлора. К недостаткам озонирования можно отнести достаточно высокую стоимость и сложность аппаратного оформления, а также непродолжительность активного действия. Помимо этого, при озонировании сточных вод остаются высокостабильные продукты трансформации, химическая природа и степень опасности которых неизвестны [5].

Пероксид водорода является реагентом, при использовании которого не происходит экологически вредного воздействия на воду. На основании исследований, проведенных ранее, можно утверждать об его эффективности в различных рабочих условиях, таких, как изменение концентраций, температуры, среды pH. Применение пероксида водорода отличается простотой аппаратного оформления и отсутствием токсического действия остаточной концентрации пероксида водорода, в отличие от остаточного хлора [6-8]. Однако, несмотря на его очевидные достоинства, для обеспечения полного уничтожения микроорганизмов в воде необходимы достаточно высокие концентрации.

Одним из направлений при организации стадии обеззараживания в различных системах, является решение вопроса с точки зрения доступности реализации метода в локальных системах. Использование простого аппаратного решения и минимальное использование реагентов позволит реализовывать процессы обеззараживания воды для систем с небольшими

---

расходами воды, для систем удаленных районов, оборотного водоснабжения.

Нами также были ранее проведены работы по подбору режимов электрохимической обработки воды с целью ингибирования роста биокультур и их уничтожения, обеспечивающих высокую эффективность очистки при минимальных затратах электроэнергии [9]. А также обеспечение возможности интенсификации процесса при введении химического дезинфицирующего агента – пероксида водорода, как с целью достижения оптимальных параметров обезвреживания микробиологических загрязнений, так и с целью сохранения качеств обработанной воды на протяжении продолжительного времени. Результаты работ показали, что при обработке воды комплексом электрохимического воздействия и пероксидом водорода эффективность обезвреживания позволяет добиться показателей эффективности до 100% по КОЕ (колониеобразующим единицам). Экспериментальные исследования по возможности воды поддерживать достигнутые результаты обработки с течением времени (эффекта «последствия») позволяют говорить о значительном продлении времени сохранения качества обработанной воды. При выбранных режимах обработки можно добиться того, что рост биокультур по КОЕ начинается с 20 суток после полного прекращения воздействий на воду [10, 11].

Таблица №1

Результаты обеззараживания воды по КОЕ

№	Концентрация $H_2O_2$ , г/л	Сила тока, А	Напряжение, В	Время обработки, мин	Средняя начальная концентрация ОМЧ, м.к/мл	Средняя конечная концентрация ОМЧ, м.к/мл	Эффективность обеззараживания, %
1	–	0,3	25	60	2,12×10 <sup>2</sup>	0,62×10 <sup>2</sup>	70
2	3,7	–	–	60		0,02×10 <sup>2</sup>	99
3	1,9	0,3	18	60		0,01×10 <sup>2</sup>	99

Исследования проводились при постоянном расходе жидкости, с

воздействием постоянного тока. Расход воды составлял порядка  $q_v=0,5$  л/мин, что соответствует половине максимальной производительности лабораторной установки. При этом бактерицидный эффект  $\eta$  в процентах определялся по формуле:

$$\eta = 1 - \frac{C_{\text{исх}}}{C_{\text{кон}}} 100, \quad (1)$$

где  $C_{\text{исх}}$ ,  $C_{\text{кон}}$  – общие КОЕ (колониеобразующие единицы КОЕ/100 мл) после и до обеззараживания соответственно.

Полученные результаты дают возможность предположить реализацию предложенного комплексного воздействия для локальных технических установок обработки воды. Для возможности моделирования и проектирования установки реального масштаба недостаточно только положительных результатов по показателям обеззараживания воды. Необходимо получение зависимости, описывающей закономерность эффективности обработки от параметров электрического поля, свойств среды и кинетики процесса.

Исследования проводились со стерильной водопроводной водой, концентрация введенной кишечной палочки составляла  $10^4$  особ/л. Были применены два штамма кишечной палочки (*E. coli*): 24-часовые культуры, выращенные на МПА при 37 °С. Из этих культур были приготовлены суспензии по стандартному образцу мутности ОСО 42-28-86-2018. Суспензию вносили в автоклавированную водопроводную воду. Бактерицидный эффект оценивался по методике «Методы санитарно-бактериологического анализа питьевой воды» МУК 4.2.1018-01.

В эксперименте было определено какое влияние оказывается на процесс обеззараживания токовыми параметрами, концентрацией пероксида водорода и временем обработки жидкости  $t$ . Параметры обработки были установлены в ходе предыдущих исследований с целью оценки

---

эффективности процесса для широкого спектра биологических загрязнителей и возможности рекомендации метода и математической модели для практического использования.

В качестве реагента использовался 19%-ный водный раствор пероксида водорода, стабилизированный добавлением 7-водного сульфата магния.

На основании данных, полученных в серии экспериментов, было установлено, что граничная минимальная концентрация, позволяющая получить высокие показатели эффективности, составляет 10 мл/л 19% раствора. При работе с исследуемой модельной водой были выбраны показатели постоянного тока силой  $I=0,5$  А, напряжение при этом составляло  $U=18$  В.

Таблица №2

Результаты обеззараживания воды

№	Концентрация $H_2O_2$ , г/л	Сила тока, А	Напряжение, В	Время обработки, мин	Начальная концентрация E.Coli, м.к/мл	Конечная концентрация E.Coli, м.к/мл	Средняя концентрация E.Coli, м.к/мл	Эффективность обеззараживания, %
1	–	0,3	25	40		$1 \times 10^2$	$0,9 \times 10^2$	97
						$0,8 \times 10^2$		
2	3,7	–	–	60	$3,38 \times 10^3$	$0,2 \times 10^2$	$0,15 \times 10^2$	99
						$0,1 \times 10^2$		
3	1,9	0,3	18	20		0	0	100
						0		

Оценка экспериментальных данных, указанных в табл. 2 показывает, что оптимальные значения комплексной обработки воды для показателя ОКБ соответствуют ранее определенным параметрам для показателей КОЕ. Это указывает на возможность применения данных параметров обработки для

проектирования модулей обеззараживания.

Важными требованиями к реализации любого метода обеззараживания воды является сохранение её состава и качества (кроме наличия микроорганизмов). Реализация предлагаемого комплексного метода обработки воды может внести изменения в ионный состав воды - добавить катионы металлов, вследствие электрохимического растворения анодов, внести ионы, входящие в состав реагента (стабилизаторы для пероксида водорода), а также повлиять на водородный показатель (рН) из-за электрохимических окислительно-восстановительных процессов в присутствии пероксида водорода.

В качестве определяемых показателей выбраны удельная электропроводность и водородный показатель (рН).

Показатель удельной электропроводности воды может увеличиться в случае увеличения концентрации дополнительно внесенных ионов в воду при обработке электрическим полем и химическими реагентами. Наличие внесенных веществ может расцениваться, как дополнительное загрязнение и требовать операций по их удалению. Оценка качества обработанной воды представлена в табл.3.

Таблица №3

Результаты определения показателей свойств воды

Объект	Время обработки в электрическом модуле, мин	Концентрация $H_2O_2$ , г/л	рН, ед. рН	Удельная электропроводность, мкСм/см
Вода	–	–	7,3	596
	10		7,18	578
	20		7,12	588
	–	1,9	7,7	600
	10		7,83	596
	20		7,26	580
	30		7,81	600
	40		8,14	600

Полученные результаты показывают, что обработка воды комплексом

электрохимического воздействия и пероксидом водорода практически не оказывает значительного действия на исследуемые параметры, что позволяет сделать заключение о её «направленном» воздействии только на биологические загрязнители.

### **Выводы**

1. Обеззараживание воды с использованием комплексного воздействия электрического поля и химического реагента пероксида водорода позволяет получить качественную обработку по основным микробиологическим показателям КОЕ (общее количество микробных клеток), санитарно-показательным микроорганизмам ОКБ (общие колиформные бактерии). Оптимальными параметрами комплексной обработки является сочетание воздействия пероксида водорода 10 мл/л 19% раствора, постоянного тока силой  $I=0,5$  А, напряжения -  $U=18$  В и времени обработки от 1 минуты. Степень обеззараживания при таких параметрах обеспечивается до 100%
2. Оценка влияния предложенной электрохимической обработки на изменение химических характеристик обеззараженной воды не выявила изменений в её составе, что позволяет считать данный метод и его аппаратную реализацию в виде модулей перспективными для применения в локальных установках водоподготовки, водоочистки и системах оборотного водоснабжения.

### **Литература**

1. Финоченко В. А., Финоченко Т. А. Соколова Г. Н. Инженерная экология // . - ФГБОУ ВО РГУПС. - Ростов н/Д: 2019. – 164 с.
2. Андреев В. П., Сороколетова Е. Ф., Кривцов А. В. Современное состояние водообеспечения населения и военнослужащих в зарубежных странах // Известия Российской военно-медицинской академии. – 2020. – Т. 39. – № S3-3. – С. 1-6.



3. Букалова Н. П., Букалов Г. Э. К вопросу о разработке установки, совмещающей процесс озонирования с сорбционной доочисткой окисленных сточных вод // Инженерный вестник Дона, 2019, №1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2019/5484

4. Кащенко О. В., Киселев К. А. Влияние хлора и его производных на окружающую среду // Современные научные исследования и инновации. 2022. № 3. URL: web.snauka.ru/issues/2022/03/97957

5. Хохрякова Е. А., Резник Я. Е. Водоподготовка: Справочник / Под ред. С. Е. Беликова. М: Аква-Терм. 2007. – 240 с.

6. Дрововозова Т. И., Паненко Н. Н., Кулакова Е. С. Исследование бактерицидной активности пероксида водорода в сточных водах // Международный научно-исследовательский журнал. – 2016. – № 7-4(49). – С. 18-21.

7. H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. Peroxyde d'hydrogene: Portepar Cavague ecoleque // Inf. Chim. – 1991. -№ 334. – pp. 134 – 144.

8. Cantoni O., Brandi G., Salvaggio L. Molecular mechanisms of hydrogen peroxide cytotoxicity // Ann. Inst. Super Sanita. – 1989. – V. 25. - № 1. – pp. 69 – 73.

9. Сиволобова Н. О., Голованчиков А. Б., Мацько А. А., Артюшина В. С. Электрообработка технологических вод с целью предотвращения биологического обрастания технологического оборудования // Инженерный вестник Дона, 2018, № 4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2015/5313.

10. Сиволобова Н. О., Грачева Н. В., Артюшкина В. С., Тельнов В. С. Электрохимическое обезвреживание технологических вод с целью предотвращения их биологического загрязнения // Вестник технологического университета. - 2019. - Т. 22. № 11. - С. 88-91.

11. Сиволобова Н. О., Грачева Н. В., Желтобрюхов В. Ф., Селезнева Н. А., Дородникова Н. А. Electrochemical Water Treatment for the Suppression

---



of the Development of Microbiological Contamination in Technical Water Systems // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Vol. 543. – 2020. – 8 p. URL: [iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/543/1/012020/pdf](https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/543/1/012020/pdf).

### References

1. Finochenko V. A., Finochenko T. A., Sokolova G. N. Inzhenernaya ekologiya [Engineering ecology]. RGUPS. Rostov n/D: 2019. 164 p.
2. Andreev V. P., Sorokoletova E. F., Krivtsov A. V. Izvestiya Rossiyskoy voyenno-meditsinskoy akademii. 2020. Vol. 39. № S3–3. pp. 1-6.
3. Bukalova N. P., Bukalov G. E. Inzhenernyj vestnik Dona, 2019, № 1. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2019/5484](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2019/5484)
4. Kashchenko O. V., Kiselev K. A. Sovremennyye nauchnyye issledovaniya i innovatsii. 2022. № 3. URL: [web.snauka.ru/issues/2022/03/97957](http://web.snauka.ru/issues/2022/03/97957)
5. Khokhryakova E. A., Reznik Ya. E. Vodopodgotovka: Spravochnik [Water treatment: Reference] Edited by S.E. Belikov. M: Aqua-Term. 2007. 240 p.
6. Drovovozova T. I., Panenko N. N., Kulakova E. S. Mezhdunarodnyy nauchno-issledovatel'skiy zhurnal. 2016. № 7-4(49). pp. 18-21.
7. H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. Peroxyde d'hydrogene: Porte par Ca vague ecoloque Inf. Chim. 1991. № 334. pp. 134 – 144.
8. Cantoni O., Brandi G., Salvaggio L. Molecular mechanisms of hydrogen peroxide cytotoxicity. Ann. Inst. Super Sanita. 1989. V. 25. № 1. pp. 69 – 73.
9. Sivolobova N. O., Golovanchikov A. B., Macko A. A., Artyushina V. S. Inzhenernyj vestnik Dona, 2018, № 4. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2015/5313](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2015/5313).
10. Sivolobova N. O., Gracheva N. V., Artyushkina V. S., Telnov V. S. Vestnik tekhnologicheskogo universiteta. 2019. Vol. 22. № 11. pp. 88-91.
11. Sivolobova N. O., Gracheva N. V., Zheltobryukhov V. F., Selezneva N. A., Dorodnikova I. M. IOP Conference Series:



Earth and Environmental Science, Vol. 543, 2020, 8 p.  
URL: [iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/543/1/012020/pdf](https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/543/1/012020/pdf).