
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 ²	0,62×10 ²	70
2	3,7	–	–	60		0,02×10 ²	99
3	1,9	0,3	18	60		0,01×10 ²	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 η 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		1×10^2	$0,9 \times 10^2$	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. H₂O₂. 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.

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
4. Kashchenko O. V., Kiselev K. A. Sovremennyye nauchnyye issledovaniya i innovatsii. 2022. № 3. URL: 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. H₂O₂. 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.
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.