УДК 637.1:579.6 https://doi.org/10.21603/1019-8946-2024-3-1

ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КИСЛОТНЫХ АНОЛИТОВ В ПРОЦЕССАХ САНИТАРНОЙ ОБРАБОТКИ

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

Борис Владиленович Маневич, канд. техн. наук, заведующий лабораторией санитарной обработки
E-mail: b_manevich@vnimi.org
Евгений Николаевич Титов, младший научный сотрудник
Всероссийский научно-исследовательский институт молочной промышленности, г. Москва

В статье проанализированы электрохимические явления и закономерности, происходящие при электролизе воды и водно-солевых растворов хлорида натрия в анодной камере, а также обоснована возможность использования получаемых электрохимически активированных растворов анолитов в качестве антимикробных препаратов. Целью работы являлось исследование физико-химических свойств активных форм хлорсодержащих окислителей, получаемых при различных условиях электрохимической обработки водно-солевых растворов хлорида натрия. Представлены результаты исследований физико-химических показателей кислотных растворов анолитов, получаемых на лабораторной установке для электрохимической обработки воды и водных растворов АКВАТРОН-17-Л, и проведен краткий анализ их свойств. Установлены зависимости получаемых концентраций активного хлора в анолитах от времени электрохимической активации растворов хлорида натрия. Представлены данные по электропроводности этих растворов, что определяет возможность их использования в автоматических системах мойки. Сформулирована перспективность дальнейших исследований, направленных на изучение совокупности очищающих и антимикробных свойств кислотных анолитов.

Ключевые слова: электролиз, электрохимически активированные растворы, хлорсодержащие окислители, активный хлор, анолит, электропроводность, дезинфекция

Для цитирования: Маневич, Б. В. Возможности использования кислотных анолитов в процессах санитарной обработки / Б. В. Маневич, Е. Н. Титов // Молочная промышленность. 2024. № 3. С. 87–94. https://www.doi.org/10.21603/1019-8946-2024-3-1

ВВЕДЕНИЕ

Важнейшей составляющей в выпуске безопасной пищевой продукции является безупречное санитарно-гигиеническое состояние производства, во многом зависящее от результативной санитарной обработки[1]. Санитарная обработка на современном предприятии – это многофакторный процесс с одной из главных составляющих – дезинфекцией [1]. Безусловная значимость дезинфекции, как совокупности средств и методов, направленных на уничтожение микроорганизмов, прерывание путей распространения инфекции и исключение возможности микробиологической контаминации пищевых продуктов при их производстве и доставке до потребителя, очевидна.

Учитывая тенденцию последних лет к росту резистентности микроорганизмов в составах биопленок, выявлении новых штаммов, в том числе эмерджентных патогенов, поиск новых методов обеззараживания крайне важен. Неслучайно к 2033 г. прогнозируется среднегодовой темп роста мирового рынка дезинфицирующих средств около 4,1 %. При этом ожидается, что доля доходов рынка химических дезинфектантов во всем мире для обработки поверхности увеличится с 3,9 млрд долларов в 2023 г. до 5,8 млрд к 2033 г.[2]

Наряду с информацией о последних разработках и новых высокоэффективных дезинфектантах, появляются сведения о возможностях применения альтернативных средств и способов обеззараживания, таких как использование растворов диоксида хлора, коллоидного серебра, озонированной и плазмоактивированной воды. Необходимо отметить возрастающий интерес к технологии использования электрохимически активированных растворов (ЭХАР), получаемых в результате электролиза воды или водно-солевых растворов.

Совокупность электрохимических процессов, происходящих в воде при электролизе в электродах типа двойного электрического слоя (ДЭС), при которых

[1]Фильчакова, С. А. Санитария и гигиена на предприятиях молочной промышленности. Учебное пособие для студентов высших учебных заведений / С. А. Фильчакова. – М.: Дели принт, 2008. – 277 с.

[2]Surface Disinfectant Chemicals Market Outlook (2023 to 2033) [Электронный ресурс]. URL: https://www.futuremarketinsights.com/reports/surface-disinfectant-chemicals-market (дата обращения 13.02.2024).

Источник изображения: Freepik.com

электроны неравномерно переносят электрический заряд через ДЭС из-за сильно диспергирования газообразных продуктов электрохимических реакций, называется явлением электрохимической активации воды. В 1985 году было объявлено, что ЭХАР – это новый тип физических и химических явлений [2].

Когда воду обрабатывают постоянным электрическим током при электрохимических потенциалах, равных или превышающих потенциал разложения воды (1,25 В), вода переходит в метастабильное состояние. Этот переход сопровождается электрохимическими процессами и проявляет аномальную активность, изменением окислительно-восстановительного потенциала (ОВП) и показателем активности водородных ионов (pH) в растворах, которые были получены [3, 4].

В процессе получения ЭХАР происходит четыре основных этапа. Вначале внешнее электрическое поле влияет на электроды, разлагая воду электролизом. Затем происходит электрофорез, при котором положительно заряженные частицы и ионы движутся к катоду, а отрицательно заряженные частицы и ионы движутся к аноду. На третьем этапе происходит газообразование и флокуляция агрегатов, состоящих из мелкодисперсных пузырьков газа (H_2 на катоде и O_2 на аноде) и взвешенных частиц в воде. На последнем этапе происходит образование коллоидных агрегатов частиц дисперсной осажденной фазы за счет процесса анодного растворения металла и образование металлов Al^{3+}, Fe^{2+}, Fe^{3+} под действием электрического поля, т. е. процесс электрокоагуляции [5].

В результате электролиза получаемый католит представляет собой щелочной раствор с низким ОВП, менее −400 мВ, а анолит имеет кислую среду и высокий ОВП (выше +900 мВ в свежем виде). В ряде работ отмечается, что с точки зрения воздействия на микроорганизмы и проявлении дезинфицирующих свойств, значение ОВП в анолите важнее чем содержание активного хлора, объясняемое в первую очередь окислительными биохимическими процессами [6–8]. С ОВП анолитов часто связывают и их спектр антимикробного действия [9].

В процессе полученные ЭХАР (анолит и католит) используются для обеззараживания воды, сточных вод, для дезинфекции, предстерилизационной очистки и стерилизации в лечебно-профилактических учреждениях, лечения бактериальных и вирусных заболеваний[3] [10–15].

Электролизные растворы кислородных соединений хлора, получаемые в ходе электрохимических превращений растворов хлорида натрия, можно уверенно отнести к актуальным и перспективным дезинфицирующим средствам. Сложные реакции, происходящие внутри электрохимической установки, образуют метастабильный раствор, содержащий несколько реакционноспособных ионов и свободных радикалов, включая хлорноватистую кислоту, озон, пероксид водорода, хлор, гипохлорит-ионы, соляную кислоту и гидроксид ионы [16–20].

Основное антимикробное действие препаратов хлора связывают с действием хлорноватистой кислоты (HClO), образующейся при растворении хлора и его соединений в воде. Хлорноватистая кислота воздействует на микроорганизмы, вызывая денатурацию цитоплазматических белков микробной клетки и влияя на их структуру, а кроме этого выступает в роли сильного окислителя, выделяя активный кислород.

[3]Мерзлякова, Е. А. Лечение телят с заболеваниями желудочно-кишечного тракта с использованием электрохимически активированных водных растворов / Е. А. Мерзлякова, А. О. Щипицина // Технологические тренды устойчивого функционирования и развития АПК : материалы Международной научно-практической конференции, посвященной году науки и технологии в России. Том II. Ижевск: Ижевская государственная сельскохозяйственная академия, 2021. С. 135–137. https://elibrary.ru/uwnudj

Рядом исследователей было определено, что при электролизе водных растворов хлорида натрия в анодной камере образуются различные активные формы хлорсодержащих окислителей, включая молекулярный хлор (Cl_2), хлорноватистую кислоту (HClO), гипохлорит-ионы (ClO^-), обладающих различной окислительной способностью и роль этих актантов и, соответственно, свойства получаемых растворов анолитов во многом связаны со значением водородного показателя (pH) [21–23].

Реакции гидролиза гипохлорита (1) и диссоциации хлорноватистой кислоты (2) демонстрируют соотношение между гипохлорит-ионом и хлорноватистой кислотой:

$$ClO^- + H_2O \leftrightarrow HClO + OH^- \quad (1)$$

$$HClO \leftrightarrow H^+ + ClO^- \quad (2)$$

Формы соединения хлора в воде и их активность в зависимости от значения водородного показателя воды pH обычно представляют в виде диаграммы (рис. 1) [24–26].

При низких уровнях pH (от 0 до ~3) преобладает молекулярный хлор Cl_2. Вместе с тем, при значениях pH < 2 он является основной формой активного хлора. В кислой среде разложение происходит следующим образом:

$$3HClO \leftrightarrow ClO_3^- + 2Cl^- + 3H^+ \quad (3)$$

$$HClO \leftrightarrow O_2 + 2Cl^- + 2H^+ \quad (4)$$

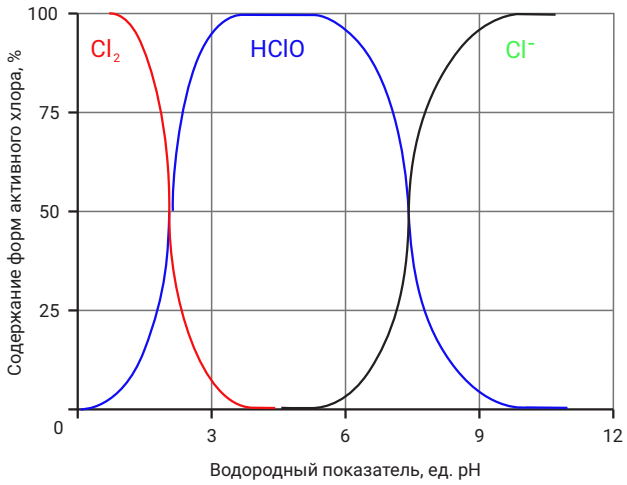


Рисунок 1. Соотношение форм активного хлора в воде при различных значениях pH

Источник изображения: Freepik.com

В диапазоне значений pH от 3 до 10 в растворе появляется недиссоциированная хлорноватистая кислота, а в близкой к нейтральной среде, в интервале pH от 4 до 6 HClO достигает своего максимального значения. В нейтральной и слабокислой среде разложение протекает по реакциям:

$$HClO + ClO^- \leftrightarrow O_2 + 2Cl^- + H^+ \quad (5)$$

$$HClO + 2ClO^- \leftrightarrow ClO_3^- + 2Cl^- + H^+ \quad (6)$$

С увеличением значения pH более 9–10 хлорноватистая кислота распадается на ионы H^+ и ClO^- и формой активного хлора является гипохлорит-ион ClO^-.

Многими специалистами отмечается преимущественное влияние именно хлорноватистой кислоты на окислительные процессы, и с точки зрения дезинфицирующей активности растворов анолита оптимальной зоной является нейтральная или слабокислая среда [27–29].

Целью работы являлось исследование физико-химических свойств кислотных анолитов, получаемых при различных условиях электрохимической обработки водно-солевых растворов хлорида натрия.

Источник изображения: Freepik.com

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Эксперименты проводились с использованием лабораторной установки для электрохимической обработки воды и водных растворов АКВАТРОН-17-Л (AQUATRON-ML-05), оснащенной электрохимическим реактором РПЭ-2, состоящим из двух диафрагменных электрохимических модулей Бахира «МБ-11Т», с платиновым покрытием анода. Технические параметры установки: габаритные размеры (ВхШхГ) – 500×350×200 мм; масса электрохимического блока – 18,5 кг; электропитание установки – 220–240 В, 50 Гц; производительность по аналиту/католиту – 5–20 л/ч; диапазон pH – 1,0–14,0. Максимально допустимая рабочая мощность электропитания реактора – 120 Вт. Внешний вид установки представлен на рисунке 2.

В данной модели электролизной установки используется последовательная гидравлическая схема соединения электрохимических модулей со встречными потоками в анодном и катодном пространствах элементов. Подача обработанной воды (или раствора) в установку осуществляется встроенными насосами анодного и катодного контура. Силу тока измеряли с помощью внешнего источника питания Maisheng Power Supply MP3020D.

Электрохимическую установку использовали для электролиза растворов химически чистого хлорида натрия в различных концентрациях (0,5 %, 0,9 %, 1,5 %) в дистиллированной и водопроводной воде при вариативном времени электрохимической активации.

Массовую долю активного хлора в получаемых электрохимически активированных растворах анолитов определяли методом йодометрического титрования по ГОСТ Р 57001-2016 «Дезинфектология и дезинфекционная деятельность. Химические дезинфицирующие средства и антисептики. Метод определения содержания активного хлора».

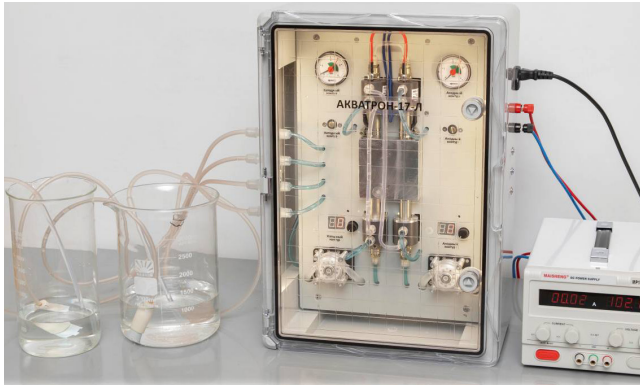


Рисунок 2. Установка для электрохимической обработки воды и водных растворов АКВАТРОН-17-Л

Показатель активности водородных ионов (pH) определяли потенциометрическим методом по ГОСТ 32385-2013 «Товары бытовой химии. Метод определения показателя активности водородных ионов (pH)» с помощью pH-метра Hanna instruments HI991001 с электродом HI1296D.

Удельную электропроводность (к) получаемых активированных растворов анолитов определяли методом прямой кондуктометрии с помощью лабораторного кондуктометра «ЭКСПЕРТ-002-2-6-Н» с диапазоном измерений удельной электрической проводимости (УЭП) 1–1999 мСм/см и точностью измерений ± 2 %.

Исследования проводили не менее чем в 3-кратной повторности; результаты обрабатывали статистически; построение графиков и диаграмм осуществляли с применением программы Microsoft Excel («Microsoft Office» 2021).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

На установке АКВАТРОН-17-Л при силе тока 2,0 А подвергали электролизу растворы хлорида натрия (0,5 %, 0,9 %, 1,5 %), приготовленные на дистиллированной и водопроводной воде. Время электрохимической обработки водно-солевых растворов составляло 5, 10, 15, 30 и 60 минут. У получаемых активированных растворов анолитов определяли значения водородного показателя (pH), содержание активного хлора (C_{ax}) и электропроводность (к). Физико-химические параметры (pH, C_{ax}) получаемых растворов анолитов при различном времени электролиза, приготовленных на дистиллированной воде, представлены в таблице 1.

0,9 % водный раствор хлорида натрия был выбран для экспериментального подтверждения ряда показателей растворов анолитов, получаемых при электролизе изотонического (так называемого физиологического) раствора, используемого для целей медицинской дезинфекции.

При электрохимической обработке водно-солевых растворов были получены анолиты выраженного кислотного характера с показателем активности ионов водорода (pH) в диапазоне 1–2 pH и содержанием активного хлора от 23,8 ± 1,2 до 1559,8 ± 19,3 мг/дм^3 в зависимости от концентрации хлорида натрия в исходном растворе и времени электролиза. Получаемые кислотные анолиты, как указывалось выше, содержат преимущественно молекулярный хлор, хлорат (триоксид хлора) и атомарный кислород [24, 29].

Повышение концентрации хлорида натрия в исходном растворе, подвергаемом электролизу, позволяет значительно увеличить содержание хлора в электролизных растворах. В течение 60 минут электрохимическая обработка 0,5 % раствора хлорида натрия позволила получить анолит с содержанием активного хлора 321,5 ± 8,4 мг/дм^3. Кроме того, увеличение концентрация в исходном растворе хлорида натрия в 3 раза (1,5 % NaCl) при равнозначном времени электролиза привело к повышению содержания активного хлора в анолите в 5 раз, до 1559,8 ± 19,3 мг/дм^3.

Абсолютно аналогичный характер зависимости содержания активного хлора контролируемых физико-химических показателей был получен при электролизе водно-солевых растворов, приготовленных на водопроводной воде, что представлено на рисунке 3.

Анолиты, полученные при электролизе исходных (0,5 %, 0,9 %, 1,5 %) водно-солевых растворов, приготовленных на водопроводной воде, имели более высокую концентрацию активного хлора, в среднем на 6–8 %. Повышенное содержание активного хлора интерпретируется более высокой степенью минерализации исход-

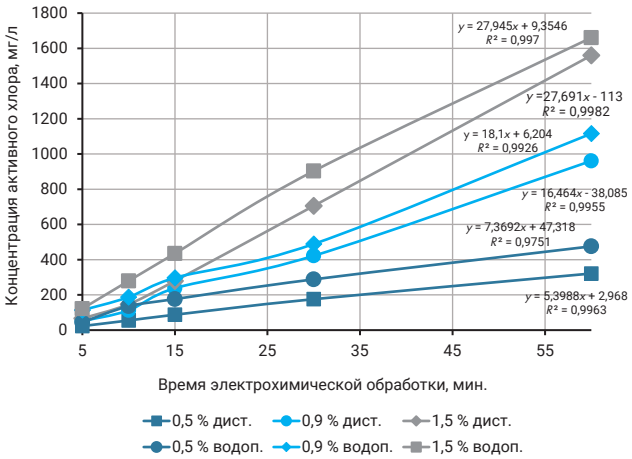
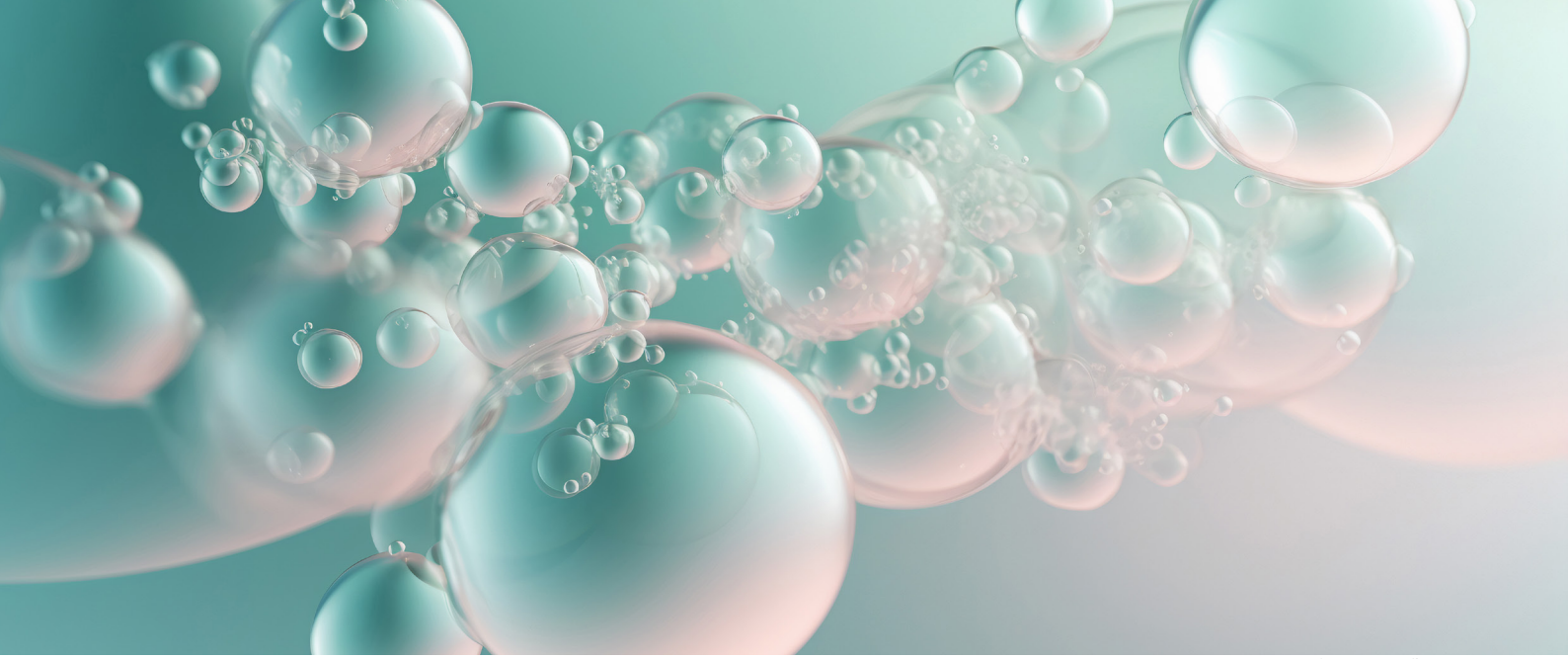


Рисунок 3. Зависимость концентрации активного хлора в анолитах от времени электрохимической активации растворов хлорида натрия

Таблица 1

Физико-химические параметры анолитов, полученных при электролизе водно-солевых растворов с различным содержанием хлорида натрия

Время электролиза, мин	0,5 % NaCl		0,9 % NaCl		1,5 % NaCl	
	pH	C_{ax}, мг/дм^3	pH	C_{ax}, мг/дм^3	pH	C_{ax}, мг/дм^3
5	2,12 ± 0,03	23,8 ± 1,2	2,01 ± 0,03	51,8 ± 2,9	2,13 ± 0,04	66,6 ± 7,6
10	1,86 ± 0,03	54,9 ± 3,8	1,76 ± 0,03	112,0 ± 7,8	1,88 ± 0,03	146,8 ± 8,1
15	1,73 ± 0,02	87,5 ± 3,4	1,52 ± 0,04	238,2 ± 9,4	1,64 ± 0,03	279,3 ± 9,5
30	1,44 ± 0,03	175,8 ± 7,1	1,37 ± 0,04	422,2 ± 11,4	1,33 ± 0,02	705,4 ± 16,4
60	1,34 ± 0,02	321,5 ± 8,4	1,17 ± 0,02	961,0 ± 17,2	1,07 ± 0,03	1559,8 ± 19,3



Источник изображения: Freepik.com

ных растворов, в том числе наличием в них металлов (железа, магния, кальция и др.), выступающих в роли катализаторов в процессах электролиза [30].

Показатель активности водородных ионов рабочих растворов широко применяемых кислотных препаратов таких как азотная кислота и кислотное средство CIP при 20 °C находится в диапазоне 1,0–2,0, сопоставимом со значениями pH получаемых кислотных анолитов (табл. 1), что позволяет рассчитывать на успешное использование данных ЭХА-растворов в процессах кислотных моек.

Учитывая, что для профилактической дезинфекции на предприятиях молочной промышленности используются растворы хлоактивных дезинфектантов с содержанием активного хлора 150–250 мг/дм^3 и на основании проведенных ранее исследований бактерицидных и дезинфицирующих свойств различных анолитов [31], можно рассчитывать на успешное подтверждение дезинфицирующих свойств полученных кислотных анолитов (табл. 1) в ходе дальнейших исследований.

Возможность осуществления мониторинга концентраций и температур используемых растворов (при наличии датчиков температурной компенсации) в зависимости от электропроводности – важный технологический параметр, который может быть использован в современных системах СИП-мойки (*CIP – Cleaning in Place*). Контроль электропроводности (диэлектрической проницаемости) осуществляется с помощью стационарных или мобильных установок с кондуктометрическими или индуктивными датчиками-концентратомерами при дозировании средств санитарной обработки и сепарации различных сред в автоматическом или автоматизированном режиме.

Зависимость удельной электропроводности (к) от времени электрохимической обработки исходных водно-солевых растворов хлорида натрия различной концентрации приведены на рисунках 4 и 5.

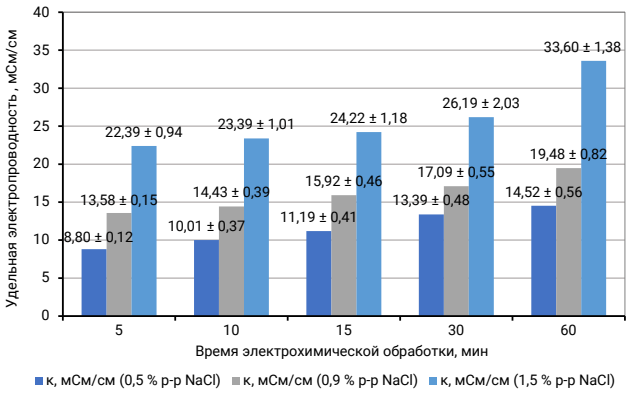


Рисунок 4. Зависимость удельной электропроводности от времени электрохимической обработки водно-солевого раствора хлорида натрия, приготовленного на дистиллированной воде при различных концентрациях соли

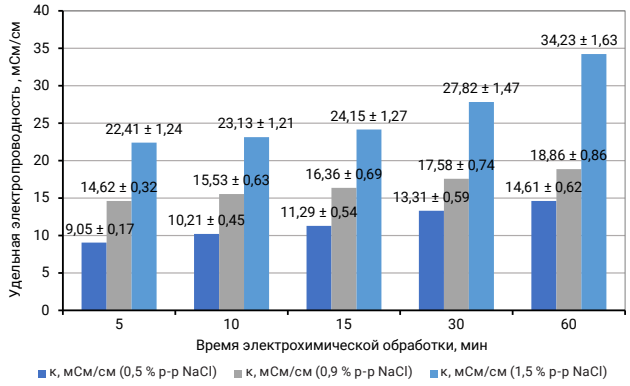


Рисунок 5. Зависимость удельной электропроводности от времени электрохимической обработки водно-солевого раствора хлорида натрия, приготовленного на водопроводной воде при различных концентрациях соли

В таблице 2 приведены показатели электропроводности традиционно используемой на предприятиях молочной промышленности растворов азотной кислоты при температуре (21 ± 1) °С и одного из поликомпонентных кислотных очищающих средств на основе азотной и ортофосфорной кислот с рядом функциональных компонентов в зависимости от их концентраций.

Показатели электропроводности полученных растворов анолитов (рис. 4, 5) сопоставимы со значениями электропроводности кислотных растворов, широко используемых в процессах санитарной обработки, что представляет определенный практический интерес, в частности при проведении кислотных моек и дезинфекции.

Таблица 2
Электропроводность кислотных рабочих растворов

Кислотное средство	Электропроводность при концентрациях кислотных средств, мСм/см				
	0,25 %	0,50 %	0,75 %	1,00 %	1,50 %
Азотная кислота	14,7	28,4	41,3	54,4	67,0
Кислотное средство CIP	4,2	8,2	12,8	17,3	22,0

ВЫВОДЫ

Результаты исследования позволяют заключить, что водородный показатель (pH) и массовая доля активного хлора находятся практически в прямой корреляционной зависимости от времени электрохимической обработки исходных водно-солевых растворов с различным содержанием хлорида натрия.

Показатель активности водородных ионов получаемых выраженно-кислотных анолитов позволяет рассчитывать на успешное использование данных ЭХА-растворов в процессах кислотных моек.

Значения электропроводности полученных анолитов дает возможность их использования в автоматических системах мойки с применением кондуктометрических методов контроля.

Представляет научно-практический интерес дальнейшее исследование очищающей способности и антимикробных свойств электрохимически активированных растворов анолитов с «предельными» показателями pH. Целесообразно продолжить углубленное изучение свойств сильнокислотных хлорсодержащих растворов анолитов и рассмотрения таких показателей качества, как эффективность и безопасность подобных дезинфицирующих средств. ■

ACID ANOLYTES IN FOOD SANITATION

Boris V. Manevich, Yevgeniy N. Titov
All-Russian Dairy Research Institute, Moscow

ORIGINAL ARTICLE

The present research featured the electrochemical phenomena and patterns that occur during electrolysis of water and its sodium chloride solutions in the anode chamber. The authors applied the obtained electrochemically activated solutions of anolytes as antimicrobial drugs. The research objective was to study the physical and chemical properties of active chlorine-containing oxidizing agents obtained from salt aqueous solutions of sodium chloride under different electrochemical conditions. The physicochemical tests of acidic anolyte solutions involved the AQUATRON-ML- 05 laboratory unit for electrochemical treatment of water and aqueous solutions. The experiments revealed the effect the time needed for electrochemical activation of sodium chloride solutions had on the active chlorine in anolytes. The data obtained on the electrical conductivity of these solutions showed that they could be used in automated washing systems. Research prospects include the options to combine cleaning and antimicrobial properties of acid anolytes.

Keywords: electrolysis, electrochemically activated solutions, chlorine oxidizers, active chlorine,anolyte, conductivity, disinfection

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Кузина, Ж. И.** Санитарно-гигиенические мероприятия на предприятиях молочной промышленности : монография / Ж. И. Кузина, Б. В. Маневич. – Москва : ВНИМИ, 2015. – 480 с.
2. **Бахир В. М.** Физическая природа явлений активации веществ / В. М. Бахир, А. Г. Лиакумович, П. А. Кирпичников [и др.]. – АН УзССР, 1983. Сер. техн. наук., № 1. С.60–64.
3. **Бахир В. М.** О природе электрохимической активации сред / В. М. Бахир, П. А. Кирпичников, А. Г. Лиакумович [и др.] // Докл. АН СССР. 1986. Т. 286, № 3. С. 663–666.
4. **Бывальцев, А. И.** Свойства активированной воды и ее использование в пищевой технологии / А. И. Бывальцев, Г. О. Магомедов, В. А. Бывальцев // Хранение и переработка сельхозсырья. 2008. № 7. С. 49–53. https://elibrary.ru/jwffzd
5. **Ignatov, I.** The evaluation of the mathematical model of interaction of electrochemically activated water solutions (anolyte and catholyte) with water / I. Ignatov [et al.] // European Reviews of Chemical Research. 2015. V. 4. P. 72–86. https://doi.org/10.13187/ercr.2015.4.72

6. **Zhang, J.** Impact of reactive oxygen species on cell activity and structural integrity of Gram-positive and Gram-negative bacteria in electrochemical disinfection system / J. Zhang [et al.] // Chemical Engineering Journal. 2023. V. 451. P. 138879. https://doi.org/10.1016/j.cej.2022.138879
7. **Kim, C.** Roles of oxidation–reduction potential in electrolyzed oxidizing and chemically modified water for the inactivation of food-related pathogens / C. Kim, Y. C. Hung, R. E. Brackett // Journal of food protection. 2000. V. 63. №. 1. P. 19–24. https://doi.org/10.4315/0362-028X-63.1.19
8. **Liao, L. B.** The generation and inactivation mechanism of oxidation–reduction potential of electrolyzed oxidizing water / L. B. Liao, W. M. Chen, X. M. Xiao // Journal of Food Engineering. 2007. V. 78. №. 4. P. 1326–1332. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2006.01.004
9. **Ignatov, I.** Effects of electrochemically activated water catholyte and anolyte on human health / I. Ignatov [et al.] // Journal of Nursing Research and Practice. 2019. V. 3. P. 12–13.
10. **Гаджимурадова, З. Т.** Изучение эффективности экологически безопасных композиций на основе электрохимически активированных растворов хлорида натрия / З. Т. Гаджимурадова, А. М. Мусаев // Горное сельское хозяйство. 2019. №. 4. С. 141–144. https://doi.org/10.25691/GSH.2019.4.025; https://elibrary.ru/uhlsvc
11. **Мубанга, Ф.** Дезинфектант на основе электрохимического раствора (метастабильных веществ) и его применение для дезинфекции животноводческих помещений / Ф. Мубанга, О. Г. Петрова // Вестник биотехнологии. 2021. № 2 (27). https://elibrary.ru/kzcexk
12. **Ипатова, Л. Г.** Возможности применения дезинфицирующего средства Анолит АНК СУПЕР в медицинских организациях / Л. Г. Ипатова, С. Д. Марченко, Т. В. Потупчик // Врач. 2021. Т. 32, № 5. С. 67–74. https://doi.org/10.29296/25877305-2021-05-13; https://elibrary.ru/gnvjme
13. **Rahmani, A. R.** A comprehensive study of electrochemical disinfection of water using direct and indirect oxidation processes / A. R. Rahmani [et al.] // Journal of Environmental Chemical Engineering. 2019. V. 7. №. 1. P. 102785. https://doi.org/10.1016/j.jece.2018.11.030
14. **Hand, S.** Electrochemical disinfection in water and wastewater treatment: identifying impacts of water quality and operating conditions on performance / S. Hand, R. D. Cusic // Environmental science & technology. 2021. V. 55. №. 6. P. 3470–3482. https://doi.org/10.1021/acs.est.0c06254
15. **Прокопенко, А. А.** Технология дезинфекции ветсанобъектов направленными аэрозолями анолита Перокс / А. А. Прокопенко, Н. Э. Ваннер [и др.] // Российский журнал Проблемы ветеринарной санитарии, гигиены и экологии. 2020. № 3(35). С. 322–327. https://doi.org/10.36871/vet.san.hyg.ecol.202003006; https://elibrary.ru/dybezp
16. **Martínez-Huitle, C. A.** Electrochemical alternatives for drinking water disinfection / C. A. Martínez-Huitle, E. Brillas // Angewandte Chemie International Edition. 2008. V. 47. №. 11. P. 1998–2005. https://doi.org/10.1002/anie.200703621
17. **Feng, C.** Water disinfection by electrochemical treatment / C. Feng [et al.] // Bioresource technology. 2004. V. 94. №. 1. P. 21–25. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2003.11.021
18. **Li, X. Y.** Electrochemical wastewater disinfection: Identification of its principal germicidal actions / X. Y. LI [et al.] // Journal of Environmental Engineering. 2004. V. 130. №. 10. P. 1217–1221. https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9372(2004)130:10(12117)
19. **Diao, H. F.** Electron microscopic investigation of the bactericidal action of electrochemical disinfection in comparison with chlorination, ozonation and Fenton reaction / H. F. Diao [et al.] // Process biochemistry. 2004. V. 39. №. 11. P. 1421–1426. https://doi.org/10.1016/S0032-9592(03)00274-7
20. **Drees, K. P.** Comparative electrochemical inactivation of bacteria and bacteriophage / K. P. Drees [et al.] // Water research. 2003. V. 37. №. 10. P. 2291–2300. https://doi.org/10.1016/S0043-1354(03)00009-5
21. **Флис, И. Е.** Исследование процессов и равновесий в растворах кислородных соединений хлора, применяемых при отбелке целлюлозы и тканей : дисс. … доктора хим. наук / И. Е. Флис. – Ленинград, 1959. – 521 с.
22. **Туманова, Т. А.** Исследование окислительных свойств водных растворов хлора и его кислородных соединений в связи с отбелкой целлюлозы : дисс. … доктора хим. наук / Т. А. Туманова. – Ленинград, 1975. – 519 с.
23. **Halliwell, B.** Free radicals in biology and medicine / B. Halliwell, J. M. C. Gutteridge. – Oxford university press, USA, 2015. – 936 p.
24. **Мишурина, О. А.** Химические превращения кислородсодержащих ионов хлора растворов при разных значения диапазона pH / О. А. Мишурина, Л. В. Чупрова, Э. Р. Муллина // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2014. № 2-2. С. 43–46. https://elibrary.ru/rwetbb
25. **McFerson, L. L.** Understanding ORP's role in the disinfection process / L. L. McFerson // Water Eng. Management. 1993. V. 140. P. 29–31.
26. **Бахир, В. М.** К проблеме поиска путей промышленной и экологической безопасности объектов водоподготовки и водоотведения ЖКХ / В. М. Бахир // Водоснабжение и канализация. 2009. №. 1. С. 55–62.
27. **Cao, W.** Efficiency of slightly acidic electrolyzed water for inactivation of *Salmonella* enteritidis and its contaminated shell eggs / W. Cao [et al.] // International Journal of Food Microbiology. 2009. V. 130. №. 2. P. 88–93. https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2008.12.021
28. **Вашков, В. И.** Антимикробные средства и методы дезинфекции при инфекционных заболеваниях / В. И. Вашков – М.: Медицина, 2016. – 296 с.
29. **Bakhir, V. M.** Electrochemical activation: inventions, systems, technology / V. M. Bakhir, S. A. Panicheva, V. I. Prilutsky, V. G. Panichev/ – Moscow: Viva-Star. – 2021. – 660 p.
30. **Белко, А. А.** Электрохимически активированные растворы в животноводстве / А. А. Белко, И. В. Брыло, А. А. Мацинович [и др.] // Ученые записки учреждения образования Витебская ордена Знак почета государственная академия ветеринарной медицины. 2015. Т. 51, № 2. С. 16–19. https://elibrary.ru/vohxut
31. **Маневич, Б. В.** Электролизные растворы в санитарной обработке: прошлое и настоящее / Б. В. Маневич, Е. Н. Титов // Молочная промышленность. 2024. № 1. С. 60–63. https://doi.org/10.21603/1019-8946-2024-1-3; https://elibrary.ru/dakxwz