

зараживающий эффект серебра выражен гораздо сильнее в воде, обладающей кислотными свойствами (анолит), чем в воде с нейтральной реакцией.

Таким образом, вода, обработанная в устройстве для серебрения ионами серебра, обладает высокими бактерицидными свойствами, а устройство для её активации и серебрения имеет простую конструкцию, малый вес и габариты, малое энергопотребление, возможность работы от автономных источников питания, низкую стоимость.

#### Список литературы

1. СанПиН 2.1.4.559-96 « Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. Санитарные правила и нормы. - М.: Информационно издательский центр Минздрава России, 1996. - 96с.
2. ГОСТ 2874 - 82 Вода питьевая. Гигиенические требования и контроль за качеством. - М.: Изд-во стандартов.
3. Теоретические основы и технология кондиционирования воды / Кульский Л.А. – 3 изд. Перераб. И доп. – Киев: Наук. Думка, 1980.- 564 с.
4. Беспамятов Г.П., Кротов Ю.А. Предельно допустимые концентрации химических веществ в окружающей среде. Справочник. –Л.: Химия, 1985. – 528 с.
5. Подобаев Н.И. Электрохимия. - М.: Просвещение, 1977. - 152 с.
6. Эрдей – Груз Т. Химические источники энергии /пер. с нем., под ред. к.х.н. Ю.А. Метизова. – М.: Мир, 1974.- 304 с.

### ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ В ИСТОЧНИКАХ ВОДОСНАБЖЕНИЯ САМАРСКОЙ ОБЛАСТИ

Ленивкин В.В., Горелов Г.И.

Самарский государственный технический университет;  
Самарский государственный университет, г. Самара

Приемлемые санитарно-гигиенические характеристики питьевой воды [1,2] при допустимых уровнях энергопотребления могут быть получены электролизом воды с использованием полупроницаемой (например, тканевой) диафрагмы, что является одним из вариантов процесса электродиализа [3, 4]. При напряжении на электродах электролизера большим,

чем напряжение разложения воды, процесс электролиза воды с полупроницаемой диафрагмой и растворимым анодом (например, из титана или алюминия) будет одновременно обеспечивать прохождение нескольких электрохимических реакций :

а) получение на аноде атомарного кислорода, действие которого на воду эквивалентно действию озона, за счёт чего вода в анолитном отсеке электролизера дезинфицируется;

б) изменение величины водородного показателя воды (рН) в анолитном и катодитном отсеках электролизера и уменьшение концентрации солей жёсткости, которые частично выпадают в осадок при изменении рН;

в) получение за счёт анодного растворения материала анода высокоэффективных мелкодисперсных коагулянтов (гидроокиси алюминия или титана), позволяющих осуществить дополнительное осветление воды [5];

г) электросмотическое перемешивание католита и анолита, обусловленное пористостью диафрагмы, обеспечивает частичное или полное (в зависимости от времени обработки и концентрации атомарного кислорода в обрабатываемой воде) обеззараживание всего объёма воды.

Общая жёсткость природной воды количественно определяется числом миллиграмм-эквивалентов (мг-эquiv) ионов Са и Mg в 1 дм<sup>3</sup> воды [6] и классифицируется как : - очень мягкая (<1,5), мягкая (1,5 – 3), умеренно (средне) жёсткая (3–6), жёсткая (6–10) и очень жёсткая (>10). Для источников водоснабжения Самарской области с речным водозабором жёсткость питьевой воды составляет 5 – 7 мг-эquiv/л, а для источников с артезианским водозабором – от 8 до 12 мг-эquiv/л. Жёсткость воды в основном карбонатная. Поэтому режимы электрообработки питьевой воды могут существенно отличаться.

Для отработки режимов электрообработки питьевой воды был изготовлен лабораторный диафрагменный электролизер с тканевой полупроницаемой диафрагмой и с рабочим объёмом кюветы  $\approx 1,1$  дм<sup>3</sup>. В качестве электродов использовались пластины из высокочистого алюминия марки АД0М, толщиной 3 мм. Рабочая площадь каждого из электродов при одностороннем их использовании составляла 43,5 см<sup>2</sup>. Момент начала электролиза воды, начало образования конгломератов из солей жёсткости и процесс выпадения их в осадок фиксировались визуально. Конструкция кюветы позволяла изменять расстояние между электродами с шагом 10 мм (симметричное расположение электродов относительно диафрагмы).

В качестве основного параметра, определяющего эффективность процесса электрообработки воды, выбрана величина электрического заряда, прошедшего через единицу объёма обрабатываемой воды :

$$Q_{уд.} = Q / V_{обр.} = I_{раб.} \cdot \Delta t_{обр.} / V_{обр.} , \quad (1)$$

где  $I_{раб.}$  - рабочий ток через электролизер в А ,  $\Delta t_{обр.}$  - время обработки в с,  $V_{обр.}$  - объём обрабатываемой воды, м<sup>3</sup> .

Используя параметр  $Q_{уд.}$  можно оценить зависимость энергопотребления электролизера от величины рабочего напряжения  $U_{раб.}$  на его электродах. Для  $U_{раб.} \gg U_{пол.}$  ( $U_{пол.} \approx 2$  В – перенапряжение на электродах) электрическая энергия, потребляемая электролизером для обработки единицы объёма воды :

$$E_{эл.} = U_{раб.} \cdot I_{раб.} \cdot \Delta t_{обр.} = U_{раб.} \cdot Q_{уд.} , \quad (2)$$

т.е. энергопотребление на единицу объёма обрабатываемой воды растёт пропорционально рабочему напряжению. Следовательно, для снижения энергопотребления необходимо работать при возможно меньших рабочих напряжениях.

Однако, при низких рабочих напряжениях незначительна и рабочая плотность тока на электродах, т.е. для получения приемлемых значений рабочего тока необходимо увеличивать рабочую поверхность электродов, что ведёт к увеличению габаритов устройства и снижению производительности установки по обработанной воде.

Таким образом, при проектировании установок для электрообработки воды необходимо соблюдать определённый компромисс между уровнем энергопотребления и производительностью при фиксированном рабочем объёме или между уровнем энергопотребления и габаритами установки при заданной её производительности по обработанной воде. По этим соображениям бытовые установки малой производительности периодического действия можно рассчитывать на рабочее напряжение 220 вольт , а установки коллективного пользования непрерывного действия большой производительности - на меньшее рабочее напряжение, например, 36 вольт.

Так как величина электрического заряда, прошедшего через единицу объёма обрабатываемой воды, является определяющей и фиксированной для процесса электрообработки воды, то производительность установки и её весогабаритные характеристики будут определяться плотностью тока , которая задаёт величины рабочего тока и рабочего напряжения на электродах установки.



Проведено экспериментальное исследование зависимости плотности рабочего тока на электродах электролизёра от величины рабочего напряжения и расстояния между электродами. Эмпирически установлено, что

$$I_{\text{раб.}} = (1,935 + 5,171 / L_{\text{раб.}}) \cdot (U_{\text{раб.}} - 2) \text{ мА} \quad , \quad (3)$$

$$j_{\text{раб.}} = (44,425 + 118,735 / L_{\text{раб.}}) \cdot (U_{\text{раб.}} - 2) \cdot 10^{-3} \text{ мА/см}^2 \quad , \quad (4)$$

где  $U_{\text{раб.}}$  - в вольтах,  $L_{\text{раб.}}$  - междуэлектродный зазор в сантиметрах.

Исследование динамики образования конгломератов из частиц солей жёсткости и изменения величины водородного показателя воды (рН) в зависимости от величины электрического заряда, приходящегося на единицу объёма обрабатываемой воды велось при двух режимах обработки: а) "слаботочном", соответствующем малой плотности тока на электродах ( $j_{\text{раб.}} = 0,5 - 1,0 \text{ мА/см}^2$ ) при  $U_{\text{раб.}} = 8 \text{ В}$  и б) "сильноточном", соответствующем плотности тока на электродах  $j_{\text{раб.}} = 1,5 - 5,0 \text{ мА/см}^2$  при  $U_{\text{раб.}} = 40 \text{ В}$ .

Анализ полученных результатов показал, что образование конгломератов из микрочастиц солей жёсткости и их выпадение в осадок начинается при сообщении воде удельного заряда  $\Delta Q_{\text{уд.}} = 300 - 500$  кулон/литр и достижении величины рН = 8 для католита в катодном отсеке диафрагменного электролизера, а окончание процесса образования конгломератов наступает при значении  $\Delta Q_{\text{уд.}} = 1200 - 1600$  Кл/л и рН = 10 для католита. Меньшие значения  $\Delta Q_{\text{уд.}}$  соответствуют меньшей плотности тока на электродах. Возможно, что эта особенность процесса электрообработки связана с большим временем пребывания обрабатываемой воды в электролизере и большей эффективностью процесса коагуляции микрочастиц в крупные конгломераты. Для процесса обработки воды средней жесткости с начальной общей жесткостью  $Ж_{\text{нач.}} = 5$  мг-экв/л было установлено, что остаточная жесткость  $Ж_{\text{ост.}} = 1,2 - 1,5$  мг-экв/л достигается при значении  $\Delta Q_{\text{уд.}} \approx 1500$  Кл/л.

Среднее значение водородного показателя (рН) для необработанной воды составляло рН =  $7 \pm 0,5$ ; максимальная щёлочность католита сразу после электрообработки соответствовала значению рН =  $10 \pm 0,5$ , а максимальная кислотность анолита сразу после электрообработки соответствовала величине рН =  $5 \pm 0,5$ . Смесь равных объёмов анолита и католита сразу после сливания имела слабощёлочную реакцию, соответствующую величине рН =  $8 \pm 0,5$ .

Результаты экспериментов по отстаиванию и нейтрализации обработанной воды показали, что полное осветление и частичная нейтрали-

зация воды наступают через 3 - 4 часа после электрообработки. За это время вода успевает полностью остыть, осветлиться, нейтрализоваться и становится пригодной к употреблению .

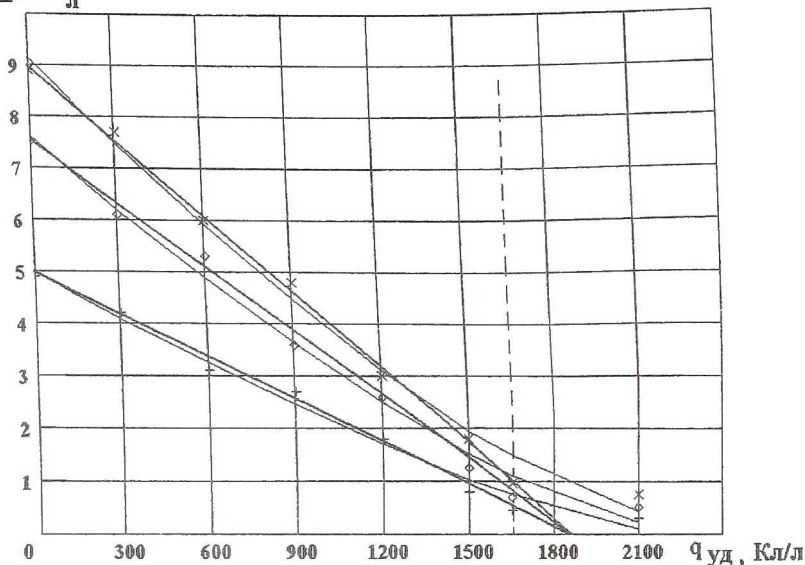
Для выяснения зависимости конечной общей жёсткости воды  $J_{\text{общ.кон.}}$  после электрообработки от величины начальной общей жёсткости  $J_{\text{общ.нач.}}$  и величины удельного заряда, сообщаемого обрабатываемой воде, была проделана серия экспериментов по обработке проб воды с различной начальной общей жёсткостью (г. Самара, пгт. Безенчук, пос. Каменный Брод Красноармейского района и др.). Результаты обработки проб с контролем конечной общей жёсткости в зависимости от величины  $Q_{\text{уд}}$  приведены на рисунке .

Остаточная общая жёсткость воды после электрообработки определялась по стандартной методике комплексонометрическим методом [7]. Жёсткость определялась для полностью осветлившихся после отстаивания проб. Более глубокое умягчение наблюдалось для проб, полученных после отстаивания католита –при начальной общей жёсткости 5 - 6 мг-экв/л общая жёсткость католита в среднем составляла 1,1 - 1,2 мг-экв/л при удельной дозе электрического заряда на электрообработку  $\Delta Q_{\text{уд}} \approx 1500$  Кл/л. Общая жёсткость анолита при всех прочих одинаковых условиях обработки была несколько выше - до 1,2 - 1,3 мг-экв/л. Общая жёсткость смеси равных объёмов анолита и католита, обработанных с одинаковым удельным электрическим зарядом  $\Delta Q_{\text{уд}} \approx 1500$  Кл/л , после обработки была максимальной и составляла 1,3 - 1,5 мг-экв/л.

Возможно, что возрастание остаточной общей жёсткости смеси анолита и католита по сравнению с отдельно взятыми пробами анолита и католита связано с частичным растворением осадка солей жёсткости в процессе осветления и нейтрализации . Косвенным подтверждением возможности протекания такого процесса служит тот факт, что общая остаточная жёсткость смеси "анолит + католит" через сутки после отстаивания пробы (без удаления осадка) доходила в некоторых случаях до величины 2,5 - 3,0 мг-экв/л . Для анолита и католита, отстаивавшихся над осадком в течение суток по отдельности, такой эффект увеличения жёсткости был выражен гораздо слабее - общая жёсткость проб увеличивалась не более чем на 0,1 мг-экв/л по сравнению с анализами, сделанными сразу после их осветления (т.е. через 2 - 3 часа после электрообработки ).

Анализ результатов экспериментальных исследований показывает, что в интервале значений  $Q_{\text{уд}} = 0 \div 1600$  Кл/л зависимость  $J_{\text{общ.ост.}}$  от  $Q_{\text{уд}}$  близка к линейной, а при  $Q_{\text{уд}} > 1600$  Кл/л эта зависимость (соответствующая  $J_{\text{общ.ост.}} < 1,2 - 1,5$  мг-экв/л) носит явно нелинейный характер. Поскольку вода с общей жёсткостью  $\approx 1,5$  мг-экв/л аналогична воде

$J_{\Sigma}, \frac{\text{МГ} \cdot \text{ЭКВ}}{\text{Л}}$



из источников со слабой минерализацией и приближается по своим характеристикам к воде из ледниковых источников, то в качестве критерия достаточности обеспечения необходимых и оптимальных потребительских характеристик питьевой воды после электрообработки можно выбрать величину удельного электрического заряда  $Q_{уд} = 1500 \div 1600$  Кл/л. В этом диапазоне изменения величины  $Q_{уд}$  зависимость  $J_{общ.ост.} = J_{общ.ост.}(Q_{уд})$  может быть представлена, как это следует из характера поведения экспериментальных кривых, приведённых на рисунке, с достаточной точностью в виде линейной функциональной зависимости:

$$J_{ост.общ.} = J_{общ.нач.} (1 - Q_{уд.} / 1800) \quad \text{МГ} \cdot \text{ЭКВ} / \text{Л} \quad (5)$$

Эта эмпирическая зависимость с достаточной для инженерных расчётов точностью позволяет определить необходимое время обработки питьевой воды в зависимости от её исходной общей жёсткости ( $J_{общ.нач.} = 5 \div 12$  мг·эquiv / л), требуемой остаточной общей жёсткости ( $J_{общ.ост.} \geq 1,5$  мг·эquiv/л) и рабочего тока установки, задающего величину удельного электрического заряда  $Q_{уд.}$

На основании результатов экспериментальных исследований по определению общей жёсткости проб воды после электрообработки удельным зарядом  $\Delta Q_{уд.} = 1500$  Кл/л можно сделать вывод о том, что такой режим электрообработки является вполне приемлемым как по энергозатратам, так и по величине остаточной общей жёсткости обработанной во-



ды, поскольку по санитарно-гигиеническим показателям общая жёсткость воды  $J_{\text{общ.}} = 1 - 2$  мг·эquiv/л близка к оптимальной [8].

Необходимо отметить, что зависимость (5) при величине  $J_{\text{общ.нач.}} \geq 12$  мг·эquiv/л даёт заниженные значения остаточной общей жёсткости. При экспериментах на воде из источников с очень большой жёсткостью ( $J_{\text{общ.нач.}} > 20$  мг·эquiv/л) после однократной обработки с сообщением ей удельного электрического заряда  $\Delta Q_{\text{уд.}} = 1500 \div 1600$  Кл/л, остаточная жёсткость  $J_{\text{ост.общ.}}$  анолита составляла  $7 \div 9$  мг·эquiv/л, а расчёт по формуле (5) даёт значение  $J_{\text{ост.общ.}} = 3,4$  мг·эquiv/л. Изменение величины удельного заряда при однократном режиме обработки до  $\Delta Q_{\text{уд.}} = 3000 \div 3500$  Кл/л обеспечивало получение католита с общей жёсткостью  $J_{\text{общ.ост.}} = 4 - 5$  мг·эquiv/л. Однако, повторная обработка прошедшего электрообработку и осветления католита с  $J_{\text{общ.ост.}} = 7 - 9$  мг·эquiv/л удельным зарядом  $\Delta Q_{\text{уд.}} = 1500 \div 1600$  Кл/л, позволяла получить после осветления католит с величиной  $J_{\text{ост.общ.}} = 2,5 \div 3$  мг·эquiv/л.

Таким образом, для электроумягчения жёсткой питьевой воды можно рекомендовать одностадийный режим обработки, а для электроумягчения особо жёсткой питьевой воды - двухстадийный режим обработки, с величиной удельного электрического заряда на каждой стадии равным  $\Delta Q_{\text{уд.}} = 1500 - 1600$  Кл/л, поскольку однократный режим обработки с удвоенным расходом электрического заряда оказывается малоэффективным и неэкономичным.

#### Список литературы

1. ГОСТ 2874 - 82 Вода питьевая. Гигиенические требования и контроль за качеством. - М.: Изд-во стандартов.
2. СанПиН 2.1.4.559-96 « Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества.» : Санитарные правила и нормы. М.: Информационно издательский центр Минздрава России, 1996. - 96с.
3. Подобаев Н.И. Электрохимия.- М.: Просвещение, 1977. - 152 с.
4. Эрдей – Груз Т. Химические источники энергии /пер. с нем., под ред. к.х.н. Ю.А. Метизова. – М.: Мир, 1974.- 304 с.
5. Бабенков Е.Д. Очистка воды коагулянтами. - М.: Наука, 1977. 356с.
6. ГОСТ 6055 - 86 Вода. Единицы жёсткости. - М. : Изд-во стандартов.
7. ГОСТ 4151 - 72 Вода питьевая. Метод определения общей жёсткости. М.: Изд-во стандартов.
8. Внутренние болезни/ Под ред. А.С. Сметнева, В.Г. Кукса. М.: Медицина, 1981. – 400 с.