

**Разработка технологии очистки природной воды  
для питьевых целей на период чрезвычайных ситуаций:  
производство активного хлора электролизом воды**

*С.А. Бреус<sup>1</sup>, А.Ю. Скрябин<sup>2</sup>, Л.Н. Фесенко<sup>3</sup>*

*<sup>1</sup> Государственное унитарное предприятие Ростовской области  
«Управление развития систем водоснабжения»*

*<sup>2</sup> Акционерное общество «Ростовводоканал»*

*<sup>3</sup> Общество с ограниченной ответственностью научно-производственное  
предприятие «ЭКОФЕС», Новочеркасск*

**Аннотация:** Рассмотрена возможность получения активного хлора из пресных, природных вод путем её прямого электролиза. Определен интервал изменения времени анодного полупериода тока. Установлена коррозионная стойкость анодов с разной закладкой оксидов рутения и иридия, а также их характеристики: выход хлора по току, напряжение на ячейке, динамика роста концентрации активного хлора в обработанной донской воде.

**Ключевые слова:** Чрезвычайные ситуации, водоснабжение, обеззараживание, электролиз природной воды, хлориды, активный хлор, плотность тока, время «жизни» электрода

В период чрезвычайных ситуаций (далее ЧС) качественное водоснабжение может стать одним из основных, а иногда и самым главным жизненно важным фактором для каждого жителя Российской Федерации [1].

Оперативным способом для обеспечения подачи доброкачественной воды населению в период ЧС, а также отдалённых вахтовых поселков и деревень являются водоочистные мобильные станции (далее МВС) различной производительности, осуществляющие очистку из поверхностных и подземных водоисточников.

Известные технологии и конструкции, эксплуатируемых МВС для очистки природных вод представлены в работах [2 – 5]. Наилучшая из них предложена В.А. Онкаевым[5] и предназначена для децентрализованного водоснабжения малых населенных мест. Водоочистка включает ряд унифицированных блоков: предварительная очистка на металлокомплексных каталитических фильтрах; реагентный узел и напорное фильтрование через двухслойную каталитически активированную загрузку;

---

глубокоюдоочисткуводы на фильтрах с активным углем, катализатором и при необходимости на обратноосмотической установке и обеззараживание воды с использованием УФ или консервантов («БИНГСТИ» и ССД-200).

Основной недостаток предлагаемой технологии – применение реагентов имеющие определенный срок хранения. Кроме того эксплуатация данной водоочистной системы нуждается в постоянном присутствии квалифицированных технологов.

С целью упрощения эксплуатации МВС и её оперативного управления нами были сформулированы два критерия: отказ от традиционного реагентного хозяйства и быстрая замена технологических узлов водоочистной станции.

На основании вышеизложенного предлагается технологическая схема водоподготовки на период ЧС (рис. 1).

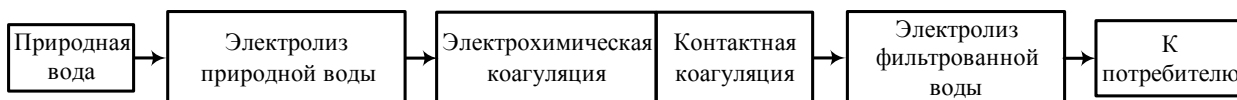


Рис. 1. –Технологическая схема водоподготовки в период ЧС

Схема включает два основных метода водоочистки: обеззараживание электролизом природной воды и электрохимическое коагулирование в условиях кантатного фильтрования [6,7].

Следует особенно подчеркнуть, что обеззараживание является самым важным в водоочистке на период ЧС, так как оно отвечает за эпидемиологическое благополучие воды, а использование электролиза воды может позволить еще и пролонгированную консервацию питьевой воды за счет получения активного хлора [10,17].

Обеззараживание воды путем её электролиза является разновидностью прямого электрохимического окисления и протекает в два этапа –

---

электрохимическое получение окислителей и смешивание их с обрабатываемой природной водой.

Основные закономерности образования окислителей в воде за счет её прямой электролитической обработки должны соответствовать двум основным требованиям: наличие в воде хлоридов и использованию эффективных малоизнашивающихся электродов [12].

Известно, что электролитический гипохлорит натрия по своей бактерицидной эффективности не только не уступает газообразному хлору, а в отдельных случаях, при высоком бактериальном загрязнении воды, даже превосходит его. Полное обеззараживание наступает при дозе по активному хлору  $0,8 \text{ мг/дм}^3$ , в то время как при той же дозе в случае обычного хлорирования бактерицидный эффект составляет лишь 97 – 98 % [9].

Объяснение этому Л.А. Кульский [8,15] видит в том, что во многих природных водах имеются соединения, например, йода, брома и другие, которые в процессе электролиза образуют сильные окислители (вплоть до пероксидов), ускоряющие процесс обеззараживания.

Вопросу энергозатрат на производство активного хлора из природных вод было дано в работе Д.Л. Басина [10]. Им установлено, что при обработке природных вод с содержанием хлоридов  $20\text{--}350 \text{ мг/дм}^3$  выход хлора на электродах из ОРТА составляет 4-30% при затратах электроэнергии  $20\text{--}200 \text{ кВт}\cdot\text{ч}$  на 1 кг активного хлора. На основании проведенных исследований, рекомендовано проведение обеззараживания прямым электролизом природных вод с содержанием хлоридов более  $20 \text{ мг/дм}^3$  [10]. При этом также происходит электроокисление примесей воды, насыщение кислородом, умягчение и ряд других сопутствующих процессов.

На основании данных лабораториями МУП «Горводоканала» г. Новочеркаска и ОАО «Аксайского ПМК РСВС» было установлено, что среднее количество хлоридов в донской воде –  $109,4 \text{ мг/дм}^3$ , а в подземной

---

воде с.п. Грушевское –  $392,5 \text{ мг/дм}^3$ . Это дает возможность (количество хлоридов более  $20 \text{ мг/дм}^3$ ) получать активный хлор в обрабатываемой подземной и поверхностной воде.

Для эффективной работы прямого электролитического обеззараживания воды требуется обоснованный выбор материала электродов и оптимальные электрические параметры.

Недостаточность исследований электролиза хлоридсодержащих природных водопределило необходимость настоящих экспериментов.

Исследования электрохимического обеззараживания воды путем её электролиза вели по трем направлениям:

- оценивали влияние плотности постоянного анодного тока на концентрацию активного хлора;
- изучали роль частоты реверса тока на концентрацию активного хлора, напряжение электролизной ячейки, характеристику образования катодных отложений и времени «жизни» электродов;
- определяли влияние природы металлооксидных покрытий на время «жизни» электродов и концентрацию активного хлора.

Под словом «жизнь» подразумевается объективная возможность использовать электрод в качестве анода при электрохимическом получении активного хлора из хлоридов воды.

Опыты проводили на лабораторной установке (рис. 2). В исследованиях использовали донскую воду. Количество хлоридов в ней было  $100 - 117 \text{ мг/дм}^3$ , а температура изменялась от  $10$  до  $17 \text{ }^\circ\text{C}$ . Расход воды через электролизер составлял  $1 \text{ дм}^3/\text{ч}$ .

Электролизная ячейка (рис. 2) была изготовлена из органического стекла и включала в себя прямоугольный корпус (1) (объем  $66 \text{ см}^3$ ) и электроды (2). Рабочая площадь каждого составляла  $16 \text{ см}^2$ . Межэлектродное пространство было  $4 \text{ мм}$ [8]. В качестве анода и катода использовали

---

титановые пластины толщиной 1 мм, покрытые металлооксидным активным слоем на основе диоксида иридия (ОИРТА) [12–14]. В крышке электролизной ячейки был установлен ртутный термометр (3) ТТ (16) со шкалой 0-100 °С. Измерительная часть его находилась в средней части корпуса (1), где достигалось полное перемешивание воды при электролизе. Получаемые при электролизе газы отводили через газоотвод (5). Он был смонтирован в герметичный корпус ячейки. Это препятствовало выделению газов в помещение.

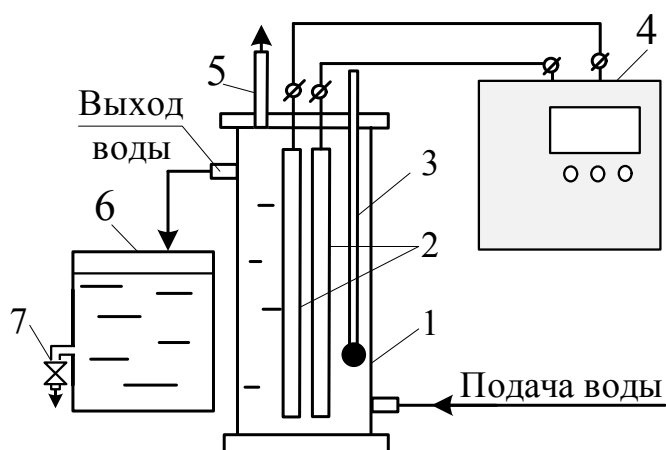


Рис. 2. – Схема экспериментальной электролизной установки: 1 – корпус электролизной ячейки; 2 – электроды; 3 – термометр; 4 – блок – генератор переменного тока; 5 – газоотвод; 6 – аккумулирующая емкость; 7 – пробоотборник

Для определения концентрации активного хлора в воде раствор отбирали при помощи пробоотборника (7), расположенный в нижней части аккумулирующей емкости (6).

Анализ содержания активного хлора вели по общеизвестным методикам. Так же в опытах определяли величину рН с помощью рН-метра MV 88 Prazisions-Labor-pH-Messgeratco стеклянным лабораторным электродом типа ЭСЛ-63-07 ( $pH_i=7$ ,  $E_i=-25$  mV, 25...100 °С) и электродом типа ЭВЛ-1МЗ. Для регулирования напряжения на электродах использовали

блок-генератор переменного тока (4), изготовленный в ООО НПП «Экофес». В нем заложена функциональная возможность регулирования силы тока (0,01-0,16) мА и времени его подачи от 1 секунды до 10 часов. Ток устанавливали вручную с помощью кнопок и тумблеров, расположенных на его лицевой панели. Источник тока работал в режиме гальваностата. На экране блока (4) отображалось общее время наработки, максимальное значение которого составляет 100 ч. Во всех исследованиях проводили замеры напряжения на клеммах электролизера при помощи мультиметра МУ-68.

#### ***Влияние плотности постоянного анодного тока на концентрацию активного хлора***

Титановые электроды были покрыты оксидами Ru и Ir в соотношении 1:1 по металлу с суммарной удельной закладкой 7,5 г/м<sup>2</sup>. Плотность тока в исследованиях составила 25, 50, 75 и 100 А/м<sup>2</sup>. Продолжительность каждого опыта – 50 ч.

На рис. 3 приведена зависимость концентрации активного хлора от плотности анодного тока. Из неё следует, что при увеличении плотности тока в 4 раза, содержание активного хлора в обработанной воде выросла в 9 раз и достигла 31,28 мг/дм<sup>3</sup>.

Ход экспериментальной зависимости  $C_{\text{АХ}} - i$  показывает, что на кривой изменения концентрации активного хлора можно выделить три отрезка:

- на участке 25 – 50 А/м<sup>2</sup> концентрация выросла в 3,5 раза;
  - на участке 50 – 70 А/м<sup>2</sup> наблюдали уменьшение концентрации активного хлора на 10,4 %;
  - при увеличении плотности тока до 100 А/м<sup>2</sup> отмечен значительный рост концентрации активного хлора (в 2,8 раза) по сравнению с показателем при 75 А/м<sup>2</sup>.
-

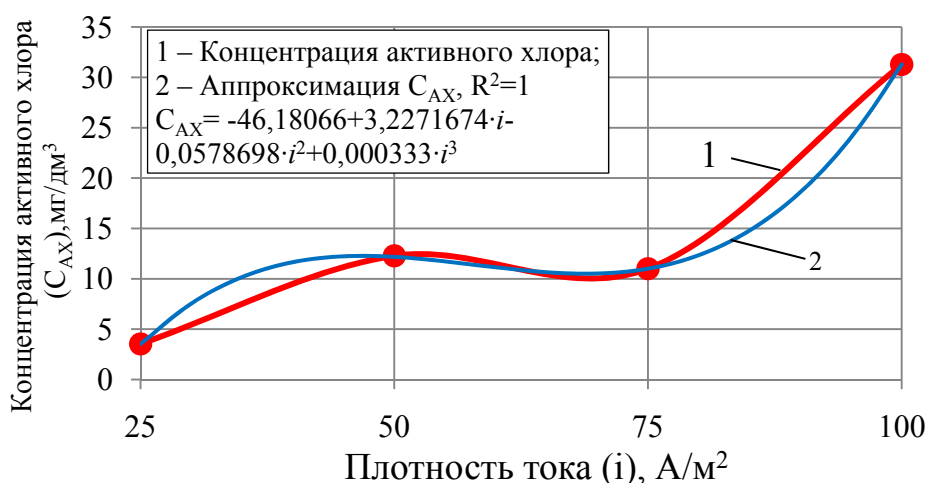


Рис. 3. – Влияние плотности анодного тока на концентрацию активного хлора

В контрольных опытах при плотности тока  $100 \text{ A/m}^2$  наблюдали образование осадка на поверхности катода (см. рис. 6 (1)) и изменение во времени напряжения на клеммах электролизера.

Влияние продолжительности электролиза при постоянной плотности тока  $100 \text{ A/m}^2$  на величину напряжения электролизера (данные представлены в процентном отношении к начальному его значению) представлено на рис. 4. Из него следует, что к 25 часам работы электролизной ячейки напряжение выросло на 2,03%. Далее наблюдали уменьшение на 14,9 % от первоначального значения  $U = 7,4 \text{ В}$ .

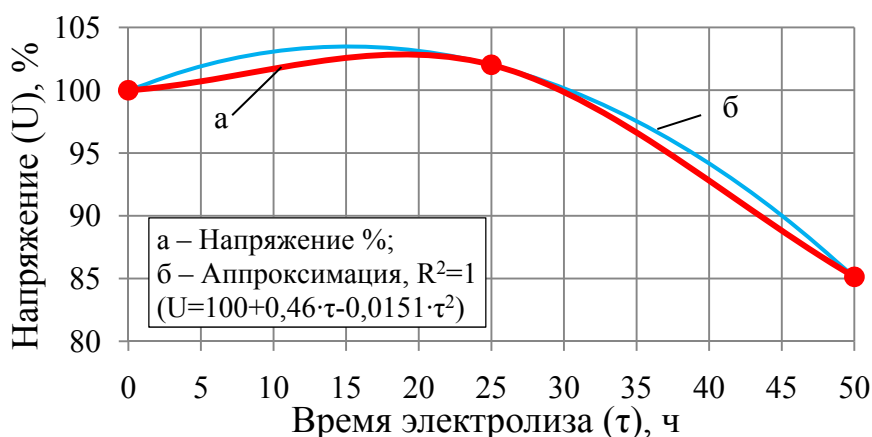


Рис. 4. – Влияние продолжительности электролиза на напряжение ячейки электролизера

**Изучение роли частоты реверса тока на концентрацию активного хлора, напряжение электролизной ячейки, характеристику образования катодных отложений и времени «жизни» электродов**

Время изменения анодного полупериода электрического тока составило ( $\tau^- - 1$ ч;  $\tau^+ - 25, 60, 120, 210, 300$  сек). Плотность анодного тока –  $100 \text{ А/м}^2$ . Опыты вели в течение 100 ч.

На рис. 5 приведено влияние изменения времени анодного полупериода тока на концентрацию активного хлора и количество отложений на поверхности электродов. Из рисунка следует, что при переходе на переменный электрический ток с изменяющимся временем его реверса (опыт 2) концентрация активного хлора, по сравнению с опытом 1, выросла на 27,7% и составила  $24,3 \text{ мг/дм}^3$ . Кроме того при сравнении работ электролизера на постоянном (опыт 1) и переменном токе (опыт 6), было зафиксировано увеличение  $C_{\text{АХ}}$  на 38,2 % (кривая «а»).

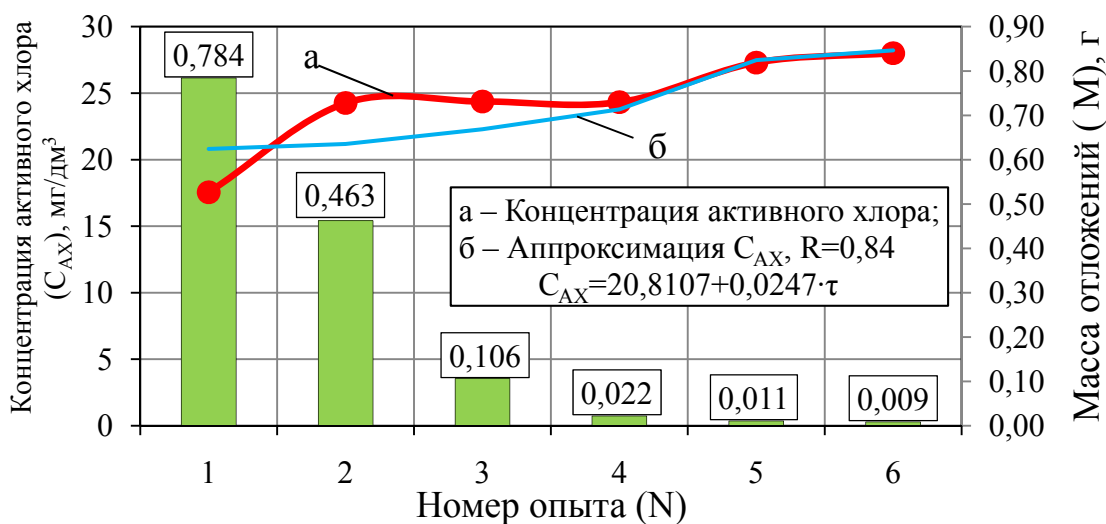


Рис. 5. – Влияние изменения времени полярности тока на массу осадка на поверхности катода и выхода активного хлора в ряде опытов: 1 – постоянный ток; 2 – ( $\tau^- - 1$ ч,  $\tau^+ - 25$  сек); 3 – ( $\tau^- - 1$ ч,  $\tau^+ - 60$  сек); 4 – ( $\tau^- - 1$ ч,  $\tau^+ - 120$  сек); 5 – ( $\tau^- - 1$ ч,  $\tau^+ - 210$  сек); 6 – ( $\tau^- - 1$ ч,  $\tau^+ - 300$  сек)



Одновременно в исследованиях вели контроль за массой катодных отложений (рис. 5). Из него видно, что при работе электролизера  $\tau^- - 1\text{ч}$ ,  $\tau^+ - 300\text{сек}$ , вес отложений уменьшился (в 90 раз) по сравнению с опытом 1 и составил 0,009г.

В качестве иллюстрации уменьшения количества осадка на катоде при изменении анодного полупериода тока представлены фотографии электродов (рис.6).

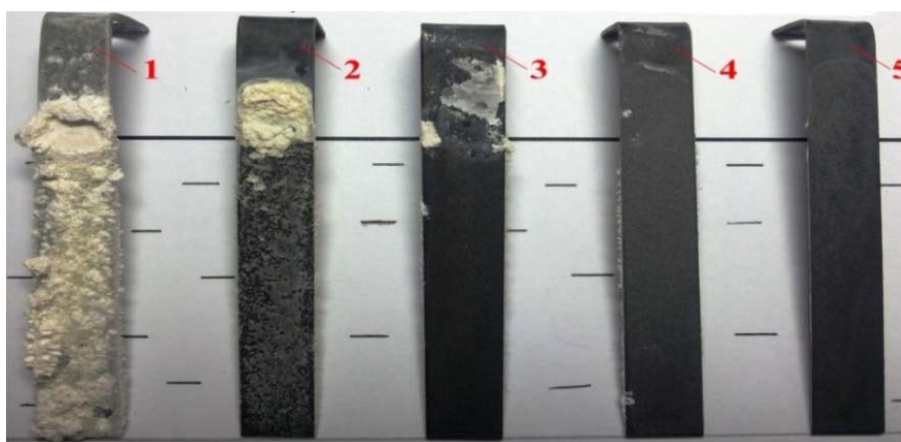


Рис. 6. – Характер образования отложений на катоде во время электролиза при изменении анодного полупериода тока в различных опытах: 1 – постоянный ток; 2 – ( $\tau^- - 1\text{ч}$ ,  $\tau^+ - 25\text{сек}$ ); 3 – ( $\tau^- - 1\text{ч}$ ,  $\tau^+ - 60\text{сек}$ ); 4 – ( $\tau^- - 1\text{ч}$ ,  $\tau^+ - 120\text{сек}$ ); 5 – ( $\tau^- - 1\text{ч}$ ,  $\tau^+ - 300\text{сек}$ )

Из рисунка видно, что при постоянном токе катод покрывался плотными, рыхлыми отложениями светло-жёлтого цвета. Основной объем образований был на верхней части электрода (опыт 1) в границе раздела воздух-вода.

Также наблюдали флотацию мелких взвесей и оседание крупных частиц. Дальнейшее увеличение времени анодного полупериода тока (опыт 2–3) привело к интенсивному снижению количества осадка на пластинах. При частоте реверса ( $\tau^- - 1\text{ч}$ ,  $\tau^+ - 120, 300\text{сек}$ ) осадок на электродах не образовывался.

Влияние продолжительности электролиза на изменение напряжения электролизной ячейки представлено на рис. 7.

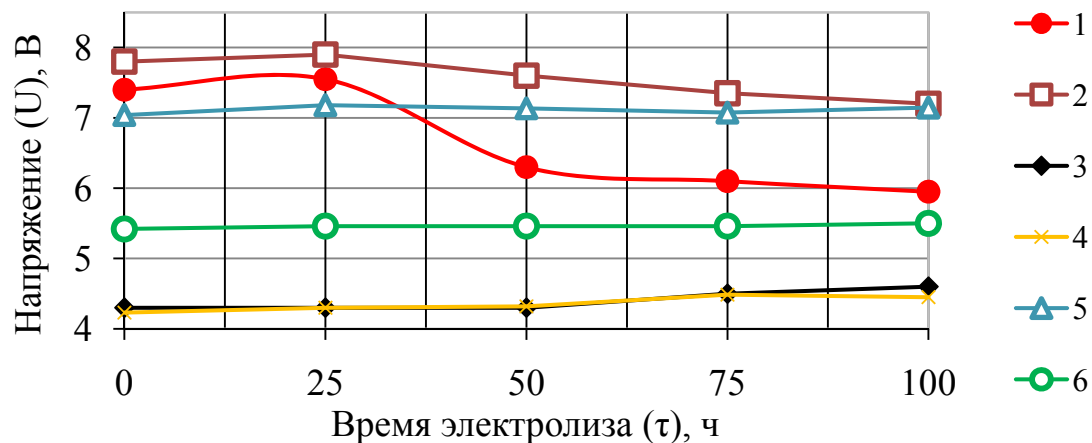


Рис. 7. – Влияние продолжительности электролиза на напряжение тока в различных опытах: 1 – постоянный ток; 2 – ( $\tau^-$  – 1ч,  $\tau^+$  – 25 сек); 3 – ( $\tau^-$  – 1ч,  $\tau^+$  – 60 сек); 4 – ( $\tau^-$  – 1ч,  $\tau^+$  – 120 сек); 5 – ( $\tau^-$  – 1ч,  $\tau^+$  – 210 сек); 6 – ( $\tau^-$  – 1ч,  $\tau^+$  – 300 сек)

Из рис. 7 следует, что при электролизе на постоянном токе (опыт 1) значение напряжения снижается на 20 %, а для режимов на переменном токе (опыт 2 – 6) изменения напряжения незначительно зависят от времени электролиза. Для наиболее характерных кривых  $U-\tau$  (рис. 7 опыт 1 и 6) представлены уравнения аппроксимации:

$$U_1 = 7,53 + (-0,0174 \cdot \tau), (R^2 = 0,9096); \quad U_6 = 5,428 + 0,00064 \cdot \tau, (R^2 = 0,8928).$$

Известно, что материал электрода и его состав покрытия оказывает существенное влияние на эффективность и продолжительность его «жизни» [12]. В работе [13] установлено, что коррозионная стойкость оксидных покрытий напрямую зависит от изменения их состава. С повышением процентного соотношения иридия в оксидном слое коррозионная стойкость увеличивается. Как, утверждает автор [14], время работы повышается в 5–8 раз по сравнению с электродом, не содержащий Ir. Опыты проводили на постоянном электрическом токе, с плотностью

анодного тока  $600 - 800 \text{ А/м}^2$ . Исследования были выполнены на морской воде [14].

Связи с тем, что донская вода, является пресной, то представлял интерес оценить эффективность работы ОИРТА при электролизе с различным временем анодного полупериода и плотностью тока  $100 \text{ А/м}^2$ . Таких исследований, как нам известно, не проводили.

На рис.8 представлены диаграммы влияния времени анодного полупериода тока на «жизнь» электродов. Результаты исследований показывают, что продолжительность работы титановых пластин, в основном зависит от частоты реверса электрического тока.

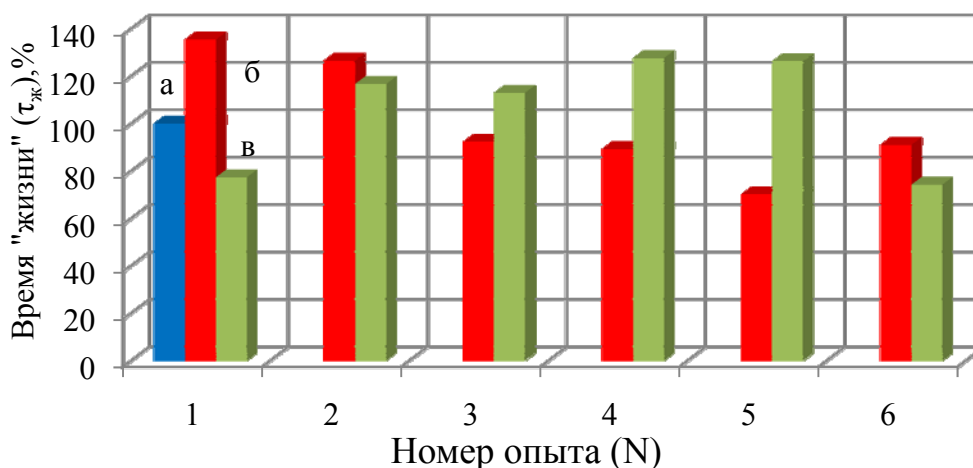


Рис.8. –Изменение времени анодного полупериода тока на «жизнь» электродов в различных опытах: 1 – постоянный ток; 2 – ( $\tau^- - 1\text{ч}$ ,  $\tau^+ - 25\text{ сек}$ ); 3 – ( $\tau^- - 1\text{ч}$ ,  $\tau^+ - 60\text{ сек}$ ); 4 – ( $\tau^- - 1\text{ч}$ ,  $\tau^+ - 120\text{ сек}$ ); 5 – ( $\tau^- - 1\text{ч}$ ,  $\tau^+ - 210\text{ сек}$ ); 6 – ( $\tau^- - 1\text{ч}$ ,  $\tau^+ - 300\text{ сек}$ ); а – время «жизни» электродов до экспериментов; б – остаточное время «жизни» анода; в – остаточное время «жизни» катода

Из диаграмм (рис. 8) видно, как при продолжительности изменении полярности тока (опыт 5) остаточное время «жизни» катода выросло на 26,26 % в сравнении с исходным электродом. «Жизнь» анода в свою очередь уменьшилась в 0,7 раз при рассмотрении с опытами 2–4. Однако при

изменении времени анодного полупериода тока в опыте б наблюдали общее уменьшение работоспособности электродов на 17 % в сравнении с «жизнью» титановых пластин до экспериментов (столбец «а»).

Для изучения времени «жизни» электродов при влиянии плотности анодного тока (25,50,75,100 А/м<sup>2</sup>) со временем реверса  $\tau^-$  – 1ч,  $\tau^+$  – 300 сек были проведены дополнительные исследования (рис. 9). Из рисунка следует, что при анодных плотностях тока (25 – 75 А/м<sup>2</sup>) остаточное время «жизни» электродов снизилось на 43 %, а при 100 А/м<sup>2</sup> (столбец «б») уменьшилось всего на 4%. На основании полученных данных построили аппроксимирующую зависимость (1)  $\tau_{ж} = 71,5834 - 0,704001i + 0,009i^2$ .

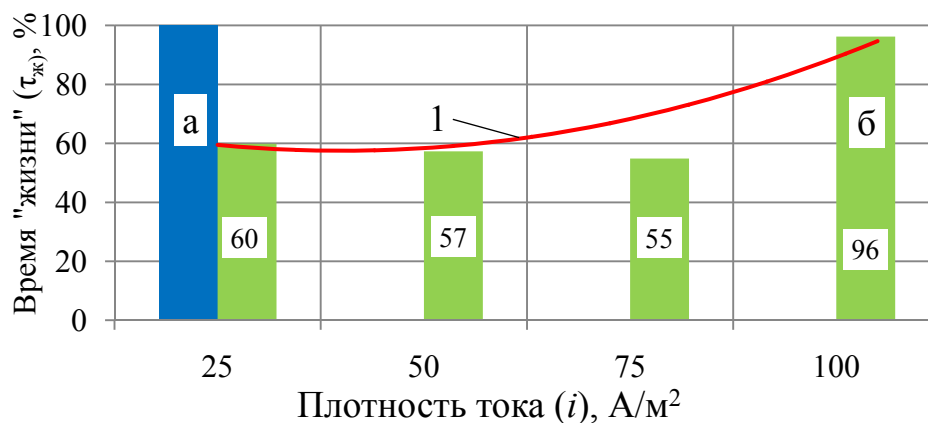


Рис.9. – Влияние плотности тока на время «жизни» электродов: а – время «жизни» электродов до экспериментов; б – остаточное время «жизни» электродов; 1 – аппроксимирующая зависимость  $\tau_{ж}$  от  $i$

### ***Влияние природы металлооксидных покрытий на время «жизни» электродов и концентрацию активного хлора***

Известно, что материал оксидного покрытия электрода оказывает существенное влияние на количество образовавшегося активного хлора [8, 10,11]. В природных минерализованных водах(с содержанием хлоридов более 10 г/дм<sup>3</sup>) получение активного хлора наиболее эффективно протекает на анодах из ОИРТА [14,17].

В эксперименте значения частоты реверса тока приняли  $\tau^- - 1$ ч,  $\tau^+ - 300$  сек, с плотностью  $100 \text{ А/м}^2$ . Использовали титановые пластины с оксидным покрытием разным соотношением рутения к иридию. Продолжительность опыта – 270 ч. Результаты опытов представлены на рис. 10.

Из рисунка видно, что использование иридия влияет на изменение концентрации активного хлора (кривая 1). Прирост  $C_{\text{АХВ}}$  в воде с увеличением доли  $\text{Ir}_{\text{от}}$  0 до 80 % составил 20,5 %. Также наличие иридия значительно влияет на время «жизни» электродов. Кривая 2 (рис. 10) показывает, что присутствие в оксидном слое Ir в массовом соотношении к Ru (20:80) увеличивает время эксплуатации анода в 10,6 раз.

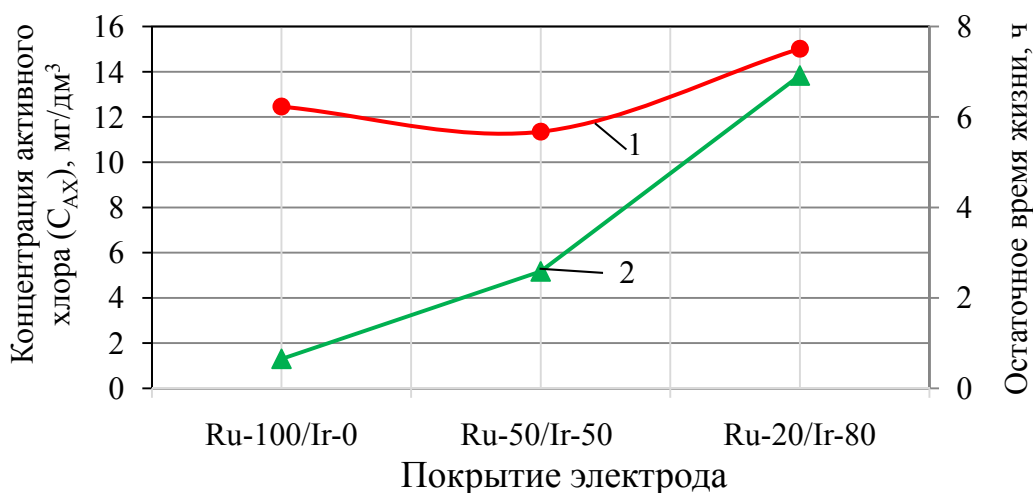


Рис.10. – Влияние соотношения металлов в оксидном покрытии электродов на концентрацию активного хлора и времени «жизни»: 1 – зависимость  $C_{\text{АХ}}$  от ОИРТА; 2– остаточное время «жизни» электродов

Исследования показали, что значимыми параметрами, влияющими на электролиз пресной воды в электролизной ячейке являются: продолжительность анодного полупериода тока ( $\tau$ ); количество хлоридов в воде, ( $Cl$ ); плотность электрического тока ( $i$ ). Эти параметры были приняты для проведения полного факторного эксперимента по методике, изложенной

[16]. Статистическая обработка результатов эксперимента позволила получить значения коэффициентов переменных электролиза донской воды. Ниже приведено уравнение регрессии концентрации активного хлора ( $C_{AX}$ ).

$$C_{AX} = - 28,34 + 0,7138 \cdot \tau + 0,8844 \cdot Cl - 2,8718 \cdot i, \text{ мг/дм}^3.$$

В заключение можно констатировать, что полученные лабораторные данные прямого электролиза в проточном режиме донской воды позволили, во-первых, дополнить знания в области обеззараживания природных вод путем её электролитической обработки и во-вторых, подтвердить целесообразное использование электролизера в технологической схеме указанной на рис. 1.

#### **Выводы:**

1. Полученные результаты исследований доказывают возможность обеззараживания природной, хлоридсодержащей воды путем её прямого электролиза. Это позволит упростить эксплуатацию малогабаритных водоочистных станций и отказаться от привозных хлорсодержащих реагентов (жидкий хлор, хлорная известь и т.д.).

2. Изменение времени анодного полупериода тока ( $\tau^- - 1 \text{ч}$ ,  $\tau^+ - 300 \text{сек}$ ) при его плотности  $100 \text{ mA/cm}^2$  положительно влияет на рост концентрации активного хлора (38,2 %) в сравнении с постоянным электрическим током. Устраняет отложения на поверхности электродов (вес отложений уменьшился в 90 раз) и продлевает остаточную «жизнь» электродам.

3. Использование иридия для покрытия электродов напрямую влияет на изменение концентрации активного хлора. Прирост  $C_{AX}$  в воде с увеличением доли Ir от 0 до 80 % составил 20,5 %. Также наличие иридия значительно влияет на время «жизни» электродов. Доказано, что присутствие в оксидном слое Ir в массовом соотношении к Ru (20:80) увеличивает время эксплуатации анода в 10,6 раз.

## Литература

1. Безопасность жизнедеятельности. Защита населения и территорий при чрезвычайных ситуациях / Под ред. В.В. Денисова. - Ростов-на-Дону: Издательский центр «МарТ», 2007. - 720 с.

2. Стаценко М.И. Водоочистные установки «Исток»: современные технологии и решения // Водоснабжение и канализация. - 2011. - №9-10. - С. 108-112.

3. Васильев, А.Л. Разработка и испытание малогабаритных установок подготовки питьевых вод: автореф. дис. ... канд. тех. наук: 05.23.04. - Нижний Новгород, 1992. - 20 с.

4. Зайцев, С.В. Совершенствование водоочистных установок малой производительности с использованием электрообработки: автореф. дис. ... канд. тех. наук: 05.23.04. - СПб., 1995. - 23 с.

5. Онкаев, В.А. Разработка и исследование процессов водоподготовки в мобильно-картриджных системах децентрализованного водоснабжения малых населенных мест: дис. ... канд. тех. наук: 05.23.04. Ростов-на-Дону, 2010. - 170 с.

6. Линевич С.Н., Бреус С.А., Гетманцев С.В. Модернизация коагуляционного метода водообработки // Водоснабжение и водоотведения мегаполиса «Шестые Яковлевские чтения»// Материалы II-й международной научной – практической конференции, посвященной памяти академика РАН и РААСН С.В.Яковлева. - М.: 2011. - С. 214 – 220.

7. С.Н. Линевич, С.А. Бреус Эффективный способ осветления и обесцвечивания природных вод электродистабиллизационно-контактной коагуляцией // Новые достижения в областях водоснабжения, водоотведения, гидравлики и охраны водных ресурсов// Международная конференция ПГУПС, посвященная памяти проф. В.С. Дикаревского. - СПб.: 2011. - С. 39–42.

8. Кудрявцев, С. В. Совершенствование технологических параметров установок получения электролитического гипохлорита натрия для обеззараживания воды: дис. ... канд. тех. наук: 05.23.04. - Новочеркасск, 2009. - 162 с.

9. И.А. Денисова, А.Ю. Скрябин, Л.Н. Фесенко, Под ред. Фесенко, Л.Н. Активированные технологии обеззараживания питьевой воды / Ростов-на-Дону: СКНЦ ВШ ЮФУ, 2013. - 192 с.

10. Медриш Г.Л., Тайшева А.А., Басин Д.Л., Обеззараживание природных и сточных вод с использованием электролиза / М.: Стройиздат, 1982. - 81 с.

11. Kerwick, M.I., Reddy, S.M, Chamberlain, A.H.L., Holt, D.M. (2005), Electrochemical disinfection, an environmentally acceptable method of drinking water disinfection? *Electrochimica Acta*. 50, 5270. p. 8

12. Пчельников И.В., Игнатенко С.И., Бабаев А.А., Фесенко Л.Н. Исследование коррозионных и электрохимических свойств оксидных покрытий анодов для производства низкоконцентрированного гипохлорита натрия // Инженерный вестник Дона, 2014, №1 URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2014/2242](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2014/2242).

13. Denton D. A., Harrison J. A., Knowles R. I. Chlorine evolution and reduction on  $\text{Ru}_2\text{O}/\text{Ti}_2\text{O}$  electrodes. *Electrochim. Acta*, 1979. pp. 521-527.

14. Пчельников И.В. Совершенствование технологии производства обеззараживающего реагента – гипохлорита натрия электролизом морской воды (на примере Черного моря): дис. ... канд. тех. наук: 05.23.04. - Новочеркасск, 2014. - 155 с.

15. Кульский Л.А. Теоретические основы и технология кондиционирования воды / Киев: Наукова думка, 1980. - 558 с.





16. Глуходедова В.Н., Корохов В.В., Скребнева И.А., Статистическое моделирование технологических процессов. Учебное пособие / Ростов-на-Дону: СКНЦ ВШ ЮФУ, 2010. - 44 с.

17. Амин Абдулфаттах Ахмад Амин Исследование формирования тригалогенметанов в системе водоснабжения Багдада // Инженерный вестник Дона, 2013, №3 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2013/1753.

### References

1. Denisov V.V. Bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti. Zashchita naseleniya i territoriy pri chrezvychaynykh situatsiyakh [Security at vital activity. Protection of population and territories in emergency situations] Rostov-na-Donu, 2007, pp. 720.

2. Statsenko M.I. Vodosnabzhenie i kanalizatsiya. 2011.№9-10. pp. 108-112.

3. Vasil'ev A.L. Razrabotka i ispytanie malogabaritnykh ustanovok podgotovki pit'evykh vod [Development and testing of small plants of drinking water]. Nizhniy Novgorod, 1992. 20 p.

4. Zaytsev S.V. Sovershenstvovanie vodoochistnykh ustanovok maloy proizvoditel'nosti s ispol'zovaniem eektroobrabotki[Improving the performance of small water treatment plants with the use of electric treatment]St. Petersburg. 1995. 23 p.

5. OnkaevV.A. Razrabotka i issledovanie protsessov vodopodgotovki v mobil'no-kartridzhnykh sistemakh detsentralizovannogo vodosnabzheniya malykh naselennykh mest [Development and research of water treatment processes in the mobile-cartridge systems, decentralized water supply of small localities] Rostov-na-Donu 2010. 170 p.

6. Linevich S.N. Breus S.A., Getmantsev S.V. Vodosnabzhenie i vodootvedeniya megapolisa «Shestyeyakovlevskie chteniya». Moscow, 2013, pp. 214 – 220.



7. Linevich S.N., Breus S.A. Novye dostizheniya v oblasti vodosnabzheniya, vodootvedeniya, gidravliki i okhrany vodnykh resursov (International conference) St. Petersburg, 2011, pp.39–42.

8. Kudryavtsev S. V. Sovershenstvovanie tekhnologicheskikh parametrov ustanovok polucheniya elektroliticheskogo gipokhloritnatriya dlya obezzarazhivaniya vody [Improving the technological parameters of plants for electrolytic sodium hypochlorite for water disinfection]Novocherkassk. 2009. 162 p.

9. Denisova, A. Yu. Skryabin, L.N. Fesenko Aktivirovannye tekhnologii obezzarazhivaniya pit'evoy vody [Activated technology of drinking water disinfection] Rostov-na-Donu. 2013. 192 p.

10. Medrish G.L., Taysheva A.A., Basin D.L Obezzarazhivanie prirodnykh istochnykh vod s ispol'zovaniem elektroliza [Disinfection of natural and waste water using electrolysis]. Moscow. 1982. 81 p.

11. Kerwick, M.I., Reddy, S.M, Chamberlain, A.H.L., Holt, D.M. (2005), Electrochemical disinfection, an environmentally acceptable method of drinking water disinfection? *ElectrochimicaActa*. 50, 5270. p. 8

12. I.V. Pchel'nikov, S.I. Ignatenko, A.A. Babaev, L.N. Inzhenernyjvestnik Dona (Rus), 2014, №1 URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2014/2242](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2014/2242).

13. Denton D. A., Harrison J. A., Knowles R. I. Chlorine evolution and reduction on Ru<sub>2</sub>O/Ti<sub>2</sub>O electrodes. *Electrochim. Acta*, 1979. pp. 521-527.

14. Pchel'nikov I.V. Sovershenstvovanie tekhnologii proizvodstva obezzarazhivayushchego reagenta – gipokhloritnatriya elektrolizom morskoy vody (na primere Chernogo morya) [Improving the technology of production of disinfecting agent - sodium hypochlorite by electrolysis of seawater (by the example of the Black Sea)] Novocherkassk. 2014. 155 p.

15. Kul'skiy L.A. Teoreticheskie osnovy i tekhnologiya konditsionirovaniya vody [Theoretical bases and technology of water conditioning] Kiev, 1980. 558 p.



16. Glukhodedova V.N., Korokhov V.V., Skrebneva I.A. Statisticheskoe modelirovanie tekhnologicheskikh protsessov. Uchebnoe posobie [Statistical modeling of technological processes. Study Guide] Rostov-na-Donu, 2010. - 44 s.

17. Amin Abdulfattakh Akhmad Amin Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2013, №3 URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2013/1753](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2013/1753).