

УДК 631.16

**В. Н. КОКОУЛИН, В. Ф. СТОРЧЕВОЙ**

Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский государственный университет природообустройства»

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭЛЕКТРОЛИЗНОЙ ЯЧЕЙКИ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ВОДЫ**

*Изложены результаты экспериментальных исследований электролизной ячейки электрохимической очистки воды. Дан анализ устройства блока электрохимического окисления, применяемого в системах комплексной водоочистки.*

*Электролизная ячейка, электрохимическая обработка воды, блок электрохимического окисления, системы комплексной водоочистки, переполюсовка электродов.*

*There are given results of experimental researches of the electrolytic cell of the electrochemical water treatment. The analysis is given of the block arrangement of electrochemical oxidation used in the systems of complex water treatment.*

*Electrolysis cell, electrochemical water treatment, electrochemical oxidizing block, complex water treatment systems, electrodes polarity reversal.*

Очистка воды – актуальная задача как для отдельно взятого предприятия, так и для человечества в целом. Загрязнение вод проявляется в изменении физических и органолептических свойств (нарушение прозрачности, окраски, запахов, вкуса), в увеличении содержания сульфатов, хлоридов, нитратов, токсичных тяжелых металлов, сокращении растворенного в воде кислорода воздуха, в появлении радиоактивных элементов, болезнетворных бактерий и других загрязнителей [1].

В системе комплексной очистки воды широкое распространение получили электрохимические методы обработки воды. В конце XIX века было обнаружено, что при пропуске обрабатываемой воды через электролизер под действием электрического тока образуются соединения, которые обеззараживают воду непосредственно в потоке. С этого времени возможность создания безреагентного метода дезинфекции и очистки воды привлекает внимание исследователей. Это объясняется тем, что разработка технологии обеззараживания воды, не связанная с применением каких-либо привозных реагентов, и аппаратуры, отличающейся компактностью и простой эксплуатацией, является весьма перспективным направлением [2].

Электрохимические методы обработки воды подразделяют на три группы: методы превращения, методы разделения и комбинированные методы [3]. В рамках проведенных исследований авторы остановились на методе электрохимической деструкции (один из методов превращения). Конструкции аппаратов для проведения электрохимической деструкции разнообразны. Они различаются количеством электродов, материалом, из которого сделаны электроды, наличием или отсутствием диафрагмы между электродами и др. Остановимся на блоке электрохимического окисления БЭХО (выпускаемым ЗАО «Экоинжком»). Данный блок имеет достаточно простую конструкцию, состоящую из корпуса и двух электродов – анода, выполненного из титана с рутениевым покрытием (ОРТА), и катода, выполненного из стальной нержавеющей сетки (рис. 1а). В настоящее время серийно выпускаются два блока электрохимического окисления производительностью 1 и 3 м<sup>3</sup>/ч. Потребляемая мощность данных блоков от 4 до 11 Вт/м<sup>3</sup>, потребляемый ток – 3 А, напряжение – 12 В. Основное предназначение БЭХО – очистка воды от ионов тяжелых металлов, ионов железа,

сероводорода, удаление сульфитов и обеззараживания воды.

При работе такого блока в системе комплексной водоочистки была доказана эффективность его применения. Из отрицательных аспектов следует отметить отложение продуктов электролиза на катоде (рис. 1б), что приводит к ухудшению работы, а при сильных отложениях может вызвать выход блока из строя. Для предотвращения нежелательных последствий было пред-

ложено делать переполюсовку электродов. Результаты предварительных исследований показали, что при проведении переполюсовки наблюдается очищение катода от продуктов электролиза (рис. 1в). Помимо изложенной схемы предполагается применение другой схемы, в составе которой имеется частотный преобразователь. В настоящее время проводятся более детальные исследования, результаты которых пока еще полностью не установлены [4].



Рис. 1. Электролизная ячейка блока электрохимической очистки воды: а – электролизная ячейка в сборе (1 – катод; 2 – анод); б – электролизная ячейка после использования ее в системе комплексной водоочистки; в – электролизная ячейка после проведения переполюсовки

Экспериментальные исследования блока электрохимического окисления проводились по следующей программе:

1. Исследование зависимости выделения хлора активного (связанного и свободного) от силы тока в электрохимической ступени. Подбор оптимальных параметров работы для электрохимической ступени.

2. Исследование влияния работы электрохимической ступени и всей установки на жесткость, щелочность и содержание гидрокарбонатов в очищаемой воде.

3. Определение эффективности очистки по железу на модельном растворе, содержащем хлориды.

4. Определение эффективности

очистки по железу на модельном растворе без хлоридов.

#### Результаты испытаний

**Определение параметров работы электрохимической ступени.** Определение оптимального режима электрических параметров работы электрохимической ступени проводилось при производительности 3 л/мин на водопроводной воде. Для чистоты эксперимента водопроводная вода предварительно очищалась от имеющегося в ней хлора активного путем пропускания воды через специальный угольный фильтр. Таким образом, в исходном модельном растворе хлор активный отсутствовал, а концентрация

хлорид-ионов составляла 20 мг/л. Содержание хлорид-ионов определяли методом высокоэффективной жидкост-

ной хроматографии на приборе «Стайер» фирмы «Аквилон». Результаты представлены в табл. 1.

Таблица 1

Сила тока в цепи, А	Содержание хлора активного, мг/л			
	После электрохимической ступени		После третьей (угольной) ступени	
	1-я серия эксперимента	2-я серия эксперимента	1-я серия эксперимента	2-я серия эксперимента
1	0,40	0,4	Менее 0,05	0,07
2	0,47		0,2	
3	0,60		0,2	
4	0,68	0,6	0,3	0,4
5	0,68		0,3	
6	0,80		0,2	

После электрохимической ступени содержание хлора активного связанного было выше, чем на выходе после угольной ступени. На выходе установки содержание хлора активного достигало 0,5 мг/л, поэтому было принято решение заменить третью ступень на новую, более эффективно поглощающую хлор активный.

На основании этой части эксперимента в качестве оптимального режима для электрохимической ступени был выбран следующий режим: сила тока в цепи 4 А при производительности фильтрующей установки 3 л/мин.

**Исследование влияния работы электрохимической ступени и всей**

**установки на жесткость, щелочность и содержание гидрокарбонатов в очищаемой воде.** Исследование влияния работы электрохимической ступени и всей установки на жесткость, щелочность и содержание гидрокарбонатов в очищаемой воде проводили на модельном растворе с жесткостью 7 мг-экв/л, щелочностью 5 ммоль Н<sup>+</sup>/л и содержанием гидрокарбонатов 300 мг/л [5]. Модельный раствор готовили на основе водопроводной воды с добавлением хлорида кальция и гидрокарбоната натрия. Исследование проводили при силе тока 4 А и производительности более 3 л/мин (результаты представлены в табл. 2).

Таблица 2

Параметр, единица измерения	Содержание			
	Вход	После первой ступени (электрохимическая ступень)	После второй ступени (механический фильтр)	После третьей ступени (угольный фильтр)
Жесткость, мг-экв/л	6,85	6,85	6,6	6,1
Щелочность, моль Н <sup>+</sup> /л	5,0	5,0	5,0	4,4
Гидрокарбонаты, мг/л	305	305	305	268

**Определение эффективности очистки по железу на модельном растворе, содержащем хлориды,** проводили в нескольких сериях экспериментов [6]. Эффективность задержки железа проверяли на модельных растворах с 3 ПДК по железу, приготовленных на основе водопроводной воды с добавлением хлоридов до 50 мг/л, при производи-

тельности 3 л/мин и силе тока 4 А (результаты представлены на рис. 2).

В первых двух экспериментах двухвалентное железо на входе не стабилизировали, в следующих сериях эксперимента стабилизацию осуществляли доведением рН модельного раствора до 6,5.

**Определение эффективности очистки по железу на модельном**

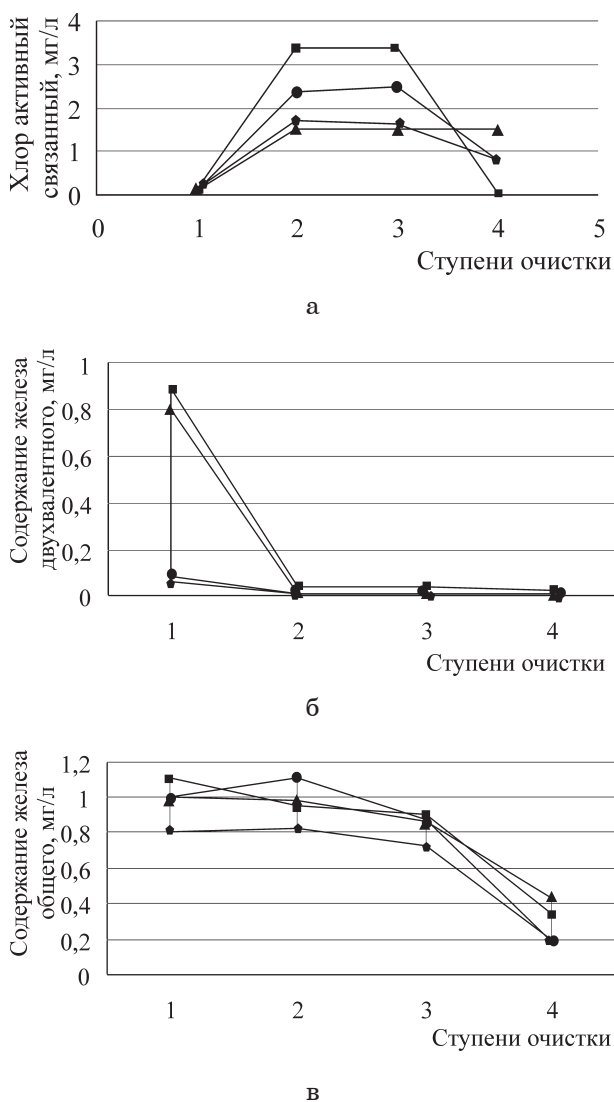


Рис. 2. Результаты эффективности очистки по железу на модельном растворе, содержащем хлориды: а – хлор активный связанный; б – содержание железа двухвалентного; в – содержание железа общего; ● 1 серия эксперимента; ◆ 2 серия эксперимента; ▲ 3 серия эксперимента; ■ 4 серия эксперимента

**растворе без хлоридов.** Модельный раствор в этом случае готовился на дистиллированной воде с добавлением сульфата натрия и гидрокарбоната натрия для доведения электропроводности и рН до значений, соответствующих модельному раствору по железу на основе водопроводной воды с содержанием хлоридов 50 мг/л (электропроводность 505 мкСм/см, рН = 6,5). Результаты представлены на рис. 3.

**Выводы**

Применение современных энергосберегающих технологий в различных

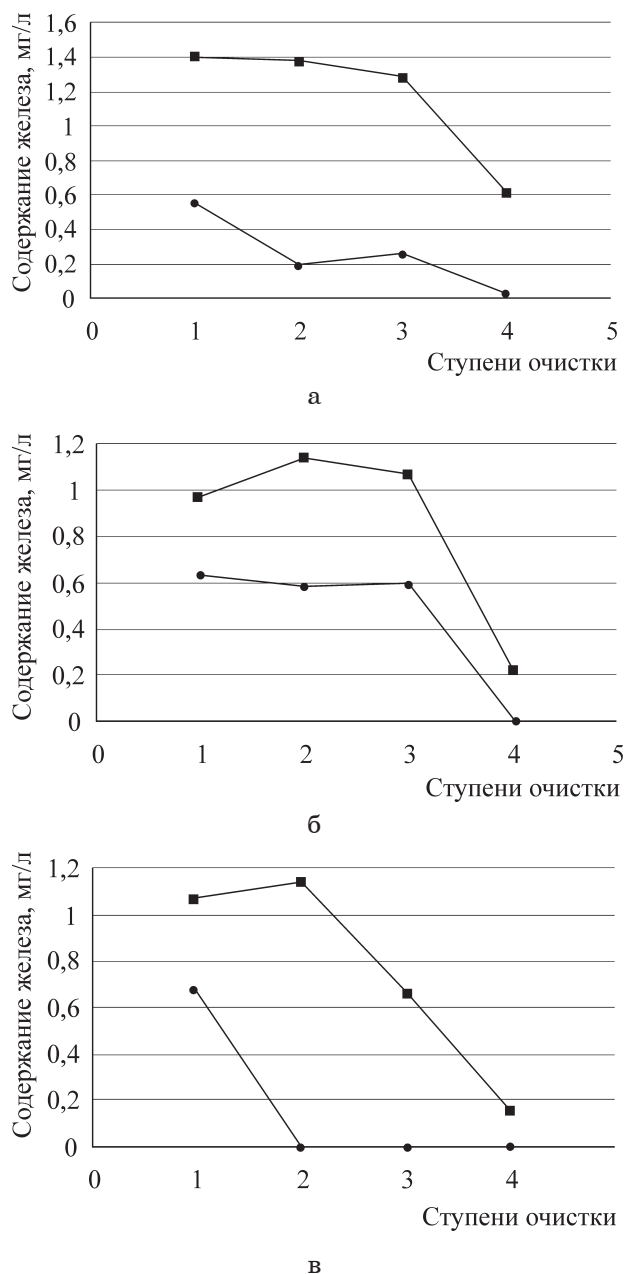


Рис. 3. Результаты эффективности очистки по железу на модельном растворе без хлоридов: а – первая серия эксперимента; в – вторая серия эксперимента; в – третья серия эксперимента; ● содержание железа двухвалентного; ■ содержание железа общего

отраслях народного хозяйства не только снижает расходы, но и уменьшает пагубное воздействие на атмосферу. Применение блока электрохимического окисления в системах комплексной водоочистки позволяет повысить их эффективность, а также снизить стоимость этих систем.

Результаты проведенного эксперимента показали следующее:

наблюдается линейная зависимость между силой тока в цепи электрохимической ступени и содержанием образующегося при работе установки хлора активного связанного (см. табл. 1). Оптимальный режим для электрохимической ступени: сила тока в цепи – 4 А при производительности фильтрующей установки 3 л/мин;

жесткость, щелочность и параметры гидрокарбонаты при работе установки практически не меняются, незначительно уменьшаются только после угольной ступени (см. табл. 2);

двухвалентное железо эффективно окисляется после электрохимической ступени, но в процессе прохождения модельного раствора через фильтр с электрической ступенью, вероятно, образуется достаточно устойчивый золь гидроксида железа (III); это подтверждается тем, что эффективность задержки железа общего в присутствии электричества меньше, чем без электричества (см. рис. 2). Для улучшения коагуляции и задержки мелкодисперсного гидроксида железа (III) целесообразно заменить картридж второй ступени (механическая ступень) на картридж с большей толщиной фильтрации (5 мкм);

при работе электрической ступени процесс окисления проходит практически сразу, и железо двухвалентное полностью переходит в трехвалентное состояние (см. рис. 3в).

1. **Кокоулин В. Н., Сторчевой В. Ф.** Системы комплексной водоочистки: материалы Международной научно-практической конференции «Роль мелиорации и водного хозяйства в реализации национальных проектов». – М.: ФГОУ ВПО МГУП, 2008. – С. 334–340.

2. **Разумовский Э. С., Медриш Г. Л., Казарян В. А.** Очистка и обеззараживание сточных вод малых населенных пунктов. – М.: Стройиздат, 1986. – 171 с.

3. **Яковлев С. В., Краснобородько И. Г., Рогов В. М.** Технология электрохимической очистки воды. – Л.: Стройиздат, 1987. – 312 с.

4. **Кокоулин В. Н., Сторчевой В. Ф.** Методы электрохимической очистки воды / Роль мелиорации в обеспечении продовольственной безопасности России: материалы Международной научно-практической конференции. – М.: ФГОУ ВПО МГУП, 2009. – С. 461–466.

5. ГОСТ Р 52407–2005. Вода питьевая. Методы определения жесткости. – М.: Стандартинформ, 2007. – 9 с.

6. ГОСТ 4011–1972 Вода питьевая. Методы измерения массовой концентрации общего железа. – М.: Стандартинформ, 2008. – 7 с.

Материал поступил в редакцию 15.04.10.

**Кокоулин Владимир Николаевич**, аспирант  
E-mail: 1576610@rambler.ru

**Сторчевой Владимир Федорович**, доктор технических наук, профессор, проректор по учебной работе

E-mail: V\_storchevoy@mail.ru