

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭЛЕКТРОЛИЗНЫХ ПРОЦЕССОВ В БЕЗРЕАГЕНТНОЙ ВОДООЧИСТКЕ: УДАЛЕНИЕ СЕРОВОДОРОДА, ОРГАНИЧЕСКОГО ЖЕЛЕЗА, СИНТЕТИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ

В. Н. Штепа, доктор технических наук

Полесский государственный университет, Республика Беларусь

Н. А. Заец, доктор технических наук

Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины

Д. Г. Алексеевский, доктор технических наук

Запорожский национальный университет Украины

E-mail: shns1981@gmail.com

Аннотация. *Использование электротехнологического оборудования относится к безреагентным методам и позволяет упростить схемы автоматизации сооружений удаления загрязнителей из водных растворов. В статье обоснованы подходы и структурные схемы блока безреагентной очистки воды на основе использования электролизных процессов. При исследованиях анализировались процессы окисления загрязнителей, когда при обработке применялся блок электрохимического воздействия на водные растворы. Для реализации соответствующего безреагентного метода удаления загрязнителей из водных растворов использовался диафрагменный электролизёр с неактивной мембранной объёмом 3,5 литра. Показано решение научно-практических задач: удаление сероводорода из воды со скважины перед подачей на технологические линии молокозавода; очистка сточной воды предприятия по производству желатиновой продукции от органического железа и сопутствующих поллютантов; редукция загрязнителей сточной воды предприятия косметологии, с ориентацией на деструктивное воздействие на синтетические поверхностно-активные вещества. Исходя из анализа результатов и режимов обработки трёх водных растворов, обоснована структура блока безреагентной электролизной обработки водных растворов.*

В результате экспериментальных исследований подтверждена перспективность электротехнологического оборудования. Безреагентный метод позволит упростить схемы автоматизации сооружений удаления загрязнителей из водных растворов – соответственно, увеличить надёжность таких компьютерно-интегрированных решений. Дальнейшие исследования целесообразно направить на обоснование, создание и параметризацию математических моделей комбинированных электротехнологических комплексов водоочистки.

Ключевые слова: *экологическая безопасность, электротехнологический комплекс, сточные воды, безреагентный метод, электролизные процессы*

Актуальность. Общим недостатком методов водоочистки является то, что необходимо контролировать в режиме реального времени десятки параметров качества воды и технологических процессов, а существуют и надёжно работают на промышленных объектах только единицы автоматизированных измерительных приборов [1]. При этом в блоках управления такого оборудования не учитывается возможность действия чрезвычайных ситуаций (ЧС) техногенного и природного происхождения [2], хотя для эффективного и рационального природопользования это необходимо.

Проанализировав выше приведённое, очевидно, что обоснование подходов к использованию максимально автоматизированных средств водоочистки, с проведением комплекса экспериментально-аналитических исследований, которые устранят недостатки традиционных подходов, в том числе при комбинированной работе – важная задача в контексте обеспечения экологической безопасности окружающей среды [3].

Анализ последних исследований и публикаций. Промышленно используемые в практике водоочистки технологические схемы можно классифицировать по следующим основным признакам: реагентные и безреагентные, по эффекту осветления, по числу технологических процессов и числу ступеней каждого из них, по характеру движения обрабатываемой воды.

Первая классификация, одна из наиболее важных, подразумевает, что [4]:

– реагентные методы (РМ) основаны на добавлении к воде различных химических (биологических) веществ, которые реализуют удаление из водных растворов загрязнителей.

– безреагентные методы (БМ) характеризуются отсутствием внесения в воду вспомогательных специальных средств и эффективно применяются для обесцвечивания, осветления, глубокой очистки от песка и ила, железа, солей кальция и магния, обеззараживания, для улучшения органолептических свойств воды. Единственное, что может применяться – электричество (электротехнологии).

Ключевыми преимуществами безреагентных методов являются [5]: эффективность, экологичность (не используются химические реагенты и не имеет

место сброс дополнительных вторичных отходов в окружающую среду), относительная простота, экономичность и возможность полной автоматизации при получении обратных связей по ряду контролируемых параметров.

Так, фильтрация основана на пропускании воды через фильтрующий элемент, на котором задерживаются твердые включения [1]. С помощью обратного осмоса можно проводить глубокую очистку. Обработываемый водный раствор проходит сквозь полупроницаемые мембраны, которые изготавливают из различных материалов (полиамида, ацетатцеллюлозы и других). Через микроскопически малые поры мембран (0,0001 микрон) проходят только молекулы воды и кислорода. Растворенные соли, органические соединения, микроорганизмы задерживаются.

Электродиализ [2] основан на удалении из воды солей под воздействием электрического тока специальными мембранами ионитового типа. Этот метод используют для опреснения соленых вод. Процесс производят в электролизёрах, состоящих, как минимум, из трех камер, отделенных друг от друга мембранами. На аноде выделяется кислород и образуется кислота. На катоде выделяется водород и образуется щелочь. По мере прохождения тока концентрация солей в средней камере уменьшается.

Электрофильтрация представляет большие возможности для очистки воды от наиболее устойчивых загрязнений, характеризующихся высокой дисперсностью и протяженным барьером сил отталкивания, крайне затрудняющих применение реагентных методов очистки [6]. Кроме того, как безреагентный метод, электрофильтрация предоставляет ценные возможности для получения водных растворов с минимальным количеством примесей, в том числе ионных.

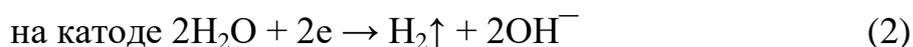
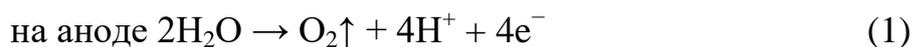
Метод электрокоагуляции основан на физико-химическом процессе соединения (коагуляции) частиц коллоидных систем при воздействии на них постоянным электрическим током [1]. С помощью стальных или алюминиевых анодов вода подвергается электролизу, в результате чего происходит электрохимическое растворение металлов, перевод их в коагулянты и удаление примесей [7].

По мнению авторов достаточно перспективным является использования электротехнологического оборудования, которое бы на основе окислительно-

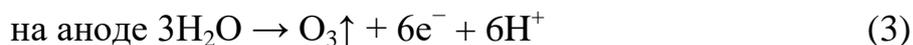
восстановительных реакций, протекающих в водной среде при электрохимическом воздействии на неё, получало необходимые реакционные продукты непосредственно из воды [8]. Такой подход относится к БМ и позволяет упростить схемы автоматизации сооружений удаления загрязнителей из водных растворов – соответственно, увеличить надёжность таких компьютерно-интегрированных решений.

Цель исследования – обоснование подходов и структурной схемы блока безреагентной очистки воды на основе использования электролизных процессов.

Материалы и методика исследования. При исследованиях анализировались процессы окисления загрязнителей, когда при обработке применялся блок электрохимического воздействия на водные растворы. Основными реакциями электролиза является образование кислорода O_2 и водорода H_2 , а также гидроксид иона OH^- :



При электролизе водных растворов также образуются озон O_3 и перекись водорода H_2O_2 :



В присутствии хлоридов при электролизе воды образуется растворённый хлор:



Растворённый хлор Cl_2 , реагируя с водой и гидроксид ионом, образует хлорноватистую кислоту $HClO$:



Разложение хлорноватистой кислоты $HClO$ в воде приводит к образованию гипохлорит иона:



То есть, из приведённых выше реакций (1) – (8) следует, что при электролизе воды образуется ряд сильных окислителей: кислород O_2 , озон O_3 , перекись водорода H_2O_2 , гипохлорит ион OCl^- .

Появление при электролизе воды OH -радикалов, H_2O_2 и O_3 приводит к образованию других сильных окислителей, таких как O_3^- , O_2^- , O^- , HO_2 , HO_3 , HO_4 .

Также в случае электролитического растворения анода, в результате окисления продуктов такой реакции, получают коагулянты [1].

Для реализации соответствующего БМ удаления загрязнителей из водных растворов использовался диафрагменный электролизёр с неактивной мембранной (анод и катод выполнены из электродного графита) объёмом 3,5 литра.

Решаемыми научно-практическими задачами были:

- удаление сероводорода (H_2S) из воды со скважины перед подачей на технологические линии молокозавода;
- очистка сточной воды предприятия по производству желатиновой продукции от органического железа и сопутствующих поллютантов;
- редукция загрязнителей сточной воды предприятия косметологии, с ориентацией на деструктивное воздействие на синтетические поверхностно-активные вещества (СПАВ).

При удалении сероводорода из воды со скважины сначала проводили электролизную обработку при энергозатратах не более 2,5 кВт·час при расходе 5 м³/час; потом водный раствор фильтровался через картриджный фильтр (фильтрующий элемент из пористого полипропилена).

Анализ эффективности обработки делался по трём количественным показателям: перманганатная окисляемость, концентрация железа общего, сухой остаток. Наличие сероводорода оценивалось органолептически по IV бальной шкале (отличительная черта наличия H_2S – запах «тухлых яиц»).

Показатели сточных вод предприятия по производству желатиновой продукции по многим показателям не соответствуют предельно-допустимым концентрациям (ПДК) (табл. 1).

Электролизная обработка при решении такой задачи нацелена на уменьшение трёх показателей качества водосброса: концентрация общего железа (обязательное доведение до ПДК); концентрация азота аммонийного; сухой остаток.

При очистке сточной воды предприятия косметологии ключевым загрязнителем, на который ориентировали воздействие электрохимических процессов, являлся СПАВ.

Структура электротехнологической лабораторной системы водоочистки создавалась на основе оценки значений двух показателей загрязнения: СПАВ и сухой остаток (табл. 2). Вода перед обработкой смешивалась в одинаковых пропорциях из разных смывов-проботборов (концентрации поллютантов зависят от производимого ассортимента).

1. Качество сточных вод предприятия по производству желатиновой продукции

№ п/п	Наименование показателя	Единица измерения	Установленные ПДК	Сточная вода
1	рН	ед. рН	6,5 – 8,5	12,19
2	Взвешенные вещества	мг/л	500,0	473,3
3	Жиры	мг/л	110,0	87,5
4	Хлориды	мг/л	1500,0	1333,8
5	Сульфаты	мг/л	400,0	76,4
6	Азот аммонийный	мг/л	35,0	53,5
7	Железо общее	мг/л	3,0	5,25
8	Сухой остаток	мг/л	4000,0	3857,8
9	АПАВ	мг/л	1,5	1,26
10	Фосфаты	мг/л	6,5	1,18
11	Химическое потребление кислорода (ХПК)	мгО ₂ /л	2500,0	1198,5
12	Биологическое потребление кислорода (БПК ₅)	мгО ₂ /л	1000,0	576

2. Концентрации загрязнителей в сточной воде по двум наиболее загрязнённым смывам (при концентрации хлоридов – 950 мг/л)

Показатели качества сточной воды	Пробоотбор № 1	Пробоотбор № 2	Усреднённые показатели
СПАВ, мг/л	4380	12900	8640
Сухой остаток, мг/л	9429	27105	18267

Исходя из столь высоких значений концентраций загрязнителей в сточных водах предприятия косметологии, исследования состояли из трёх технологических блоков (рис. 1).



Рис. 1. Структура воздействия электролизно-сгенерированных окислителей и коагулянтов на поллютанты при реализации БМ водоочистки на исследуемых объектах

Блок 1 (процессы: только аэрация)

Вода изначально аэрировалась с помощью компрессора на протяжении 60 минут.

Блок 2 (процессы: аэрация + электрохимическое окисление + электрокоагуляция + ультразвуковая интенсификация) – 80 минут обработки

Аэрация была сокращена до 20 минут. Дополнительно подключены электрохимическое окисление в электролизёре, электрофлотокоагулятор и ультразвуковой интенсификатор с УФ-облучением. Вода обрабатывалась в непрерывном байпасном контуре. Сепарация продуктов деструкции проходила на фильтре из нетканого полотна. Потом вода пропусклась через электрофлотокоагулятор для электротехнологического насыщения реагентом (солями железа).

Блок 3 (процессы: аэрация + электрохимическое окисление + электрокоагуляция + ультразвуковая интенсификация) – 210 минут обработки.

Процессы в Блоке 3 соответствует Блоку 2 только было увеличено время воздействия до 240 минут (пропорционально увеличено время на электротехнологических агрегатах).

Соответственно, на всех трёх промышленных объектах (молокозавод, производство желатиновых изделий, косметология) БМ на основе электролизных процессов выполнял задачи генерации окислителей и коагулянтов, в том числе и на основе использования ингридиентов, которые находились в обрабатываемых водных растворах.

Результаты исследований и их обсуждение. По результатам удаление сероводорода из воды со скважины перед подачей на технологические линии молокозавода (табл. 3):

- в воде до обработки отчётливо выраженный запах сероводорода – IV балла (запах, обращающий на себя внимание, может заставить воздержаться от питья);
- в воде после обработки запах сероводорода отсутствует полностью – 0 баллов (никакого запаха).

3. Результаты элеткролизной обработки воды со скважины

Проба	Окисляемость перманганатная, мг/л	Железо общее, мг/л	Сухой остаток, мг/л
Исходная вода (из скважины до обработки)	6,6	0,081	1010
Обработанная вода (после электролиза и фильтрации)	4,7	0,016	1000

Основываясь на полученных результатах можно сделать выводы по использованию БМ электрохимической водоподготовки:

1. Запах сероводорода после обработки исчезает полностью, т.е. вода от него очищается.

2. Как следует из результатов исследований, степень очистки от общего железа составляет 80 %.

3. О снижении концентрации железа и сероводорода в пробе также свидетельствует снижение перманганатной окисляемости на 29 %.

4. Практически неизменное содержание сухого вещества в пробе до и после обработки подтверждает избирательность проводимой обработки, направленной на снижение содержания железа и сероводорода.

5. С учётом режима минимальной энергозатратности, применённой при электролизной обработке, имеется значительный потенциал улучшения эффективности водоподготовки, увеличив потребляемую мощность.

При очистке сточной воды предприятия по производству желатиновой продукции от органического железа и сопутствующих поллютантов зафиксировано, что полученные окислители активно действуют на органические загрязнители и приводят к их деструкции, в том числе и органического железа (рис. 2). Энергозатраты составили порядка 3,3 кВт·час при расходе водного раствора 4 м³/час.

После оценки результатов обработки таких сточных вод можно сделать выводы о применимости БМ на основе электролизных процессов к удалению органического железа из сбросов предприятия, при сопутствующем уменьшении концентраций ряда других загрязнителей, в том числе азота аммонийного и сухого остатка. Отдельно необходимо отметить:

- полное устранение характерного крайне неприятного запаха водного раствора («гниения органических отходов»), который был до прохождения электролиза;
- нейтрализация раствора до значений рН 7,9 – 8,1.

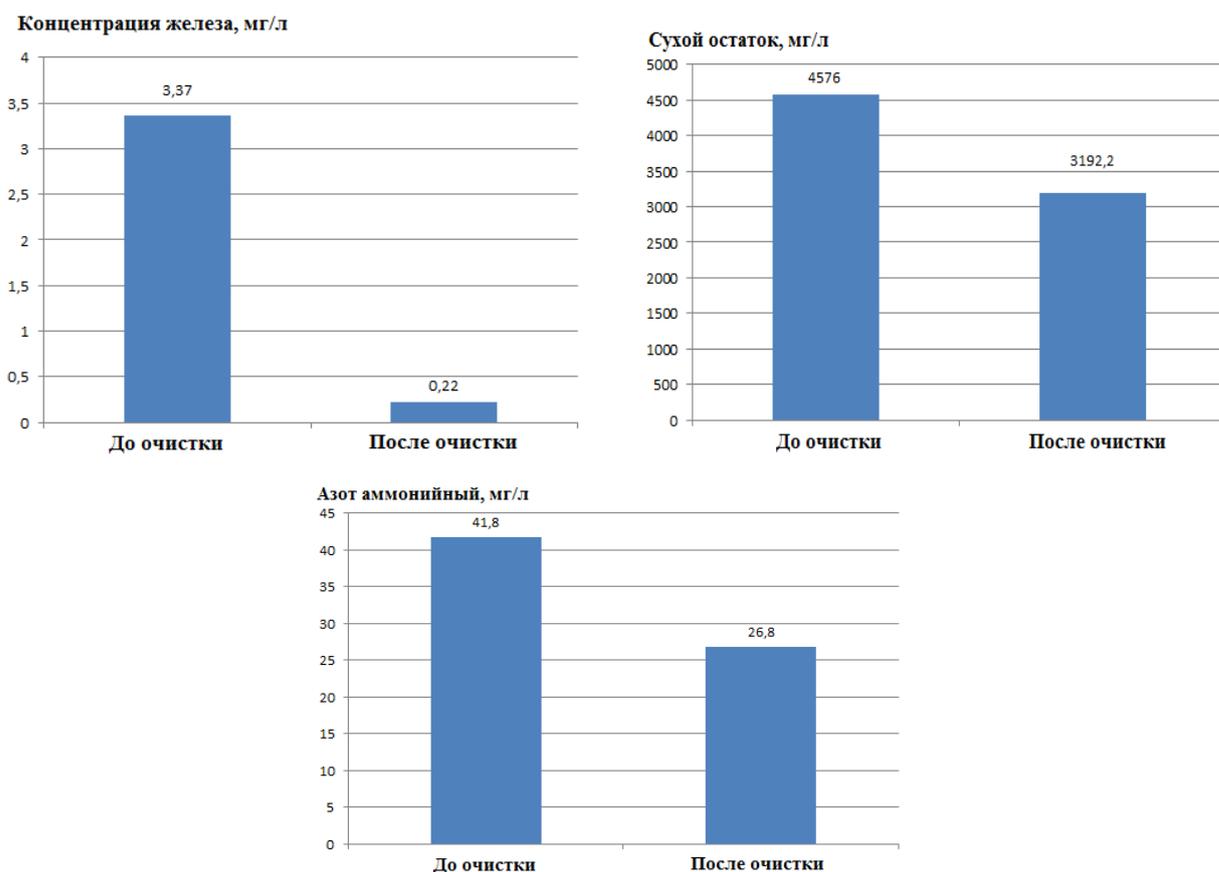


Рис. 2. Результаты очистки сточных вод производства желатиновой продукции БМ на основе электролизных процессов

Очистка сточных вод предприятия косметологии является более сложным процессом, что вызвано необходимостью комбинирования электролизного окисления и электрокоагуляции. Внешний вид воды после обработки и результаты анализа представлены на рис. 3 и таблице 4.

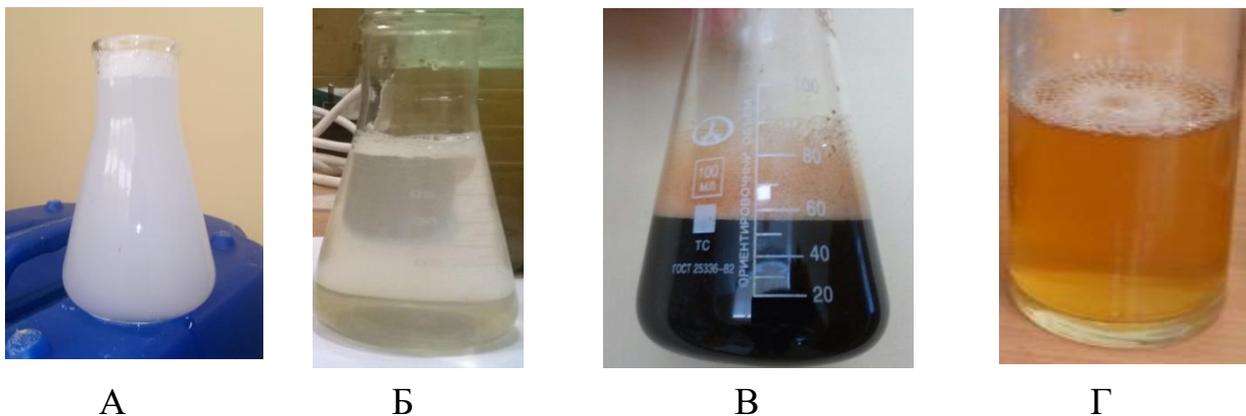


Рис. 3. Внешний вид сточной воды производства косметологии:

А – исходная воды, Б – после обработки в режиме Блока 1, В – после обработки в режиме Блока 2, Г – после обработки в режиме Блока 3

4. Результаты предварительной очистки

Блок обработки	Концентрация СПАВ, мг/л	Сухой остаток, мг/л
Блок 1 (аэрация 60 минут)	7623	15148
Блок 2 (аэрация + электрохимическое окисление + электрофлотокоагуляция + интенсификация) - 60 минут	3202	15580
Блок 2 (аэрация + электрохимическое окисление + электрофлотокоагуляция + интенсификация) - 210 минут	657	6324

Эффект очистки представлен на рисунке 4.

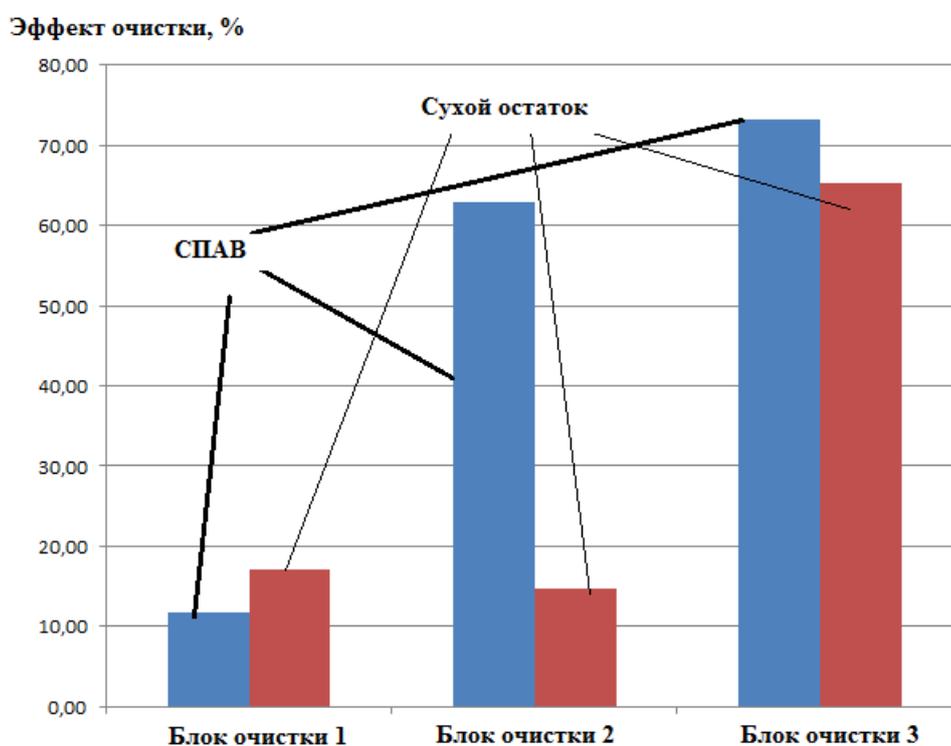


Рис. 4. Редукция загрязнителей разными Блоками

(снижение эффекта очистки Блоком 2 по параметру «Сухой остаток»

объясняется переходным этапом процесса коагуляции: генерация солей железа превышает скорость их окисления)

На основе результатов очистки (см. табл. 4 и рис. 4) были рассчитаны режимы работы водоочистительного оборудования и создан непрерывный контур очистки являющейся физической моделью очистных сооружений.

Оборудование Блоков 2 и 3 было дополнено пенополистирольным фильтром – перед подачей на который сточная вода проходила дополнительную электрокоагуляцию. Обработка происходила на протяжении 6 часов, что значительно повысило эффективность (рис. 5). Энергозатраты составили порядка 5,6 кВт·час при расходе водного раствора 3,1 м³/час.

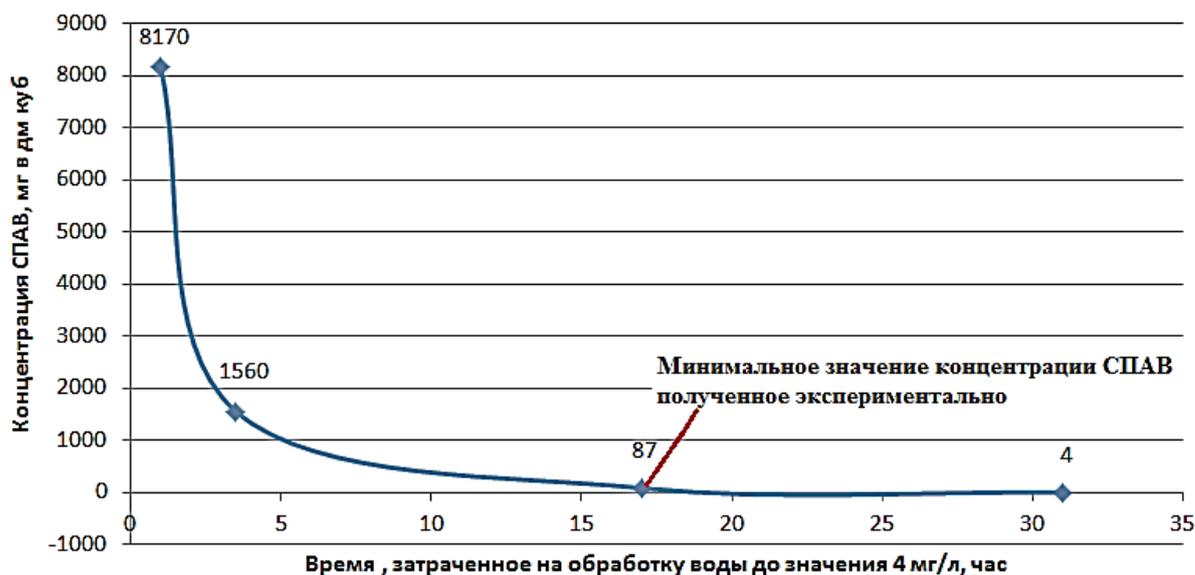


Рис. 5. Время очистки сточной воды от СПАВ предприятия косметологии до значения ПДК в 4 мг/л

Максимальный эффект (см. рис. 5) был достигнут на уровне концентрации СПАВ в 87 мг/л (значение редукации – 98,9 %). Для оценки времени обработки для выхода на значение концентрации СПАВ требуемое нормативными документами выполнили экстраполяцию (см. рис. 5), что носит качественную оценку такой водообработки.

Исходя из анализа результатов и режимов обработки трёх водных растворов, обоснована структура блока безреагентной электролизной обработки водных растворов (рис. 6).

Предлагаемый БМ водоочистки на основе электролизных процессов с точки зрения решения задач автоматизации приемлем [9], поскольку необходимо контролировать параметры процессов, для которых существуют промышленные датчики, способные работать в агрессивных средах в режиме реального времени:

расхода, температуры, рН, силы тока. Обоснованный блок (см. рис. 6) можно использовать как отдельно, так и интегрируя в единый комплекс с другими технологическими блоками на основе технико-экономических показателей [10].

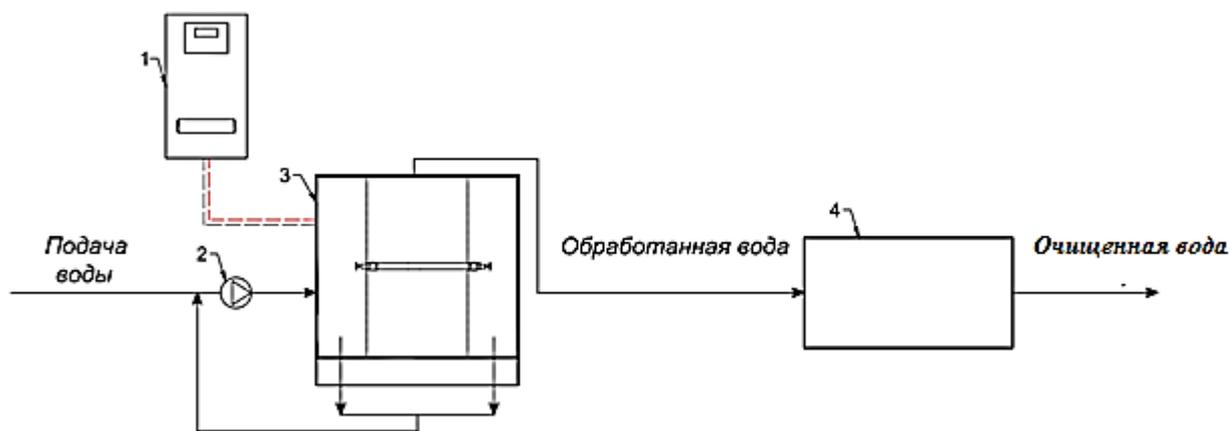


Рис. 6. Упрощённая структура блока безреагентной очистки промышленных сточных вод на основе электролизных процессов с одним электротехническим модулем:

- 1 – источник постоянного тока; 2 – электронасосный агрегат; 3 – деаэрактор;
- 4 – блок разделение полученных после деструкции взвешенных частиц

Выводы и перспективы. В результате экспериментальных исследований подтверждена перспективность электротехнологического оборудования, которое на основе окислительно-восстановительных реакций, протекающих в водной среде при электролизных процессах, синтезирует необходимые реакционные продукты непосредственно из воды. Такой БМ позволит упростить схемы автоматизации сооружений удаления загрязнителей из водных растворов – соответственно, увеличить надёжность таких компьютерно-интегрированных решений.

Результаты очистки водных растворов на основе электролизных БМ демонстрируют приемлемый эффект: при деструкции сероводорода (H_2S) из воды со скважины перед подачей на технологические линии молокозавода редукция 100 % (полное удаления согласно органолептической оценки); при очистке сточной воды предприятия по производству желатиновой продукции от органического железа

редукція 93,5 %; при удаленні СПАВ из водосбросов косметологической фабрики редукція 98,9%.

Дальнейшие исследования целесообразно направить на обоснование, создание и параметризацию математических моделей комбинированных электротехнологических комплексов водоочистки.

Список использованных источников

1. Мазоренко Д. І., Цапко В. Г., Гончаров Ф. І. Інженерна екологія сільськогосподарського виробництва. Київ: Знання, 2006. 376 с.
2. Гончаров Ф. І., Штепа В. М. Методологія підвищення екологічної безпеки об'єктів агропромислової та харчової індустрій. Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України. Дослідницьке: УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого. 2012. №16 (30). Т. 2. С. 97-104.
3. Kawamura S. Integrated design and operation of water treatment facilities, 2nd ed. New York: John Wiley, 2000.
4. Evans B. Combining Wetlands with Wastewater Treatment. The North Coast Journal Weekly. 2013. URL: <http://www.northcoastjournal.com/humboldt/combining-wetlands-with-wastewater-treatment/Content?oid=2317919>
5. Абрамов Н.Н. Водоснабжение. Учебник для вузов. Изд. 2-е. Москва: Стройиздат, 1974. 480 с.
6. Устройство для интенсификации осаждения взвешенных частиц жидкости: патент на полезную модель: RUS 170333 30.05. 2016.
7. Song Z., Williams C., Edyvean R. Treatment of tannery wastewater by chemical coagulation. Desalination, 2004. 164. 249–259.
8. Штепа В. М. Обґрунтування алгоритму експериментально-аналітичних досліджень режимів електротехнічної очистки стічних вод агропромислових об'єктів з метою побудови енергоефективних систем управління. Енергетика і автоматика. 2012. №11. URL:http://nbuv.gov.ua/j-pdf/eia_2014_2_10.pdf. (дата звернення: 10.09.2019).
9. Штепа В. М. Обґрунтування архітектури системи управління комплексними методами очистки стічних вод промислових об'єктів. Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. 2014. № 154. С. 48-50.
10. Вертай С. П., Штепа В. Н. Обоснование структуры и заданий системы поддержки принятия решений обобщённой оценки перспективности инновационных технологий. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія : Техніка та енергетика АПК. 2016. Вип. 240. С. 86-93.

References

1. Mazorenko, D. I., Tsapko, V. G., Goncharov, F. I. (2006). *Inzhenerna ekolohiya sil's'kohospodars'koho vyrobnytstva* [Engineering ecology of agricultural production]. Kyiv: Knowledge, 376.
2. Goncharov, F. Í., Shtepa V. M. (2012). *Metodologíya pídvischennya ekologicheskoy bezpeki ob'êktiv agropromislovoy ta kharchovoï industriý.* [Methodology for advancing environmental security of agro-industrial and food industries]. Technical and technological aspects of development and testing of new technologies and technologies for the Ukrainian government. *Doslidnitske: UkrNDIPVT im. L. Pogorilogo*, 16 (30), T. 2, 97-104.
3. Kawamura, S. (2000). *Integrated design and operation of water treatment facilities*, 2nd ed. New York: John Wiley.
4. Evans, B. (2013). *Combining Wetlands with Wastewater Treatment*. The North Coast Journal Weekly. URL: <http://www.northcoastjournal.com/humboldt/combining-wetlands-with-wastewater-treatment/Content?oid=2317919>
5. Abramov, N. N. (1974). *Vodosnabzheniye* [Water supply]. Textbook for universities. Ed. 2nd. Moscow: Stroyizdat, 480.
6. Kalyakin, A. M., Chesnokova, E. V., Semenov, A. P. (2016). *Device for intensifying the sedimentation of suspended liquid particles: utility model patent: RUS 170333 30.05.*
7. Song, Z., Williams, C., Edyvean, R. (2004). *Ochistka stochnykh vod kozhevennogo zavoda metodom khimicheskoy koagulyatsii* [Treatment of tannery wastewater by chemical coagulation]. *Desalination*. 164. 249–259.
8. Shtepa, V. M. (2012). *Obhruntuvannya alhorytmu eksperymental'no-analitychnykh doslidzhen' rezhymiv elektrotekhnichnoyi ochystky stichnykh vod ahropromyslovykh ob"yektiv z metoyu pobudovy enerhoefektyvnykh system upravlinnya* [Substantiation of the algorithm of experimental-analytical researches of modes of electrotechnical sewage treatment of agro-industrial objects for the purpose of construction of energy-efficient control systems]. *Energy and automation*, 11. URL: http://nbuv.gov.ua/j-pdf/eia_2014_2_10.pdf.
9. Shtepa, V. M. (2014). *Obhruntuvannya arkhitektury systemy upravlinnya kompleksnykh metodamy ochystky stichnykh vod promyslovykh ob"yektiv* [Substantiation of the architecture of the control system of complex methods of wastewater treatment of industrial facilities]. *Bulletin of the Petro Vasylenko Kharkiv National Technical University of Agriculture*, 154, 48–50.
10. Vertai, S. P., Stepa, V. N. (2016). *Obosnovaniye struktury i zadaniy systemy podderzhki prinyatiya resheniy obobshchonnoy otsenki perspektivnosti innovatsionnykh tekhnologiy* [Justification of the structure and tasks of the decision support system for generalized assessment of the prospects of innovative technologies]. *Scientific Bulletin of the National University of Bioresources and Environmental Management of Ukraine. Series: APC Engineering and Energy*, 240, 86-93.

ВИКОРИСТАННЯ ЕЛЕКТРОЛІЗНИХ ПРОЦЕСІВ У БЕЗРЕАГЕНТНОМУ ВОДООЧИЩЕННІ: ВИДАЛЕННЯ СІРКОВОДНЮ, ОРГАНІЧНОГО ЗАЛІЗА, СИНТЕТИЧНИХ ПОВЕРХНЕВО-АКТИВНИХ РЕЧОВИН

В. М. Штепа, Н. А. Заєць, Д. Г. Олексійвський

Анотація. Використання електротехнологічного обладнання відноситься до безреагентних методів та дозволяє спростити схеми автоматизації споруд видалення забруднювачів з водних розчинів. У статті обґрунтовано підходи та структурні схеми блоку безреагентного очищення води на основі використання електролізних процесів. При дослідженні аналізувалися процеси окислення забруднювачів, коли при обробці застосовувався блок електрохімічного впливу на водні розчини. Для реалізації відповідного безреагентного методу видалення забруднювачів з водних розчинів використовувався діафрагмовий електролізер з неактивною мембраною об'ємом 3,5 літри. Показано рішення науково-практичних задач: видалення сірководню з води зі свердловини перед подачею на технологічні лінії молокозаводу; очищення стічної води підприємства з виробництва желатинової продукції від органічного заліза та супутніх поліютантів; редукція забруднювачів стічної води підприємства косметології з орієнтацією на деструктивний вплив на синтетичні поверхнево-активні речовини. Виходячи з аналізу результатів і режимів обробки трьох водних розчинів, обґрунтована структура блоку безреагентної електролізної обробки водних розчинів.

У результаті експериментальних досліджень підтверджено перспективність електротехнологічного обладнання. Безреагентний метод дозволить спростити схеми автоматизації споруд видалення забруднювачів з водних розчинів - відповідно, збільшити надійність таких комп'ютерно-інтегрованих рішень. Подальші дослідження доцільно спрямувати на обґрунтування, створення та параметризацію математичних моделей комбінованих електротехнологічних комплексів водоочищення.

Ключові слова: *екологічна безпека, електротехнологічний комплекс, стічні води, безреагентний метод, електролізні процеси*

THE USE OF ELECTROLYSIS PROCESSES IN REAGENT-FREE WATER TREATMENT: REMOVAL OF HYDROGEN SULFUR, ORGANIC IRON, SYNTHETIC SURFACE-ACTIVE SUBSTANCES

V. Shtepa, N. Zaiets, D. Alekseevskiy

Abstract. *The use of electrotechnical equipment refers to reagent-free methods and makes it possible to simplify the automation schemes for facilities for removing pollutants from aqueous solutions. The article substantiates the approaches and structural diagrams of a reagent-free water purification unit based on the use of electrolysis processes. During the research, the processes of oxidation of pollutants were analyzed when a block of electrochemical action on aqueous solutions was used during processing. A diaphragm cell with an inactive membrane volume of 3.5 liters was used to implement the appropriate reagent-free method for removing pollutants from aqueous solutions. The solution of scientific and practical problems is shown: removal of hydrogen sulfide from water from a*

well before feeding it to the technological lines of a dairy plant; purification of waste water from an enterprise for the production of gelatinous products from organic iron and related pollutants; reduction of waste water pollutants of a cosmetology enterprise, with a focus on destructive effects on synthetic surfactants. Based on the analysis of the results and treatment modes of three aqueous solutions, the structure of the block of reagent-free electrolysis treatment of aqueous solutions is substantiated.

As a result of experimental studies, the prospects of electrical equipment have been confirmed. The reagent-free method will simplify the automation schemes for facilities for removing pollutants from aqueous solutions - accordingly, increase the reliability of such computer-integrated solutions. Further research should be directed to the substantiation, creation and parameterization of mathematical models of combined electrotechnological water treatment complexes.

Key words: *environmental safety, electrotechnological complex, waste water, reagent-free method, electrolysis processes*