

УДАЛЕНИЕ ГАЗОВ И ОБЕЗЖЕЛЕЗИВАНИЕ ПРИРОДНЫХ ВОД МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОКОАГУЛЯЦИИ

Урядникова И. В. (Одесский национальный политехнический университет, г. Одесса)

Physical and electrochemical researches on deoxygenation of natural water in an electrocoagulator were carried out simultaneously by methods of bubbling of an air through a layer of a liquid. It is established, that at rise in temperature the efficiency of deoxygenation sharply grows, and at $\text{pH} > 8,5$ there comes a process of sharp reduction of the residual concentration of iron in the water, accompanying with intensive formation of yellowbrown flakes.

В теплосиловом хозяйстве промышленных предприятий эксплуатируется огромное количество водогрейных и паровых котлов низкого давления, применяемых для выработки горячей воды и пара для технологических нужд. От надежности и эффективности работы котельного оборудования во многом зависит количество и качество выпускаемой предприятиями продукции.

Большое влияние на надежность эксплуатации котлов оказывают также растворимые в воде газы (кислород, свободная углекислота), которые разрушают металл котельных агрегатов, теплопотребляющей и теплообменной аппаратуры и трубопроводов.

Для предотвращения процессов, нарушающих надежность и эффективность работы котельных агрегатов и установок, производят соответствующую химическую подготовку природной воды. Наряду с удалением ионов жесткости из воды согласно нормативных требований для подпиточной воды котлоагрегатов необходимо удалять содержащиеся в ней агрессивные газы CO_2 и O_2 . Даже незначительное их содержание в умягченной воде вызывает коррозию труб и оборудования /1/.

Особенно нежелательно наличие O_2 в питательной воде паровых котлов, тепловых сетей и систем горячего водоснабжения, так как с повышением температуры агрессивное воздействие растворенного в

воде кислорода значительно возрастает.

Кислород присутствует в природной воде в результате растворения при контакте воды с атмосферным воздухом, свободная углекислота (CO_2) образуется в результате разложения гидрокарбонатов в процессе электрохимического умягчения и обезжелезивания подземных вод.

Одним из перспективных методов реализации комплексной подготовки природной и технической воды для котлоагрегатов является электрохимический, в частности, метод электрокоагуляции [2, 3].

Обескислороживание проводили на установке, включающей сборник сточной воды, центробежный насос, ротаметр для регулирования расхода поступающей жидкости и электрокоагулятор, выполненный из оргстекла и состоящий из четырех камер: входной камеры; электродной, снабженной системой плоских электродов, выполненных из различных материалов (Ст3, Х18Н9Т, титан и др.); электрокоагуляционной камеры; отстойной камеры, разделенной на две зоны цилиндрическим стаканом с конической крышкой для улавливания электролизных газов. Входная камера снабжена двумя патрубками для ввода очищаемой жидкости и окислительного агента (или воздуха). В стакане имеется патрубок для ввода щелочного агента из капельной воронки.

В состав установки входит сборник для слива осадка из конического днища камеры, фильтр с воронкой и сборник очищенной воды.

Электрическая часть экспериментальной установки состоит из источника постоянного тока ВСА-5К, конденсаторного фильтра и амперметра.

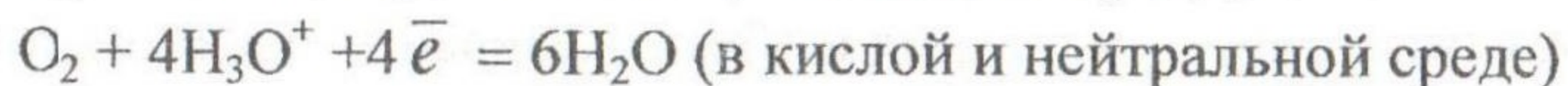
Экспериментальные исследования по электрохимическому умягчению природных вод проводились на природных водах рек Днепр, Северский Донец, а также артезианских скважин ТЭЦ г.г. Рубежное, Лисичанск, Северодонецк. Качественный состав природных вод приведен в таблицах 1 и 2.

Обескислороживание воды в электрокоагуляторе производили одновременно физическим и электрохимическим методами путем барботирования воздуха через слой жидкости, при этом происходит снижение парциального давления O_2 на поверхности воды и удаление CO_2 , так как парциальное давление CO_2 в атмосферном близко к нулю. Таким образом удаляется свободный CO_2 и O_2 . Одновременно происходит уменьшение растворимости O_2 в воде при ее нагревании до 30-35°C. Удаление O_2 и CO_2 производится одновременно с электролизными газами отсасыванием через эжектор в атмосферу.

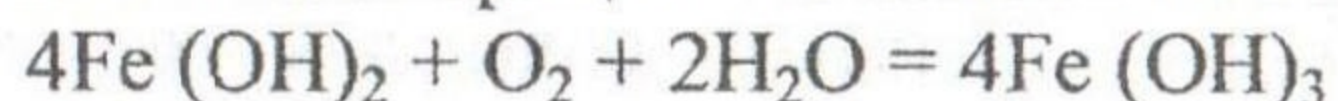
Полное обескислороживание воды происходит в результате катодного восстановления кислорода и окисления им продуктов электролиза

/4 – 6/.

Катодный процесс кислородной деполяризации на железном катоде:



сопровождается химическим процессом окисления Fe^{2+} в Fe^{3+}



На рис. 1 приведены зависимости содержания кислорода в природной воде при контакте с воздухом (кривая 1), а также остаточное содержание O_2 в умягченной воде после ее электрохимической обработки.

В результате исследований показано, что при повышении температуры эффективность обескислороживания резко возрастает: при температуре 20°C остаточная концентрация O_2 в воде составляет – 0,03 мг/кг, при 60°C – отсутствует. Увеличение плотности тока и дозы железного коагулянта, а также перемешивание жидкости способствует повышению эффективности электрохимического обескислороживания.

Проведены исследования по обескислороживанию природной воды с содержанием железа (в пересчете на Fe^{3+}) 10-15 мг/кг. Железо в природных водах находится в виде ионов Fe^{2+} , Fe^{3+} , а также в виде органических и неорганических соединений (коллоидов и взвесей). Частичное обезжелезивание воды осуществляется окислением кислородом воздуха в процессе продувки вплоть до образования $\text{Fe}(\text{OH})_3$. Более полное удаление железа из воды происходит при электрокоагуляции в результате интенсивной адсорбции ионов железа на хлопьях $\text{Fe}(\text{OH})_3$. Оптимальный эффект удаления ионов железа из воды наблюдается при $\text{pH} > 7$. На эффект обезжелезивания оказывают влияние pH раствора, температура, исходная концентрация железа, плотность тока и гидродинамические факторы (скорость восходящего потока воды, перемешивание и др.).

Установлено, что при $\text{pH} > 8,5$ наступает процесс резкого уменьшения остаточной концентрации железа в воде, сопровождающееся интенсивным образованием желтобурых хлопьев. При $\text{pH} < 8,5$ остаточная концентрация железа объясняется ухудшением процесса коагуляции либо замедлением процесса окисления Fe^{2+} в Fe^{3+} .

Как известно, в свободном объеме воды железо Fe^{2+} окисляется очень медленно, а адсорбированное на твердой поверхности гидроксида металла – быстро. Следовательно, свежесформированные частицы $\text{Fe}(\text{OH})_3$ являются не только сорбентом, но и катализатором процесса.

Поскольку $\text{Fe}(\text{OH})_3$ активно сорбирует кремниевую кислоту H_2SiO_3 , активность его к сорбированию Fe^{2+} снижается.

Таблица 1

Качественный состав природных вод

Наименование показателей	Единица измерения	Реки Днепр г. Днепро- дзержинск	Реки Северский Донец
Жесткость общая	мг-экв/кг	1,6-4,5	8,0
Жесткость карбонатная	мг-экв/кг	1,4-4,2	4,5
Щелочность общая	мг-экв/кг	1,4-4,2	4,5
Щелочность по фенолфта- леину	мг-экв/кг	0	0
Окисляемость перманга- натная	мг O_2 /кг	8-12	10
Содержание взвешенных веществ	мг/кг	10-20	23,8
Сухой остаток	мг/кг	260-470	1026
Хлориды Cl^-	мг/кг	15-20	219
Сульфаты SO_4^{2-}	мг/кг	80-90	217
Содержание Fe^{3+}	мг/кг	0,2-0,3	0,08
Водородный показатель	ед.	8,0-8,2	7,6
Механические примеси	мг/кг	20-30	18-25
Нитраты	мг/кг	отс.	2,53

Таблица 2

Качественный состав артезианских вод

Наименование показателей	Единица измерения	Скважина ТЭЦ-2 г. Рубежное	Скважина НПС г. Лисичанск
1	2	3	4
Жесткость общая	мг-экв/кг	8,5-11	28,4
Щелочность общая	мг-экв/кг	3-4,2	5,0
Окисляемость перманга- натная	мг O_2 /кг	6-10	-
Содержание взвешенных веществ	мг/кг	16,2	50
Сухой остаток	мг/кг	1050-1300	2500

1	2	3	4
Хлориды Cl^-	мг/кг	170-200	780
Сульфаты SO_4^{2-}	мг/кг	200-250	410
Нитриты NO_2^-	мг/кг	0,2-0,6	0,15
Нитраты NO_3^-	мг/кг	40-60	0,02
Содержание Fe^{3+}	мг/кг	0,5-0,6	0,8-1,19
Водородный показатель	ед.	7,8	6,7-7,0

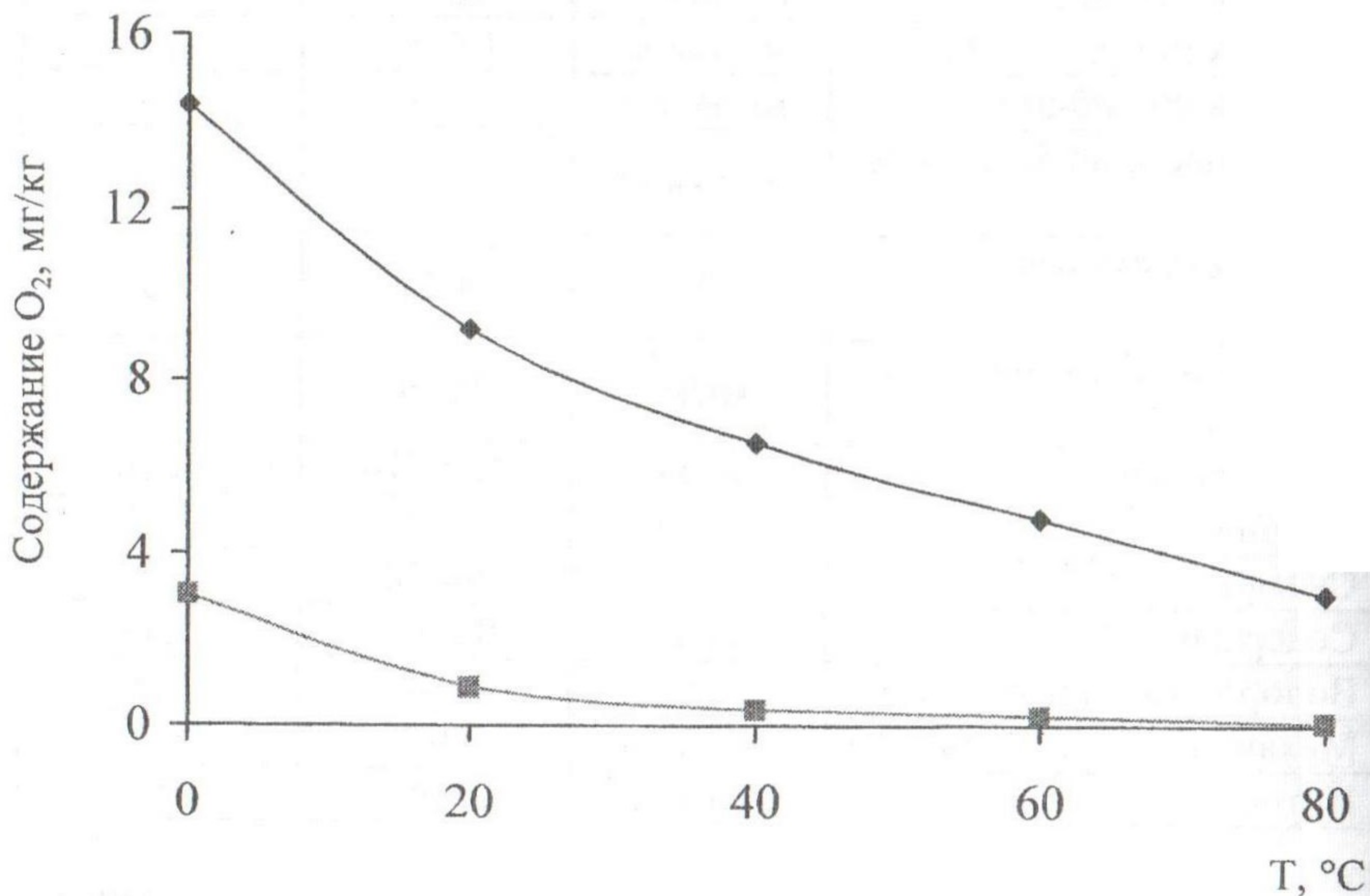
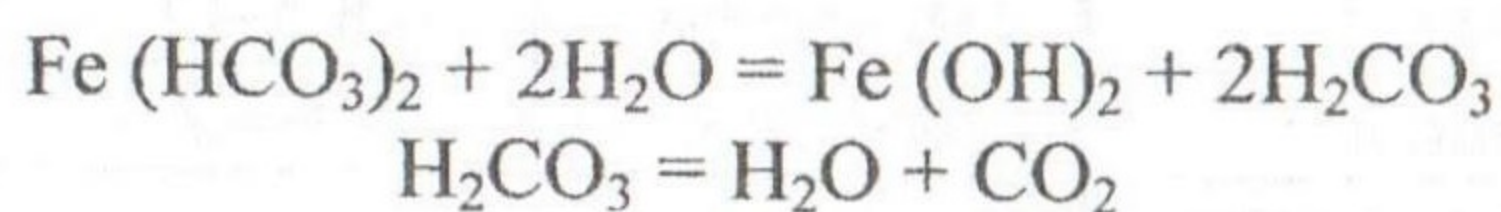


Рис. 1. Влияние температуры на содержание кислорода в воде: 1 – исходное содержание O_2 в воде; 2 – после электрообработки воды.

Продувкой воздуха из артезианской воды удаляется гидрокарбонат железа, являющийся непрочным, легко гидролизующимся в воде соединением:



При повышении температуры воды от 10 до 40°C наблюдается улучшение процесса обезжелезивания. Дальнейшее повышение t приводит к некоторому снижению эффекта, что может быть объяснено уменьшением растворимости кислорода в предварительно умягченной воде.

Влияние плотности тока на содержание остаточного железа в воде неоднозначно (рис. 2). Остаточное содержание железа в воде в пересчете на Fe^{3+} не превышает установленных норм для подпиточной воды водогрейных котлов и составляет 0,1-0,05 мг/кг.

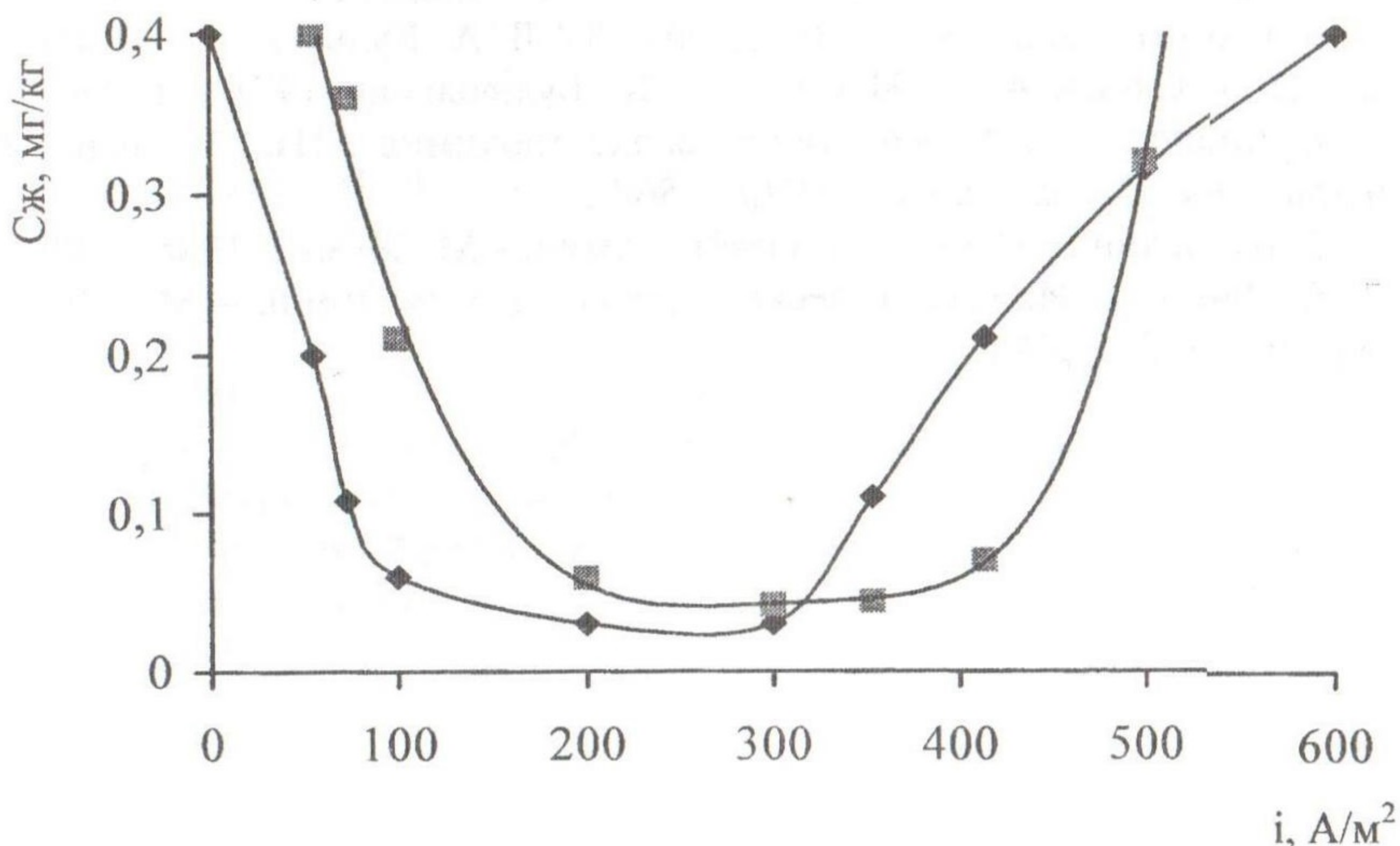


Рис. 2. Зависимость остаточного содержания железа в воде от плотности тока:

1 – без окислителя; 2 – с введением окислителя.

На основе проведенных исследований сделаны следующие выводы:

1. Удаление агрессивных газов O_2 и CO_2 из природных вод в электрокоагуляторе осуществляется комплексным методом, включающим уменьшение растворимости O_2 в воде при нагревании, отдувку воздухом и отсасывание электролизных газов и CO_2 через эжектор в атмосферу. Полное обескислороживание вод происходит в результате катодного восстановления O_2 и окисления им продуктов электролиза.

2. Установлено, что обезжелезивание природной воды с содержанием железа не более 10 мг/кг осуществляется окислением кислородом, растворенным в воде, в также в результате интенсивной адсорбции ионов железа на хлопьях $Fe(OH)_3$.

Результатом исследований явилась разработка комплексного электрохимического метода и технологии очистки воды для систем теплоэнергетики.

Литература

1. Электрохимия в процессах очистки воды / Л. А. Кульский, В. Д. Гребенюк, О. С. Савлук. – К.: Техніка, 1987. – 220 с.
2. Яковлев С. В., Краснобородько И. Г., Рогов В. М. Технологии электрохимической очистки воды. – Л.: Стройиздат, 1987. – 312 с.
3. Очистка воды электрокоагуляцией / Л. А. Кульский, П. П. Строкач, В. А. Слипченко, Е. И. Сайгак. – К.: Будівельник, 1978. – 112 с.
4. Антропов Л. И. Теоретическая электрохимия. / Изд. 3-е, перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 1975. – 568 с.
5. Багоцкий В. С. Основы электрохимии. – М.: Химия, 1988. – 400 с.
6. Левин А. И. Теоретические основы электрохимии. – М.: Металлургия, 1972. – 544 с.