

Яловая Н.П., Строкач П.П.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ, ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ И ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ПРОЦЕСС ОБЕСКИСЛОРОЖИВАНИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД

Современные технологические процессы во многих отраслях производства требуют использования воды с низким содержанием кислорода. Так как растворенный в воде кислород проявляет агрессивные коррозионные свойства, его удаляют из воды, применяя для этого физические или химические методы. При использовании физических методов кислород удаляют нагревом воды либо снижают его парциальное давление на ее поверхности. Химические методы основаны на введении в воду восстановителей или фильтровании через ионообменные смолы [1].

Обескислороживание воды существующими методами требует применения сложных дегазирующих установок, основанных на вакуумировании или кипячении воды, использования громоздкого реактивного хозяйства, дорогостоящих ионообменных материалов и реагентов.

Эффективное обескислороживание воды может быть достигнуто электрохимическим методом с применением растворимых алюминиевых или железных электродов. Он основан на катодном восстановлении кислорода и окислении веществ, выделяющихся при анодном растворении металлов.

При использовании алюминиево-железных электродов электрохимическое обескислороживание объясняется следующими процессами.

На катодно поляризованном железном электроде происходит:

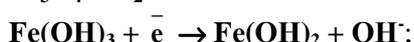
- деполяризация мигрирующими из раствора ионами, например:



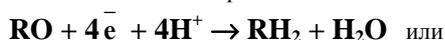
- деполяризация нейтральными молекулами, например:



- восстановление нерастворимых пленок, например, оксидов:



- восстановление органических соединений, например:



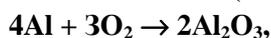
где **R** - радикал или органическая молекула.

В природной воде наиболее вероятными катодными реакциями являются водородная и кислородная деполяризации.

Анодный процесс чаще сопровождается электрохимическим растворением анода:

$\text{Al}_{\text{мет}} - 3\text{e}^- \rightarrow \text{Al}^{3+}$, что подтверждается анализами по определению алюминия в воде после электролиза.

В растворе одновременно происходят химические реакции, не связанные с протеканием электрического тока:



Исследователями приводятся разрозненные сведения по обескислороживанию воды в электролизерах с алюминиево-железными электродами. Влияние физико-химических, электрических и гидродинамических факторов на данный процесс изучено недостаточно. Остаточная концентрация кислорода в воде достигала 0-0,15 мг/дм³. При этом скорость движения воды составляла от 5,1 до 25 м/ч, температура воды – 40-51°C, расход электроэнергии - 0,2 кВт-ч/м³.

Нами проведены систематические исследования по обескислороживанию поверхностных природных вод в электролизере с алюминиевым анодом.

Исследования велись на экспериментальной электролизной установке. Электроды из алюминия и нержавеющей стали с расстоянием между пластинами 5 мм помещались в устройство из органического стекла вместимостью 1,5 дм³. Общая рабочая поверхность электродов составляла 1050 см². Электролизер питался постоянным электрическим током от ВСК-5К. Влияние pH на процесс обескислороживания изучали подкислением или подщелачиванием воды 0,1 н растворами H₂SO₄ или NaOH. Водородный показатель определяли при помощи иономеров И-130.2М.1.

Подогретая до определенной температуры вода подавалась в электролизер из бака. Расход воды через электролизер колебался от 1 до 300 дм³/ч, скорость движения воды относительно поверхности электродов составляла от 1,2 до 80 м/ч. Остаточное содержание кислорода в воде после обработки определяли термооксиметром НИ 9142.

Были изучены зависимости остаточной концентрации кислорода в воде от температуры, величины pH (рис. 1), различного расхода алюминия, а также влияние на процесс обескислороживания гидродинамических и электрических факторов.

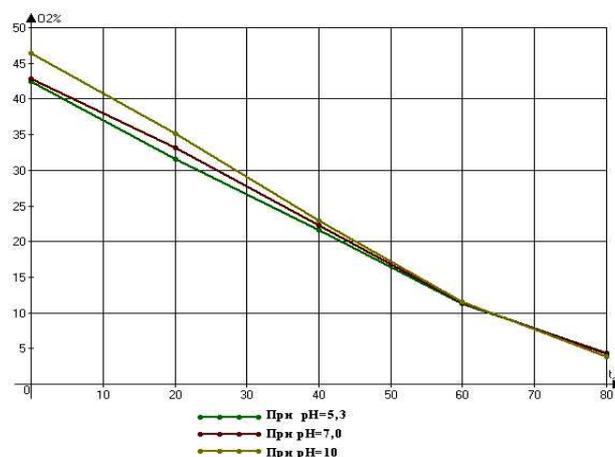


Рис. 1. Влияние температуры воды и pH на процесс электрохимического обескислороживания воды р. Мухавец.

Строкач Петр Павлович, к.т.н., профессор, зав. каф. инженерной экологии и химии Брестского государственного технического университета.

Беларусь, БГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.

Таблица 1. Влияние величины рН на остаточную концентрацию кислорода в воде*

t, °C	Исходное содержание O ₂ , мг/дм ³	Остаточная концентрация O ₂ при рН, %						
		3,7	5,3	6,0	7,0	8,0	9,5	10,3
5	11,8	44,8	44,8	45,1	45,3	45,4	45,7	45,9
10	10,5	37,6	37,2	36,9	37,5	38,3	39,8	41,2
20	8,2	32,3	31,5	32,4	33,2	33,8	34,5	35,1
30	6,4	25,6	25,9	27,0	27,0	28,9	29,5	30,2
40	5,6	21,2	21,6	21,7	22,3	22,1	22,4	22,9
50	4,5	15,8	16,3	15,9	14,8	15,6	16,1	14,9
60	3,9	11,2	11,3	11,8	11,4	11,7	11,7	11,5
70	2,8	6,3	5,9	6,5	6,2	6,6	7,0	6,7
80	1,9	4,1	4,4	4,15	4,18	4,3	4,5	3,8

*Примечание. Плотность тока составляла 2 мА/см², скорость движения воды - 16 м/ч.

Таблица 2. Влияние скорости движения воды, плотности тока и расхода электроэнергии на остаточную концентрацию кислорода в воде*

Основной технологический параметр процесса	Скорость движения воды, м/ч						
	80	60	30	15	7,5	3,5	1,5
Плотность тока 10 мА/см ²							
Расход электроэнергии, кВт·ч/м ³	0,23	0,30	0,60	0,99	-	-	-
Доза Al ³⁺ , мг/дм ³	5,1	7,5	15,0	25,0	-	-	-
Остаточный O ₂ , %	59,2	56,2	23,2	0,0	-	-	-
Плотность тока 5 мА/см ²							
Расход электроэнергии, кВт·ч/м ³	0,06	0,08	0,15	0,25	0,50	-	-
Доза Al ³⁺ , мг/дм ³	2,9	3,8	7,5	12,5	25,0	-	-
Остаточный O ₂ , %	71,4	66,4	36,1	9,46	0,0	-	-
Плотность тока 2 мА/см ²							
Расход электроэнергии, кВт·ч/м ³	0,01	0,01	0,03	0,05	0,10	0,20	-
Доза Al ³⁺ , мг/дм ³	1,2	1,5	3,0	5,0	10,0	20,0	-
Остаточный O ₂ , %	83,4	73,6	45,0	22,3	11,25	0,0	-
Плотность тока 1 мА/см ²							
Расход электроэнергии, кВт·ч/м ³	0,003	0,004	0,007	0,013	0,03	0,05	0,14
Доза Al ³⁺ , мг/дм ³	0,6	0,8	1,5	2,5	5,0	10,0	25,0
Остаточный O ₂ , %	89,3	82,8	70,89	41,25	31,6	12,5	0,0
Плотность тока 0,5 мА/см ²							
Расход электроэнергии, кВт·ч/м ³	0,001	0,001	0,002	0,004	0,008	0,016	0,041
Доза Al ³⁺ , мг/дм ³	0,3	0,4	0,8	1,3	2,5	5,0	12,5
Остаточный O ₂ , %	91,1	90,5	83,1	61,4	40,7	32,3	7,86

*Примечание. Температура исходной воды - 40°С; рН - 7,0; начальное содержание O₂ - 5,6 мг/дм³.

Зависимость остаточной концентрации кислорода от величины рН исходной воды изучалась в пределах 3,7-10,3 при изменении температуры воды от 5 до 80°С. Установлено, что при повышении рН остаточная концентрация кислорода в воде незначительно увеличивается (табл. 1). Следует отметить, что при температуре исходной воды 40°С и выше при увеличении рН эффект обескислороживания остается почти постоянным. Незначительное улучшение процесса обескислороживания в кислой среде можно объяснить, вероятно, влиянием водородной деполаризации. Интенсивное выделение пузырьков водорода способствует перемешиванию воды и уменьшению толщины диффузионного слоя в прикатодной зоне.

Известно, что с повышением температуры исходной воды концентрация растворенного в ней кислорода уменьшается [2]. Поэтому процесс электрохимического обескислороживания воды от температуры изучали с учетом растворимости кислорода в исходной воде при данной температуре (табл. 1). Исследования по влиянию температуры показали, что при ее повышении эффективность удаления кислорода из воды резко возрастает. Из рис. 1 видно, что при 5°С остаточная концентрация кислорода в воде составляет 44,8% (5,28 мг/дм³), а при 80°С - 4,18% (0,33 мг/дм³). При повышении температуры

снижается напряжение на электродах и уменьшаются расходы электроэнергии на обработку 1 м³ воды. Например, при расходе воды 60 дм³/ч, температуре 10°С и плотности тока 2 мА/см² остаточная концентрация кислорода в воде составляет 37,5% (3,57 мг/дм³), при этом затрачивается 60 Вт·ч электроэнергии в расчете на 1 м³ воды, а при тех же условиях и температуре исходной воды 80°С остаточная концентрация кислорода в воде составляет 4,18% (0,33 мг/дм³), а затраты электроэнергии снижаются в три раза (20 Вт·ч/м³).

Повышение скорости движения воды относительно поверхности электродов с 1,5 до 80 м/ч показало, что при больших скоростях движения воды эффективность обескислороживания снижается. Установлено (табл. 2), что увеличение скорости движения воды с 3,5 до 80 м/ч при одинаковом расходе алюминия (5 мг/дм³) приводит к возрастанию остаточной концентрации кислорода в воде в два раза, хотя энергетические затраты при этом возрастают соответственно с 0,016 до 0,23 кВт·ч/м³ воды. Ухудшение процесса обескислороживания при возрастании скорости движения воды можно объяснить тем, что в данном случае сокращается продолжительность пребывания воды в электролизере.

Увеличение плотности тока от 0,5 до 10 мА/см² при одинаковой скорости движения воды в электролизере повышало эффективность обескислороживания (табл. 2). При увеличении плотности тока согласно закону Фарадея возрастает скорость процессов электрохимического растворения алюминиевого анода и водородной деполяризации на катоде.

С увеличением плотности тока резко возрастают энергетические затраты на обескислороживание воды (табл. 2). Приемлемой величиной плотности тока следует считать 1-2 мА/см². Так, при плотности тока 2 мА/см² и расходе воды 60 дм³/ч затрачивается 0,05 кВт·ч электроэнергии на 1 м³ воды; концентрация кислорода при этом снижается примерно в 3 раза.

Таким образом, электрохимическая очистка воды в электролизере с алюминиевым анодом обеспечивает эффективное

удаление кислорода из воды, а при повышенных расходах электроэнергии и электродного материала достигается полное его удаление. Обескислороживание возрастает с повышением температуры воды и дозы алюминия. Увеличение скорости движения воды относительно поверхности электродов приводит к ухудшению процесса обескислороживания. Приемлемой величиной плотности тока следует считать 1-2 мА/см².

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Кульский Л.А. Основы химии и технологии воды. – К.: наук. Думка, 1991. – 568 с.
2. Яловая Н.П., Строкач П.П. Экология и гидрохимия. Словарь – справочник: Справ. пособие. – Брест: БГТУ, 2002. – 244 с.

УДК 681.3

Ашаев Ю.П., Ашаев С. Ю.

ТЕРРИТОРИАЛЬНО - РАССРЕДОТОЧЕННЫЕ СИСТЕМЫ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ВСКРЫТИЯ ШАХТНЫХ ПОЛЕЙ

Введение нового понятия “территориально – рассредоточенные системы”, позволяет связать воедино методы различных наук, таких как вычислительная геометрия, теория графов, картография, геодезия, системный анализ сетей, математическое программирование и теория оптимизации при решении различных задач, главной отличительной особенностью которых является их пространственная привязка к единой системе координат. Формализуя данную область знаний, под территориально - рассредоточенными системами авторы понимают такие системы, которые функционируют в единой системе координат и описываются параметрами и функциями, характеризующими как сами элементы системы, так и характер взаимосвязи между ними. Использование методов различных научных направлений в их единой взаимосвязи при анализе и проектировании подобных систем позволит сократить размерности решаемых задач, исключить из рассмотрения заведомо бесперспективные варианты, разработать новые подходы к решению традиционных задач.

Введем некоторые понятия, позволяющие в дальнейшем описать территориально - рассредоточенные системы.

Область (**D**) – это то пространство, в пределах которого функционирует и описывается территориально - рассредоточенная система. Область имеет границу (**G**), характеризующую ее пространственное расположение. Границы области могут задаваться или строиться по определенным закономерностям $F = F_G(x, y)$

Районы (**R_j**)– это участки, на которые территориально может быть разбита вся область или ее часть, и которые обязательно находятся в границах области. Каждый район имеет свой контур (**K_j**). В общем случае районы не должны пространственно пересекаться между собой. Каждый контур также или задается или формируется в соответствии с заданными закономерностями $F_j = F_j^K(x, y)$. В границах области **D** может быть **J** районов. Для районов должно выполняться условие. Сумма площадей всех районов S_{R_j} не должна превышать площади S_a области (**D**).

$$\sum S_{R_j} \leq S_a, \quad j \in \overline{1, J}.$$

Зона (**Z_i**)– это пространство в границах области, ограниченное бровкой (**B_i**). Зона обычно развивается по законам функционирования системы, что выражается изменением положения бровки в пространстве $F_i = F_i^B(x, y)$.

Пространственное положение и геометрическая конфигурация границы, контура и бровки может задаваться или моделироваться в соответствии с определенными закономерностями. Иногда первоначальное положение границы, контура и бровки задается, а в последующем моделируется согласно заданным закономерностям.

Пространство, определяющее область, район и зону, описывается функциями в рамках границы, контура и бровки

$$F = F_D(x, y); \quad F = F_j^K(x, y); \quad F = F_i^Z(x, y).$$

Характер этих функций может быть различен. Функция может быть представлена:

- константой;
- набором констант;
- функциональной зависимостью значения параметра от его пространственного местоположения;
- набором функциональных зависимостей значений параметра от пространственного местоположения.

В зависимости от размерности, территориально - рассредоточенные системы могут быть одномерными, двухмерными (на плоскости) и трехмерными (в пространстве). Процессы, которые функционируют в рамках территориально – рассредоточенных систем, предопределяют их разбиение на стационарные (когда значение функции **F** однозначно привязано к положению в пространстве) и динамические (когда значения функции **F** изменяются как в пространстве, так и во времени).

При моделировании территориально - рассредоточенных систем используется математический аппарат, оперирующий дискретными, аналитический или дискретно- аналитическими величинами. В зависимости от этого все рассматриваемое пространство представляется или непрерывным, или имеющим дискретную сеточно – узловую структуру.

Ашаев Юрий Павлович, к.т.н., доцент каф. информатики и прикладной математики Брестского государственного технического университета.

Ашаев Сергей Юрьевич, студент электронно-механического факультета Брестского государственного технического университета.

Беларусь, БГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.