

УДК 628.543.15:637.5

М. Г. Ахмадиев, Ф. Ф. Шакиров, Л. М. Назипова,
Б. М. Ахмадиев, И. Г. Шайхиев

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВОССТАНОВЛЕНИЯ ШЕСТИВАЛЕНТНОГО ХРОМА В СТОЧНЫХ ВОДАХ

Ключевые слова: гальванические сточные воды, ионы хрома, восстановление, математическая модель.

Исследована возможность восстановления шестивалентного хрома с помощью традиционных и альтернативных реагентов. Построена математическая модель процесса восстановления шестивалентного хрома.

Keywords: electroplating wastewater, chromium ions, recovery, mathematical model.

It had investigated the possibility of recovery the hexavalent chromium using traditional and alternative reagents. Mathematical model of recovery process of hexavalent chromium had built.

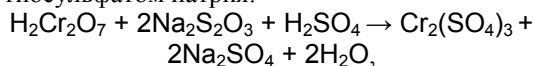
Гальванические сточные воды образуются во многих отраслях промышленности и представляют собой одну из главных экологических проблем. В настоящее время ведется интенсивная деятельность по разработке дешевых и эффективных способов удаления ионов тяжелых металлов из водных сред. Ряд методов отличается высокой ресурсоемкостью и, соответственно, стоимостью очистки. Выходом из создавшегося положения может быть использование в качестве реагентов для очистки сточных вод вторичных ресурсов, образующихся на предприятиях аграрного комплекса и промышленных предприятиях и имеющих низкую себестоимость при высокой эффективности применения [1- 5].

В данной работе исследовалось восстановление шестивалентного хрома с помощью традиционных и альтернативных реагентов. Восстановление ионов хрома является важным этапом очистки гальванических сточных вод. Предметом исследования являлся модельный сток с концентрацией ионов хрома (VI) 600 мг/дм³.

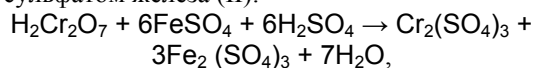
При проведении экспериментов использовались традиционные и альтернативные реагенты: тиосульфат натрия, сульфат железа, сульфит натрия, железная стружка, опилки деревьев лиственных и хвойных пород. В результате проведения эксперимента с использованием каждого приведенного реагента полученные стоки анализировались на содержание ионов хрома (III), ионов хрома (VI).

Восстановление Cr⁶⁺ до Cr³⁺ с помощью различных реагентов протекает по следующим реакциям:

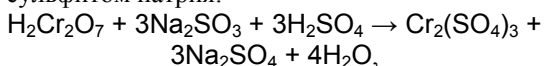
- с тиосульфатом натрия:



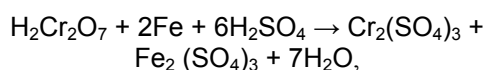
- с сульфатом железа (II):



- с сульфитом натрия:



- с железной стружкой:



Результаты, полученные экспериментальным способом и математическая модель, аппроксимирующая процесс изменения концентрации ионов хрома (III) и хрома (VI) в процессе восстановления, приведены на рисунках 1-3 и таблицах 1-3.

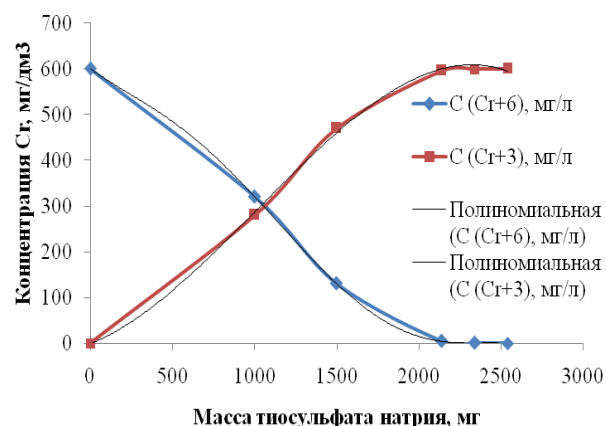


Рис. 1 – Восстановление Cr⁶⁺ до Cr³⁺ с использованием тиосульфата натрия

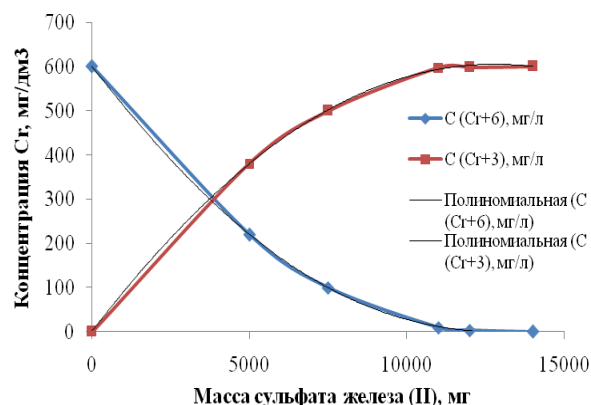


Рис. 2 – Восстановление Cr⁶⁺ до Cr³⁺ с использованием сульфата железа (II)

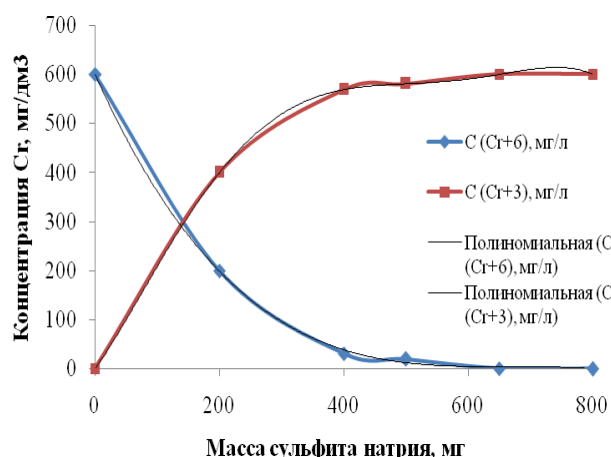


Рис. 3 – Восстановление Cr^{6+} до Cr^{3+} с использованием сульфита натрия

Таблица 1 – Показатели сточной воды в результате проведения реакции восстановления Cr^{6+} до Cr^{3+} с использованием железной стружки

Объем сточной воды, $V_{\text{св}}$, мл	$m(\text{Fe})$, мг	$C_{\text{нач}}(\text{Cr}^{+6})$, мг/дм³	$C_{\text{кон}}(\text{Cr}^{+6})$, мг/дм³	$C_{\text{кон}}(\text{Cr}^{+3})$, мг/дм³	α , %
250	730	600	23,21	576,79	96,3
250	1230	600	16,94	583,06	97,1
250	1730	600	7,36	592,36	98,7
250	2500	600	0	600	100
250	3500	600	0	600	100

Таблица 2 – Показатели сточной воды в результате проведения реакции восстановления Cr^{6+} до Cr^{3+} осиновыми опилками

Объем сточной воды, $V_{\text{св}}$, мл	m (осинов. опилки), мг	$C_{\text{нач}}(\text{Cr}^{+6})$, мг/дм³	$C_{\text{кон}}(\text{Cr}^{+6})$, мг/дм³	α , %
250	30500	600	189,54	68,41
250	31000	600	170,40	71,60
250	32340	600	149,22	75,13
250	37000	600	148,74	75,21
250	42000	600	148,7	75,2

Таким образом, оптимальное количество тиосульфата натрия, необходимого для полного восстановления кислых стоков, составляет 2,34 г на 250 см³ кислого гальванического стока; сульфата железа – 13500 мг; сульфита натрия – 0,65 г; железной стружки – 1,73 г; оптимальное количество опилок, необходимое для очистки кислых стоков от ионов шестивалентного хрома, составляет 32,34 г осиновок опилок или 35,42 г опилок хвойных деревьев, при этом максимальная эффективность очистки достигает 75,21 % и 83,35 % соответственно.

Таблица 3 – Показатели сточной воды в результате проведения реакции восстановления Cr^{6+} до Cr^{3+} опилками хвойных деревьев

Объем сточной воды, $V_{\text{св}}$, мл	m (опилки хвойных дер), мг	$C_{\text{нач}}(\text{Cr}^{+6})$, мг/дм³	$C_{\text{кон}}(\text{Cr}^{+6})$, мг/дм³	α , %
250	25000	600	118,5	80,25
250	30000	600	110,4	81,60
250	35420	600	100,08	83,32
250	40000	600	99,99	83,35
250	45000	600	99,99	83,35

Оптимальная дозировка реагентов, необходимые для полного восстановления шестивалентного хрома, приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Дозировка реагентов, необходимых для восстановления Cr^{6+} до Cr^{3+} в модельном стоке объемом 250 см³

Наименование реагента	Оптимальная масса, мг	Степень восстановления, %
Тиосульфат натрия	2340	100
Сульфат железа	13500	100
Сульфит натрия	650	100
Железная стружка	1730	98
Осиновые опилки	32340	75
Опилки хвойных деревьев	35420	83

Как видно из таблицы 4, наиболее эффективным восстановителем при минимальном количестве реагента является сульфит натрия. Наименее эффективными являются железная стружка, осиновок опилки и опилки хвойных деревьев со степенью очистки от ионов шестивалентного хрома 98%, 75 % и 83 % соответственно.

Несмотря на вышесказанное, применение этих реагентов альтернативно, поскольку они являются отходами производства.

Далее исследовался процесс восстановления Cr^{6+} до Cr^{3+} с использованием оптимального количества альтернативного реагента с доведением до 100% эффективности с помощью традиционных восстановителей. В качестве альтернативного реагента использовалась железная стружка.

Результат проведения эксперимента представлен на рисунке 4, из которого видно, что концентрация шестивалентного хрома уменьшается с увеличением дозировки традиционных реагентов. Оптимальная дозировка тиосульфата натрия, сульфита натрия при котором достигается максимальная эффективность очистки, равна 0,12 г/дм³. Дальнейшее увеличение дозировки реагентов не целесообразно, т.к. при дозировке 0,12 г/дм³ шестивалент-

ный хром удаляется полностью. Оптимальная масса сульфата железа, при котором достигается максимальная эффективность очистки, равна 0,8 г/л.

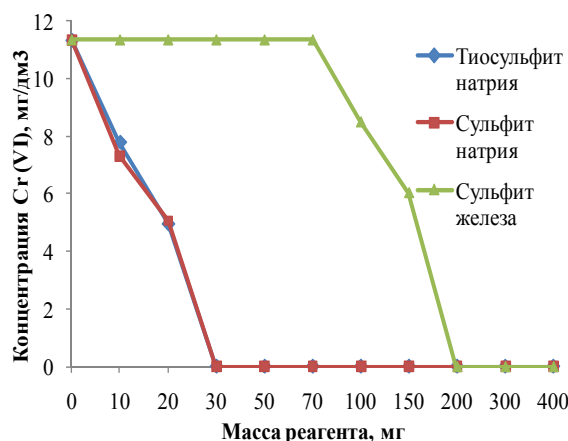


Рис. 4 – Восстановление хрома (VI) с помощью железной стружки в смеси с традиционными реагентами

При изучении различных физических явлений и проведении технологических экспериментов часто наблюдается функциональная зависимость между величинами, описывающими количественную сторону данного явления или эксперимента. Чтобы показать эту зависимость, иногда приходится проводить огромное количество экспериментов. Для этого требуется достаточно много времени и большое количество реагентов. В связи с вышеизложенным, в данной работе для математической обработки результатов экспериментальных исследований, следуя работе [6, 7], использовался интерполяционный метод [8].

Модель, описывающая изменение содержания ионов хрома (VI) и хрома (III), в зависимости от дозировки тиосульфата натрия, соответственно, записывается в виде:

$$C(x)=0,003x^4 - 0,326x^3 + 4,844x^2 - 28,27x + 600 \quad (1)$$

$$C(x) = -0,035x^4 + 1,754x^3 - 7,343x^2 - 5,973x \quad (2)$$

Модель, описывающая изменение содержания ионов хрома (VI) и хрома (III), в зависимости от

дозировки сульфата железа, соответственно, записывается в виде:

$$C(x)=0,3x^4 - 3,041x^3 + 23,68x^2 - 25x + 600 \quad (3)$$

$$C(x)= 0,201x^4 - 3,332x^3 + 24 - 23,42x \quad (4)$$

Модель, описывающая изменение содержания ионов хрома (VI) и хрома (III), в зависимости от дозировки сульфита натрия, соответственно, записывается в виде:

$$C(x)=0,001x^4 - 0,111x^3 + 0,421x^2 - 0,299x + 600 \quad (5)$$

$$C(x) = 0,005x^4 - 0,123x^3 + 0,728x^2 - 0,398x \quad (6)$$

В данной работе исследована возможность использования традиционных и альтернативных реагентов для восстановления ионов хрома (VI). Показано, что совместное использование традиционных и альтернативных реагентов является наиболее доступным, дешевым и достаточно эффективным методом. Построена математическая модель процесса восстановления шестивалентного хрома. В частности, установлена функциональная зависимость, аппроксимирующая результаты экспериментальных исследований (величина достоверности аппроксимации равна 0,99).

Литература

1. И.Г. Шайхиев, *Вестник машиностроения*, 4, 73 (2006).
2. И.Г. Шайхиев, Г.А. Минлигулова, *Вода и экология: проблемы и решения*, 3, 68-78 (2010).
3. И.Г. Шайхиев, Г.А. Минлигулова, *Вода и экология: проблемы и решения*, 4, 59-72 (2010).
4. И.Г. Шайхиев, *Все материалы. Энциклопедический справочник*, 3, 26-34 (2010).
5. И.Г. Шайхиев, *Все материалы. Энциклопедический справочник*, 4, 30-40 (2010).
6. М. Г. Ахмадиев, Ф. Ф. Шакиров, И. Г. Шайхиев, *Вестник Казанского технологического университета*, 23, 22-25, (2012).
7. Ф.Ф. Шакиров, М.Г. Ахмадиев, С.В. Фридланд, И.Г. Шайхиев, *Вестник Казанского технологического университета*, 6, 267-275, (2009).
8. Н.С. Бахвалов, Н.П. Жидков, Г.М. Кобельков, *Численные методы*, М.: Наука, 1987. 356 с.