

«Экология и рациональное природопользование»,
Египет (Хургада), 20-27 февраля 2012 г.

Технические науки

**ОЧИСТКА ПРОМЫШЛЕННЫХ
СТОЧНЫХ ВОД, СОДЕРЖАЩИХ
ИОНЫ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ,
ОБРАБОТКОЙ ИНДУКЦИОННЫМИ
ТОКАМИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
ГЕОМЕТРИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ**

Вертинский А.П.

*Иркутский государственный технический
университет, Иркутск, e-mail: vertin@bk.ru*

1. Краткое математическое введение

Процесс электрокоагуляции промышленных сточных вод с математической точки зрения представляет собой классический образец многофакторного функционального пространства, в котором протекают процессы изменения концентрации веществ, температуры, величины электрической проводимости и т.п., которые мы измеряли с помощью соответствующих приборов.

Известные методы математической обработки экспериментальных результатов обычно применяются для анализа 2–3 переменных величин в исследуемых зависимостях.

В наших экспериментах одновременно изменялись 4–5 и более параметров, компонентов и факторов. Традиционная математическая обработка потребует игнорирования изменения половины из них; т.е. предопределяет большую погрешность в наших исследованиях. Поэтому мы применили методику многомерного математического моделирования на базе конструктивной геометрии.

Методы многомерного математического моделирования позволяют строить гиперповерхности, связывающие все параметры, компоненты и факторы изучаемого процесса и их оптимизацию. Использованный метод математического моделирования основан на построении обводов нулевого порядка гладкости, несущих каркас одномерных, двумерных (2–поверхности), трехмерных (3–поверхности), и т.д. образующих. В настоящей работе методы математического моделирования многофакторных и многопараметрических процессов в многокомпонентных системах был применен к данным, полученных в результате экспериментов по обработке сточных вод индукционными токами [1, 2, 3].

Технологические процессы, с точки зрения конструктивной геометрии, подразделяются на процессы с нереагирующими (первая методика) и реагирующими между собой химическими веществами (вторая методика). Для их моделирования разработаны две методики получения их моделей в виде уравнений и их графического изображения. В качестве переменных величин

при математическом моделировании могут выступать величины, которые являются факторами, параметрами и компонентами. Химические системы, в которых вещества не реагируют между собой, число компонентов равно числу составляющих. Для моделирования таких систем разработана методика моделирования и ее назвали первой методикой моделирования. Модели таких процессов описываются каркасом поверхностей, натянутых на связку сечений, состоящим из одномерных образующих.

В химических системах, в которых вещества вступают в реакции, количество компонентов меняется в процессе химической реакции.

Вторая методика позволяет моделировать процессы с реагирующими между собой веществами, описываемые каркасом поверхности, натянутой на пучок сечений с несобственной осью.

В современных химических технологиях широкое распространение получили электрохимические методы осуществления реакций: электрометаллургия алюминия и многих других металлов, электросинтез каустической соды и многочисленных других химических соединений, получение водорода, хлора и других веществ в больших объемах возможно только электрохимическими методами. Этот перечень применения электрохимии можно продолжать еще долго, но он продолжается расширяться за счет появления новых способов и отраслей применения электрохимических процессов. Среди таких новых способов электрохимического процесса можно отметить безэлектродные электрохимические процессы, которые впервые были исследованы [5]. Любой электрохимический процесс с математической точки зрения представляет собой классический пример проявления многомерного функционального пространства, в котором протекают непрерывные процессы изменения компонент и их качества, температуры, электропроводимости и др. параметров реакции. Так как эти параметры реакции могут быть измерены с помощью соответствующих измерительных приборов.

2. Экспериментальная часть

При поиске оптимальных условий электрохимической очистки сточных вод от меди и цинка индукционными токами параметрами оптимизации являлись:

- сила первичного тока – I_1, A ;
- эффективность очистки сточных вод – $\Phi, \%$.

В качестве параметров, влияющими на эффективность процесса очистки сточных вод выбираем:

- pH среды;

- T – температура среды °С;
- τ – время обработки, мин;
- I_1, A – сила первичного тока;
- Φ – эффективность очистки сточных вод.

Область изменения параметра pH зависит от ведения технологического процесса и может изменяться от кислой среды до нейтральной. Сточные воды ОАО Свирский завод «Востсибэлемент», как правило являются сильнокислыми. Поэтому область изменения параметра pH в экспериментах изменялся от 5,3 до 6,2.

$$\Phi_{Zn} = \Delta(\tau, T, \text{pH}, I) = (2,25 \cdot 10^2 + 1,67 \cdot 10^3 I - 2,45 \cdot 10^2 I^2) + (6,36 \cdot 10T + 3,8 \cdot 10^2 \text{pH}) + (4,56 \cdot 10^{-1} \tau - 7,23 \cdot 10T - 3,76 \cdot 10^2 \text{pH}) I + (-1,52\tau + 1,67 \cdot 10T + 6,8 \cdot 10\text{pH}) I^2 + (-,83 \cdot 10^{-3} \tau^2 - 1,43T^2 + 2,31 \cdot 10\text{pH}^2) + (2,59 \cdot 10^{-3} \tau^2 + 1,39T^2 - 8,66\text{pH}^2) + (-6,76 \cdot 10^{-4} \tau^2 - 3,93T^2 + 7,53 \cdot 10^{-1} \text{pH}^2) I^2. \quad (1)$$

$$F_{Cu} = \Sigma(\tau, T, \text{pH}, I) = (1,53 \cdot 10^3 - 3,69 \cdot 10^3 I + 8,15 \cdot 10^2 I^2) + (5,7 \cdot 10^{-1} \tau - 6,36 \cdot 10T - 2,99 \cdot 10^2 \text{pH}) + (-4,16 \cdot 10^{-1} \tau + 8,3 \cdot 10T + 5,96 \cdot 10^2 \text{pH}) I + (1,01 \cdot 10^{-1} \tau - 1,93 \cdot 10T - 2,06 \cdot 10^2 \text{pH}) I^2 + (-2,97 \cdot 10^{-3} \tau^2 + 2,22 \cdot 10^2 T^2 + 3,06 \cdot 10\text{pH}^2) + (2,69 \cdot 10^{-3} \tau^2 - 3,33 \cdot 10^{-3} T^2 + 2,72 \cdot 10\text{pH}^2) I + (-6,26 \cdot 10^{-4} \tau^2 + 6,43 \cdot 10^2 T^2 + 1,75 \cdot 10\text{pH}^2) I^2. \quad (2)$$

Таблица 1

Результаты очистки промышленных сточных вод, содержащих ионы меди (Cu) ОАО «Свирский завод «Востсибэлемент»», индукционными токами $I = 1; 2; 2,5; 3; 4A$

№ п/п	t	I = 1A				I = 2A				I = 2,5A				I = 4A			
		pH	C	T, °C	Φ, %	pH	C	Φ, %	T, °C	pH	C	Φ, %	T, °C	pH	C	Φ, %	T, °C
1	0	5,4	8,0	18	0,0	5,4	2,00	0	18	5,3	10,0	0	18	5,8	1,0	0	18
2	10	5,5	6,2	18	22,5	5,6	1,80	20	19	5,5	8,0	20	18	5,9	0,9	10	20
3	30	5,7	5,8	19	27,5	5,8	1,77	25	20	5,6	7,0	30	19	6,0	0,6	35	21
4	45	5,8	4,5	20	44,0	6,0	1,70	35	21	5,8	6,5	3,5	20	6,1	0,5	50	22
5	60	6,0	3,8	21	52,3	6,1	1,40	55	22	5,9	4,9	51	21	6,2	0,3	70	23
6	120	6,2	2,6	22	67,0	6,3	0,70	75	23	6,2	3,7	63	22	6,3	0,2	80	24

Таблица 2

№ п/п	T	I = 1A				I = 2A				I = 2,5 A				I = 3A				I = 4A			
		pH	C	Φ, %	T	pH	C	Φ	T	pH	C	Φ	T	pH	C	Φ	T	pH	C	Φ	T
1	0	5,4	8,0	0,0	18	5,6	2,0	0	18	5,3	10	0	18	5,5	4,0	0	18	5,8	1,0	0	18
2	10	5,5	6,0	25,0	18	5,8	1,85	7,5	19	5,5	7,7	23	18	5,7	3,0	25	18	5,9	0,85	15	20
3	30	5,7	5,4	33,5	19	5,9	1,6	12	20	5,6	6,4	36	19	5,8	2,8	30	20	6,0	0,6	40	21
4	45	5,8	4,0	50,0	20	6,0	1,4	15	21	5,8	5,9	41	20	5,9	2,3	42,5	21	6,1	0,45	55	22
5	60	6,0	3,7	54,0	21	6,1	0,9	30	22	5,9	5,0	50	21	6,0	2,0	50	22	6,2	0,35	65	23
6	120	6,2	2,6	72,5	22	6,2	0,7	50	23	6,2	3,1	69	22	6,2	1,5	62,5	24	6,2	0,25	75	24

Из уравнений (1) и (2) вычисляет оптимальные значения параметров очистки промышленных стоков от меди

$$\tau_{\text{опт.Cu}} = 22,4 \text{ мин}; \quad I_{\text{опт.Cu}} \geq 4A$$

и для цинка

$$\tau_{\text{опт.Zn}} = 19,2 \text{ мин}; \quad I_{\text{Zn}} \geq 4A.$$

Обобщая итоги экспериментов по обработке промышленных сточных вод с содержанием ионов цинка и меди и применения к результатам этих экспериментов методик многомерного ма-

тематического моделирования, можно сделать выводы о том, что:

1. Методики многомерного математического моделирования многофакторных и многопараметрических процессов найдена взаимосвязь факторов и параметров, влияния на процесс электрохимической очистки промышленных сточных вод.

2. Полученные уравнения (1) и (2) гиперповерхностей, описывающих процесс электрохимической очистки промышленных сточных вод индукционными токами. Выявлены зависимо-

сти между фактором оптимизации (Φ – эффективность очистки сточных вод от цинка и меди, I_1 – силой первичного тока), и параметрами влияющими на процесс электрохимической очистки.

Полученные уравнения гиперповерхностей (1) и (2) позволили определить оптимальные значения параметров, при которых наблюдается максимальная эффективность очистки:

для меди

$$\tau_{\text{опт.Cu}} = 22,4 \text{ мин}; I_{\text{опт.Cu}} \geq 4A$$

и для цинка

$$\tau_{\text{опт.Zn}} = 19,2 \text{ мин}; I_{\text{Zn}} \geq 4A.$$

Далее рассмотрим процесс электрокоагуляции промышленных сточных вод, содержащих ионы ртути (Hg), протекающий под действием индукционных токов).

Нами были исследованы сточные воды цеха 2101 АО «Усольехимпром».

После цеха 2101 вода до очистки поступает в колодцы 401 и 412, после очистки поступает в колодцы 324 и 616. В сточных водах до очистки присутствуют компоненты – NaOH и Hg, в воде после очистки присутствуют компоненты – NaOH, Hg, NaHS, Cl⁻, H⁺.

Сточная вода цеха 2101 нами обрабатывалась индукционными токами с $I = 0,5; 1; 2; 3$ и 4 А. Все полученные нами измерения мы внесли в табл. 3.

По данным табл. 3 выполнили математическое моделирование и получили модель зависимости конечной оптической плотности от времени действия индукционных токов, температуры и силы тока

Таблица 3

Результаты очистки промышленных сточных вод, содержащих ионы ртути (Hg) «Усольехимпрома», обработанных индукционными токами $I = 0,5; 1; 2; 3; 4A$

Ток		$I = 0,5A$				$I = 1A$				$I = 2A$				$I = 3A$				$I = 4A$			
№ п/п	T	T	Плот. оптич.		T	Плот. оптич.		T	Плот. оптич.		T	Плот. оптич.		T	Плот. оптич.						
			D_n	D_k		D_n	D_k		D_n	D_k		D_n	D_k		D_n	D_k					
1	0	24	0,85	0,60	24	0,85	0,60	24	0,85	0,56	24	0,85	0,60	24	0,85	0,60					
2	6	24	0,58	0,50	24	0,50	0,45	26	0,48	0,24	26	0,44	0,30	26	0,39	0,20					
3	10	25	0,49	0,40	25	0,42	0,38	27	0,38	0,18	27	0,35	0,29	27	0,32	0,16					
4	20	25	0,36	0,28	26	0,25	0,21	27	0,23	0,10	29	0,22	0,15	31	0,20	0,09					
5	30	25	0,31	0,23	26	0,20	0,15	28	0,21	0,08	31	0,20	0,11	33	0,18	0,07					
6	40	26	0,29	0,20	27	0,15	0,12	28	0,19	0,06	33	0,20	0,09	35	0,14	0,05					
7	50	26	0,24	0,18	28	0,08	0,06	29	0,16	0,04	35	0,18	0,07	37	0,09	0,04					

По данным табл. 3 выполнили математическое моделирование и получили модель зависимости ко-

нечной оптической плотности от времени действия индукционных токов, температуры и силы тока

$$D_k = (2,7 \cdot 10 + 1,38 \cdot 10^{-1} I + 1,82 I^2) + (2,88 \cdot 10^{-2} - 4,85 \cdot 10^{-2} I + 9,65 \cdot 10^{-3} I^2) \tau + (1,97 - 1,45 I + 4,31 \cdot 10^{-1} I^2) T + (-9,25 \cdot 10^{-4} + 2,29 \cdot 10^{-3} I - 2,56 \cdot 10^{-4} I^2) \tau^2 + (3,94 \cdot 10^{-2} - 3,17 \cdot 10^{-2} I + 5,50 \cdot 10^{-3} I^2) T^2. \quad (3)$$

3. Выводы

Из уравнения (3) вычисляем оптимальные значения входящих параметров при обработке ртутьсодержащих промышленных сточных вод, которые будут равны

$$\tau_{\text{оп}} = 20,5 \text{ мин}; T_{\text{опт}} = 35^\circ\text{C}; I_{\text{опт}} \geq 4A.$$

Список литературы

1. Вертинская Н.Д. Математическое моделирование многофакторных и многопараметрических процессов

в многокомпонентных системах. – Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2001. – 289 с.

2. Вертинская Н.Д., Вертинский А.П., Герасимова Н.П. Математическое моделирование многофакторных и многопараметрических процессов в многокомпонентных системах на базе конструктивной геометрии: Авторский спецкурс. Ч.П. – Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2007. – 175 с.

3. Вертинская Н.Д. Математическое моделирование многофакторных и многопараметрических процессов в многокомпонентных системах: лекции авторского спецкурса. Ч.1. – Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2009. – 229 с.