УДК 669.537

И.А.БОГАТЫРЕВА
Северо-Кавказский государственный технологический университет, Владикавказ

ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ЭЛЕКТРОЛИЗА ЦИНКА В СУЛЬФАТНЫХ РАСТВОРАХ МЕТОДОМ ИМИТАЦИОННОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

Разработан программный продукт – модель цеха электролиза цинка. Получены математические модели процесса (в виде регрессионных уравнений), на базе которых предложены экономически обоснованные оптимальные значения параметров процесса.

The program product – the model of the zinc electrolysis shop is developed. The mathematical models of the zinc electrolysis process are obtained (in the form of the regressive equations). On their basis the economically proved optimal meanings of the process parameters are suggested.

С целью определения экономически оптимальных технологических параметров процесса электролиза цинка на основе разработанного нами программного продукта было проведено имитационное исследование. В качестве независимых переменных выбраны плотность тока, концентрация цинка и марганца в нейтральном электролите, температура электролита в ванне. В качестве параметров оптимизации приняты следующие показатели процесса: удельный расход электроэнергии, напряжение на ванне, кратность циркуляции, удельные расходы материалов и реагентов, расход воды на охлаждение для случая индивидуального охлаждения, количество упариваемой воды для централизованного вакуум-испарительного охлаждения, суммарная площадь цеха, занимаемая ваннами, плотность отработанного электролита, суточные потери воды на испарение с зеркала ванн и некоторые другие. На основе экспериментальных и расчетных (по имитационной программе) данных спланирован симметричный план Бокса B_4 с числом опытов $N = 24$. Константы имитационного исследования (геометрические размеры электродов, температуры различных теплоносителей, типы установки и ошиновки ванн, расход цинковой пыли на цементацию и т.д.) были приняты по данным практики.

В результате статистической обработки результатов имитационного эксперимента и отсева статистически не значимых коэффициентов регрессии были получены уравнения регрессии, оказавшиеся статистически надежными на уровне значимости 0,05.

Модель удельного расхода электроэнергии на электролиз с независимыми переменными в безразмерном масштабе имеет вид

$$W = 3067{,}4331 + 79{,}5726\,X_1 - 70{,}6014\,X_2 +$$
$$+ 75{,}3897\,X_3 - 12{,}3154\,X_4 + 3{,}2961\,X_1^2 +$$
$$+ 7{,}5659\,X_2^2 - 95{,}6046\,X_3^2 + 0{,}3859\,X_4^2 -$$
$$- 13{,}8129\,X_1X_2 + 2{,}1476\,X_1X_3 - 2{,}2259\,X_1X_4 -$$
$$- 1{,}6698\,X_2X_3 - 1{,}8389\,X_2X_4 - 0{,}3533\,X_3X_4$$
$$(R^2 = 0{,}9991,\ F_{\text{расч}} = 1662{,}35),$$

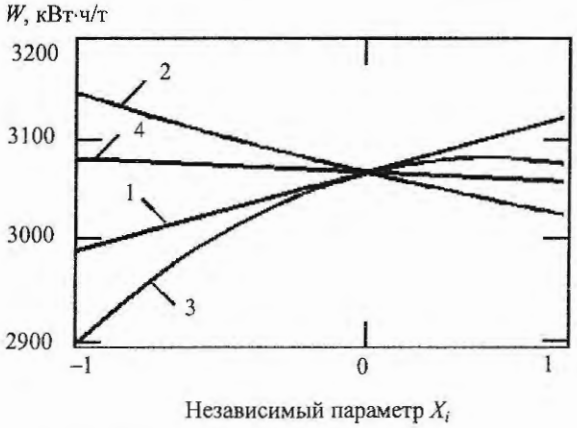


Рис.1. Частные зависимости удельного расхода электроэнергии на электролиз от плотности тока (1), концентрации цинка (2) и марганца (3) в нейтральном электролите, и температуры электролита в электролизной ванне (4)

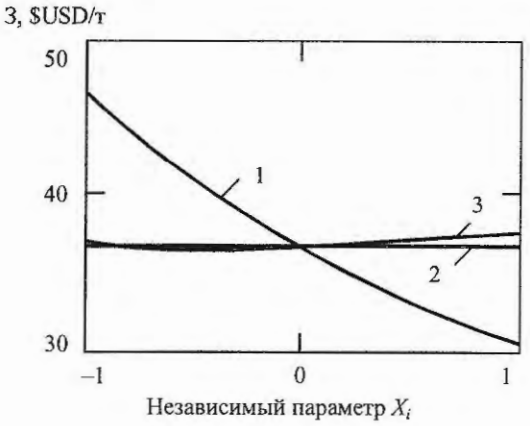


Рис.2. Частные зависимости суммарных проектных затрат на материалы от плотности тока (1), концентрации цинка (2) и марганца (3) в нейтральном электролите

где W – удельный расход энергии на электролиз, кВт·ч/т; X_1 – плотность тока i, А/м^2; X_2 – концентрация цинка в нейтральном электролите C_{Zn}, г/дм^3; X_3 – концентрация марганца в нейтральном электролите C_{Mn}, г/дм^3; X_4 – температура электролита в электролизной ванне T, °С.

Доля удельного расхода электроэнергии в структуре заводской себестоимости составляет 65-67 %, что позволяет использовать его в качестве основного критерия оптимизации, а также для предварительной оценки экономической эффективности как существующего, так и проектируемого предприятия. Графики частных зависимостей удельного расхода электроэнергии на электролиз от различных факторов (рис.1) показывают, что на удельный расход электроэнергии при электролизе наиболее сильно влияют плотность тока и концентрации марганца и цинка в нейтральном электролите.

Для оптимизации был использован метод нелинейного программирования, позволяющий путем сканирования факторного пространства (с учетом быстродействия современных ЭВМ) с малой ошибкой находить значения независимых переменных, обеспечивающие минимальный удельный расход электроэнергии на электролиз. Оптимальные значения независимых переменных в безразмерном масштабе $X_1 = -1$, $X_2 = +1$, $X_3 = -1$, $X_4 = +1$. Соответственно при переводе на натуральный масштаб получим $i = 400$ А/м^2, $C_{Zn} = 145$ г/дм^3; $C_{Mn} = 2$ г/дм^3; $T = 40$ °С. В этой точке $W = 2763{,}567$ кВт·ч/т.

На основе уравнений регрессии, связывающих удельный расход меди на контакты и ошиновку, свинца и серебра на аноды, полимербетона на ванны, алюминия на катоды с выбранными независимыми переменными, суммированием зависимостей с весовым коэффициентом, соответствующим стоимости единицы расходных материалов была получена модель для расчета ориентировочных суммарных проектных затрат на материалы в долларах на тонну

$$З = 36{,}6501 - 7{,}7089\,X_1 + 0{,}0058\,X_2 +$$

$$+ 0{,}305\,X_3 + 1{,}4731\,X_1^2 + 0{,}029\,X_2^2 +$$

$$+ 0{,}5824\,X_3^2 - 0{,}0061\,X_1X_2.$$

Графики частных зависимостей проектных затрат на материалы от различных факторов (рис.2) свидетельствуют, что наиболее сильное влияние на суммарные проектные затраты на материалы оказывает плотность тока, незначительное – концентрации марганца и цинка в нейтральном электролите.

Были определены также значения независимых переменных, обеспечивающие минимальные проектные затраты на материалы. В безразмерном масштабе оптимальные значения независимых переменных $X_1 = 1$, $X_2 = 0$, $X_3 = -0{,}262$, в натуральном масштабе $i = 600$ А/м^2, $C_{Zn} = 125$ г/дм^3; $C_{Mn} = 4{,}214$ г/дм^3. Проектные затраты на материалы в этой точке 30,37 долларов на тонну.

Таким образом, в результате статистической обработки данных имитационного эксперимента получен ряд моделей, имеющих прикладной характер.

Научный руководитель д.т.н. проф. *М.И.Алкацев*