

ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА ПРОЕКТУ

Запропонований проект дозволяє знизити потужність граючої пари на 1562,2 кВт, холодної води – на 1570,3 кВт. Таким чином передбачається економія близько 13,6 млн. грн. в рік. Капітальні затрати складають приблизно 1,5 млн. грн. Ефективність капітальних вкладень, що планується, дорівнює 7,3 грн./грн. Розрахунковий строк окупності проекту складе близько двох місяців.

ВИСНОВКИ

1. Аналіз варіантів розташування складених кривих потоків процесу показав, що при $\Delta T_{min} \approx 11,7$ °C має місце так звана порогова задача.
2. Обране для проектування ΔT_{min} дозволяє сформулювати існуючу задачу як класичну пінч-проблему.
3. Оптимізація проекту з максимальною рекуперацією тепла забезпечує скорочення капітальних вкладень завдяки незначному підвищенню витрат на зовнішні теплоносії.
4. Економічна оцінка проекту показала його економічну доцільність.

СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПРОЦЕССА ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ ТИТАНСОДЕРЖАЩЕГО СЫРЬЯ СУЛЬФАТНО-ФТОРИДНЫМ СПОСОБОМ

Дубенко А. В., Николенко Н. В., Куцевол А. Е.

СТАТИСТИЧНИЙ АНАЛІЗ ПРОЦЕСУ ВИЛУГОВУВАННЯ ТИТАНОВМІСНОЇ СИРОВИНИ СУЛЬФАТНО-ФТОРИДИМ СПОСОБОМ

Дубенко А. В., Ніколенко М. В., Куцевол А. Є.

STATISTICAL ANALYSIS OF THE LEACHING PROCESS OF TITANIUM- BEARING RAW MATERIAL BY SULPHATE-FLUORIDE METHOD

Dubenko A. V., Nikolenko N.V., Kutsevol A. E.

ГУВЗ «Украинский государственный химико-технологический университет»

Днепр, Украина

anastasiia.dubenko@gmail.com

Разработана математическая модель процесса выщелачивания титансодержащего сырья сульфатно-фторидным способом в виде уравнения регрессии для трёхфакторного полного эксперимента, основанного на кодированных переменных. Установлено, что наибольшее влияние на процесс оказывают факторы концентрация серной кислоты, температура процесса, их взаимодействие и мольное соотношение Ti:F. Определены оптимальные параметры процесса сульфатизации.

Ключевые слова: выщелачивание, полный факторный эксперимент, уравнение регрессии, статистический анализ

Розроблено математичну модель процесу вилуговування титановмісної сировини сульфатно-фторидним способом у вигляді рівняння регресії для трифакторного повного експерименту, що базується на кодованих змінних. Встановлено, що найбільший вплив на процес надають наступні фактори: концентрація сульфатної кислоти, температура процесу, їх взаємодія і мольної співвідношення Ti: F. Визначено оптимальні параметри процесу сульфатизації.

Ключові слова: вилуговування, повний факторний експеримент, рівняння регресії, статистичний аналіз

A mathematical model for the leaching process of titanium-bearing raw material by the sulphate-fluoride method has been developed as a regression equation for a three-factor full experiment based on coded variables. It was found that the factors most affecting the process are the concentration of sulfuric acid, the temperature of the process, its interaction and the molar ratio of Ti: F. The optimum parameters of the sulfatization process were determined.

Keywords: leaching process, full factorial experiment, regression equation, statistical analysis

ВВЕДЕНИЕ

Химико-технологические процессы протекают в достаточно сложных условиях, определяемых одновременным воздействием многих факторов: концентрационных, массообменных, температурных и т.д. Это определяет специфический подход к изучению этих многофакторных процессов, использование соответствующих методов обработки и анализа результатов, в частности методов математической статистики [1]. Грамотное планирование эксперимента в ряде случаев позволяет существенно сократить затраты времени и материальных средств на выполнение исследовательских работ. При этом, как правило, выдвигается условия получения данных с максимальной точностью. Это требует повышения числа экспериментов, а значит, увеличивается и его стоимость. В результате возникает задача оптимизации постановки эксперимента. Регрессионный анализ – один из основных методов математической статистики, который применяется для нахождения многофакторных моделей процесса и их оптимизации. Метод многофакторного эксперимента предполагает исследование совместного действия основных параметров и позволяет при правильной организации процесса исследования существенно сократить общее количество опытов[2].

Переработка титансодержащего сырья в Украине осуществляется по сульфатной технологии. Доказано, что переработка, например, измененных ильменитовых концентратов сульфатным способом вскрытия даже при использовании наиболее "жестких" условий сульфатизации не позволяет в достаточной степени вскрывать исходный рудный материал из-за высокого содержания рутила в составе исходного сырья [3]. По нашему мнению, увеличить степень извлечения титана можно за счет введения фторида натрия в реакционную смесь. Фторид-ионы связывают ионы титана (IV) в прочные комплексы, что позволяет сдвинуть равновесное состояние реакции растворения рутила серной кислотой в сторону образования растворимых солей титана.

Выщелачивание титансодержащего сырья является сложным процессом, на который оказывают влияние множество факторов, а значит, что данный процесс требует повышенного контроля. Так в процессе сульфатизации титансодержащего сырья сульфатно-фторидным способом с целью поиска способов оптимизации ХТП

следует оценить влияние следующих основных факторов: концентрации серной кислоты, как реакционной среды, температуры процесса и мольного соотношения смеси компонентов Ti:F.

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Процесс выщелачивания рутила сульфатно-фторидным способом проводили в изотермических условиях при температурах 70 и 100 °С в тефлоновом реакторе без перемешивания реакционной смеси с мольным соотношением Ti:F = (1:1) и Ti:F = (1:2). Процесс сульфатизации проводили в избытке серной кислоты с начальными концентрациями 85 и 95% масс. После окончания процесса выщелачивания реакционную смесь разбавляли 5%-ной серной кислотой для предотвращения гидролиза солей титана. После этого суспензию центрифугировали и спектрофотометрически определяли содержание титана в виде пероксидного комплекса. Статистическая обработка данных, анализ уравнения регрессии процесса выщелачивания и оптимизационный анализ проводили в программном комплексе *Statgraphics Centurion*.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И АНАЛИЗ ДАННЫХ

Для оптимизации процесса выщелачивания использовали метод полнофакторного эксперимента, выбрав в качестве параметра оптимизации степень извлечения титана в раствор (у, %). В качестве факторов, влияющих на процесс, были выбраны:

- x_1 – мольное соотношение компонентов Ti:F;
- x_2 – начальная концентрация серной кислоты, % масс.;
- x_3 – температура процесса выщелачивания.

Таблица 1. Уровни факторов и интервалы их варьирования

Факторы	Основной уровень	Интервал варьирования	Верхний уровень	Нижний уровень
x_1	1:1,5	(0;0,5)	1:2	1:1
x_2	90	5	85	95
x_3	85	15	70	100

Таблица 2. Матрица планирования экспериментов

№ эксп.	x_1	x_2	x_3	x_1x_2	x_1x_3	x_2x_3	$\bar{y}$
1	-	-	-	+	+	+	7,2
2	+	-	-	-	+	-	6,7
3	-	+	-	-	-	+	4,1
4	+	+	-	+	-	-	5,5
5	-	-	+	+	+	-	18,5
6	+	-	+	-	-	+	43,1
7	-	+	+	-	-	-	8,5
8	+	+	+	+	+	+	11,5

На основании полученных данных определили математическую модель процесса выщелачивания титансодержащего сырья сульфатно-фторидным способом в

виде уравнения регрессии для трёхфакторного полного эксперимента, основанного на кодированных переменных:

$$y = 13,7375 + 4,1875 \cdot x_1 - 6,3625 \cdot x_2 + 7,8875 \cdot x_3 - 3,0625 \cdot x_1 x_2 + 3,9375 \cdot x_1 x_3 - 5,2625 \cdot x_2 x_3. \quad (1)$$

Дисперсионный анализ полученного уравнения математического описания процесса выщелачивания выявил статистически значимое влияние на степень извлечения титана в раствор факторов x_1 , x_2 , x_3 и взаимодействие факторов $x_2 x_3$ (рис.1).

Вертикальная линия на рис. 1 соответствует уровню значимости параметров. Бары, выходящие за пределы линии, являются статистически значимыми. Взаимодействия параметров AC и BC, что соответствует $x_1 x_3$ и $x_1 x_2$, соответственно, являются незначимыми. Таким образом, уравнение (1) преобразуется:

$$y = 13,7375 + 4,1875 \cdot x_1 - 6,3625 \cdot x_2 + 7,8875 \cdot x_3 - 5,2625 \cdot x_2 x_3. \quad (2)$$

Регрессионный анализ уравнения математического описания процесса выщелачивания (при $R^2=97,1582\%$, $P=0,95$) показал, что уравнение адекватно. Таким образом, это доказывает целесообразность выбора значений параметров процесса сульфатизации.

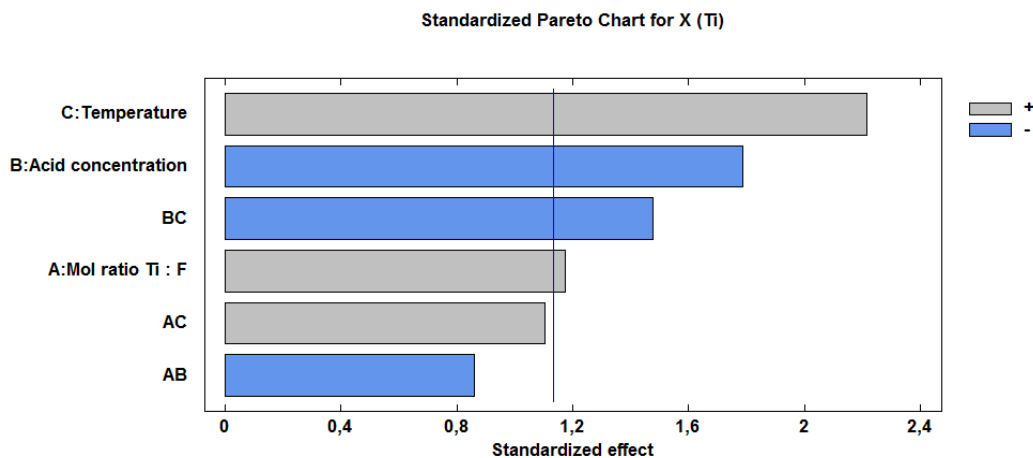


Рис. 1. Статистически значимое влияние факторов x_1 , x_2 , x_3 и их взаимодействия на процесс сульфатизации титансодержащего сырья

Величины коэффициентов регрессии говорят о степени влияния факторов на параметр оптимизации (согласно уравнению 2), а знак при них указывает на то, как необходимо изменить факторы для улучшения функции отклика. Так, видно, что уменьшение концентрации серной кислоты (знак минус перед x_2) или увеличение температуры процесс (знак плюс перед x_3) увеличат значение функции отклика «у» (рис.1).

Полученные поверхности отклика представлены на рис. 2,3,4.

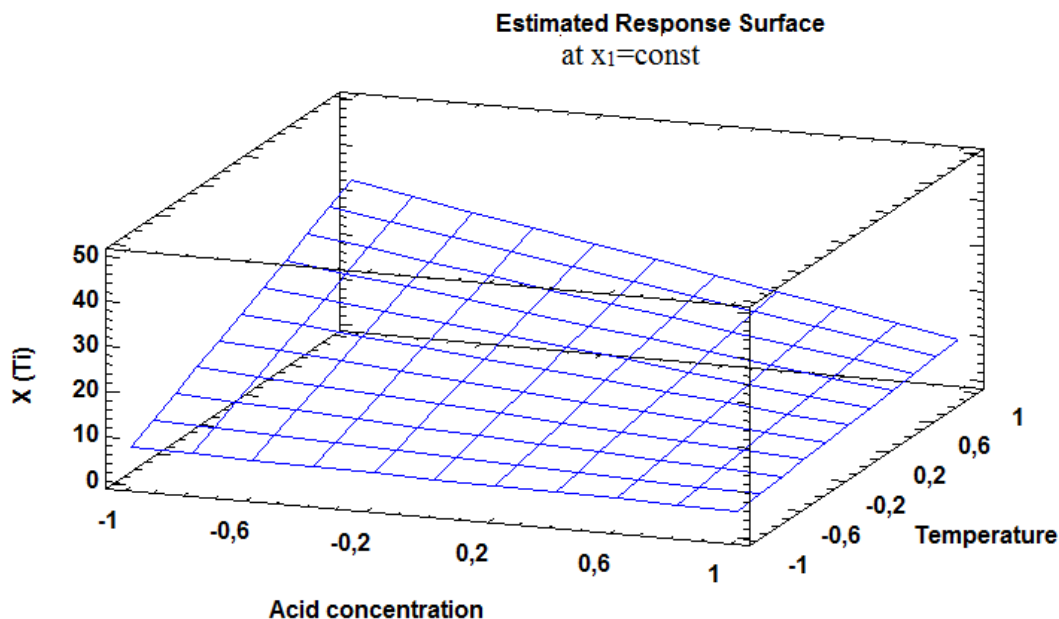


Рис. 2. Площадь поверхности отклика процесса выщелачивания
В качестве координат указаны факторы, влияющие на процесс:
 $X(\text{Ti})$ – функция отклика – степень извлечения титана в раствор

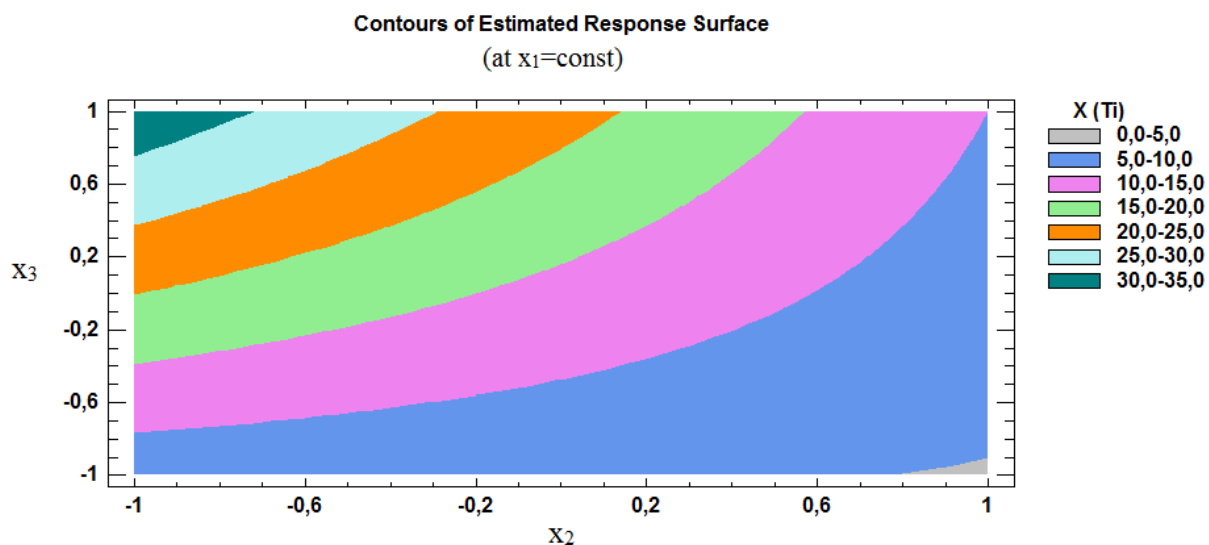


Рис. 3. Графическая интерпретация уравнения регрессии трёхфакторного
эксперимента процесса выщелачивания

В качестве координат указанные факторы, влияющие на процесс
Цветные области на графике – двухмерная проекция поверхности отклика

При уменьшении значения начальной концентрации H_2SO_4 и повышении температуры процесса сульфатизации, увеличивается степень извлечения титана в раствор (рис. 3). Вместе с тем, увеличение мольного соотношения до Ti:F также увеличивает степень извлечения титана (рис. 4).

В ходе многокритериального оптимизационного анализа математической модели найдена оптимальная комбинация значимых факторов множественной регрессии (табл. 3).

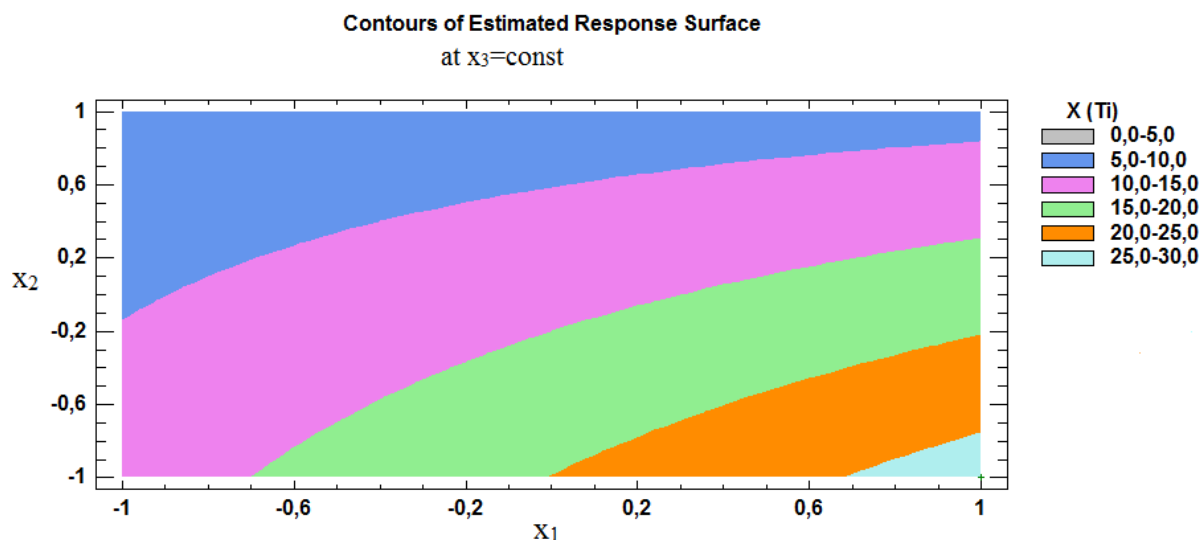


Рис. 4. Графическая интерпретация уравнения регрессии трёхфакторного эксперимента процесса выщелачивания титансодержащего сырья сульфатно-фторидным способом

Цветные области на графике – двухмерная проекция поверхности отклика

Таблица 3. Результат оптимизационного анализа

Фактор	Нижний уровень	Верхний уровень	Оптимум	Значение функции отклика при комбинации оптимумов, %
x_1	-	+	+	44,43
x_2	-	+	-	
x_3	-	+	+	

ВЫВОДЫ

Предложена математическая модель процесса выщелачивания титансодержащего сырья сульфатно-фторидным способом в виде уравнения регрессии для трёхфакторного полного эксперимента, основанного на кодированных переменных. Регрессионный анализ полученного уравнения показывает, что наибольшее влияние оказывают следующие факторы: концентрация серной кислоты, температура процесса, их взаимодействие и мольное соотношение $Ti:F$. Оптимизационный анализ определил наилучшую комбинацию параметров процесса сульфатизации: $T=100^{\circ}C$, $C(H_2SO_4)=85\%$ и мольное соотношение $Ti:F = (1:2)$, при которой достигается степень извлечения титана 44,43%.

ЛИТЕРАТУРА

1. Солтис М. М., Загордонський В. П. Математичне моделювання у хімії та хімічній технології: навч. посібник. Львів : ЛНУ імені Івана Франка, 2011. 328 с.
2. Адлер Ю. П. Введение в планирование эксперимента. Москва : Металлургия, 1968. 155 с.
3. Скомороха В. Н., Зареченный В. Г., Воробьева И. П., Вакал С. В. Производство двуокиси титана пигментной сульфатным способом. Сумы : АТЗТ "Арсенал-Пресс", 2002. 204 с.