УДК 66.067.16

К.Н.ТИШКОВ
Нижегородский государственный технический университет

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА МАЛОЭНЕРГОЕМКОГО АППАРАТУРНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА ПО ГЛУБОКОЙ ПЕРЕРАБОТКЕ МЕТАЛЛОСОДЕРЖАЩИХ ПРОМЫШЛЕННЫХ И БЫТОВЫХ ОТХОДОВ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К УСЛОВИЯМ МАЛОТОННАЖНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Исследован процесс и разработан опытно-промышленный образец аппаратурно-технологического комплекса для отделения неметаллической компоненты из металлосодержащих отходов. Проведено математическое моделирование процесса выщелачивания и оптимизация режима выщелачивания. Разработанный способ на 20-30 % экономичнее существующих методов.

The process is investigated and the trial sample of a hardware – technological complex for branch not metal components from metal contents wastes is developed. Mathematical modeling and optimization of a mode of process dissolving of heavy metal were made. The developed way on 20-30 % of more economically existing methods.

Металлсодержащие промышленные и бытовые отходы наряду с их отрицательным воздействием на окружающую среду содержат значительное количество ценных цветных металлов, и поэтому целесообразно перерабатывать их с извлечением всех ценных компонентов.

Настоящая работа посвящена исследованию отделения неметаллической компоненты путем перевода тяжелых металлов (ТМ) из гальваношламов (ГШ) в растворенное состояние. Анализ твердых и жидких проб на содержание в них ТМ проводился с использованием атомно-абсорбционного метода. Содержание ионов тяжелых металлов в исследуемых гальваношламах составляло, %: Ca 35-39; Zn 0,04-1,8; Fe 1,0-2,2; Си 0,5-18; Сг 0,02-0,88; Ni 0,004-0,14; Pb 0,05-0,1. По степени токсичности исследуемые отходы относятся к 4-му классу опасности.

В качестве растворяющего реагента использовали 5-10-процентный раствор серной кислоты. Выбор этого реагента связан с относительно низкой стоимостью, хорошей растворимостью в ней ТМ и ее низкой летучестью. Кроме того, в серно-кислых растворах облегчено последующее выделение ТМ из отработанных растворов и регенерация самой кислоты.

Образование при выщелачивании мелкодисперсной фазы сульфата кальция и особенности физико-химических свойств ГШ таковы, что ни один из применяемых методов выщелачивания не удовлетворял требованиям создания экологически безопасного энерго- и ресурсосберегающего процесса. Поэтому происходил значительный вынос мелкодисперсной фазы, забивка фильтров. Исследование влияния различных факторов (температуры, концентрации и т.п.) на процесс выщелачивания показало, что процесс лимитируется внешней диффузией. Для таких процессов скорость сильно зависима от гидродинамических условий.

Авторами был разработан и запатентован новый способ выщелачивания, который в отличие от существующих методов более полно соответствовал требованиям создания малоэнергоемких аппаратурно-технологических комплексов по глубокой переработке металлосодержащих отходов. Этот метод позволил исключить отдельные операции

(например, фильтрацию), была существенно увеличена концентрация ТМ в выщелачивающем растворе (ВР), сокращен расход выщелачивающего раствора, уменьшены габариты оборудования и сокращены требуемые производственные площади и т.д.

Обрабатываемые металлосодержащие отходы загружали на осциллирующие в вертикальной плоскости лотки с фильтрующим дном, размещенные в емкостях с обрабатывающим раствором. При ходе лотка вниз раствор проходил через фильтрующее дно и слой шлама, частицы ГШ переходили во взвешенное состояние. За счет этого происходило увеличение поверхности взаимодействия жидкой и твердой фаз, уменьшение диффузионных ограничений и соответственно возрастание скорости выщелачивания. При ходе лотков вниз раствор, насыщенный перешедшими ионами тяжелых металлов, перетекал в емкость, и далее цикл повторялся.

Зависимость скорости выщелачивания от значительного количества факторов потребовала для практической реализации разработанной технологии проведения математического моделирования процесса выщелачивания и оптимизации режима.

В качестве переменных факторов были выбраны следующие: концентрация ВР (X_1), соотношение жидкой и твердой фаз (X_2), скорость протока ВР (в долях объема рабочей емкости) (X_3), время процесса (X_4), температура растворов (X_5) и число ступеней (X_6). Параметром оптимизации выбрана степень выщелачивания ТМ из ГШ (степень очистки).

Проведен дробно-факторный эксперимент для установления влияния отдельных факторов системы и совокупного их влияния на результативный параметр выщелачивания.

Задача множественной регрессии и выбор значимых факторов были решены с применением статистического пакета программ STATGRAPHICS на PC ЭВМ. Степень выщелачивания $Y = Y_1/(Y + Y_2)$, где Y_1 – убыль ТМ из ГШ; Y_2 – остаток ТМ в ГШ.

Далее для уменьшения модельной ошибки эта функции преобразована к виду

$$Y = \frac{\exp(\mathrm{Ln}Y_1)}{\exp(\mathrm{Ln}Y_1) + \exp(\mathrm{Ln}Y_2)}\,100\ \%.$$

В итоге получены следующие уравнения:

$$\mathrm{Ln}(Y_1) = 1{,}93 - 0{,}13\,\overline{X}_1 - 0{,}125\,\overline{X}_3 -$$
$$- 0{,}02\,\overline{X}_4 + 0{,}37\,\overline{X}_6 - 0{,}45\,\overline{X_1X_4} -$$
$$- 0{,}444\,\overline{X_1X_5} - 0{,}486\,\overline{X_1X_6} + 0{,}344\,\overline{X_2X_4} +$$
$$+ 0{,}941\,\overline{X_2X_4} + 0{,}619\,\overline{X_2X_6} - 0{,}571\,\overline{X_2X_2} -$$
$$- 0{,}094\,\overline{X_3X_3} - 0{,}379\,\overline{X_6X_6};$$
$$\mathrm{Ln}(Y_2) = 0{,}7816 + 0{,}76\,\overline{X_1} + 0{,}091\,\overline{X_3} +$$
$$+ 0{,}1\,\overline{X_4} - 0{,}585\,\overline{X_6} + 0{,}159\,\overline{X_1X_2} +$$
$$+ 0{,}109\,\overline{X_1X_3} - 1{,}646\,\overline{X_2X_5} - 0{,}721\,\overline{X_2X_6} -$$
$$- 0{,}286\,\overline{X_5X_6} - 0{,}51\,\overline{X_1X_1} + 0{,}565\,\overline{X_2X_2} -$$
$$- 0{,}22\,\overline{X_4X_4} - 0.025\,\overline{X_5X_5},$$

где X – безразмерные независимые переменные.

Связь между исходными и кодированными переменными задается соотношением $X = (X - \mathrm{OУ})/\mathrm{ИВ}$, где ОУ – основной уровень; ИВ – интервал варьирования.

Сравнение результатов, рассчитанных по модельному уравнению, с экспериментальными данными и расчет критерия Фишера дали основание считать, что полученная модель адекватно отражает исследуемый процесс. Средняя ошибка регрессивного (модельного) уравнения составила 9,3 % (при уровне доверия 95 %).

На основе математической модели оптимизирован режим процесса выщелачивания. При поиске максимума функции степени выщелачивания комплексным методом Бокса получены следующие значения переменных в оптимальной точке: $X_1 = 50$ г/л, $X_2 = 11$, $X_3 = 0{,}5$, $X_4 = 1$ ч, $X_5 = 48$ °С, $X_6 = 4$.

Анализируя выведенную математическую модель, приходим к выводу, справедливому в исследуемой области факторного пространства при выбранных интервалах варьирования: характер влияния всех фак-

торов системы на степень выщелачивания – нелинейный и достаточно сложный. Кроме того, наиболее существенное влияние на степень выщелачивания оказывает концентрация серной кислоты, скорость протока растворов, время процесса и число ступеней обработки.

Испытания разработанного технологического процесса на макетах оборудования показали высокие удельные характеристики, а по такому показателю, как расход электроэнергии, способ осцилляторного выщелачивания существенно экономичнее имеющихся аналогов. Степень извлечения тяжелых металлов на каждой ступени от 55 до 70 %, что обеспечивало суммарную степень извлечения 90-97 % и близко к теоретически рассчитанным значениям. Разработанная конструкторская документация на опытно-промышленный образец аппаратурно-технологического комплекса имеет следующие основные технические характеристики: производительность – до 20 т/год; температура обработки – 20-60 °С; время обработки – 1 ч; число ступеней кислотной обработки – 3-4; число промывочных ступеней – 3-4; объем раствора на одной ступени – 20 л; расход энергии без нагрева – 45 Вт·ч/кг, с нагревом – 250 Вт·ч/кг.

Разработанный способ переработки отходов может быть использован при организации станций централизованной и локальной утилизации металлосодержащих промышленных и бытовых отходов, а также в образовательном процессе при изучении дисциплин «Промышленная экология», «Малоотходные и ресурсосберегающие технологические процессы», «Безопасность технологических процессов».