УДК 66.067.16

К.Н. ТИШКОВ
Нижегородский государственный технический университет

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

Разработан лабораторный образец аппаратурно-технологического комплекса для регенерации серно-кислотных растворов выщелачивания тяжелых металлов из отходов. Разработанный способ позволит селективно выделять тяжелые металлы и создать замкнутые циклы по технологическим растворам.

The process is investigated and the trial sample of a hardware-technological complex for regeneration of sulfuric acid after process dissolving of heavy metal from waste were made. The developed way will makes it possible the selective extract of heavy metals and closed cycle on technological solution .

Проблема утилизации техногенных рудных образований, к которым можно отнести осадки сточных вод, шламы гальванических производств и т.п., является в настоящее время одной из самых приоритетных в экологии. Наиболее приемлемым решением как с экологической, так и с экономической точек зрения является комплексная утилизация отходов. При этом в ресурсный цикл возвращались бы все основные компоненты, содержащиеся в отходах.

Разработанная в университете технология переработки твердых промышленных и бытовых отходов включает следующие основные стадии:

- выщелачивание из отходов тяжелых металлов и отделение нерастворимой кальцийсодержащей фракции;
- выделение тяжелых металлов из отработанных выщелачивающих растворов;
- регенерация отработанных растворов с возвращением их в технологический цикл.

В исследованных в работе шламах большую часть металлов составляет медь, что предопределило и преимущественное ее содержание в растворе (до 80 %). Проведение выщелачивания противотоком в несколько стадий позволило поддерживать концентрацию меди в пределах 12-20 г/л. Остальную часть составляет железо (до 15 %). Такие металлы, как никель, хром, кадмий и др., содержатся в малых количествах (доли процента) и потому извлечение их из данного вида шламов не целесообразно. Блок-схема процесса регенерации серной кислоты представлена на рисунке.

Извлечение меди производили в диафрагменных электролизерах с разделенными электродными пространствами. При этом на катоде и аноде протекают следующие процессы: соответственно

$$CuSO_4 + 2e \rightarrow Cu + SO_4^{2};$$

$$H_2O - 2e \rightarrow \frac{1}{2}O_2 + 2H^{+}$$

$$CuSO_4 + H_2O \rightarrow Cu + \frac{1}{2}O_2 + H_2SO_4$$

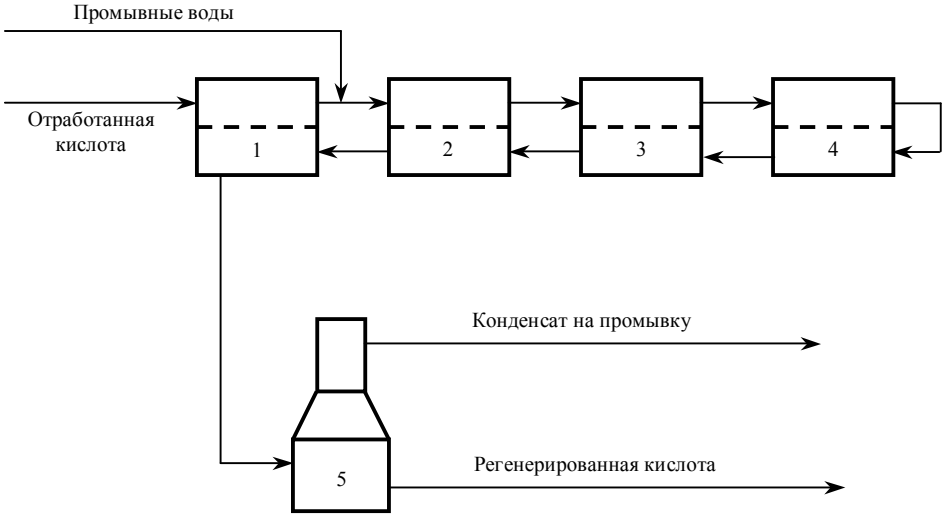

Схема регенерации отработанной серной кислоты

1 – электролизер для выделения меди; 2-4 – электрокоагуляторы; 5 – испаритель

Исследование механизма и кинетики выделения меди из отработанных растворов показало, что процесс выделения меди протекает в диффузионном режиме. Выход по току для меди растет с увеличением температуры и концентрации меди в растворе и уменьшается с увеличением содержания других тяжелых металлов. Положительный потенциал меди и проведение процесса в режиме постоянства потенциала (около 0,05 В) обеспечивают не менее, чем 95-процентное выделение меди из отработанных растворов. Катодная медь полностью отвечает требованиям ГОСТа

Математическое моделирование позволило оптимизировать технологический процесс. Установлено, что наибольший выход по току (94 %) достигается при концентрации меди 14,6 г/л, плотности тока 5 А/дм^2 , частоты вращения 198 мин$^{-1}$.

Выделение остальных металлов производилось в виде гидроксидов на каскаде электролизеров с разделенными электродными пространствами. Наличие в растворе значительного количества ионов железа исключало необходимость специального введения в раствор коагулянта, и поэтому были выбраны нерастворимые аноды. Использование разделенных электродных пространств позволяло селективно выделять гидроксиды тяжелых металлов, так как гидроксиды каждого из них осаждаются при различных pH. Число электролизеров в каскаде в определенной степени зависит от вида тяжелых металлов и от их относительного содержания в растворе. В эти же электролизеры добавляют и промывные воды, благодаря чему процесс утилизации шламов становится практически бессточным.

Процессы, протекающие на катоде, аноде и в каталите, могут быть описаны реакциями соответственно:

$$2H_2O+2e \rightarrow H_2+2OH;$$

$$2H_2O - 2e \rightarrow \frac{1}{2}O_2 + 2H^+;$$

$$Me^{2+} + 2OH^- \rightarrow Me(OH)_2 \downarrow.$$

Раствор вначале проходит через катодные пространства всех электролизеров, где происходит выделение меди и отделение гидроксидов тяжелых металлов. Затем раствор проходит через анодные пространства этих же электролизеров, но в обратном направлении (см. рисунок). Кроме указанных реакций в электролизерах наблюдается перенос сульфат-ионов из катодных пространств в анодные. Благодаря этому концентрация кислоты рас-

тет и на выходе из электролизера 1 имеет концентрацию, близкую к исходной, однако все же недостаточную для использования в процессе выщелачивания тяжелых металлов из шламов. Поэтому раствор направляют в испаритель, где удаляют избыток воды. Установка работает в режиме испарительного охлаждения, благодаря чему расход энергии на испарение не превышает 30-50 Вт/кг. Требуемая производительность достигается за счет развития поверхности испарения. Кислота и конденсат вновь возвращаются в технологический цикл обработки шламов.

Для реализации разработанных технологических процессов и обеспечения экономической рентабельности производства в условиях малотоннажного производства были разработаны и соответствующие аппаратурно-технологические комплексы, которые обеспечили малое энергопотребление, возможность утилизации отходящего тепла и высокие удельные характеристики при унификация основных узлов.