

А.Р. Цыганов¹, А.С. Панасюгин², И.И. Курило¹, Н.П. Машерова¹

¹Белорусский государственный технологический университет

²Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

**СОРБЦИОННЫЕ СВОЙСТВА ФИЛЬТРУЮЩИХ ЗАГРУЗОК
НА ОСНОВЕ МОДИФИЦИРОВАННЫХ СТАЛЕПЛАВИЛЬНЫХ
ШЛАКОВ ПРИ ОЧИСТКЕ ВОД ОТ ИОНОВ Fe^{3+} , Cu^{2+} , Pb^{2+} , Cr^{3+} ,
 Al^{3+}**

***Аннотация.** Многие промышленные предприятия проводят гальванические процессы, в результате чего образуются оборотные, промывные и сточные воды, содержащие ионы тяжелых металлов: железа, хрома, меди, цинка, никеля, свинца и др. В работе изучено извлечение ионов металлов фильтрующими загрузками, созданными на основе сталеплавильного шлака.*

A.R. Tsyganov¹, A.S. Panasyugin², I.I. Kurilo¹, N.P. Masherova¹

¹Belarusian State Technological University,

²Belarusian National Technical University,
Minsk, Belarus

**SORPTION PROPERTIES OF FILTER LOADINGS BASED ON
MODIFIED STEEL MELTING SLAG FOR WATER
PURIFICATION FROM Fe^{3+} , Cu^{2+} , Pb^{2+} , Cr^{3+} , Al^{3+} IONS**

***Abstract.** Many industrial enterprises use galvanic processes. As a result water containing heavy metal ions of iron, chromium, copper, zinc, nickel, lead etc. is formed. Such waters are dangerous sources of environmental pollution. The aim of the present paper is investigation of removal of metal ions from aqueous media by material on the basis of steel melting slag.*

Многие промышленные предприятия используют гальванические процессы, например, нанесение на поверхность стальных изделий защитных покрытий (бронзирование, латунирование и др.). С учетом последующих технологических операций образуется значительный объем оборотных, промывных и сточных вод, содержащих растворенные в воде соединения железа, меди, цинка, хрома, свинца, кобальта и других металлов [1].

Материал, полученный на основе сталеплавильного шлака, перспективен для решения конкретных задач, связанных с очисткой водных сред от ионов многовалентных металлов [2].

Цель данной работы состоит в изучении механизма процесса

извлечения ионов Fe^{3+} , Cu^{2+} , Pb^{2+} , Cr^{3+} , Al^{3+} из воды фильтрующей загрузкой, созданной на основе сталеплавильного шлака.

В качестве фильтрующего материала был использован шлак, получаемый при производстве стали на Белорусском металлургическом заводе. Размер гранул составлял 2–3 мм. Шлак был модифицирован методом кислотной активации.

Фильтрующий материал на основе сталеплавильного шлака способен выполнять роль как осаждающего реагента, так и механического фильтра, задерживающего частицы образующихся соединений.

Кинетические параметры при концентрировании (осаждении) фильтрующими загрузками катионов (при их индивидуальном присутствии в растворе) определяли следующим образом. К навескам исследуемого материала массой 0,1 г добавляли по 200 мл растворов, содержащих ионы Fe^{3+} , Cu^{2+} , Pb^{2+} , Cr^{3+} , Al^{3+} с массовыми концентрациями 20 мг/дм³, что соответствует молярным концентрациям эквивалента вещества 1,07 (Fe^{3+}), 0,625 (Cu^{2+}), 0,13 (Pb^{2+}), 1,16 (Cr^{3+}), 2,22 (Al^{3+}) мг-экв/дм³.

Через 5, 10, 20, 60, 120, 180, 240, 360 и 540 минут отбирали аликвоты, в которых определяли остаточное содержание Fe^{3+} , Cu^{2+} , Pb^{2+} , Cr^{3+} , Al^{3+} на спектрометре Solar PV 1251C.

На рис. 1 представлены изотермы концентрирования (осаждения) ионов Fe^{3+} , Cu^{2+} , Pb^{2+} , Cr^{3+} , Al^{3+} фильтрующей загрузкой, полученной на основе сталеплавильного шлака.

Ионы по количеству, осаждающемуся на фильтрующей загрузке, располагаются в следующий ряд:

Fe^{3+} (14,4 мг-экв/г) > Al^{3+} (10,1 мг-экв/г) > Cr^{3+} (9,7 мг-экв/г) > Cu^{2+} (3,8 мг-экв/г) > Pb^{2+} (0,14 мг-экв/г).

Осажденных ионов Fe^{3+} больше по сравнению с Cu^{2+} в 3,8 раза, Al^{3+} – 1,4 раза, Cr^{3+} – 1,5 раза и для $\text{Pb}^{2+} \approx 10$ раз.

Данное обстоятельство обусловлено, прежде всего, коллоидно-химическим состоянием ионов в водных растворах. В более ранних работах [3], где изучались параметры извлечения Fe^{3+} на фоне общего солесодержания 500 мг/дм³ и содержания Fe^{3+} до 50–60 мг/дм³, было показано, что при гидролизе разбавленных растворов солей Fe (III) в составе гидрокскомплексов может находиться от 1 до 50 ионов железа (III). Следовательно, железо (III) находится в предкоагуляционном состоянии, и достаточно одного осаждающего иона, чтобы связать сразу несколько ионов железа (III).

На рис. 2 представлена зависимость степени концентрирования (осаждения) F от времени протекания процесса.

$$F = C_R / C_{\max},$$

где C_R – осаждающая способность материала за определенное время контакта (τ); $C_{\max}$ – максимальное концентрирование.

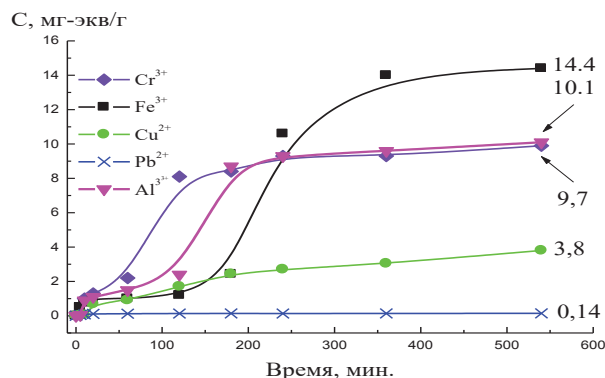


Рис. 1 - Изотермы концентрирования растворов ионов Fe^{3+} , Cu^{2+} , Cr^{3+} , Al^{3+} , Pb^{2+} фильтрующей загрузкой, полученной на основе сталеплавильного шлака

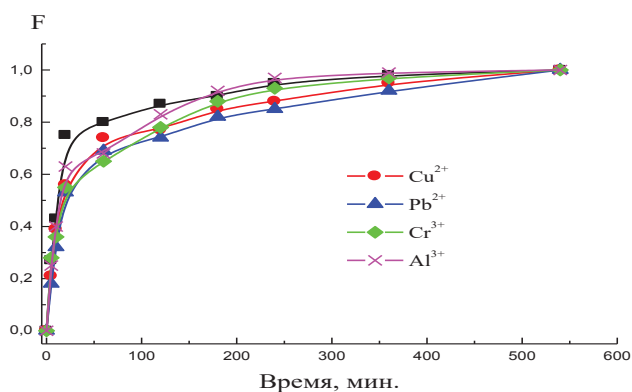


Рис. 2 - Кинетическая зависимость степени концентрирования (F) от времени контакта растворов ионов Fe^{3+} , Cu^{2+} , Cr^{3+} , Al^{3+} и Pb^{2+} с фильтрующей загрузкой, полученной на основе сталеплавильного шлака

Процесс осаждения (концентрирования) имеет сложный характер, поэтому необходимо установить его механизм и определить кинетические характеристики отдельных стадий. Описание кинетики осаждения на основе формально-кинетического анализа позволяет учесть вклад диффузии и химических реакций, а также определить кинетические параметры [4].

При обработке кинетических кривых использовали упрощенные модели, учитывающие, что скорость процесса может контролироваться диффузией либо протеканием химических реакций.

С целью выявления лимитирующей стадии осаждения была

проанализирована типовая зависимость $F-\tau^{0,5}$ и выведены соответствующие формулы:

$$F(\text{Fe}^{3+}) = 0,125 \times t^{0,5}; F(\text{Cu}^{2+}) = 0,0977 \times t^{0,5}; F(\text{Pb}^{2+}) = 0,078 \times t^{0,5}; \\ F(\text{Cr}^{3+}) = 0,0685 \times t^{0,5}; F(\text{Al}^{3+}) = 0,065 \times t^{0,5}.$$

Применение формально-кинетического подхода при выборе модели, описывающей экспериментальные кинетические данные осаждения на основе закономерности $g(\alpha) = f(\tau)$, где $\alpha = 1 - F$, позволило определить механизм осаждения на отдельных стадиях процесса и кинетические характеристики.

Вид функции $g(\alpha)$ зависит от механизма процесса и, как правило, заранее неизвестен. Для каждой установленной стадии, соответствующей определенному интервалу α , выбирали функцию $g(\alpha)$, соответствующую определенной кинетической модели, которая представляет идеализированное протекание процесса.

В табл. 1 представлены механизмы процессов, которым соответствуют определенные виды функции $g(\alpha)$.

Таблица 1 - Возможные механизмы процесса осаждения

Механизм	Вид функции $g(\alpha)$
Трехмерная диффузия	$[1 - (1 - \alpha)^{1/3}]^2$
Диффузия по Гинстлингу-Броунштейну	$[1 - 2/3 \alpha - (1 - \alpha)^{2/3}]$
Диффузия по Журавлёву-Темпельману	$[1/(1 - \alpha)^{1/3}]^2$
Реакция на границе раздела фаз	$1 - (1 - \alpha)^{1/3}$
Зародышеобразование по Авраами-Ерофееву	$-\lg(1 - \alpha)^{1/n}$
Зародышеобразование по Прауту-Томпкинсу	$\ln[\alpha(1 - \alpha)]^{1/2}$

Из совокупности уравнений выбиралось то, которое в заданной области степени завершения процесса давало минимальное значение дисперсии, то есть описывало процесс на данном этапе с максимальной вероятностью. С учетом области применимости были выбраны три модели, которые наиболее соответствуют реальным процессам, протекающим на границе раздела фаз.

Для всех изученных ионов в интервалах α от 0,10 до 0,67 процесс описывается уравнением Авраами-Ерофеева:

$$g(\alpha) = -\lg(1 - \alpha)^{1/n}.$$

Следовательно, на начальном этапе лимитирующей является химическая стадия зародышеобразования (формирование кристаллического осадка. Значение n , равное 3, позволяет говорить о замедлении кинетической стадии химического процесса.

В интервалах α от 0,54 до 0,94 процесс характеризуется

реакциями на границе раздела фаз и соответствует уравнению $1 - (1 - \alpha)^{1/3}$, т. е. на поверхности зародышей начинается образование слоя продуктов реакции.

В интервале α от 0,83 до 0,99 процесс обусловлен реакциями на границе раздела фаз по уравнению $[1 - (1 - \alpha)^{1/3}]^2$, ростом сплошного слоя продуктов реакции.

Таким образом, установлено, что процесс осаждения ионов металлов на фильтрующем материале, созданном на основе модифицированного сталеплавильного шлака, на начальном этапе лимитирует химическая стадия зародышеобразования (формирование кристаллического осадка), далее – реакции на границе раздела фаз (образование на поверхности зародышей слоя продуктов реакции), а на заключительной стадии – рост сплошного слоя продуктов реакции.

Список использованных источников

1. Тимофеева, С. С. Комплексная оценка технологии утилизации сточных вод гальванических производств / С. С. Тимофеева, А. Н. Баранов, Л. Д. Зубарев // Химия и технология воды. – 1991. – Т. 13, № 1. – С. 68–74.

2. Извлечение из водных растворов ионов железа и свинца фильтрующей загрузкой, созданной на основе сталеплавильного шлака / Панасюгин А. С. [и др.] // Литье и металлургия. – 2018. – Т. 92, № 3. – С. 58–62.

3. Ратько, А. И. Извлечение из водных растворов ионов железа (III) силикатами кальция / А. И. Ратько, А. С. Панасюгин, Е. А. Колос // ЖПХ. – 1998. – Т. 71, № 10. – С. 1638–1642.

4. Розовский, А. Я. Кинетика топохимических реакций / А. Я. Розовский. – М.: Химия, 1974 – 224 с.

УДК 620.97

С.С. Шайымов, Б.Н. Байлиев

Институт Телекоммуникаций и Информатики Туркменистана
Ашхабад, Туркменистан

РЕКУПЕРАЦИЯ ЭНЕРГИИ В СОВРЕМЕННЫХ ЭЛЕКТРОМОБИЛЯХ

Аннотация. Рекуперация является неотъемлемой частью многих систем и механизмов, используемых в различных областях: железнодорожном и