

## Охрана окружающей среды

УДК 628.1.034.2

**Гомеля Н.Д.<sup>1</sup>**, докт. техн. наук, проф., **Глушко Е.В.<sup>1</sup>**, канд. техн. наук,  
**Трохименко А.Г.<sup>2</sup>**, канд. биол. наук, **Бутченко Л.И.<sup>1</sup>**, канд. техн. наук

<sup>1</sup> **Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского», Киев**

просп. Победы, 37, 03056 Киев, Украина, e-mail: [m.gomelya@kpi.ua](mailto:m.gomelya@kpi.ua), [alyona\\_glushko@ukr.net](mailto:alyona_glushko@ukr.net)

<sup>2</sup> **Национальный университет кораблестроения имени адмирала Макарова, Николаев**

пр. Героев Сталинграда, 9, 54025 Николаев, Украина

### Электролитическое извлечение ионов тяжелых металлов из солянокислых растворов

Представлены результаты исследований по электрохимической переработке кислых регенерационных растворов, содержащих ионы тяжелых металлов. Показано, что использование трехкамерного электролизера дает возможность эффективно извлекать ионы цинка, меди и никеля из солянокислых растворов и концентрировать соляную кислоту в промежуточной камере электролизера. Исследована зависимость выхода по току тяжелых металлов от концентрации соляной кислоты, начальной концентрации тяжелых металлов в катодном пространстве, продолжительности электролиза и концентрации соляной кислоты в зоне ее концентрирования. Показано, что выход меди и цинка по току уменьшается с повышением кислотности в исходных растворах и промежуточной камере электролизера. Установлено, что выход никеля по току мало зависит от исходной концентрации соляной кислоты. Представлены результаты по концентрированию соляной кислоты в зависимости от продолжительности электролиза, исходной концентрации кислоты и тяжелых металлов в катоде. *Библ. 9, рис. 9.*

**Ключевые слова:** электролиз, катода, ионный обмен, регенерационный раствор, медь, никель, цинк.

Вода относится к условно неисчерпаемым природным ресурсам. Однако из-за неравномерного распределения и антропогенного загрязнения уже сейчас в некоторых районах Земли чувствуется острый дефицит чистой питьевой воды. Украина не является исключением и относится к странам с ограниченными водными ресурсами. Характерной особенностью является тот факт, что местам расположения

наиболее мощных потребителей воды отвечают наименьшие запасы водных ресурсов, а потребление воды и темпы ее загрязнения неумолимо растут. Сброс сточных вод промышленных предприятий, объектов теплоэнергетики, шахтных вод значительно усугубляют проблему загрязнения природных вод [1].

Одним из главных направлений охраны окружающей среды и рационального использова-

ния водных ресурсов является очистка и обезвреживание сточных вод, а также утилизация отходов гальванических производств, которыми являются отработанные электролиты, травильные растворы, а также промывные воды, характеризующиеся высоким содержанием загрязняющих веществ, которые невозможно удалить механическими и биологическими методами очистки.

Тяжелые металлы как один из компонентов сточных и промывных вод гальванических производств относятся к наиболее токсичным химическим загрязнителям кумулятивного действия, обладающим канцерогенными свойствами. Кроме того, большое количество тяжелых металлов образует так называемые синергетические смеси, которые оказывают токсическое действие на водные организмы, значительно превышающее сумму действий отдельных компонентов. Коэффициент концентрирования тяжелых металлов в живых организмах может достигать  $10^5$ – $10^6$  и выше.

В этом смысле важным аспектом является очистка сточных вод гальванических производств. Выбор метода очистки сточных вод от ионов тяжелых металлов зависит от объема стоков, состава и концентрации примесей в них, технико-экономических соображений, местных условий водообеспечения производств и сброса стоков. Радикально решить этот вопрос можно за счет внедрения замкнутых циркуляционных систем водопользования на промышленных предприятиях [2].

Перспективным направлением является применение ионного обмена, который дает возможность улавливать ионы тяжелых металлов и возвращать воду для повторного использования, что особенно актуально при нынешнем дефиците чистой воды. Однако при использовании ионного обмена возникает проблема утилизации регенерационных растворов.

Среди известных методов утилизации регенерационных растворов ионообменного извлечения тяжелых металлов из промывных вод гальванических производств таких, как нейтрализация и осаждение гидроксидов металлов, испарение растворов, электродиализ и электролиз, последние являются наиболее перспективными, поскольку дают возможность удалять металлы и позволяют повторно использовать регенерационные растворы. Кроме того, в зависимости от оборудования, которое используется при электрохимической переработке регенерационных растворов, повышение кислотности в анодном пространстве или других камерах электролизера позволяет получать кислоту, пригодную для

повторного использования. Главным недостатком данного метода являются низкие концентрации образующихся кислот и высокое остаточное содержание катионов металлов в данных растворах, а также значительные энергозатраты при снижении концентрации примесей в электролитах [3].

Ранее проводились исследования электрохимического извлечения тяжелых металлов из кислых, нейтральных и слабощелочных растворов [4, 5]. Главными недостатками процесса электролиза кислых растворов было то, что из них эффективно извлекались только ионы кадмия, меди и других металлов, стоящих в ряду напряжения после водорода. И во всех случаях выход металлов по току резко снижался за счет конкурирующего процесса выделения водорода на катоде. Главной проблемой при электролизе растворов хлоридов являлось выделение хлора и других его соединений на аноде, а также разрушение растворимых анодов.

### **Постановка целей и задач научного исследования**

Цель данной работы — определение эффективности очистки солянокислых регенерационных растворов от ионов меди, никеля и цинка при электрохимическом их восстановлении в трехкамерном электролизере.

Для достижения цели необходимо было решить следующие задачи:

— определить зависимость эффективности извлечения ионов тяжелых металлов ( $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ) из солянокислых растворов, степени их восстановления от концентрации исходного раствора, напряжения и плотности тока в трехкамерном электролизере;

— изучить влияние концентрации соляной кислоты в зоне ее концентрирования на эффективность электрохимического восстановления  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ , определить максимальную концентрацию соляной кислоты в промежуточной камере при высоких значениях выхода восстановленных металлов по току.

### **Методы и объекты исследования**

Для проведения электролиза с получением соляной кислоты использовали трехкамерный электролизер (рис.1). В катодной камере (I) находились солянокислые растворы хлоридов металлов, в анодной камере (III) — раствор серной кислоты. В средней камере (II), которая была отделена от катодного пространства анионообменной мембраной МА-41 и от анодной зоны катионообменной мембраной МК-40, нахо-

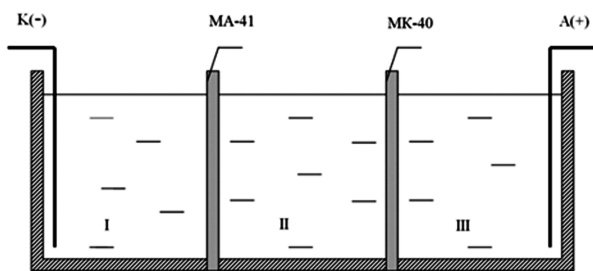


Рис.1. Схема электролизера для извлечения тяжелых металлов из их солянокислых растворов.

дился раствор соляной кислоты. Катод представлял собой пластину из нержавеющей стали, анод — титановую пластину, покрытую оксидом рутения. В качестве модельных использовали растворы хлоридов цинка, никеля и меди концентрацией 10–30 г/дм<sup>3</sup>.

Концентрация соляной кислоты в модельном растворе составляла 0,05–3 мг-экв/дм<sup>3</sup>, серной кислоты — 0,05 мг-экв/дм<sup>3</sup>. Объем катодной, анодной и промежуточной камеры составлял 100 см<sup>3</sup>. Концентрацию ионов меди, никеля, цинка, а также щелочность воды определяли по стандартным методикам [6, 7].

### Результаты исследований

Известно, что медь легко выделяется из водных растворов в процессе электролиза, поскольку влияние конкурирующего процесса выделения водорода на катоде достаточно незначительное. Как видно из рис.2, были получены хорошие результаты по выделению меди при повышении концентрации соляной кислоты в камере (II) от 75 до 2750 мг-экв/дм<sup>3</sup>. Наиболее эффективно выделение меди происходило при низких значениях концентрации соляной кислоты. При повышении исходной концентрации HCl наблюдалось некоторое уменьшение выхода по току меди. Однако за 6 ч электроли-

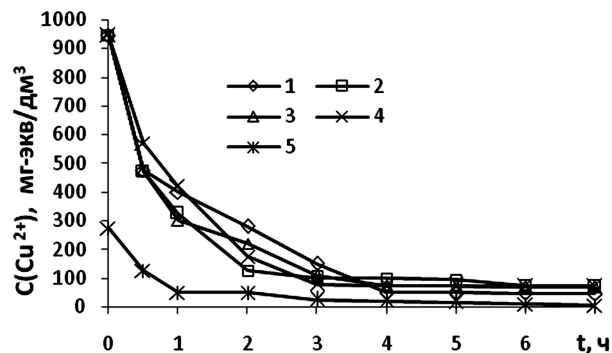


Рис.2. Зависимость остаточной концентрации ионов меди в катодном пространстве от времени электролиза хлорида меди. Исходные концентрации ионов меди 944 мг-экв/дм<sup>3</sup> (1–4); 274 мг-экв/дм<sup>3</sup> (5), соляной кислоты, мг-экв/дм<sup>3</sup>: 1 — 75; 2 — 1100; 3 — 1911; 4 — 2750; 5 — 70.

за удалось снизить концентрации ионов меди с 944 до 25,984–51,97 мг-экв/дм<sup>3</sup> практически во всех случаях. Очевидно, что концентрация соляной кислоты влияет и на эффективность извлечения меди, и на процесс концентрирования кислоты.

Процесс электролиза проводили, меняя растворы в катодной камере при извлечении меди, без замены растворов соляной кислоты в камере (II). При этом, если за первый цикл концентрация HCl в камере (II) выросла от 75 до 1620 мг-экв/дм<sup>3</sup> (на 1545 мг-экв/дм<sup>3</sup>), на втором этапе она выросла на 1360 мг-экв/дм<sup>3</sup> и достигла значения 3165 мг-экв/дм<sup>3</sup>, то на третьем этапе прирост концентрации кислоты составил всего 599 мг-экв/дм<sup>3</sup>. При этом концентрация кислоты достигла всего 3579 мг-экв/дм<sup>3</sup> (13 %).

Концентрирование кислоты в камере (II) происходило за счет хлорида меди, а также избыточной соляной кислоты в исходном растворе. В процессе электролиза при восстановлении катионов меди и ионов водорода надэквивалентное количество хлоридов из катодной камеры через анионную мембрану мигрирует в сторону анода — камеру (II). Избыток протонов, образующийся в анодной камере при выделении кислорода, движется сквозь катионную мембрану в сторону катода, то есть в камеру (II), где и происходит накопление соляной кислоты. Дальнейшая миграция хлоридов в сторону анода и протонов в сторону катода ограничены соответственно катионной и анионной мембранами. Это способствует росту концентрации соляной кислоты в камере (II) так же, как и электрохимического сопротивления системы, что и является причиной ограничения допустимых концентраций HCl в камере (II).

Дальнейшее увеличение исходной концентрации соляной кислоты до 2750 мг-экв/дм<sup>3</sup> не привело к существенному накоплению кислоты в камере (II). За 6 ч электролиза в данном случае концентрация соляной кислоты выросла всего на 300 мг-экв/дм<sup>3</sup>. При низких концентрациях хлорида меди (II) и соляной кислоты при аналогичной длительности процесса было достигнуто снижение концентрации меди до 40 мг-экв/дм<sup>3</sup>, а концентрация соляной кислоты при этом поднялась лишь на 535 мг-экв/дм<sup>3</sup> (рис.2, кривая 5).

Зависимость выхода по току меди от концентрации соляной кислоты имеет сложный характер (рис.3). Однако, суммарный выход по току уменьшался и с повышением кислотности в исходных растворах, и в камере (II).

Выделение цинка в данном электролизере происходило так же эффективно, как и выделение меди (рис.4).

Кроме того, отмечено эффективное концентрирование HCl в камере (II) при достижении значений до 3200 мг-экв/дм<sup>3</sup> (рис.5).

При увеличении исходной концентрации соляной кислоты в средней камере отмечено некоторое снижение выхода по току цинка, однако в целом он остается достаточно высоким при увеличении исходной концентрации HCl от 60 до 3000 мг-экв/дм<sup>3</sup> (рис.6).

Проблема выделения никеля электролизом из регенерационных растворов является достаточно сложной и интересной для исследования. В значительной степени была решена проблема извлечения никеля из кислых регенерационных растворов, содержащих сульфат никеля [8]. Однако при применении буры и борной кислоты меняется состав регенерационных растворов, что негативно влияет на процессы регенерации катионов при повторном использовании этих растворов. Недопустимо использование четвертичных солей в регенерационных растворах, поскольку они будут эффективно сорбироваться на катионите, снижая его емкость по катионам металлов.

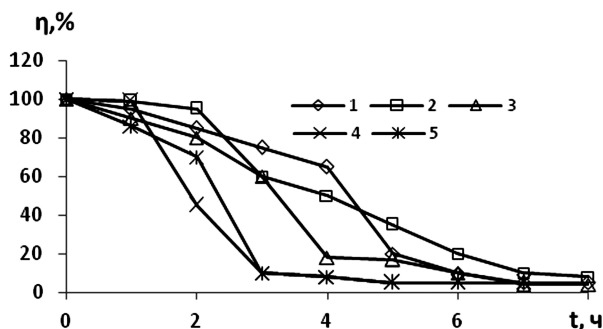


Рис.3. Зависимость выхода по току меди от времени электролиза раствора хлорида меди. Исходные концентрации ионов меди 944 мг-экв/дм<sup>3</sup> (1-4), 274 мг-экв/дм<sup>3</sup> (5), соляной кислоты, мг-экв/дм<sup>3</sup>: 1 – 750; 2 – 1100; 3 – 1911; 4 – 2750; 5 – 70.

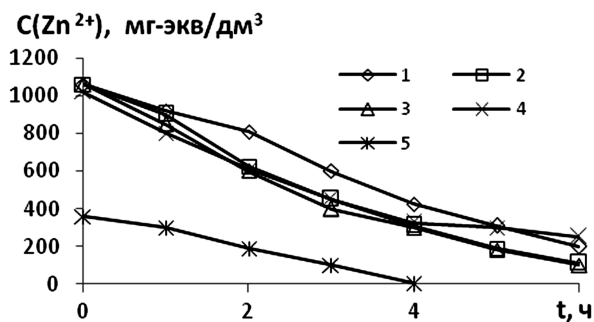


Рис.4. Зависимость остаточной концентрации цинка в катодном пространстве от времени электролиза хлорида цинка. Исходные концентрации ионов цинка 1060 мг-экв/дм<sup>3</sup> (1-3), 1020 мг-экв/дм<sup>3</sup> (4), 360 мг-экв/дм<sup>3</sup> (5), соляной кислоты, мг-экв/дм<sup>3</sup>: 1, 5 – 60; 2 – 1050; 3 – 2150; 4 – 3020.

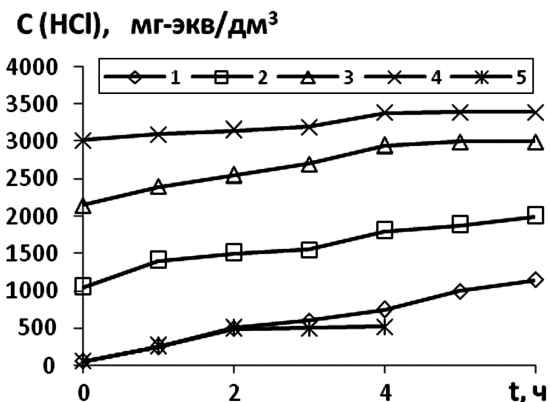


Рис.5. Зависимость концентрации соляной кислоты в промежуточной камере трехкамерного электролизера от времени электролиза хлорида цинка. Исходные концентрации ионов цинка 1060 мг-экв/дм<sup>3</sup> (1-3), 1020 мг-экв/дм<sup>3</sup> (4), 360 мг-экв/дм<sup>3</sup> (5), соляной кислоты, мг-экв/дм<sup>3</sup>: 1, 5 – 60; 2 – 1050; 3 – 2150; 4 – 3020.

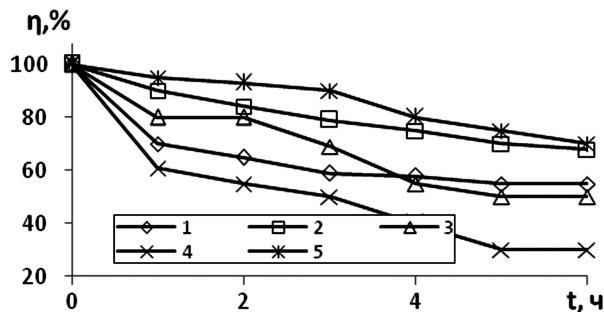


Рис.6. Зависимость выхода по току цинка от времени электролиза раствора хлорида цинка. Исходные концентрации ионов цинка 1060 мг-экв/дм<sup>3</sup> (1-3), 1020 мг-экв/дм<sup>3</sup> (4), 360 мг-экв/дм<sup>3</sup> (5), соляной кислоты, мг-экв/дм<sup>3</sup>: 1, 5 – 60; 2 – 1050; 3 – 2150; 4 – 3020.

В процессах электрохимической переработки кислых регенерационных растворов, содержащих ионы тяжелых металлов, важным является получение растворов кислот концентрацией 5 % и более. Ведь получение в анодном пространстве двухкамерного электролизера разбавленных растворов кислот является неудовлетворительным решением проблемы в связи с проблематичностью применения данных растворов повторно для регенерации ионитов.

Изучены процессы выделения ионов никеля из кислых регенерационных растворов, содержащих ионы никеля и серную кислоту, в двухкамерном электролизере, разделенном анионообменной мембраной АВ-17-8 [9]. Было достигнуто снижение концентрации ионов никеля почти на 90 % (с 23,77 до 0,88 г/дм<sup>3</sup>) за 8–12 ч электролиза в зависимости от концентрации серной кислоты в прианодном слое. Кроме того, были получены растворы серной кислоты в концентрации 0,9–2,68 экв/дм<sup>3</sup>.

Учитывая сказанное выше и исходя из задач и цели работы, были проведены исследования электролитического извлечения ионов никеля из солянокислых регенерационных растворов в трехкамерном электролизере. Удалось добиться снижения концентрации никеля более чем на 1000 мг-экв/дм<sup>3</sup> (рис.7), что обусловлено тем, что в катодном пространстве поддерживаются оптимальные значения pH на уровне 3,5–4,0.

Этот эффект достигается за счет процесса восстановления водорода на катоде. В случае выделения никеля прирост концентрации соляной кислоты в средней камере главным образом определялся концентрацией никеля в катодной камере, временем электролиза и практически не зависел от исходной концентрации кислоты до значений кислотности около 3500 мг-экв/дм<sup>3</sup> (рис.8).

При исходной концентрации соляной кислоты 60 мг-экв/дм<sup>3</sup> отмечен прирост концентрации за 6 ч электролиза на 1120 мг-экв/дм<sup>3</sup>, при исходной концентрации 2985 мг-экв/дм<sup>3</sup> прирост соляной кислоты составил 965 мг-экв/дм<sup>3</sup>. При этом начальная концентрация HCl в камере (II) была 3000 мг-экв/дм<sup>3</sup>, а в результате электролиза она достигла 3950 мг-экв/дм<sup>3</sup>, то есть 14 %. Выход по току никеля также мало зависел от исходной концентрации соляной кислоты (рис.9). Снижение выхода по току со временем электролиза обусловлено снижением концентрации никеля в катодите.

Так, в опыте с исходной концентрацией HCl в средней камере 60 мг-экв/дм<sup>3</sup> снижение концентрации никеля в катодном пространстве до 20 мг-экв/дм<sup>3</sup> было достигнуто за 8 ч, а при 1950 мг-экв/дм<sup>3</sup> — за 10 ч электролиза. При этом некоторое снижение выхода по току никеля во втором случае было обусловлено снижением концентрации никеля на последнем этапе электролиза при низких ее значениях.

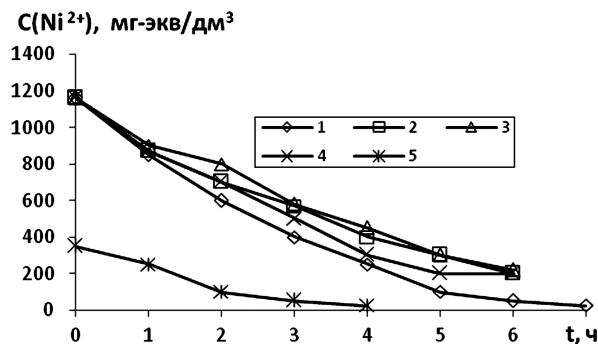


Рис.7. Зависимость остаточной концентрации никеля в катодном пространстве от времени электролиза хлорида никеля. Исходные концентрации ионов никеля 1160 мг-экв/дм<sup>3</sup> (1–4), 1027 мг-экв/дм<sup>3</sup> (5), соляной кислоты, мг-экв/дм<sup>3</sup>: 1 – 60; 2 – 1160; 3 – 2180; 4 – 2985; 5 – 70.

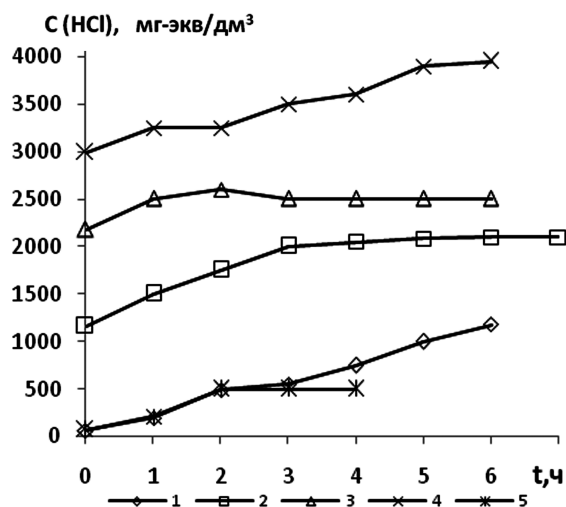


Рис.8. Зависимость концентрации соляной кислоты в промежуточной камере трехкамерного электролизера от времени электролиза хлорида никеля при исходных концентрациях ионов никеля 1160 мг-экв/дм<sup>3</sup> (1–4), 1027 мг-экв/дм<sup>3</sup> (5), соляной кислоты, мг-экв/дм<sup>3</sup>: 1 – 60; 2 – 1160; 3 – 2180; 4 – 2985; 5 – 70.

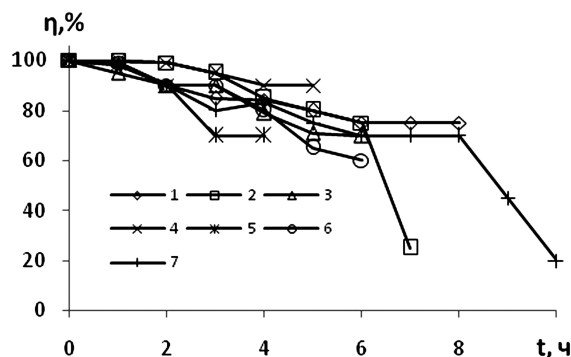


Рис.9. Зависимость выхода по току никеля от времени электролиза раствора хлорида никеля при исходных концентрациях ионов никеля 1160 мг-экв/дм<sup>3</sup> (1–4), 1027 мг-экв/дм<sup>3</sup> (5), 990 мг-экв/дм<sup>3</sup> (6, 7), соляной кислоты, мг-экв/дм<sup>3</sup>: 1, 6 – 60; 2 – 1160; 3 – 2180; 4 – 2985; 5 – 70; 7 – 1950.

## Выводы

В результате проведенных исследований показано, что применение трехкамерного электролизера позволяет решить довольно эффективно проблему извлечения тяжелых металлов из солянокислых растворов с получением соляной кислоты. В камере (II) электролизера была достигнута концентрация соляной кислоты на уровне 7–14 %, что дает возможность использовать ее для регенерации ионитов. Концентрация кислоты в данном процессе ограничивается главным образом характеристиками катионообменной мембраны, которая при высоких концентрациях кислоты теряет ионообменные свойства.

Установлено, що при електрохімічному відновленні міді з розчинів хлориду міді вихід металу по току залежить від вихідної концентрації соляної кислоти в середній камері трьохкамерного електролізу. В цілому вихід міді зменшується з підвищенням концентрації соляної кислоти. Ефективно процес відновлення міді протікає при концентрації HCl до 3600 мг-екв/дм<sup>3</sup>.

Показано, що процес електролізу розчинів хлориду цинку в трьохкамерному електролізері проходить достатньо ефективно при концентраціях цинку від 20 до 1000 мг-екв/дм<sup>3</sup>. Вихід цинку по току зменшується на 20 % при збільшенні концентрації соляної кислоти в катоді від 60 до 3020 мг-екв/дм<sup>3</sup>. Вміст соляної кислоти в камері (II) досягає 3590 мг-екв/дм<sup>3</sup>.

Визначено, що при електролізі розчинів хлориду нікелю вихід металу по току практично не залежить від концентрації соляної кислоти і нікелю в катоді і становить 70–90 %. Концентрація соляної кислоти в камері (II) досягає 14 %.

Ефективність відновлення катіонів важких металів залежить не тільки від вихідної концентрації і часу електролізу, а і суттєво від щільності струму. Тому визначення залежності ступеня відновлення іонів важких металів від концентрації вихідного розчину, напруги і щільності струму в трьохкамерному електролізері буде темою подальших досліджень.

#### Список литературы

1. Курцхалия И.С. Разработка технологического процесса очистки сточной воды гальванического производства / И.С. Курцхалия, Н.Е. Енукидзе, З.М.Симония, Д.А.Парцвания, М.В. Надирашвили // ГР.: Изв. АН Грузии. Сер. хим. — 2005. — № 1–2. — С. 24–29.
2. Bosso S.T. Envaluation of heavy metal removal from aqueous solution onto scolecite / S.T. Bosso, I. Enzweiler. // Brazil: Instituto de Geociencias, UNICAMP, Campinas, SP, Water Res, 2002. — № 9. — P. 4795–4800.
3. Донченко М.І. Роль побічних реакцій у процесах електроекстракції металів із стічних вод металургійних виробництв / М.І. Донченко, О.Г. Срібна, Р.М. Редько. // Екотехнології и ресурсосбереження. — 2005. — № 3. — С. 25–30.
4. Гомеля Н.Д. Разработка экологически чистой технологии извлечения цинка из гальваностокков / Н.Д. Гомеля, И.С. Сагайдак // Перспективные направления развития экологии, экономики, энергетики: Сб. науч. ст. / ОЦНТЭИ. — Одесса, 1999. — С. 81–85.
5. Сагайдак І.С. Локалізація та знешкодження стічних вод, забруднених сполуками хрому, кадмію та цинку : Автореф. дис. ... канд. техн. наук. — Київ, 2000. — 20 с.
6. Алесковский В.Б. Физико-химические методы анализа. Практическое руководство : Учеб. пособие для вузов / В.Б. Алесковский, В.В. Бардин, М.И. Булатов и др. — Л. : Химия, 1988. — 376 с.
7. Лурье Ю.Ю. Аналитическая химия промышленных сточных вод. — М. : Химия, 1984. — 448 с.
8. Донченко М.І. Електрохімічне осадження нікелю із сірчаноокислих елюатів, утворених при регенерації катіонітів / Донченко М.І., Редько Р.М., Коваленко С.Ю. // Тез. докл. Міжн. наук.-практ. конф. «Сучасні проблеми охорони довкілля, раціонального використання водних ресурсів та очистки природних і стічних вод», Київ, Україна, 30 трав. 2007 р. — Київ : Т-во «Знання України», 2007. — С. 69–72.
9. Гомеля М.Д. Електрохімічне виділення іонів нікелю з нейтральних та кислотних регенераційних розчинів / М.Д. Гомеля, Ю.А.Омельчук, О.В.Глушко, В.С. Камаєв // Східно-Європейський журнал передових технологій. — 2011. — № 6/6 (54). — С. 26–29.

Поступила в редакцію 27.04.17

**Гомеля М.Д.**<sup>1</sup>, докт. техн. наук, проф., **Глушко О.В.**<sup>1</sup>, канд. техн. наук, **Трохименко Г.Г.**<sup>2</sup>, канд. біолог. наук, **Бутченко Л.І.**<sup>1</sup>, канд. техн. наук  
**<sup>1</sup>Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ**

*просп. Перемоги, 37, 03056 Київ, Україна, e-mail: m.gomelya@kpi.ua, alyona\_glushko@ukr.net*

**<sup>2</sup>Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, Миколаїв**

*пр. Героїв Сталінграда, 9, 5402, Миколаїв, Україна*

## **Електролітичне вилучення іонів важких металів із солянокислих розчинів**

Представлено результати досліджень щодо електрохімічної переробки кислих регенераційних розчинів, що містять іони важких металів. Показано, що використання трикамерного електролізера дає можливість ефективно вилучати іони цинку, міді та нікелю з солянокислих розчинів та концентрувати соляну кислоту в проміжній камері електролізера. Досліджено залежність виходу за струмом важких металів від концентрації соляної кислоти, початкової концентрації важких металів у катодному просторі, тривалості електролізу та концентрації соляної кислоти в зоні її концентрування. Показано, що вихід міді та цинку за струмом зменшується з підвищенням кислотності в початкових розчинах та проміжній камері електролізера. Встановлено, що вихід нікелю за струмом мало залежить від вихідної концентрації соляної кислоти. Вивчено процес концентрування соляної кислоти в проміжній камері трикамерного електролізера в залежності від тривалості електролізу, концентрацій важких металів та соляної кислоти в модельних розчинах. *Бібл. 9, рис. 9.*

**Ключові слова:** електроліз, католіт, іонний обмін, регенераційні розчини, мідь, нікель, цинк.

**Gomelya N.D.**<sup>1</sup>, Doctor of Technical Sciences, Professor, **Hlushko O.V.**<sup>1</sup>,  
Candidate of Technical Sciences, **Trohymenko G.G.**<sup>2</sup>, Candidate of Biological  
Sciences, **Butchenko L.I.**<sup>1</sup>, Candidate of Technical Sciences

**<sup>1</sup>National Technical University of Ukraine «Kiev Polytechnic Institute named Igor Sikorsky», Kiev**

*37, Peremohy Ave., 03056 Kiev, Ukraine, e-mail: m.gomelya@kpi.ua, alyona\_glushko@ukr.net*

**<sup>2</sup>National University of Shipbuilding named Admiral Makarov, Nikolaev**

*9, Heroes of Stalingrad Ave., 54025 Nikolaev, Ukraine*

## **Electrolytic Removal of Heavy Metals Ions from Muriatic Solutions**

The results of research on the electrochemical processing of acidic regeneration solutions containing heavy metals ions are presented. The use of a three-cell electrolyzer makes it possible to efficiently extract zinc, copper and nickel ions from muriatic solutions and to concentrate hydrochloric acid in the cell's intermediate chamber. The paper studies the dependence of the current yield of heavy metals on the concentration of hydrochloric acid, the initial concentration of heavy metals in the cathode chamber, the duration of electrolysis and the concentration of hydrochloric acid in its concentrating zone. The yield of copper and zinc decreases with increasing of acidity in the initial solutions and in the intermediate chamber of the cell. The current yield of nickel is determined to be little depended on the initial concentration of hydrochloric acid. The results on the concentration of hydrochloric acid, depending on the duration of electrolysis, the initial concentration of acid and heavy metals in the catholyte are presented. *Bibl. 9, Fig. 9.*

**Key words:** electrolysis, catholyte, ion exchange, regeneration solution, copper, nickel, zinc.

## References

1. Kurtskhaliya I.S., Enukidze N.E., Simoniya Z.M., Partsvaniya D.A., Nadirashvili M.V. [Development of technological process of wastewater treatment of galvanic production], *GR.: Izv. AN Gruzii. Ser. him.*, 2005, (1–2), pp. 24–29. (Rus.)
2. Bosso S.T., Enzweiler I. Envaluation of heavy metal removal from aqueous solution onto scolecite, *Brazil: Instituto de Geociencias, UNICAMP, Campinas, SP, Water Res*, 2002,(9), pp. 4795–4800. (Eng.)
3. Donchenko M.I., Sribna O.G., Red'ko R.M. [Role of adverse reactions in processes electric extraction metals from wastewater metal production], *Energotechnologii i resursosberezhenie [Energy Technologies and Resource Saving]*, 2005, (3), pp. 25–30. (Ukr.)
4. Gomelja N.D. Sagajdak I.S. [Development of ecologically pure technology of extraction of zinc from galvanic rocks], *Mizhn. nauk.-prakt. konf. «Perspektivnye napravlenija rozvitija jekologii, jekonomiki, energetiki*, Odessa, Ukraine, May 16, 1999, Odessa, 1999, pp. 81–85 (Ukr.)
5. Sagajdak I.S. [Localization and disposal of wastewater contaminated with chromium compounds, cadmium and zinc], *Avtoreferat disertacii na zdobuttja naukovogo stupenja kandidata tehnicnih nauk.* [Thesis for the degree of candidate of technical sciences], Kiev, Ukraine, 2000, pp. 11–12. (Ukr.)
6. Aleskovskij V.B. Bardin V.V., Bulatov M.I. *Fiziko-himicheskie metody analiza.* [Physicochemical methods of analysis], Leningrad : Himija, 1988, 420 p. (Rus.)
7. Lur'e Ju.Ju. *Analiticheskaja himija promyslennyh stochnyh vod.* [Analytical chemistry of industrial wastewater], Moscow : Himija, 1984, 312 p. (Rus.)
8. Donchenko M.I. Red'ko R.M., Kovalenko S.Ju. [Electrochemical deposition of nickel sulphate eluate formed during regeneration cation], *Mizhn. nauk.-prakt. konf. «Suchasni problemi ohoroni dovkillja, racional'nogo vikoristannja vodnih resursiv ta ochistki prirodnih i stichnih vod»*, Kiev, Ukraine, May 30, 2007, Kiev : Society Tovarystvo «Znannja Ukrai'ny», 2007, pp. 69–72. (Ukr.)
9. Gomelja M.D., Omel'chuk Ju.A., Glushko O.V., Kamaev V.S. [Electrochemical removal of nickel ions from neutral and acid regeneration solutions], *Shidno-Europejs'kij zhurnal peredovih tehnologij*, 2011, 6/6, No. 54, pp. 26–29. (Ukr.)

Received April 27, 2017

---

---

Передплачуйте журнал  
«**Енерготехнології і ресурсосбереження**» (індекс 74546)  
на II півріччя 2017 р. за «Каталогом видань України»

у відділеннях поштового зв'язку;

- в операційних залах поштамтів;
- в пунктах приймання передплати;
- на сайті ДП «Преса»: [www.presa.ua](http://www.presa.ua)

Нагадуємо, що в будь-який час можна здійснити передплату, скориставшись послугою «**Передплата ON-LINE**» за допомогою електронних версій «**Каталогу видань України**» та «**Каталогу видань зарубіжних країн**» на сайті ДП «**Преса**» [www.presa.ua](http://www.presa.ua).

Оплату можна здійснити у будь-який зручний для Вас спосіб: в банку або на пошті за сформованим на сайті рахунком та за допомогою платіжних карток Visa чи MasterCard.