

Muxametjanova Shoira Abdusamatovna	- PhD, Associate professor of the department of Metallurgy; Tashkent State Technical University, 100095, Tashkent, University Str., 2, Republic of Uzbekistan ORCID: https://orcid.org/0000-0002-6184-6443 e-mail: shoira.muhamet@gmail.com
Faizullaev Sulton Narzullaevich	- Senior Lecturer, Department of Ferrous, Non-Ferrous and Rare Metals Metallurgy, Almalyk Branch of NUST MISIS (National University of Science and Technology "MISIS"), 56 Amir Temur Avenue, Almalyk, Uzbekistan.
Khamroev Vokhid Bafoevich	- Senior Lecturer, Department of Ferrous, Non-Ferrous and Rare Metals Metallurgy, Almalyk Branch of NUST MISIS (National University of Science and Technology "MISIS"), 56 Amir Temur Avenue, Almalyk, Uzbekistan. e-mail: Vokhid.xamroev@bk.ru

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОЛИЗА ЦИНКА В ОТЕЧЕСТВЕННОЙ И ЗАРУБЕЖНОЙ ПРАКТИКЕ

С.Т. Маткаримов¹, С.Б. Мирзажонов¹, М.И. Сайдирахимова², М.С. Саидова¹,
Г.Б. Бекназарова¹

¹Ташкентский государственный технический университет, Ташкент, Узбекистан

²Учебный центр АГМК

Doi: 10.5281/zenodo.18092828

АННОТАЦИЯ

В статье приведён сравнительный анализ технологических параметров электролиза цинка. Описаны характеристики процесса, при котором электролиз в количестве 480 штук укомплектованы в две серии, по 240 ванн в каждой с плотностью тока 560–610 А/м² и выходом цинка по току 88–91 %. Концентрация цинка в нейтральном электролите составляет 100–135 г/л, а в отработанном 40 – 55 г/л. Применение поверхностно-активных веществ, таких как костный клей, и добавок сурьмы (0,1–0,3 мг/л) обеспечивает получение плотного катодного осадка без дендритов. Использование экстракта солодкового корня способствует снижению выделения сернистого тумана и повышает экологическую безопасность процесса. Сравнение с зарубежными методами показало, что отечественная технология отличается большей энергоэффективностью и стабильностью работы электролитных ванн.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

электролиза цинка, сравнительный анализ, поверхностно – активных вещества, катод, анод, энергоэффективность, дендриты, плотность тока

ВВЕДЕНИЕ

Цинк является одним из наиболее востребованных цветных металлов современной промышленности. Благодаря высокой коррозионной стойкости, хорошей электропроводности и технологичности, он широко применяется в металлургии, машиностроении, электронике и строительстве. Основная доля цинка расходуется на горячеоцинкование стали, что обеспечивает долговечность и защиту металлических конструкций от коррозии, цинк используется при производстве сплавов. Рост мирового потребления цинка обусловлен развитием автомобильной, строительной и электрохимической отраслей, что требует совершенствования технологий его извлечения и повышения эффективности электролиза.

Цинковый завод введён в эксплуатацию в 1970 году с мощностью до 120 тыс. т цинка в год. Первоначально перерабатывал руды

месторождений Кургашикан и Алтынтапкан, позднее — привозные концентраты. После запуска ГОК «Хандиза» в 2010 году предприятие вновь использует собственное сырьё. Завод производит металлический цинк, кадмий, серную кислоту и цинковые сплавы [1].

Производство цинка — одно из основных направлений цветной металлургии страны. В 90-ых годах резко увеличилась конкуренция на рынке цинка. Для сохранения своих позиций перед заводами возникла проблема увеличения производства цинка с улучшением его качества и уменьшением затрат на производство, особенно электроэнергию. Это определило необходимость реконструкции заводов с ориентацией на внедрение современных информационных технологий [2].

Процесс электролиза цинка остаётся одним из ключевых этапов гидрометаллургического производства и постоянно совершенствуется с целью повышения выхода металла и снижения энергозатрат. В ряде работ [3–5] исследовано

влияние параметров электролита — pH, температуры, концентрации и плотности тока — на морфологию осадков и эффективность извлечения. Оптимальные условия, по данным [6], достигаются при pH около 5 и концентрации $Zn \approx 50 \text{ г/дм}^3$, обеспечивая эффективность электролиза до 99 %.

Моделирование, выполненное в работе [4], показало, что увеличение температуры раствора до 40°C способствует ускорению катодных процессов, однако требует оптимизации состава электролита для предотвращения побочных реакций. В исследовании [5] предложено применение некорродирующих катодов ($IrOx$, $PdOx$, $SnOx$), что позволило снизить энергопотребление и увеличить срок службы оборудования по сравнению с традиционными свинцовыми электродами.

Российские и отечественные исследования [6, 7] направлены на оптимизацию технологических параметров электролиза в сульфатных и цинкатных растворах. Они показывают, что эффективность процесса в значительной степени определяется качеством предварительной очистки раствора и стабильностью состава электролита. Моделирование параметров методом имитационного эксперимента [4] позволило предложить пути повышения выхода по току без значительного увеличения расхода электроэнергии.

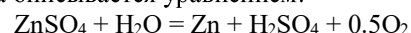
Современные зарубежные работы [8] концентрируются на снижении энергозатрат за счёт разработки новых анодов и катодов, способных уменьшить перенапряжение реакции выделения кислорода (OER). Эти исследования открывают перспективы для повышения энергоэффективности электролиза цинка и внедрения более экологичных технологий. Таким образом, сравнительный анализ показывает, что развитие процесса электролиза цинка идёт по трём основным направлениям: — совершенствование состава и очистки электролитов; — внедрение новых электродных материалов; — моделирование и автоматизация управления технологическими параметрами. Комплексное применение этих подходов обеспечивает повышение качества катодного цинка, снижение энергозатрат и более полное извлечение металла из различных видов сырья.

Для сопоставления эффективности отечественной технологии электролиза цинка с зарубежными методами был проведен сравнительный анализ производственных параметров. Процесс электролиза цинка на цинковом заводе АГМК осуществляется в электролитных ваннах с использованием нейтрального очищенного электролита, поступающего из цеха выщелачивания. Концентрация компонентов в растворе составляет: $Zn - 100-135 \text{ г/л}$, $Cu - 0,1 \text{ мг/л}$, $Co - 1,2 \text{ мг/л}$, $Cd - 2,0 \text{ мг/л}$, $Sb - 0,1 \text{ мг/л}$, $Fe - 60 \text{ мг/л}$. Содержание восстановителя — $200 - 250 \text{ мг/л}$, плотность

раствора — $1,320 - 1,400 \text{ г/см}^3$. Электролит не должен содержать взвешенных частиц, что обеспечивает стабильное прохождение электрического тока и равномерное осаждение металла.

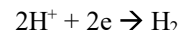
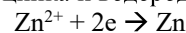
Электролиз цинка осуществляется в 480 электролитных ваннах, разделённых на две серии по 240 единиц. Каждая ванна оборудована легированными серебром (1 %) свинцовыми анодами и алюминиевыми катодами. При прохождении постоянного электрического тока через электролит ионы цинка восстанавливаются на катодах, образуя плотный металлический осадок.

Основная электрохимическая реакция процесса описывается уравнением:



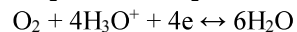
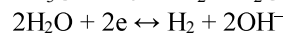
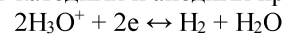
В действительности процесс сопровождается рядом побочных реакций, связанных с присутствием ионов примесей и требует строгий контроль состав раствора.

На катоде разряжаются положительно заряженные ионы цинка и водорода:



Согласно ряду стандартных электродных потенциалов, на катоде в первую очередь должны разряжаться ионы водорода, так как их восстановление термодинамически более вероятно по сравнению с ионами цинка.

Вода, являясь основным растворителем в большинстве гидрометаллургических процессов, принимает непосредственное участие в электрохимических реакциях как на катоде, так и на аноде, где происходит образование молекулярного водорода [9] в результате окислительно-восстановительных процессов, протекающих с участием кислорода. Зависимость потенциалов разряда ионов водорода и гидроксидов от pH раствора представлена на рис. 1, из которого следует, что при увеличении кислотности среды потенциал разряда ионов водорода смещается в положительную сторону, тогда как потенциал ионов гидроксидов — в отрицательную, что существенно влияет на направление и интенсивность катодных и анодных процессов:



Для реакций (1.12) и (1.13) при температуре 25°C , уравнение

$$E = -0,059 \text{ pH},$$

а для реакций (1.14) и (1.15) уравнение:

$$E = 1,23 - 0,059 \text{ pH}$$

На нашем предприятии процесс электролиза цинка осуществляется в кислой среде. Для поддержания оптимальных условий подача нейтрального электролита регулируется таким образом, чтобы в отработанном растворе концентрация цинка находилась в пределах $40-55 \text{ г/л}$. При плотности тока $560-610 \text{ А/м}^2$ выход цинка по току составляет $88-91 \%$, что свидетельствует о

высокой энергоэффективности применяемой технологии.

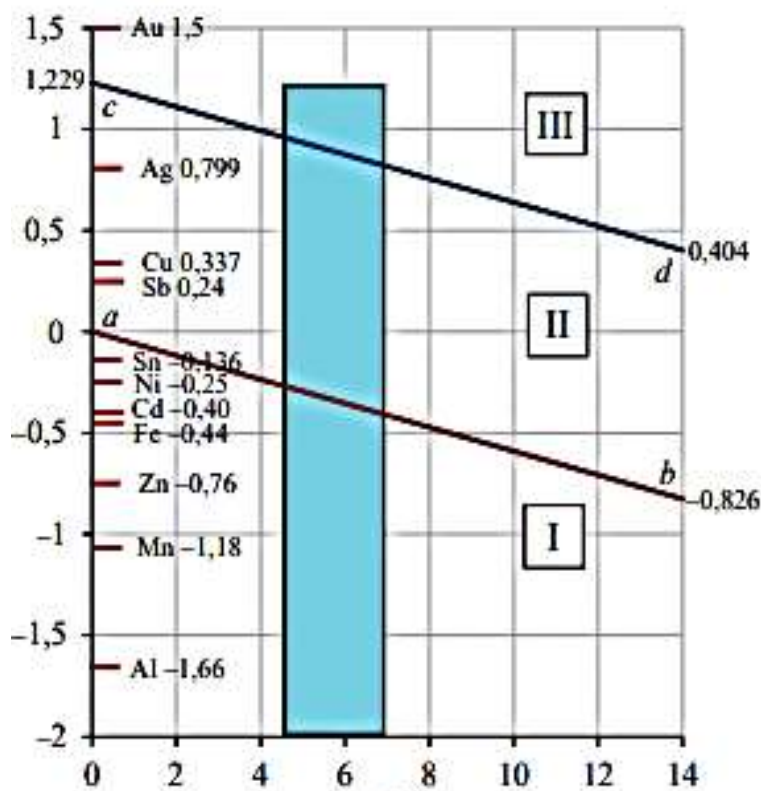


Рис. 1. Зависимость потенциалов разряда ионов водорода и ионов гидроксила от pH раствора

Для предотвращения коротких замыканий и снижения потерь электроэнергии используются тщательно выровненные и очищенные электроды. Качество катодного осадка регулируется добавлением поверхностно – активных веществ – костного клея и сурьмяных соединений, которые обеспечивают формирование равномерного матового слоя металла без дендритных включений.

Перед выгрузкой катодов в электролитные ванны вводится 0,1–0,3 мг/л сурьмы в виде соли сурьмяно-виннокислого калия, что способствует лёгкому отделению осадка. Для снижения выделения сернокислого тумана в электролит добавляется экстракт солодкового корня, формирующий защитную пенную плёнку. Данное решение повышает экологическую безопасность процесса и снижает выброс вредных веществ в атмосферу.

Отработанный электролит после охлаждения направляется в оборот, что обеспечивает рациональное использование реагентов и воды. Электролиз цинка протекает в кислой среде. Для поддержания оптимальных условий подачу нейтрального электролита регулируют таким образом, чтобы в отработанном растворе

содержание цинка оставалось в пределах 40–55 г/л. Плотность тока составляет 560 – 610 А/м², выход цинка по току 88 – 91 %. Эти показатели свидетельствуют о высокой энергоэффективности технологии.

ВЫВОД

Сравнение показало, что предложенный метод электролиза цинка отличается высокой стабильностью и энергоэффективностью. Плотность тока составляет 560–610 А/м² при выходе по току 88–91 %, что превышает показатели, полученные в зарубежных исследованиях. Использование очищенного нейтрального электролита и поверхностно-активных добавок обеспечивает формирование плотного и равномерного катодного осадка. Введение сурьмяных соединений улучшает отделение осадка и предотвращает образование дендритов. Применение экстракта солодкового корня снижает выделение сернокислого тумана, повышая экологическую безопасность процесса. Разработанный метод является более эффективным и экологичным по сравнению с известными зарубежными технологиями.

RUXNI ELEKTROLIZ QILISH TEXNOLOGIK PARAMETRLARINING MAHALLIY VA XORIJIY AMALIYOTLARDAGI TAHLILI

S.T. Matkarimov¹, Mirzajanova S.B., ²M, ¹Saidova M.S., ¹Beknazarova G.B.

¹Toshkent davlat texnika universiteti, Toshkent, O'zbekiston.

²ОКМК ўқув маркази

ANNOTATSIYA Maqolada ruxni elektroliz qilish jarayonining texnologik parametrlarini taqqoslash tahlili keltirilgan. Rux elektrolizi har biri 240 ta vannadan iborat ikkita seriyali 480 ta elektrolitik vannada sodir bo'ladi va tok zichligi 560–610 A/m² va ruxning tok bo'yicha chiqishi 88–91% bo'lgan sharoitda amalga oshiriladi. Neytral elektrolitdagi rux konsentratsiyasi 100–135 g/l, ishlatilgan elektrolitda esa 40–55 g/l ni tashkil etadi. Suyuq faol moddalardan – suyak yelimi va surma qo'shimchalari (0,1–0,3 mg/l) qo'llanishi natijasida dendritlarsiz zich katod cho'kmasi hosil bo'ladi. Shirinmiya ildizi ekstrakti eritmadagi sulfat tumanini kamaytiradi va jarayonning ekologik xavfsizligini oshiradi. Chet el usullari bilan solishtirganda, mahalliy texnologiya yuqori energiya samaradorligi va barqarorligi bilan ajralib turadi.

KALIT SO'ZLAR rux elektrolizi, solishtirma tahlil, faol moddalar, katod, anod, elektr samaradorlik, dendridlar, tok zichligi

COMPARATIVE ANALYSIS OF TECHNOLOGICAL PARAMETERS OF ZINC ELECTROLYSIS IN DOMESTIC AND FOREIGN PRACTICE

S.T. Matkarimov¹, S.B. Mirzajonova¹, M.I. Saydiraximova², M.S. Saidova¹, G.B. Beknazarova¹

¹Tashkent State Technical University, Tashkent, Uzbekistan.

²Raining Center of the AMMC

ABSTRACT The article presents a comparative analysis of the technological parameters of the zinc electrolysis process. Zinc electrolysis is carried out in 480 electrolytic cells divided into two series of 240 each, under conditions of a current density of 560–610 A/m² and a current efficiency of 88–91%. The zinc concentration in the neutral electrolyte is 100–135 g/L, while in the spent electrolyte it ranges from 40 to 55 g/L. The use of surface-active substances such as bone glue and antimony additives (0.1–0.3 mg/L) ensures the formation of a dense cathodic deposit without dendrites. The addition of licorice root extract reduces sulfate mist in the electrolyte and enhances the environmental safety of the process. Compared to foreign methods, the local technology is distinguished by its high energy efficiency and operational stability.

KEYWORDS zinc electrolysis, comparative analysis, active substances, cathode, anode, electrical efficiency, dendrites, current density.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. <https://agmk.uz/ru/metallurgija/zinc-smelter>.
2. Юрошева Т.А. Исследование процесса электролиза цинка и разработка системы управления технологическим режимом. Диссертация. 2012.
3. Interpreting the main effects on the efficiency and morphology for zinc electrowinning, Springer, 2024.
4. Modeling the Effect of Solution Composition and Temperature on Zinc Electrowinning, MDPI, 2021.
5. Zinc Recovery through Electrolytic Refinement Using Insoluble Catalytic Cathodes, PMC, 2019.
6. Оптимизация технологического процесса электролиза цинка в сульфатных растворах методом имитационного эксперимента, CyberLeninka.
7. Исследование технологических параметров электролиза цинка из щелочного цинкатного раствора, MISIS.
8. Lowering the Energy Consumption of Zinc Electrowinning by Novel Anodes, UBC Library.
9. Н.И. Останин, В.М. Рудой, Т.Н. Останина, А.Б. Даринцева. Теория и технология получения цветных металлов. Учебно – методическое пособие. 2022. Урал. стр. 26.

Information about authors:

Matkarimov Turdaliyevich	Sohib	–	Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of Department, Tashkent State Technical University named after Islam Karimov, 100095, Republic of Uzbekistan, Tashkent, Olmazor district, University str. 2. ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2393-6576 e-mail: sohibtm@gmail.com
Mirzajanova Bakidjanovna	Saodat	–	Associate professor of the Department of Metallurgy, Tashkent State Technical University named after Islam Karimov, 100095, Republic of Uzbekistan, Tashkent, Olmazor district, University str. 2. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-0375-6415 e-mail: sabi30302@gmail.com
Saidiraximova Madina Ilxamovna		–	Raining Center of Almalyk Mining and Metallurgical Complex JSC, Production Training Master of the Zinc Plant. e-mail: smadina@gmail.com
Saidova Sayfullayevna	Malika	–	Associate professor of the Department of Metallurgy, Tashkent State Technical University named after Islam Karimov, 100095, Republic of Uzbekistan, Tashkent, Olmazor district, University str. 2. ORCID: 0009-0003-1625-2616 , e-mail: malikasaidova515@gmail.com .
Beknazarova Gulnoza Berdiyori qizi		–	Senior lecturer, Head of Department, Tashkent State Technical University named after Islam Karimov, 100095, Republic of Uzbekistan, Tashkent, Olmazor district, University str. 2. ORCID: 0000-0001-5409-9649 e-mail: gulkabeknazarova748@gmail.com