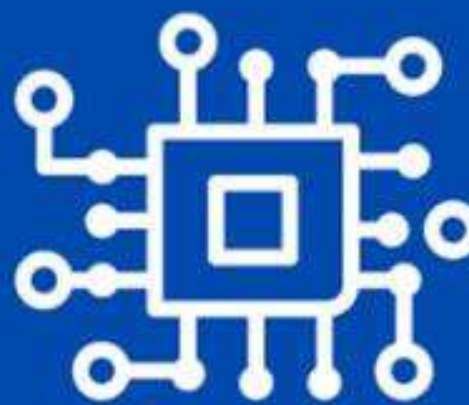




TECH SCIENCE

ISSN 3030-3702

**TEXNIKA FANLARINING
DOLZARB MASALALARI**

**TOPICAL ISSUES OF TECHNICAL
SCIENCES**



№ 9 (4) 2026

BOSH MUHARRIR:

ABBAZOV ILHOM ZAPIROVICH

TAHRIR HAY'ATI:

Usmankulov Alisher Kadirkulovich — Texnika fanlari doktori, professor, Jizzax, O'zbekiston;

Fayziyev Xomitxon – texnika fanlari doktori, professor, Toshkent, O'zbekiston;

Rashidov Yusuf Karimovich – texnika fanlari doktori, professor, Toshkent, O'zbekiston;

Adizov Bobirjon Zamirovich– Texnika fanlari doktori, professor, Toshkent, O'zbekiston;

Abdunazarov Jamshid Nurmuxamatovich — Texnika fanlari doktori, dotsent, Jizzax, O'zbekiston;

Eshonkulov Ravshan Abdurazakovich — Texnika fanlari doktori, dotsent, Qashqadaryo, O'zbekiston;

Umarov Shavkat Isomiddinovich – Texnika fanlari doktori, professor, Jizzax, O'zbekiston;

Bozorov G'ayrat Rashidovich – Texnika fanlari doktori, Buxoro, O'zbekiston;

Maxmudov Muxtor Jamolovich – Texnika fanlari doktori, Buxoro, O'zbekiston;

Asatov Nurmuxammat Abdunazarovich – Texnika fanlari nomzodi, professor, Jizzax, O'zbekiston;

Mamayev G'ulom Ibroximovich – Texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD), Jizzax, O'zbekiston;

Ochilov Abduraxim Abdurasulovich – Texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD), Buxoro, O'zbekiston.

OAK Ro'yxati

Mazkur jurnal O'zbekiston Respublikasi Oliy ta'lim, fan va innovatsiyalar vazirligi huzuridagi Oliy attestatsiya komissiyasi Rayosatining 2025-yil 8-maydagi 370-son qarori bilan texnika fanlari bo'yicha ilmiy darajalar yuzasidan dissertatsiyalar asosiy natijalarini chop etish tavsiya etilgan ilmiy nashrlar ro'yxatiga kiritilgan.

Muassislar: "SCIENCEPROBLEMS TEAM" mas'uliyati cheklangan jamiyati;
Jizzax politexnika instituti.

TECHSCIENCE.UZ- TEXNIKA**FANLARINING DOLZARB****MASALALARI** elektron jurnali

15.09.2023-yilda 130343-sonli

guvohnoma bilan davlat ro'yxatidan o'tkazilgan.

TAHRIRIYAT MANZILI:

Toshkent shahri, Yakkasaroy tumani, Kichik

Beshyog'och ko'chasi, 70/10-uy.

Elektron manzil:

scienceproblems.uz@gmail.com

Barcha huquqlar himoyalangan.

© Scienceproblems team, 2026-yil

© Mualliflar jamoasi, 2026-yil

MUNDARIJA

Ataboyeva Shaxrizoda

EMPIRIK TAHLILLAR ASOSIDA OLIY TA'LIM BOSHQARUVI VA INDIVIDUAL
TA'LIM JARAYONLARINI TAKOMILLASHTIRISHDA SUN'YI INTELLEKTGA
ASOSLANGAN OPTIMALLASHTIRISH ALGORITMLARI 4-11

Turgunbaev Rashid

METAEXTRACT - KO'P TILLI ILMIY JURNALLARDAN BIBLIOGRAFIK
METAMA'LUMOTLARNI QOIDALARGA ASOSLANGAN EKSTRAKSIYA QILISH TIZIMI 12-18

Muqimova Anaxon

ADVANCED REAL-TIME TRAFFIC SIGN SEGMENTATION AND CLASSIFICATION USING
HYBRID DEEP CONVOLUTIONAL ARCHITECTURES ON GTSDB AND BENCHMARK
DATASETS 19-24

Pulatov G'iyos, Kabildjanov Aleksandr, Pulatova Gulxayo

SUST SHAKLLANGAN JARAYONLARNI BASHORATLASHDA INTELLEKTUAL
ALGORITMLARNI QIYOSIY TAHLILI 25-33

Usarkulova Feruza

AN INTEGRATED MODEL FOR AI-BASED FORECASTING OF TECHNICAL SERVICE
DEMAND AND OPTIMAL RESOURCE ALLOCATION IN AGRO-INDUSTRIAL
COMPLEXES 34-43

Botirov Munisbek

NUMERICAL MODELING AND OPTIMIZATION OF GROUNDWATER FILTRATION
PROCESSES USING COMPUTATIONAL ALGORITHMS 44-53

Гулямов Шухрат, Зайниддинова Зебинисо, Караханова Алсу

РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ ПОСТРОЕНИЯ ВИРТУАЛЬНЫХ ПРИБОРОВ
ЭКОЛОГИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ПРОМЫШЛЕННОЙ ПРОДУКЦИИ 54-61

Каршиев Хумоюн, Хасанов Абдирашид

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ СПОСОБЫ ПЕРЕРАБОТКИ КОБАЛЬТСОДЕРЖАЩИХ
ОТХОДОВ ЦИНКОВОГО ПРОИЗВОДСТВА 62-73

Xaytbayev Aybek

TAKOMILLASHTIRILGAN KUZATUVCHI QIDIRUV ALGORITMI ASOSIDA SIMSIZ SENSOR
TARMOQLARIDA ENERGIYA SAMARADOR KLASSTER BOSH TUGUNINI TANLASH 74-88

Zokirov Islomjon, Nurillaev Ahadullo, Abdullaev Shavkat

INTEGRATED MATLAB/SIMULINK-SIMSCAPE MODELING AND PI-BASED CLOSED-LOOP
CONTROL OF A MICRO-HYDROPOWER PLANT 89-101

Qarshiboyev Asqar, Tursunov Ilhom

KOMPRESSOR USKUNALARINING OPTIMAL ISH REJIMINI ANIQLASH VA ELEKTR ENERGIYASI
ISTE'MOLI SAMARADORLIGINI BAHOLASH 102-112

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ СПОСОБЫ ПЕРЕРАБОТКИ КОБАЛЬТСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ ЦИНКОВОГО ПРОИЗВОДСТВА

Каршиев Хумоюн Комилович

Старший преподаватель, доктор
философии (PhD) по техническим наукам,
Алмалыкский государственный технический институт,
Email: qarshiyev0409@gmail.com
Тел: +998 94 367 63 69
ORCID: 0009-0003-6457-8266
Алмалык, Узбекистан

Хасанов Абдирашид Салиевич

д.т.н., профессор
Заместитель директора по технологиям Центра разработки и внедрения
инновационных технологий АО «Алмалыкский горно-металлургический комбинат»,
Тел: +998 93 182 49 46
Email: abdurashidsoli@mail.ru
ORCID ID: 0009-0004-9162-7622
Алмалык, Узбекистан

Аннотация. В статье выполнен анализ методов разделения и извлечения цинка и кобальта из различных техногенных промпродуктов. Рассмотрены аммиачно-сульфатно-аммиачное и щелочное выщелачивание, экстракция органическими растворителями, осаждение α -нитрозо- β -нафтолом, окислительный и сульфатизирующий обжиг. Показано, что аммиачная обработка обеспечивает извлечение до 96,98 % кобальта, но не позволяет разделить его с цинком. Суапех 925 извлекает цинк приблизительно в 1211 раз предпочтительнее кобальта. Это указывает на высокую селективность разделения. При щелочном выщелачивании в раствор переходит 96,33 % цинка при извлечении 4,02 % кобальта, вследствие чего Со концентрируется в остатке более чем в десять раз. Переработка α -нитрозо- β -нафтольного кека посредством кислотной промывки, обжига и водного выщелачивания обеспечивает извлечение свыше 95 % кобальта. Определены преимущества и ограничения рассмотренных технологий, связанные с расходом дорогостоящих реагентов, образованием дополнительных вторичных отходов и необходимостью сложной последующей очистки получаемых растворов.

Ключевые слова: кобальт, цинк, техногенные промпродукты, аммиачное выщелачивание, щелочное выщелачивание, экстракция растворителем, ДЭГФК, Суапех 272, Суапех 925, α -нитрозо- β -нафтол, селективное разделение, окислительный обжиг, сульфатизирующий обжиг, кобальтовый кек, вторичное сырьё.

PROMISING METHODS FOR PROCESSING COBALT-BEARING WASTES FROM ZINC PRODUCTION

Karshiev Khumoyun Komilovich

Senior Lecturer, Doctor of
Philosophy (PhD) in Technical
Sciences, Almalyk State Technical
Institute, Almalyk, Uzbekistan

Khasanov Abdirashid Salievich

Doctor of Technical Sciences, Professor

Deputy Director for Technologies at the Center for

Development and Implementation of Innovative Technologies of

JSC "AMMC", Almalyk, Uzbekistan

Annotation. This article reviews various techniques for separating and recovering zinc and cobalt from different industrial by-products. The methods discussed include ammonium sulfate leaching, alkaline leaching, solvent extraction using organic solvents, precipitation with α -nitroso- β -naphthol, and oxidative and sulfating roasting. It is shown that ammoniacal treatment achieves up to 96.98% cobalt extraction but does not allow for its separation from zinc. Cyanex 925 extracts zinc approximately 1,211 times more preferentially than cobalt, which indicates a high separation selectivity. During alkaline leaching, 96.33% of zinc is transferred into the solution, while only 4.02% of cobalt is extracted, resulting in the concentration of Co in the residue increasing more than tenfold. The processing of α -nitroso- β -naphthol cake through acid washing, roasting, and aqueous leaching ensures the extraction of over 95% of the cobalt. Processing α -nitroso- β -naphthol cake through acid washing, roasting, and water leaching ensures the extraction of over 95% cobalt. The advantages and limitations of the technologies reviewed were identified, including the consumption of expensive reagents, the generation of additional secondary waste, and the need for complex downstream purification of the resulting solutions.

Keywords: cobalt, zinc, technogenic industrial products, ammonium leaching, alkaline leaching, solvent extraction, DEHPA, Cyanex 272, Cyanex 925, α -nitroso- β -naphthol, selective separation, oxidative roasting, sulfate roasting, cobalt cake, secondary raw materials.

DOI: <https://doi.org/10.47390/ts-v4i9y2026N08>

Введение. Рост потребления кобальта в аккумуляторной промышленности, металлургии и химической технологии усиливает интерес к вторичным источникам этого металла. Ограниченность природных запасов, сложность переработки комплексных руд и неравномерное размещение месторождений обуславливают необходимость вовлечения в производство техногенного сырья. К перспективным материалам относятся кобальтсодержащие кеки и промпродукты, образующиеся при гидрометаллургической переработке цинкового сырья. Наряду с кобальтом они содержат значительное количество цинка, кадмия, никеля, меди, свинца и других компонентов, поэтому их длительное хранение сопровождается потерей ценных металлов и повышением экологической нагрузки.

Основная технологическая трудность переработки таких материалов связана с разделением цинка и кобальта, обладающих близкими химическими свойствами в ряде водных систем. Для решения этой задачи применяются аммиачно-сульфатно-аммиачное и щелочное выщелачивание, экстракция органическими растворителями, селективное осаждение, окислительный и сульфатизирующий обжиг. Каждый метод характеризуется определёнными преимуществами и ограничениями. Аммиачные растворы обеспечивают высокий переход металлов в раствор, но требуют дополнительных операций разделения. Щелочное выщелачивание позволяет преимущественно растворять соединения цинка и концентрировать кобальт в твёрдом остатке. Экстрагенты Д2ЭГФК, Суанек 272 и Суанек 925 применяются для селективного распределения ионов между водной и органической фазами. Переработка α -нитрозо- β -нафтольных осадков обеспечивает получение кобальтсодержащих растворов, однако сопровождается расходом реагентов, энергетическими затратами и образованием газовых выбросов.

В связи с этим актуальным является сравнительное изучение технологических показателей существующих способов, условий их осуществления и возможности комбинирования отдельных операций. Особое внимание уделено полноте извлечения металлов, качеству получаемых продуктов, возврату растворов в технологический цикл и снижению количества образующихся опасных отходов цинкового производства. Цель настоящей статьи состоит в анализе современных методов разделения и извлечения цинка и кобальта из техногенных промпродуктов, оценке их эффективности, селективности, экологической безопасности и перспектив промышленного применения.

Литературный обзор. Способы переработки кобальтосодержащего кека α -нитроза- β -нафтола. В результате комплексной переработки цинк был получен в форме активного порошка, а кобальт — в виде высокочистого оксида. Степень выщелачивания Zn, Co и Cd составила соответственно 91,18; 96,98 и 89,35 %. После очистки аммиачного раствора образовался обогащённый кобальтом остаток, содержащий 3,79 % Co, что в 8,4 раза превышало его исходную концентрацию в кеке. Железо, свинец, кальций и магний вследствие отсутствия устойчивых аммиачных комплексов преимущественно концентрируются в нерастворимой фазе и отделяются от продуктивного раствора в процессе аммиачно-сульфатно-аммиачного выщелачивания [1, с. 312–314]. Метод АСА был также использован для переработки катодного порошка, при этом степень извлечения кобальта составила более 80 % [2, с. 138–146; 3, с. 12718–12725; 4, с. 11489–11495; 5, с. 153–161; 6, с. 680–688].

Однако разделение цинка и кобальта не может быть реализовано в процессе выщелачивания АСА. Для разделения цинка и кобальта необходима очистка выщелачивающего раствора с применением цинкового порошка. Однако получаемый на этой стадии кобальтсодержащий остаток сохраняет значительное количество цинка, что существенно осложняет разделение этих металлов. Вследствие этого их эффективное разделение и извлечение становится невозможным.

Экстракция органическими растворителями. Данный метод широко применяется в гидрометаллургии, особенно для разделения металлических ионов и удаления примесей из выщелачивающих растворов [7, с. 226–238]. Д2ЭГФК является эффективным органическим растворителем для разделения цинка и кобальта, и успешно применялся для разделения цинка и кобальта в соответствующие растворы с использованием экстракции растворителем. Кобальт и цинк одновременно извлекались 20% Д2ЭГФК при pH 3,5. Разделение кобальта и цинка происходило в стадии очистки, поскольку удаление кобальта и цинка из Д2ЭГФК проводили в два этапа при pH 2,5 и 1,5 соответственно [8; с.1371-1374] было извлечено более 90% кобальта и цинка.

Результаты исследований Кумара [9; с.299-304] показали, что более высокий уровень pH способствует извлечению кобальта омыленным 0,64 М Д2ЭГФК, а экстракция цинка была предпочтительной по сравнению с кобальтом при более низком pH (2.0).

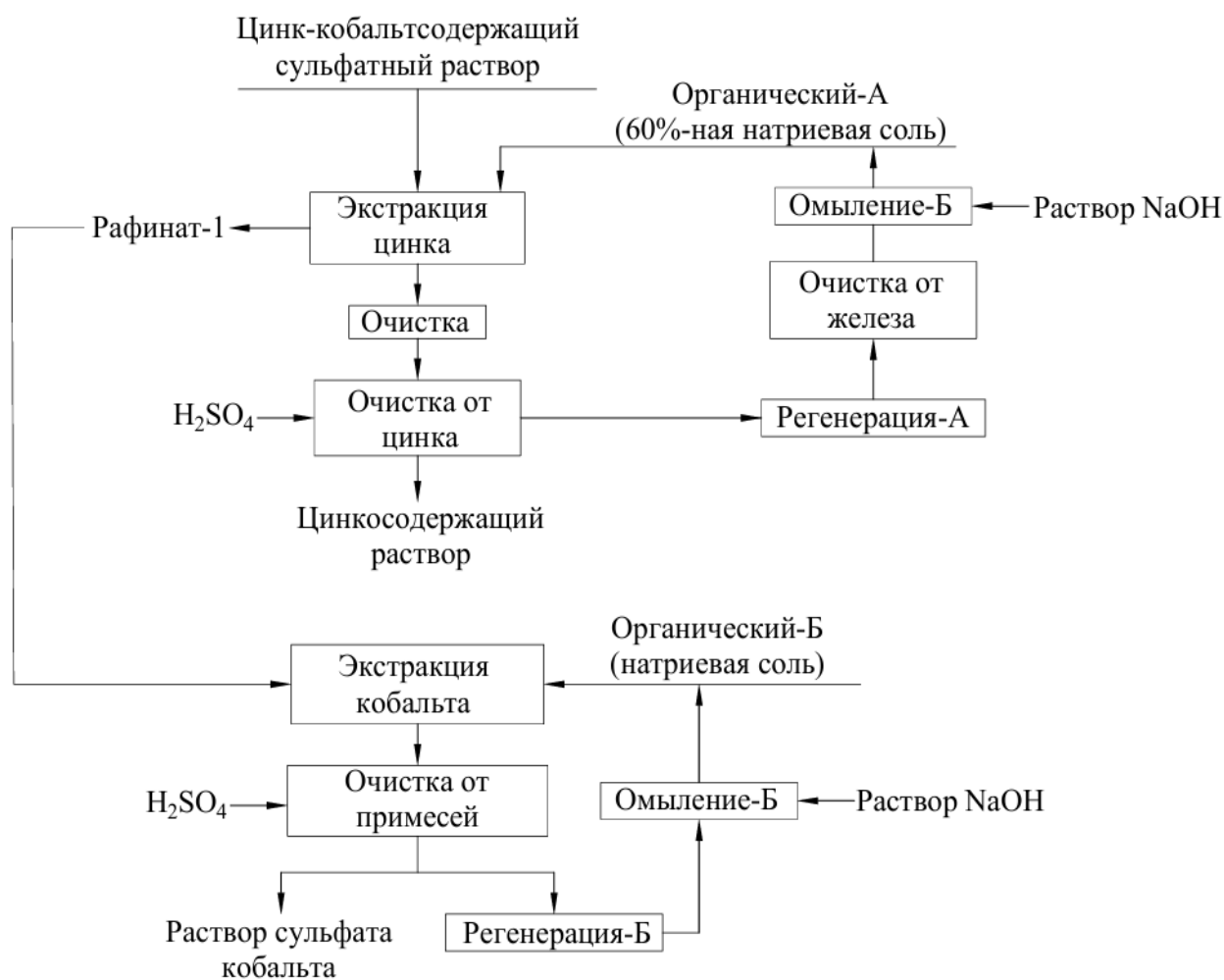


Рис. 1. Технологическая схема разделения цинка и кобальта с применением Д2ЭГФК.

Схема извлечения цинка и кобальта из сернокислого раствора, содержащего Zn и Co, представлена на рис. 1.

Кроме того, Пархи использовал Д2ЭГФК [10; с.310-317] для извлечения цинка из раствора после АСА выщелачивания, содержащего кобальт, и последующую экстракцию кобальта из бесцинкового раствора проводили с использованием Суапех 272 в качестве растворителя. Эль-Хефни [11; с.244-266] применял Суапех 925 в качестве растворителя для разделения и извлечения цинка и кобальта из смешанного сульфатного раствора.

С увеличением pH раствора извлечение ионов металла увеличивается, и цинк извлекается предпочтительнее кобальта. Коэффициент разделения между Zn (II) и Co (II) расширен до 1211,43 при 0,01 М с (H⁺), что указывает на то, что Суапех 925 имеет значительные перспективы применения при разделении цинка и кобальта. Ионные жидкости как новый тип экстрагента постепенно привлекают внимание исследователей. Например, Cyphos IL 101 был использован китайскими исследователями Zhu и др.

Результаты исследования [12, с. 213-218], посвящённого извлечению кобальта из хлоридного Zn-Co-содержащего раствора, показали, что кобальт легко переходил в водную фазу (рафинат), тогда как цинк сохранялся в экстракте.

В работе [13, с. 1-11] описан способ совместного извлечения никеля и кобальта из сульфатных растворов. Он предусматривает экстракцию указанных металлов ди-(2,4,4-

триметилпентил)дитиофосфиновой кислотой (Суапех 301), растворённой в разбавителе в присутствии третичных аминов. Молярное соотношение Суапех 301 и третичных аминов составляет 1,1–1,5. Процесс проводят в воздушной атмосфере, после чего экстракт промывают от примесей и реэкстрагируют серной кислотой концентрацией 200–250 г/дм³. К основным недостаткам метода относятся сравнительно высокая стоимость импортного реагента Суапех 301 и необходимость предварительной очистки выщелачивающего раствора от алюминия и железа.

В источнике [14, с. 1–6] представлен способ извлечения никеля из окисленной никелевой руды. Согласно этому методу, сульфатные никельсодержащие растворы с высоким содержанием магния и кальция перерабатывают экстракцией высшими изокарбоновыми кислотами (ВИК) в присутствии 1-фенил-1,3-декандиона (LIX 54). После экстракции проводят промывку органической фазы небольшим объёмом раствора серной кислоты для удаления примесей кальция и магния.

Недостатками данного метода являются необходимость предварительной нейтрализации раствора до pH = 6 перед экстракцией, высокая стоимость реагентов ВИК и LIX 54, а также проведение дополнительной очистки экстракта от магния и кальция.

В работе [15, с. 1–6] предложен способ переработки никельсодержащего раствора с получением никелевого концентрата. Процесс включает нейтрализацию исходного раствора шламами гальванического производства до pH = 1–2,5, после чего осуществляют двухстадийную нейтрализацию полученного раствора кальцийсодержащим материалом. На первой стадии pH доводят до 5,0–6,0, а на второй в качестве кальцийсодержащего реагента используют известковое молоко, повышая pH до 8,5–9,5. В результате образуется никелевый концентрат.

Основными недостатками этого способа являются образование гипса в процессе нейтрализации, необходимость последующей очистки оборудования и концентрата от гипсовых отложений, а также значительные потери никеля на первой стадии нейтрализации.

Согласно способу, описанному в работе [16, с. 1–6], никель и кобальт осаждают в автоклавах с использованием сульфида натрия или сероводорода в качестве осадителей. Перед осаждением железо предварительно окисляют до трёхвалентного состояния, а затем удаляют в виде осадка. Недостатком процесса являются значительные потери никеля и кобальта на стадии осаждения железа.

В работах [17, с. 1–6; 18, с. 20–21] описан метод селективного осаждения никеля и кобальта из сульфатных растворов с использованием сульфидсодержащего компонента. Процесс проводят при pH = 1,5–4,0 в присутствии инертной соли сульфата, обеспечивающей формирование буферного раствора во время осаждения металлов при относительно низких температурах и давлениях. Несмотря на высокую эффективность, данный метод нельзя считать экологически безопасным, поскольку в процессе используется газообразный сероводород, а также требуются повышенные температуры.

Таблица 1.

Результаты ортогональных экспериментов

№	NaOH концен- трация, моль/л	Т:Ж (соотношени- е)	Время , мин	Темпера- тура, °С	Zn, переход в раствор, %	Co, переход в раствор, %	Cd, переход в раствор, %
1	2,1	1:6	32	28	52,88	2,03	0,86
2	2,1	1:7	34	30	84,81	2,20	2,03
3	2,1	1:8	36	33	78,51	1,47	1,00
4	2,1	1:9	38	35	77,98	1,67	1,09
5	2,2	1:6	34	33	90,25	1,31	1,93
6	2,2	1:7	32	35	83,60	1,52	1,59
7	2,2	1:8	38	28	90,86	1,90	1,67
8	2,2	1:9	36	30	46,78	4,06	1,77
9	2,3	1:6	36	35	96,84	2,34	1,62
10	2,3	1:7	32	33	49,29	3,21	1,25
11	2,3	1:8	38	30	91,84	1,68	1,77
12	2,3	1:9	34	28	99,36	2,01	1,95
13	2,4	1:6	38	30	93,10	1,72	1,69
14	2,4	1:7	36	28	93,03	1,42	1,54
15	2,4	1:8	34	35	26,94	2,49	0,98
16	2,4	1:9	32	33	66,43	2,48	1,10

Основываясь на амфотерных свойствах соединений цинка, подобных глинозему и гидроксиду алюминия, соединения цинка в кеке будут растворяться и превращаются в цинкат в сильнощелочном растворе, в то время как элементы, такие как кадмий, свинец, кобальт и медь, будут образуют гидроксид и, наконец, поступают в остаток после выщелачивания. Таким образом, авторами работы [19, с. 230–238] был предложен новый метод щелочного выщелачивания, предназначенный для разделения цинка и кобальта, а также селективного извлечения цинка из кека.

Как следует из данных табл. 1, для изучения влияния различных факторов на процесс выщелачивания цинка и кобальта были разработаны ортогональные экспериментальные планы. В работе [20; с.397-404] были указаны, что концентрация NaOH и температура выщелачивания были основными влияющими факторами. На коэффициенты выщелачивания Zn, Co и Cd, в условиях 2,5 моль/л раствор NaOH, жидкое/твердое 20:1, температура выщелачивание 30 °С и время 40 минут, соотношение выщелачивания Zn, Co и Cd составляли 96,33, 4,02 и 4,18% соответственно, что указывало на то, что щелочное выщелачивание было эффективным при отделении цинка, кобальта и кадмия.

После щелочного выщелачивания цинкосодержащего кека цинк был извлечен и избирательно извлекается в раствор, который можно использовать для приготовления наночастиц оксида цинка. Кроме того, содержание Co в остатках выщелачиванием более чем в 10 раз выше чем у исходного кека. Результаты исследования [19; с.230-238] подтверждают эффективность предложенного способа щелочного выщелачивания при

селективном выщелачивании Zn из кека и повышение содержания кобальта и других элементы тяжелых металлов, такие как Cd и Pb, в остатке после выщелачивания; Кобальт может быть извлечен из остатков в качестве вторичного ресурса. Недостаток процесса – кобальт не был извлечен в товарную продукцию, а получен кобальтсодержащий промежуточный продукт.

Другим способом извлечения кобальта из раствора после выщелачивания кека является осаждение ионов кобальта с использованием нитрита натрия и β -нафтола [21; с.38-40]. Красно-коричневые хелатные осадки образуются α -нитрозо- β -нафтолом и трехвалентным кобальтом, и с помощью этого метода можно получить более высокую степень извлечения кобальта. Однако недостатком способа является то, что реагент является дорогостоящим [22; с.17-19, 23; с.73-76].

Однако экстракция кобальта с использованием α -нитрозо- β -нафтола является одним из важных методов очистки растворов после выщелачивания кека, и образующийся при этом остаток кобальта α -нитрозо- β -нафтола является важным компонентом кобальтсодержащего кека.

В целом, содержание кобальта в этом остатке составляет приблизительно 2–4 мас. %, а цинка – приблизительно 10 мас. % в виде основного сульфата цинка [24; с.25-35].

В литературе представлен значительный объём исследований, посвящённых извлечению кобальта из осадка, образующегося при осаждении α -нитрозо- β -нафтолом. Поскольку данный осадок характеризуется высоким содержанием органических компонентов, основой предлагаемого подхода являлось их термическое разложение с переводом металлов в оксидную форму посредством высокотемпературного обжига. Технологическая схема основного процесса извлечения кобальта из указанного кека приведена на рис. 2.

В ходе кислотной промывки из кека извлекается более 95 % цинка, кадмия и марганца. При этом коэффициент вымывания кобальта не превышает 0,1 %, что обусловлено низкой растворимостью кобальтового соединения с α -нитрозо- β -нафтолом [25, с. 12718–12725]. Промывочный остаток подвергают высокотемпературному обжигу с целью разложения содержащихся в нём соединений и перевода металлов в оксидные формы. Последующий сульфатизирующий обжиг проводят при более низкой температуре, что обеспечивает превращение оксидных форм кобальта в растворимые сульфатные соединения. [26; с.34-47, 27; с.301-304].

В процессе выщелачивания водой коэффициенты выщелачивания кобальта, цинка и никеля превышают 95%. Выщелачивающий раствор очищают для получения относительно чистого раствора сульфата кобальта, который может быть использован в качестве сырья для получения кобальта [28; с.28-31, 29; с.461-465]. В целом, с помощью этого метода можно извлечь более 95% кобальта.

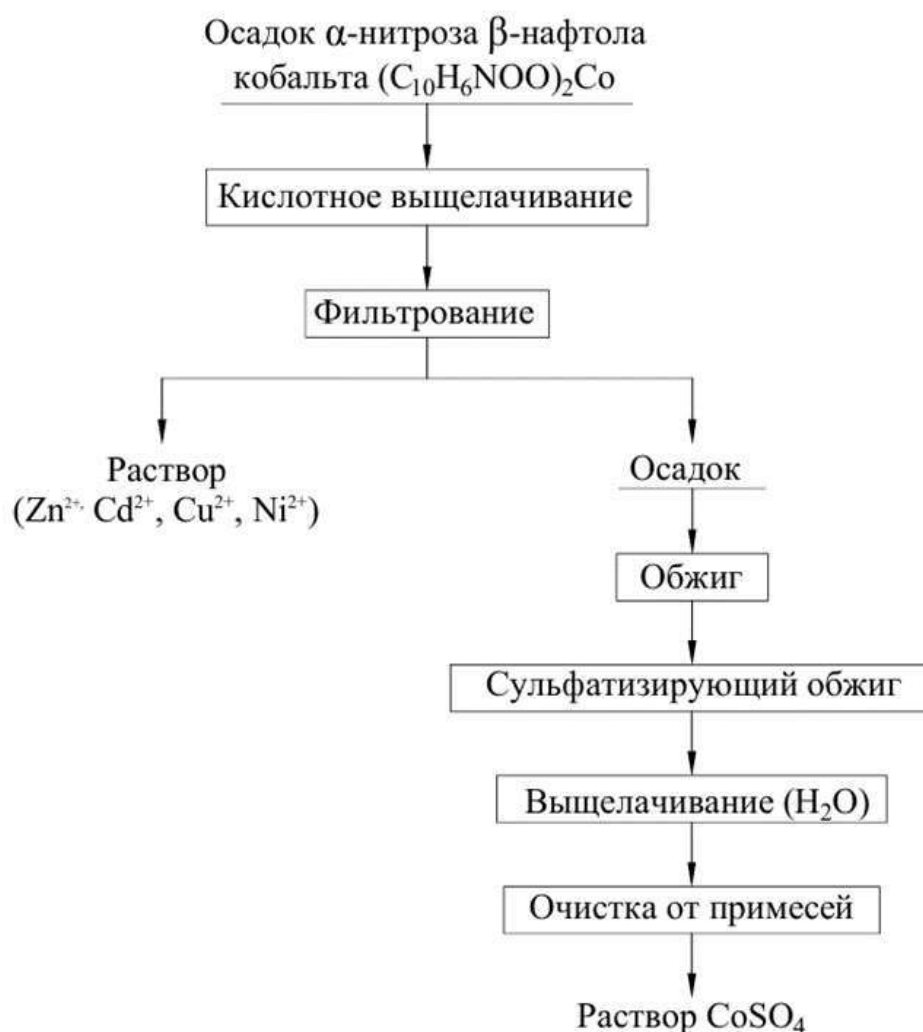


Рис. 2. Технологическая схема переработки кобальтсодержащего кека, полученного с использованием α-нитрозо-β-нафтола.

Большинство проведённых исследований основывалось на применении окислительного и сульфатирующего обжига. Основное различие между данными технологиями заключается в способах последующей очистки кобальтсодержащего выщелачивающего раствора и удаления из него примесей. В качестве основных методов очистки таких растворов используются ионный обмен и экстракция органическими растворителями.

Следует отметить, что прямой обжиг указанного кека может приводить к разрушению дорогостоящего β-нафтола и сопровождаться образованием значительного количества оксидов азота. Кроме того, к основным недостаткам окислительного и сульфатирующего обжига относятся образование отходов β-нафтола и связанное с этим негативное воздействие на окружающую среду.

Материалы и методы исследования. Объектом исследования являлись кобальтсодержащие промпродукты и отходы гидрометаллургического производства цинка: цинковые кеки, аммиачные и сульфатные растворы их выщелачивания, а также α-нитрозо-β-нафтольные кобальтсодержащие осадки. Рассматриваемые материалы содержат цинк, кобальт, кадмий, никель, свинец, железо, кальций и магний, что обуславливает необходимость селективного разделения ценных и примесных компонентов.

Исследование выполнено с применением аналитико-обзорного подхода, включающего систематизацию и сравнительный анализ опубликованных экспериментальных данных. Рассматривались аммиачно-сульфатно-аммиачное и щелочное выщелачивание, жидкостная экстракция с применением Д2ЭГФК, Cyanex 272, Cyanex 925 и Cyphos IL 101, осаждение кобальта α -нитрозо- β -нафтолом, а также окислительный и сульфатизирующий обжиг.

При анализе щелочного выщелачивания оценивали влияние концентрации NaOH, отношения твёрдой и жидкой фаз, температуры и продолжительности процесса. Технологические методы сопоставляли по степени перехода Zn, Co и Cd в раствор, коэффициенту разделения цинка и кобальта, уровню концентрирования Co в твёрдом остатке и чистоте получаемых продуктов. Дополнительно учитывали расход реагентов, необходимость очистки растворов, возможность возврата цинксодержащих продуктов в производственный цикл, образование вторичных отходов и перспективы промышленного применения рассмотренных технологий.

Результаты и их обсуждение. Сравнительный анализ опубликованных данных показал, что эффективность переработки кобальтсодержащих промпродуктов определяется не только полнотой извлечения металлов, но и селективностью разделения цинка и кобальта. При аммиачно-сульфатно-аммиачном выщелачивании степень перехода Zn, Co и Cd в раствор составила соответственно 91,18; 96,98 и 89,35 %. Железо, свинец, кальций и магний преимущественно оставались в нерастворимой фазе вследствие низкой устойчивости их аммиачных комплексов. После очистки раствора был получен остаток, содержащий 3,79 % Co, что в 8,4 раза превышало содержание кобальта в исходном кеке. Однако одновременный переход цинка и кобальта в аммиачный раствор затрудняет их непосредственное разделение и требует дополнительной цементационной или экстракционной обработки.

Применение жидкостной экстракции позволяет повысить селективность разделения металлов. При использовании 20 %-го раствора Д2ЭГФК и pH 3,5 цинк и кобальт совместно переходят в органическую фазу, а их последующее разделение достигается поэтапной реэкстракцией. Степень извлечения обоих металлов при этом превышает 90 %. Установлено, что при низких значениях pH Д2ЭГФК преимущественно извлекает цинк, тогда как повышение pH способствует переходу кобальта в органическую фазу. Перспективной является последовательная схема, предусматривающая извлечение цинка Д2ЭГФК и последующее выделение кобальта из обесцинкованного раствора экстрагентом Cyanex 272.

Высокая селективность отмечена при применении Cyanex 925. При концентрации H^+ , равной 0,01 моль/л, коэффициент разделения Zn(II) и Co(II) достигал 1211,43. Это означает, что отношение коэффициентов распределения цинка и кобальта превышает 1211, вследствие чего цинк значительно предпочтительнее переходит в органическую фазу, а кобальт остаётся в водном растворе. Вместе с тем промышленное применение экстракционных технологий ограничивается стоимостью органических реагентов и необходимостью предварительного удаления железа, алюминия, кальция и магния.

Результаты щелочного выщелачивания подтвердили возможность селективного растворения цинка благодаря амфотерным свойствам его соединений. В исследованном диапазоне параметров переход Zn в раствор составлял 26,94–99,36 %, тогда как извлечение Co не превышало 4,06 %, а Cd — 2,03 %. При концентрации NaOH 2,5 моль/л,

отношении Ж:Т 20:1, температуре 30 °С и продолжительности 40 мин в раствор переходило 96,33 % Zn, 4,02 % Co и 4,18 % Cd. Следовательно, основная часть кобальта сохранялась в твёрдой фазе, а его содержание в остатке возросло более чем в десять раз. Недостатком способа является получение промежуточного кобальтсодержащего продукта, требующего дальнейшей переработки.

Переработка α -нитрозо- β -нафтольного кека включает кислотную промывку, окислительный и сульфатизирующий обжиг, а также водное выщелачивание. При кислотной промывке удаляется более 95 % Zn, Cd и Mn, тогда как потери Co не превышают 0,1 %. После обжига и перевода кобальта в растворимые сульфатные соединения степень его выщелачивания превышает 95 %. Несмотря на высокую эффективность, процесс характеризуется значительными энергетическими затратами, потерями дорогостоящего β -нафтола и образованием оксидов азота.

Таким образом, наиболее рациональной представляется комбинированная схема, включающая селективное щелочное извлечение цинка, последующее концентрирование или экстракционное выделение кобальта и возврат очищенных цинксодержащих растворов в производственный цикл.

Заключение. Проведённый анализ показал, что кобальтсодержащие промпродукты цинкового производства являются перспективным техногенным сырьём для комплексного извлечения цветных металлов. Аммиачно-сульфатно-аммиачное выщелачивание обеспечивает высокий переход кобальта в раствор, однако требует дополнительных операций его отделения от цинка. Экстракционные методы с применением Д2ЭГФК, Cyanex 272 и Cyanex 925 обладают высокой селективностью, но ограничиваются стоимостью реагентов и необходимостью предварительной очистки растворов. При щелочном выщелачивании извлечение цинка достигает 96,33 %, тогда как основная часть кобальта сохраняется и концентрируется в твёрдом остатке. Переработка α -нитрозо- β -нафтольного кека позволяет извлечь более 95 % кобальта, но сопровождается значительными энергетическими затратами и образованием вредных выбросов. Наиболее рациональным решением является комбинирование щелочного выщелачивания, экстракционного разделения и последующего получения кобальтового продукта. Такая схема обеспечивает комплексное использование сырья, возврат цинксодержащих растворов в производственный цикл и сокращение объёма опасных отходов.

Adabiyotlar/Literatypa/References:

1. Wang, K.Y., Cai, C.L., Qian, D., Li, T., Chen, X.Y., Lai, D.Y., 2001. Studies on process for ammonia leachign of cobalt dregs. Chin. J. Rare Metals 04, 312–314.
2. Ku, H., Jung, Y., Jo, M., Park, S., Kim, S., Yang, D., Rhee, K., An, E.M., Sohn, J., Kwon, K., 2016. Recycling of spent lithium-ion battery cathode materials by ammoniacal leaching. J. Hazard. Mater. 313, 138–146
3. Li, Q., Fung, K.Y., Nee, K.M., 2019b. Separation of Ni, Co, and Mn from spent LiNi0.5Mn0.3Co0.2O2 cathode materials by ammonia dissolution. ACS Sustain. Chem. Eng. 7 (15), 12718–12725.
4. Wang, H.Y., Huang, K., Zhang, Y., Chen, X., Jin, W., Zheng, S.L., Zhang, Y., Li, P., 2017. Recovery of lithium, nickel, and cobalt from spent lithium-ion battery powders by selective ammonia leaching and an adsorption separation system. ACS Sustain. Chem. Eng. 5 (12), 11489–11495.

5. Wu, C.B., Li, B.S., Yuan, C.F., Ni, S.N., Li, L.F., 2019. Recycling valuable metals from spent lithium-ion batteries by ammonium sulfite-reduction ammonia leaching. *Waste Manag.* 93, 153–161.
6. Zheng, X.H., Gao, W.F., Zhang, X., He, M.M., Lin, X., Cao, H.B., Zhang, Y., Sun, Z., 2017. Spent lithium-ion battery recycling – reductive ammonia leaching of metals from cathode scrap by sodium sulphite. *Waste Manag.* 60, 680–688
7. Flett, D.S., 2005. Solvent extraction in hydrometallurgy: the role of organophosphorus extractants. *J. Organomet. Chem.* 690 (10), 226–238.
8. Kongolo, K., Mwema, M.D., Banza, A.N., Gock, E., 2003. Cobalt and zinc recovery from copper sulphate solution by solvent extraction. *Miner. Eng.* 16 (12), 1371–1374.
9. Kumar, V., Bagchi, D., Pancley, B.D., 2006. Extraction of zinc-cobalt from sulphate solution of cobalt cake by D2EHPA in the processing of Indian ocean nodules. *Steel Res. Int.* 77 (5), 299–304.
10. Parhi, P.K., Panigrahi, S., Sarangi, K., Nathsarma, K.C., 2008. Separation of cobalt and nickel from ammoniacal sulphate solution using Cyanex 272. *Sep. Purif. Technol.* 59 (3), 310–317
11. El-Hefny, N.E., Gasser, M.S., Rizk, S.E., Saad, E.A., Daoud, J.A., 2010. Separation and recovery of zinc (II) and cobalt (II) from a mixed sulfate/thiocyanate solution using some commercial organophosphorus extractants. *Solvent Extr. Ion Exch.* 28 (2), 244–266.
12. Zhu, Z.W., Yoko, P., Cheng, C.Y., 2017. Recovery of cobalt and manganese from nickel laterite leach solutions containing chloride by solvent extraction using Cyphos IL 101. *Hydrometallurgy* 169, 213–218.
13. Патент РФ №2359048, МПК C22B 23/00, 3/40, Способ переработки сульфатных никельсодержащих растворов. опубл. 20.06.2009. Гаврилов А. С., Халезов Б.Д
14. Патент РФ №2430172, МПК C22B 23/00, 3/08, Способ извлечения никеля из окисленных никелевых руд опубл. 27.09.2011). Орлов С. Л., Басков Д. Б.
15. Патент РФ №2352657, МПК C22B 23/00, C22B 3/44, Способ переработки никельсодержащих растворов опубл. 20.04.2009), Халезов Б.Д, Гаврилова А.С., Зеленин Е.А.
16. US 5178842 A, 12.01.1993. METHOD FOR PRECIPITATING AND SEPARATING METALS, Jan. 12, 1993, Sigmund P. Fugleberg, Pori, Finland.
17. US4110400A, Aug. 1, 1977. SELECTIVE PRECIPITATION OF NICKEL AND COBALT SULFIDES FROM ACIDIC SULFATE SOLUTION. Mahesh C. Jha, Gordon R. Wicker, Gustavo A. Meyer.
18. Huang, Y.K., Geng, Y.B., Han, G.H., Cao, Y.J., Peng, W.J., Zhu, X.F., Zhang, T.A., Dou, Z.H., 2020. A perspective of stepwise utilization of hazardous zinc plant purification residue based on selective alkaline leaching of zinc. *J. Hazard. Mater.* 389, 122090 10–21.
19. Huang, Y.K., Han, G.H., Huang, Y.F., Peng, W.J., Geng, Y.B., Cao, Y.J., Fan, G.X., Zhang, Y.S., 2019. An efficient method for the separation and recovery of zinc and cobalt from cobalt residue. In: Chinese patent, CN108893617B 230–238,
20. Geng, Y.B., Han, G.H., Huang, Y.K., Ma, Z.Q., Huang, Y.F., Peng, W.J., 2020. Separation and recovery of zinc and cobalt from zinc plant residue by alkali leaching. *Chemistry and Materials Science*, Springer, Cham, pp. 397–404
21. Wu, J.H., 2008. Behavior of impurity in the process of removing cobalt by β -naphthol. *Hydrometall. Chin.* 27 (1), 38–40.
22. Jiang, Y., Zeng, P., Li, G.F., 2015. Study on the removing technology of cobalt from poor cadmium solution in zinc hydrometallurgy. *China Metal Bull.* S1, 17–19.
23. Sun, M.S., Sha, T., Su, F.L., 2010. The industrial application of reclaiming depurative residues in zinc hydrometallurgy. *Min. Metall.* 19 (1), 73–76
24. Liu, Z.M., 2014. The Comprehensive Utilization Research of Alpha-Nitroso-Beta-Naphthol Cobalt Slag. Jiangxi University of Science and Technology. 25–35.

25. Li, Q., Fung, K.Y., Nee, K.M., 2019b. Separation of Ni, Co, and Mn from spent $\text{LiNi}_{0.5}\text{Mn}_{0.3}\text{Co}_{0.2}\text{O}_2$ cathode materials by ammonia dissolution. *ACS Sustain. Chem. Eng.* 7 (15), 12718–12725
26. Liu, Z.M., 2014. The Comprehensive Utilization Research of Alpha-Nitroso-Beta-Naphthol Cobalt Slag. Jiangxi University of Science and Technology. 34–47.
27. Liu, Y.P., Liu, Z.M., 2014. Preparation of cobalt oxide from α -nitroso- β -naphthol cobalt residue. *Hydrometall. Chin.* 33 (4), 301–304.
28. Li, C.L., Jia, G.G., Sha, T., 2009. Preparation of cobalt sulphate from cobalt-residue by activating roasting-leaching with sulfuric acid-solvent extraction process. *Hydrometall. Chin.* 28 (1), 28–31.
29. Zhu, W.H., Shen, Q.F., Tang, D., 2019. Leaching of cobalt, zinc, cadmium from cobalt residue. *Hydrometall. Chin.* 38 (6), 461–465.

TECHSCIENCE.UZ

**TEXNIKA FANLARINING DOLZARB
MASALALARI**

№ 9 (4)-2026

TOPICAL ISSUES OF TECHNICAL SCIENCES

**TECHSCIENCE.UZ- TEXNIKA
FANLARINING DOLZARB MASALALARI**
elektron jurnali 15.09.2023-yilda 130346-
sonli guvohnoma bilan davlat ro'yxatidan
o'tkazilgan.

Muassislar: "SCIENCEPROBLEMS TEAM"
mas'uliyati cheklangan jamiyati;
Jizzax politexnika instituti.

TAHRIRIYAT MANZILI:

Toshkent shahri, Yakkasaroy tumani, Kichik
Beshyog'och ko'chasi, 70/10-uy.

Elektron manzil:

scienceproblems.uz@gmail.com