DOI: 10.24412/2181-1431-2020-2-67-73
УДК 669.054.8

© Якубов М.М., Холикулов Д.Б., Болтаев О.Н., Абдукодиров А.А.

ВОЗМОЖНОСТИ ИЗВЛЕЧЕНИЕ ЦЕННЫХ КОМПОНЕНТОВ ИЗ МАТОЧНЫХ РАСТВОРОВ ОБРАЗОВАННЫХ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ МЕДНОГО КУПОРОСА В УСЛОВИЯХ АО «АЛМАЛЫКСКОГО ГМК»

Якубов Махмуджон Мухаммаджонович - доктор технических наук, профессор, заместитель директора ГУП «Фан ва тараккиёт» ТашГТУ им. И. Каримова, **Холикулов Дониёр Бахтиёрович** - доктор технических наук, доцент, заместитель директора Алмалыкского филиала ТашГТУ им. И. Каримова, **Болтаев Олмос Нажмидинович** – стажёр-исследователь Алмалыкского филиала ТашГТУ им. И. Каримова, **Абдукодиров Абдужалил Абдухалилович** - PhD, главный инженер АО «Алмалыкского ГМК»

Аннотация. *Целью исследования является изучение возможности извлечения ценных компонентов из маточных растворов, образованных при производстве медного купороса в условиях АО «Алмалыкского ГМК».*
Ключевые слова: *никель, маточный раствор, купорос, осаждение, ион, металлсодержащий, медь, разделение, смеси, отстаивание, экстракт.*

Abstract. *The aim of the study is to study the possibility of extracting valuable components from mother liquors formed during the production of copper sulfate in the conditions of JSC "Almalyk MMC".*
Keywords: *nickel, bittern, copperas, precipitation, ion, metal-containing, copper, separation, mixtures, settling, extract.*

Annotatsiya. *Tadqiqotning maqsadi - "Olmaliq KMK" AJ sharoitida mis sulfat ishlab chiqarish jarayonida hosil bo'lgan suyuqliklaridan qimmatli tarkibiy qismlarni ajratib olish imkoniyatlarini o'rganish.*
Kalit so'zlar: *nikel, eritmalar, kuporos, cho'kindi, ion, metal tarkibli, mis, ajralish, aralashmalar, cho'kma, ekstrakt.*

Актуальной технологической, экономической и экологической проблемой для горно-металлургических предприятий Узбекистана является повышение полноты извлечения цветных и благородных металлов из сырья и широкая разработка техногенных минеральных образований: накопленных и текущих отходов горно-металлургических производств с одновременным снижением нагрузки на окружающую среду.

Технологический процесс производства медного купороса Медоплавилного завода АО “Алмалыкский ГМК” состоит из совокупности последовательных технологических операций: подготовка раствора электролита к переработке, загрузка гранул в башни оксидизер, нейтрализация кислых растворов в оксидизерах, очистка нейтрализованных растворов от железа и мышьяка, фильтрация растворов, упаривание очищенных растворов, кристаллизация очищенных растворов, центрифугирование, фуговка, сушка, затаривание и отгрузка медного купороса.

Для проведения исследований были отобраны маточные растворы купоросного цеха МПЗ. Объем стоков купоросного цеха МПЗ – 20-30 м^3/сутки. Содержание серной кислоты – 4÷7 г/дм^3. Химический состав маточного раствора, г/дм^3: Cu 60-90, Zn 0,2-0,3, Fe 0,05-0,06, Ni 15-25, Sb 0,35, As 0,14 и прочие. Фазовый состав раствора, г/дм^3: $CuSO_4$ 156,9, $NiSO_4$ 32,94, $FeSO_4$ 0,14, $ZnSO_4$ 0,518, $HSbO_2$ 0,445 и др.

Сложность переработки раствора связано с высоким содержанием кислоты. Для извлечения металлов и снижения кислотности раствора исследовали метод осаждения с различными реагентами - осадителями, взаимодействующие с выделяемыми элементами с образованием малорастворимых соединений, которые выпадают в осадок: известь, известняк, каустическая сода, сульфид натрия.

В работе [1] исследована возможность создания технологии извлечения меди, золота и серебра из оборотных технологических растворов золотоизвлекательного участка с одновременной регенерацией цианида натрия. Основываясь на результатах проведенных исследований, была разработана технология переработки технологических растворов, адаптированная к условиям опытно-промышленного участка кучного выщелачивания ООО «Башкирская медь», основанная на осаждении меди и драгметаллов методом цементации после подкисления технологических растворов до pH 1-2 с одновременной регенерацией циановодорода и переведением его в раствор в форме цианида натрия. Предлагаемая технология является экономически эффективной, так как ее внедрение позволит: значительно повысить степень извлечения золота на ОПУ КВ в процессе электроосаждения, так как она напрямую зависит от чистоты оборотных технологических растворов; использовать образующиеся в процессе цементации концентраты, содержащие медь, золото и серебро, для дополнительного извлечения драгметаллов; существенно снизить потребление участком такого дорогого реагента, как цианид натрия; повысит экологичность производства золотоизвлекательного участка.

Способ [2] заключается в выщелачивании металлов из окисленных руд или техногенных отходов с извлечением металлов из растворов, до укрепления обедненных растворов выщелачивающим агентом. Выщелачивание меди ведут в несколько стадий растворами с

повышающимся окислительно-восстановительным потенциалом, а выщелачивание золота совмещают с последней стадией извлечения меди. Наиболее эффективно выщелачивание меди на начальных стадиях ведут в присутствии трехвалентного железа, выщелачивание золота, и последнюю стадию извлечения меди осуществляют в присутствии активного хлора или окси хлоридов, медь и золото извлекают из раствора цементацией или медь – экстракцией, а золото – сорбцией. Предложенный способ позволяет увеличить извлечение меди на 20-25 % и снизить расход химреагентов, содержащих активный хлор, серной кислоты.

Авторы [3] предлагает, способ включающий дробление и измельчение золотосодержащей руды до крупности 60% класса минус 0,063 мм, гравитационное обогащение в центробежных концентраторах с последующей доводкой выделяемого чернового золотосодержащего концентрата на концентрационных столах с получением кондиционного золотосодержащего концентрата. Коллективной флотацией сульфидных и окисленных минералов меди из хвостов гравитации выделяют коллективный медный концентрат. Подвергают его чановому выщелачиванию при перемешивании водным раствором серной кислоты при концентрации не менее 2 г/л с участием озона концентрацией в озоно-кислородной газовой смеси более 85 г/л, пероксида водорода и ионов оксидного железа концентрацией не менее 2 г/л. Затем обезвоживают и промывают твердую фазу выщелачивания концентрата, экстрагируют медь из медьсодержащих растворов и извлекают флотацией медь и серебро из твердой фазы выщелачивания концентрата. Технический результат заключается в повышении извлечения металлов из золотосодержащих сульфидно-окисленных медных руд.

Рассмотрен и исследован метод [4] очистки сточных вод, содержащих медь, с использованием порошков железа. Предложена новая технология быстрого ввода, диспергирования и смешивания железных порошков с ионами меди (CuSO4), содержащихся в сточных водах (pH=2,0 ÷ 3,0), образующихся при выполнении ряда технологических процессов. В исследованиях использовался высокоскоростной диспергатор-кавитатор. Проведено сравнение его работы со стандартной лабораторной смесительной установкой пропеллерного типа для оценки влияния параметров устройств смешивания различного типа, которые связанны с эффективностью процесса экстракции меди. Для каждого испытания длительностью от 1 до 10 мин перемешивания использовалось 1500 мл сточных медьсодержащих растворов. Использование диспергатора-кавитатора при экстракции меди оказалось более эффективным по сравнению с устройством перемешивания пропеллерного типа. Степень извлечения Cu2+повысилась на 88 %, а длительность процесса сократилась на 30 %.

Способ [5] касается извлечения ионов металлов из растворов путем сорбции катионитом. В качестве катионита используют продукт взаимодействия резиновой крошки с сероводородом при массовом соотношении соответственно 1:0,1 и давлении сероводорода 100 кПа. При этом сорбцию ведут при pH 7-10,5. В качестве резиновой крошки используют пенорезину или измельченную протекторную резину размером частиц 0,2-1,6 мм. Техническим результатом является расширение ассортимента сорбируемых ионов при очистке сточных вод от ионов металла.

В работе [6] рассмотрена возможность очистки модельных растворов, содержащих ионы Cu^{2+}, Fe^{2+}, Zn^{2+}, Ni^{2+} плодовыми оболочками зерен пшеницы (ПОЗП). Исследована зависимость сорбционной ёмкости образцов ПОЗП от концентрации ионов тяжелых металлов в растворе для исходного сорбционного материала и модифицированного. Найдено, что минимальная сорбционная емкость ПОЗП и её сернокислых модификатов располагается в следующей зависимости: $Ni^{2+}>Zn^{2+}>Fe^{2+}>Cu^{2+}$. Обработка ПОЗП слабыми растворами серной кислоты способствует увеличению максимальной сорбционной емкости.

Перспективным методом извлечения и разделения соединений металлов, присутствующих в растворе, является флотация. Преимуществом метода является высокой производительность, эффективность, экономичность и простота операций. При ионной флотации происходит взаимодействие ионов металлов с катионными поверхностно-активными веществами (собирателями), образуются гидрофобные осадки (сублаты), которые эффективно отделяются от раствора флотационным методом [7-9].

Процесс ионной флотации обладает множеством достоинств по извлечению металлов из металлосодержащих технологических растворов [10, 11]: эффективностью при низких концентрациях металлов в растворе (от долей миллиграмма до сотен миллиграммов в литре), высокой производительностью (время флотации составляет несколько минут), потерей органического реагента при правильном выбранном реагентом режиме, не превышает нескольких миллиграммов в литре; низким капиталовложением.

При процессе ионной флотации для образования межфазной потоке (поверхности) жидкость – газ используется воздух. В некоторых случаях, когда необходимо увеличить поверхностное натяжение плёнки жидкости, применяются различные газы, в данном случае организуется регенерация и оборот газов. В нашем примере используется воздух. Эффективность флотационного извлечения ионов металлов из технологических растворов зависит от свойств используемых реагентов-собирателей, образующих прочные сублаты с извлекаемыми цветными и тяжелыми металлами. Молекулы реагента должны содержать в своей функциональной группе донорные атомы с не поделенными парами электронов, переходящие на вакантные орбитали

ионов металла и образовывать координационную связь.

Исследование влияния различных факторов на степень извлечения металлов из промышленного маточного раствора. Сначала, в пустую колонну подавали воздух для предотвращения прохода раствора через перфорированное днище, затем в колонну заливали приготовленный раствор и подвергали обработке в течение 6 минут. Первоначально эксперименты проводились в сильнокислотном растворе. Эксперименты показали, что ионная флотация в сильнокислом растворе не происходит. Это обусловливается с конкуренцией ионов водорода с концентрируемыми катионами металлами. Последовательно в раствор добавляли CaO для снижения кислотности. Эксперименты проводили при кислотности 0, 2, 5, 8. Камерный продукт после первой стадии флотации (pH=0) послужил исходным для второй стадии флотации (pH=2). Таким образом, проводились четыре стадии ионной флотации при различных значениях pH. После завершения опыта пенный продукт отстаивали, фильтровали и высушивали до постоянной массы и подвергали анализу. Камерный раствор, также анализировался. Результаты опытов приведены в табл. 1. Результаты экспериментальных исследований показывают, что селективное извлечение металлов (молибден, медь, цинк, железа) в отдельный продукт с помощью регулирования pH среды не удалось. Установлено, что во всем рассматриваемом интервале значений pH раствора происходит осаждение ДЭДТК металлов. Исходя из этого, проведены эксперименты по извлечению металлов из сбросных растворов в коллективный концентрат.

Результаты экспериментальных исследований показывают, что, максимальное извлечение металлов в пенный продукт наблюдается при pH=3÷5. При этом получается коллективный концентрат содержащий, %: Ni-0,5-0,6; Cu-9,5÷104; Zn-0,25÷0,3; Fe-5,42÷5,8. Степень извлечения Ni, Cu, Zn; Fe в пенный продукт составляет 97 %; 97,5-98 %; 96-98 %; 95-97 % соответственно. При изменении pH от сильно кислотного до нейтрального - извлечение металлов увеличивается. Это объясняется переходом металлов в труднорастворимые гидроксиды, не взаимодействующие с собирателем в водном растворе, которые во время флотации не переходят в пенный продукт. Результаты экспериментальных испытаний по ионной флотации кислых стоков купоросного цеха МПЗ показывают, что максимальное извлечение металлов в пенный продукт наблюдается при pH=5. При этом получается коллективный концентрат содержащий, %: Ni-2,56; Cu-9,9; Zn-0,28; Fe-5,4. Степень извлечение Ni, Cu, Zn, Fe в пенный продукт составляет 98 %; 99,7 %; 98 %; 96 % соответственно.

Таблица 1

Результаты полупромышленных испытаний ионной флотации кислых стоков купоросного цеха МПЗ

pH	Выход пенного продукта, г	Содержание металлов в растворе после флотации, мг/л				Содержание металлов в пенном продукте, %				Извлечение металлов в пену, %			
		Ni	Cu	Zn	Fe	Ni	Cu	Zn	Fe	Ni	Cu	Zn	Fe
pH=1	32	0,6	4,2	0,27	10,5	0,43	9,6	0,22	2,9	70	88	73	47,5
pH=3	34	0,1	1,1	0,11	2,6	0,55	9,9	0,26	4,9	95	96,8	89	87
pH=5	35	0,04	0,08	0,02	0,8	0,56	9,97	0,28	5,4	97	97,7	97	96

Условия опытов: $V_{р-р}$-100 л, $C_{ДЭДТК-Na}$-25 г/м^3, Т-80-2,5 г/ м^3; t-20^{0}С, τ-6 мин.

Для проведения полупромышленных испытаний по извлечению ионов металлов из технологических растворов изготовлено оборудование и разработана схема цепи аппаратов (рис. 2).

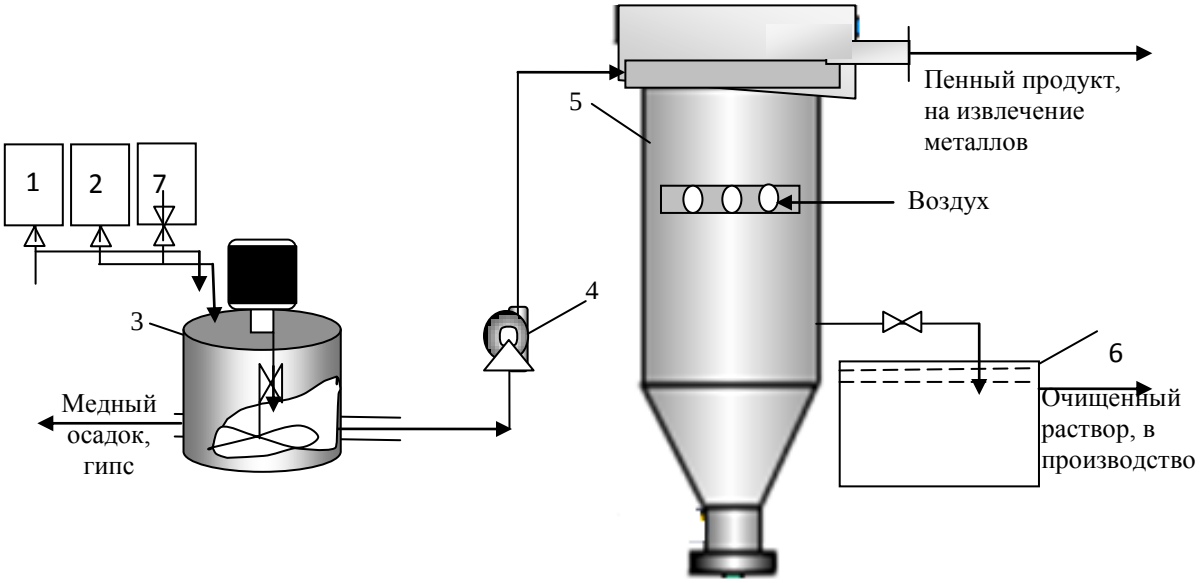
Исследование возможности переработки пенного продукта ионной флотации с регенерацией ДЭДТК-Na. В ходе выполнения работы проведены исследования различных вариантов переработки пенного продукта, включающие регенерацию ДЭДТК-Na. Основываясь на свойствах ДЭДТК-Na и металлов, избран в общем виде следующий вариант переработки: растворение ДЭДТК металлов в органическом растворителе и селективная реэкстракция молибдена, меди, цинка, железа с параллельной реэкстракцией ДЭДТК-Na водными растворами щелочи.

В процессе предлагается использовать керосин, как органический растворитель. При исследовании устойчивости ДЭДТК молибдена, меди, цинка и железа к действию минеральных кислот использовали распространенные промышленные кислоты: серную, соляную и азотную.

Молибден, медь, цинк и железо наиболее полно реэкстрагируются азотной и соляной кислотами. Однако азотная кислота является сильным окислителем и ее использование нецелесообразно в связи с невозможностью последующей регенерации ДЭДТК-Na. В случае регенерации ДЭДТК-Na после кислотной реэкстракции применение соляной кислоты возможно лишь в относительно низкой концентрации.

Таким образом, установлено, что кислотная реэкстракция соляной кислотой с условием последующей регенерации ДЭДТК-Na возможна лишь для цинка. Регенерация ДЭДТК-Na может быть осуществлена промывкой органической фазы слабым раствором щелочи NaOH. Определяющим фактором в исследованиях устойчивости ДЭДТК

металлов к действию кислот является устойчивость ДЭДТК кислоты сточных растворах.



1-ДЭДНК-Na; 2-маточный раствор; 3-реактор-смеситель; 4-насос; 5-флотамашина; 6-сборный резервуар осадка и раствора после ионной флотации; 7-известь

Рис. 1. Схема цепи аппаратов для переработки маточных растворов купоросного цеха

В связи, с чем была изучена устойчивость ДЭДТК кислоты, растворенной в керосине, к действию соляной кислоты.

Предложения по технологической схеме извлечения металлов из сбросных растворов медного и цинкового производства. На основании полученных экспериментальных данных, приведенных выше, предлагается принципиальная схема извлечения металлов из сбросных растворов медного и цинкового производства (рис. 3). Схема включает в себя следующие основные операции:

1. Снижение кислотности добавлением CaO до pH=3-5. Коллективное осаждение ДЭДТК металлов. Осаждение целесообразно проводить для промышленных маточных растворов ЦПРМ МПЗ при значениях pH раствора 3-5, для кислых стоков купоросного цеха МПЗ и промывных растворов СКЦ ЦЗ при значениях pH раствора 5. Образование нерастворимых осадков комплекса металлов составляет более 98 %.

2. Флотация осадка в аппарате колонного типа. Оптимальное время флотация осадка 5-6 минут. Степень извлечения металлов в пену до 99 %

3. Растворение полученного пенного продукта. Растворение пенного продукта ионной флотации в керосине. Расход органику составляет 30 % от пенного продукта. Переход металлов в состав органической фазы составляет более 99 %.

4. Селективная реэкстракция цинка. Реэкстракция цинка проводятся соляной кислотой при расходе 25 % от объема органики. Извлечение цинка при реэкстракции составляет более 95 %. ДЭДТК металлов при обработке соляной кислотой такой концентрации не разрушается.

5. Регенерация ДЭДТК-Na осуществляется промывкой 0,2М щелочным раствором NaOH.

ДЭДТК-Na регенерируется на 70 %. Регенерация меди, молибдена, никеля и железа осуществляется сульфидом натрия. Расход Na_2S составляет 0,05 кг на 1 кг осадка. Полученный осадок после сушки можно использовать, как добавку для получения высококачественной стали.

Для достоверности полученных лабораторных результатов в данном разделе приведены результаты статистической обработки показателей ионной флотации металлов из различных растворов в пенный продукт, с целью оценки воспроизводимости опытов с ДЭДТК-Na. Для статистической обработки полученных результатов рассчитывались следующие основные числовые характеристики: среднеарифметическое значение параметров, отклонение отдельных измерений, дисперсия, среднеквадратическое отклонение, коэффициент вариации.

Результаты анализов абсолютных и квадратичных отклонений от средневзвешенного значения извлечения металлов из кислых стоков купоросного цеха МПЗ (табл. 2) в пенный продукт по результатам исследований позволяет выявить не только характер связи, но дает представление о степени связи. Расчетным путем определено, что из кислых стоков купоросного цеха МПЗ при использовании реагента ДЭДТК-Na среднее арифметическое значение извлечения меди составляет 95,85 %, никеля 97,02%. Из результатов дисперсионного анализа величины извлечения металлов (табл. 3) установили, что при

извлечении металлов из растворов с вероятностью 0,9-0,999 можно получить отклонения от основной величины извлечение меди 95,85 % в пределах ±7,40575 %, никеля 97,0148±5,07072 %.

Отсюда следует, что в результате испытаний получены надежные и достоверные данные для ДЭДТК-Na. Погрешности в определении величины извлечения металлов складываются в основном из погрешностей в определении содержания металлов в растворе и при отборе проб для анализа. Значения коэффициента вариации при определении извлечения меди и никеля из кислых стоков купоросного цеха МПЗ составляют 2,8311 и 1,6924, соответственно.

Таблица 2

Результаты анализа абсолютных и квадратичных отклонений извлечения никеля и меди из кислых стоков купоросного цеха МПЗ в пенный продукт по результатам опытов при использовании реагента ДЭДТК-Na

№	Извлечение, %		Отклонение от среднего			
	Ni	Cu	$Ni_{абс.}$	$Ni_{квадр..}$	$Cu_{абс.}$	$Cu_{квадр.}$
1	96,95	94,9	0,0648	0,0042	0,9496	0,9017
2	98,21	90,3	-1,195	1,4285	5,5496	30,7981
3	98,28	95,5	-1,265	1,6007	0,3496	0,1222
4	94,25	95,5	2,7648	7,6441	0,3496	0,1222
5	95,9	97,4	1,1148	1,2428	-1,5504	2,4037
6	94,45	97,55	2,5648	6,5782	-1,7004	2,8914
7	95,75	98,5	1,2648	1,5997	-2,6504	7,0246
8	96,83	92,25	0,1848	0,0342	3,5996	12,9571
9	98,1	99,19	-1,085	1,1777	-3,3404	11,1583
10	97,1	98,5	-0,085	0,0073	-2,6504	7,0246
11	98,82	98,75	-1,805	3,2587	-2,9004	8,4123
12	95,3	94,75	1,7148	2,9405	1,0996	1,2091
13	97,65	90,5	-0,635	0,4035	5,3496	28,6182
14	99,4	98,5	-2,385	5,6892	-2,6504	7,0246
15	98,25	95,4	-1,235	1,5257	0,4496	0,2021
16	98,29	96,55	-1,275	1,6261	-0,7004	0,4906
17	99,45	98,5	-2,435	5,9302	-2,6504	7,0246
18	99,25	94,3	-2,235	4,9961	1,5496	2,4013
19	91,9	95,55	5,1148	26,161	0,2996	0,0898
20	99,45	96,5	-2,435	5,9302	-0,6504	0,4230
21	91,83	91,4	5,1848	26,88215	4,4496	19,79894016
22	99,45	96,5	-2,4352	5,930199	-0,6504	0,42302016
23	99,21	98,5	-2,1952	4,818903	-2,6504	7,02462016
24	96,18	92,4	0,8348	0,696891	3,4496	11,89974016
25	95,12	98,55	1,8948	3,590267	-2,7004	7,29216016
	$97,0148_{ср. взв}$	$95,8496_{ср. взв}$		5,070718		7,405754

Таблица 3.

Результаты дисперсионного анализа величины извлечения металлов в пенный продукт из кислых стоков купоросного цеха МПЗ с ДЭДТК-Na

Показатели	Извлечение металла, μ			Дисперсия, σ^2	Стандартное отклонение, σ	Коэффициенты Стьюдента, t_α					Коэффициент вариации, υ
	Максимальное	Минимальное	Среднее			0,900	0,950	0,980	0,990	0,999	
Извлечение Cu	99,19	90,30	95,8496	7,40575	2,7214	1,71	2,06	2,49	2,78	3,72	2,8311
Извлечение Ni	99,45	91,83	97,0148	5,07072	2,7214	1,71	2,06	2,49	2,78	3,72	2,3211

Эти значения коэффициентов вариации подтверждают воспроизводимость полученных показателей с достаточной степенью достоверности и надежности.

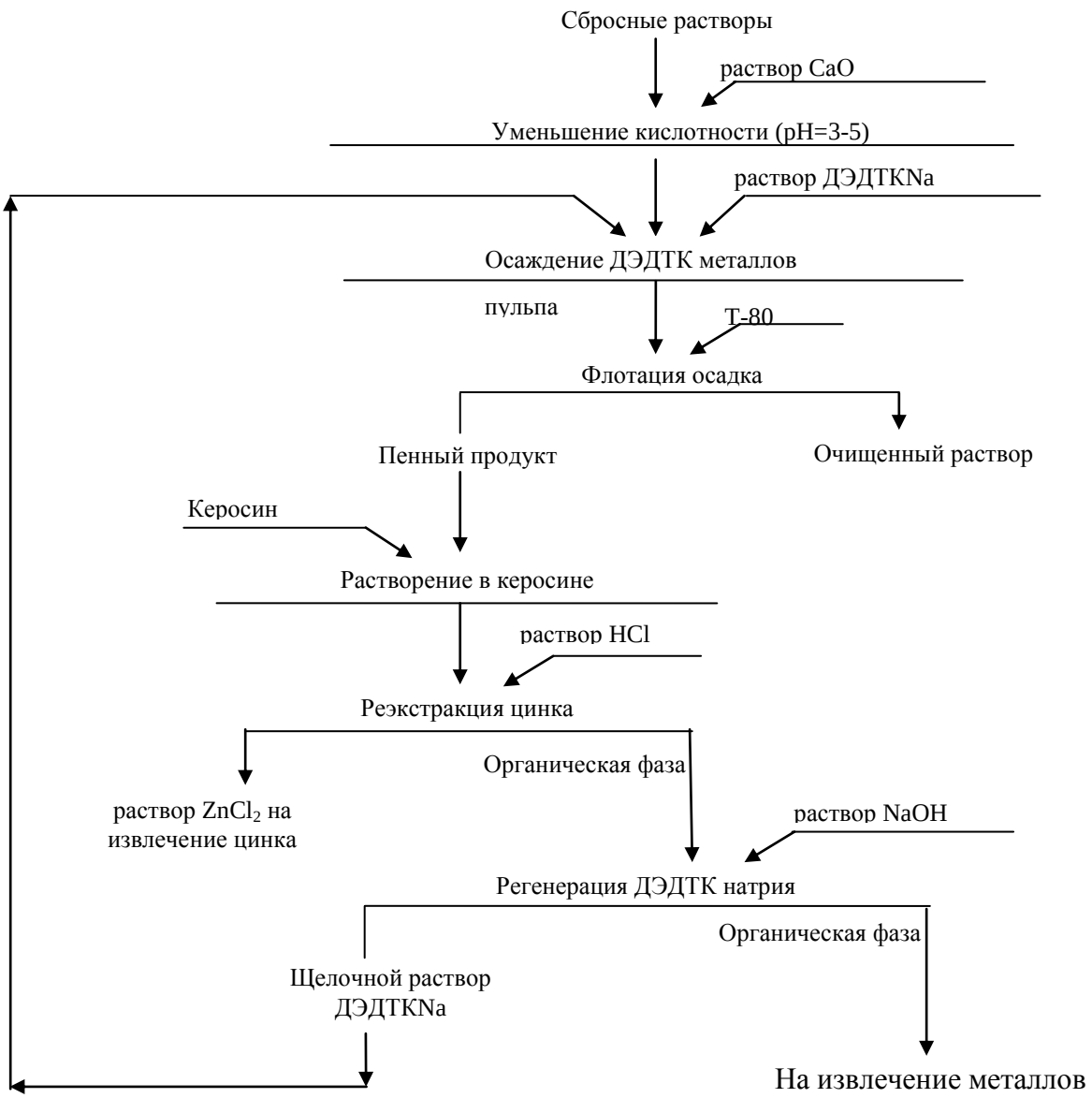


Рис. 2. Принципиальная схема переработки маточных растворов купоросного цеха

Заключение. Разработанная эффективная технология избирательного извлечения никеля из маточных растворов может быть положена в основу инновационных технологий металлосодержащих растворов, образованных при производстве медного купороса в условиях АО «Алмалыкского ГМК» и рекомендована к использованию на предприятиях данной отрасли. Найденные технологические решения могут быть применены в других отраслях, связанных с переработкой металлосодержащих продуктов.

Список использованной литературы

[1]. Н.Л.Калугина, И.А.Варламова, Г.А.Кумаксин, Х.Я.Гиревая, Л.А Бодьян., Ю.А.Калугин. Технология извлечения металлов из оборотных технологических растворов. Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 1 (часть 1). https://www.science-education.ru/ru/article/view?id=18287.

[2]. А.И.Заболоцкий, Н.В.Савеня, И.П.Агалаков, В.В.Левин, В.А.Кравцов. Способ извлечения меди и золота из окисленных руд и техногенных отходов. RU 2255127 C2. Опубликовано: 27.06.2005. Бюл. 18. https://patents.google.com/patent/RU2255127C2/ru

[3]. Л.Н.Крылова, А.В. Канарский, Э.В.Адамов, О.Н.Травникова. Способ извлечения металлов из золотосодержащих сульфидно-окисленных медных руд. RU 2428493 C1. Бюл. 25. Опубл.: 10.09.2009. https://patentimages.storage.googleapis.com/8b/a9/85/9b9758b51b5ee7

[4]. В.А.Миронов, А.Ю.Шишкин, А.В.Поляков, Ю.К.Трейс. Извлечение меди из водных растворов с использованием железных порошковых материалов // Журн. Белорус. гос. ун-та. Экология. 2018. № 1. С. 97–102.

[5]. А.Ю.Самойленко, О.И.Тужиков, О.О.Тужиков, Т.В.Хохлова. Способ извлечения ионов металлов из растворов. RU 2220107 C1. Номер заявки: 2002133730/12. Дата регистрации: 15.12.2002. Дата публикации: 27.12.2003.

[6]. С.В.Степанова, И.Г.Шайхиев Очистка модельных стоков, содержащих ионы тяжелых металлов, шелухой пшеницы. Вестник БГТУ. 2014, №6. С. 183-186.

[7]. Холикулов Д.Б., Рахмонов Н.М., Кодиров С.И. Возможности применения ионной флотации для извлечения металлов из различных растворов. Материалы международной научно-технической конференции. Научные основы и практика переработки руд и техногенного сырья. Екатеринбург: Форт Диалог-Исеть. 2007. С.187-193. КиберЛенинка.

[8]. Д.Б.Холикулов, Р.И.Нормуротов, Ф.Э.Ахтамов. Исследования по извлечению цветных металлов ионной флотацией из сбросных растворов// Горный вестник Узбекистана, – Навои, 2016, -№ 2 (65), с. 68-70.

[9]. D.B.Kholiqulov, M.M.Yakubov, O.N.Boltayev. Research of the valuable components` extraction possibility from technological solutions copper production by method of ionic flotation // International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology, – India, 2019, -Vol. 6, Issue 6, June, -Pp. 9565-9570.

[10]. Д.Б.Холикулов, О.Н.Болтаев. Мис заводида ҳосил бўладиган технологик эритмаларни қайта ишлаш муаммолари // Материалы международной науч.-техн. конф. «Перспективы инновационного развития горно-металлургического комплекса». - Навои. 22-23 ноября 2018 года. -С. 123.

[11]. Н.Л.Медяник, Х.Я.Гиревая, О.В.Мунтяну. Очистка сточных вод от ионов тяжелых металлов методом ионной флотации // 4 - ая Международная научная школа молодых ученых и специалистов. Проблемы освоения недр в XXI веке глазами молодых ученых. - Москва, 2007. - С. 292-294.

[12]. Абдурахмонов С.А., Холикулов Д.Б., Пиримов А.П., Нормуротов Р.И., Назаров В.Ф. Статистическая обработка показателей ионной флотации металлов из сернокислых растворов. Горный вестник Узбекистана, Навоий, 2005 № 4 с. 67-69.

[13]. https://cyberleninka.ru/article/n/obzor-tehnologiy-ochistki-stochnyh-vod-ot-ionov-tyazhelyh-metallov-osnovannyh-na-fiziko-himicheskih-protsessah