

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Казахский национальный исследовательский технический университет
имени К.И. Сатпаева

Горно-металлургический институт имени О.А.Байконурова

Кафедра «Металлургические процессы, теплотехника и технология
специальных материалов»

УДК 669.334(043)

На правах рукописи

Мәжит Әсел Ерманқызы

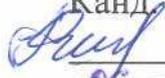
МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Название диссертации «Разработка технологии и интеллектуальной системы управления процессом выделения меди и сульфата алюминия из сернокислых растворов»

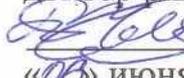
Направление подготовки 7М07201- Автоматизация и цифровизация металлургических процессов

Научный руководитель
Ассоц. профессор,
канд. техн. наук
 Гусейнова Г.Д.
«06» июня 2022 г.


Рецензент
Д-р. техн. наук
 Квятковский С.А.
«06» июня 2022 г.

Нормоконтроль
Канд. техн. наук
 Коныратбекова С.С.
«06» июня 2022 г.

ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ
НАО «КазНТУ им.К.И.Сатпаева»
Горно-металлургический институт
им. О.А. Байконурова

ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ
Заведующая кафедрой МПТиТСМ
доктор PhD, д.т.н., ассоц. профессор
 Чепуштанова Т.А.
«06» июня 2022 г.

Алматы 2022

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Казахский национальный исследовательский технический университет
имени К.И. Сатпаева

Горно-металлургический институт имени О.А.Байконурова

Кафедра «Металлургические процессы, теплотехника и технология
специальных материалов»

7M07201- Автоматизация и цифровизация металлургических процессов

УТВЕРЖДАЮ

Заведующая кафедрой МПТиТСМ
доктор PhD, д.т.н., ассоц. профес-
сор


Чепуштанова Т.А.
«26» января 2020 г.

ЗАДАНИЕ

на выполнение магистерской диссертации

Магистранту Мәжит Әсел Ерманқызы

Тема: Разработка технологии и интеллектуальной системы управления процессом выделения меди и сульфата алюминия из сернокислых растворов
Утверждена приказом Ректора Университета от № 435-м от «3» декабря 2019 г.

Срок сдачи законченной диссертации: «09» июня 2022 г.

Исходные данные к магистерской диссертации: патенты, литература по производству меди и сульфата алюминия, их выделению из сернокислых растворов, лабораторное оборудование.

Перечень подлежащих разработке в магистерской диссертации вопросов:

а) современное состояние вопроса разделения твердой и жидкой фаз сернокислотных суспензий;

б) экспериментальная часть: выделение меди и сульфата алюминия из сернокислых растворов; схемы АСР процессов отстаивания и фильтрования

Перечень графического материала, (темы презентационных слайдов): демонстрационный материал с результатами исследований представлен на 15 слайдах.

Рекомендуемая основная литература:

- 1 В.И.Брагина, В.И. Брагин. Флотационные методы обогащения// Учебное пособие. Красноярск ИПК СФУ –2010. С. 5.
- 2 Дейграф И.Э., Таскарина А.Ж., Абсолямова Д.Р. Автоматизация металлургического производства. Учебное пособие. — Павлодар: Кереку, 2016. — 88 с.

ГРАФИК

подготовки магистерской диссертации

Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки предоставления научному руководителю	Примечание
Введение	01.06.2021	
Аналитический обзор литературы	20.03.2022	
Экспериментальная часть	20.04.2022	
Заключение	20.05.2022	

Подписи

консультанта и нормоконтролера на законченную магистерскую диссертацию с указанием относящихся к ним разделов диссертации

Наименование разделов	Консультанты, И.О.Ф. (уч. степень, звание)	Дата подписания	Подпись
Введение	Г.Д. Гусейнова Кандидат технических наук, ассоциированный профессор	01.06.2021	
Аналитический обзор литературы		20.03.2022	
Экспериментальная часть		20.04.2022	
Заключение		20.05.2022	
Нормоконтролер	С.С. Коныратбекова Кандидат технических наук	26.06.2022	

Научный руководитель  Гусейнова Г.Д.

Задание принял к исполнению обучающийся  Мəжит Ə.Е

Дата «26» января 2020 г.

АҢДАТПА

Бұл диссертация тапсырмадан, кіріспеден, аналитикалық әдебиеттерге шолудан, эксперименттік бөлімнен, қорытындыдан, пайдаланылған әдебиеттер тізімінен тұрады. Диссертациялық жұмыс 62 бетте берілген, 16 сурет пен 11 кестеден тұрады.

Диссертациялық жұмыстың мақсаты – күкірт қышқылы ерітінділерінен мыс пен алюминий сульфатын алу процесін басқарудың интеллектуалды жүйесін және технологиясын жасау.

Зерттеу нысаны: Бозшакөл кенін шаймалаудан алынған ерітінді.

Жұмыста Бозшакөл кен орнының күйген кендерін шаймалау және флокулянттардың көмегімен процестерді күшейту нәтижесінде алынған күкірт қышқылы суспензияларын тұндыру және сүзу процестерінің нәтижелері берілген. Пульпаны тұндыру және сүзу үшін АСР (автоматты басқару жүйесі) схемалары әзірленді.

АННОТАЦИЯ

Настоящая диссертационная работа состоит из задания, введения, аналитического обзора литературы, экспериментальной части, заключения, списка литературы. Диссертационная работа изложена на 62 страницах, содержит 16 рисунков и 11 таблиц.

Целью диссертационной работы является разработка технологии и интеллектуальной системы управления процессом выделения меди и сульфата алюминия из сернокислых растворов.

Объект исследования: раствор, полученный от выщелачивания Бозшакольской руды.

В работе приведены результаты процессов отстаивания и фильтрования сернокислотных суспензий, полученных выщелачиванием обожженных руд Бозшакольского месторождения и интенсификации процессов с помощью флокулянтов. Разработаны схемы АСР (автоматической системы регулирования) отстаивания и фильтрации пульпы.

ANNOTATION

This dissertation consists of a task, introduction, analytical review of the literature, experimental part, conclusion, list of references. The dissertation work is presented on 62 pages, contains 16 figures and 11 tables.

The purpose of the dissertation work is to develop a technology and an intelligent control system for the process of extracting copper and aluminum sulfate from sulfuric acid solutions.

Object of study: solution obtained from the leaching of Bozshakol ore.

The paper presents the results of the processes of settling and filtering sulfuric acid suspensions obtained by leaching the burnt ores of the Bozshakol deposit and intensifying the processes with the help of flocculants. Schemes of ACS (automatic control system) for settling and filtering pulps have been developed.

СОДЕРЖАНИЕ

	Нормативные ссылки	10
	Обозначения и сокращения	10
	Введение	11
1	Аналитический обзор литературы	13
1.1	Разделение твердой и жидкой фаз сернокислотных суспензий	13
1.2	Современное состояние вопроса разделения пульп	17
2	Экспериментальная часть	20
2.1	Описание методики и установки эксперимента	20
2.2	Интенсификация процесса отстаивания сернокислотной пульпы с помощью флокулянтов	20
2.3	Выделение меди из сернокислых растворов	24
2.4	Сорбция меди на катионитах промышленного производства	25
2.5	Выделение сульфата алюминия из сернокислых растворов	31
2.6	Оптимизация процесса выделения сернокислого алюминия из раствора	32
2.7	Использование природных сорбентов для очистки сточных вод	33
3	Автоматизация процессов отстаивания и фильтрации пульп	40
3.1	Отстаивание	40
3.2	Фильтрование	41
3.3	Интеллектуализация систем управления процессами отстаивания и фильтрации	43
3.4	Особенности современных интеллектуальных датчиков	44
3.5	Технологическая схема процесса	45
	Заключение	46
	Список использованных источников	48
	Приложения	51

НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ

В настоящей диссертации использованы ссылки на следующие стандарты:

СТ РК ГОСТ Р 15.011 – 2005 – Патентные исследования.

ГОСТ 15.01 – 82 – Система разработки и постановки продукции на производство. Порядок проведения патентных исследований.

ГОСТ 8.326–89 ГСИ – Метрологическая аттестация средств измерения.

ГОСТ 8.315–97 – Стандартные образцы состава и свойств вещества и материалов.

ГОСТ 8.401–80 Классы точности средств измерений. Общие требования.

ГОСТ 8.417–81 Единицы физических величин.

СТ РК 2.3–97 Эталоны единиц физических величин. Основные положения. Порядок разработки, утверждения, регистрации, хранения и применения.

ГОСТ 8.417–81 Государственная система обеспечения единства измерений. Единицы физических величин.

ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

T – абсолютная температура, K;

τ – продолжительность процесса, сек;

R – полимерный радикал;

X_1, X_2, X_3 – независимые переменные;

C – концентрация;

d – диаметр;

ПАА – полиакриламид;

СОЕ – сорбционная обменная емкость.

ВВЕДЕНИЕ

Оценка современного состояния решаемой научно–технологической проблемы.

В настоящее время в гидрометаллургической практике для интенсификации разделения суспензий широкое применение находят водорастворимые полимеры, обладающие сильным коагулирующим и флокулирующим действием.

В связи с этим основанием для разработки темы является возможность исследования процессов отстаивания и фильтрования сернокислых суспензий, полученных выщелачиванием обожженных руд Бозшакольского месторождения с целью интенсификации процесса с помощью флокулянтов.

Основание и исходные данные для разработки темы.

Основанием для разработки темы является потребность и возможность организации разработки технологии и интеллектуальной системы управления процессом выделения меди и сульфата алюминия из сернокислых растворов.

В работе рассмотрены способы получения меди и сульфата алюминия из сернокислых растворов.

Обоснование необходимости проведения научно–исследовательской работы.

Необходимость выполнения настоящей научно–исследовательской работы разработать технологию, а так же интеллектуальную систему управления процессом выделения меди и сульфата алюминия из сернокислых растворов, с целью оптимизировать работу заводов и производств; автоматизировать весь процесс работы для экономии сырья и получения максимума объема готового продукта.

Актуальность работы.

Металлургия, традиционно являясь базовой отраслью промышленности, играет ключевую роль в экономике Казахстана как поставщик основных конструкционных материалов и индикатор социально - экономического развития. Отечественный металлургический комплекс является одним из самых мощных в мире, от результатов его функционирования зависит экономическое положение страны. При этом современный период развития металлургии характеризуется, с одной стороны, спадом производства основных видов продукции, снижением качественных характеристик развития, в том числе моральным и физическим износом основных фондов. С другой стороны, металлургический комплекс стал одним из самых экспортно-ориентированных. Происходящие процессы приватизации, реструктуризации привели к значительным организационным изменениям, как в самом комплексе, так и на отдельных предприятиях. Изучение вопросов формирования и развития металлургического комплекса, повышения эффективности его функционирования на современном этапе является первостепенной задачей экономической науки. Все это предопределяет актуальность темы исследования.

Цель работы: интенсификация процессов отстаивания и фильтрования сернокислотных суспензий, полученных после выщелачивания обожженных руд Бозшакольского месторождения с помощью флокулянтов и разработка интеллектуальной системы управления процессом выделения меди и сульфата алюминия из сернокислых растворов.

Объектом исследования является: раствор, полученный после выщелачивания Бозшакольской руды.

Задачи поставленные в диссертационной работе:

- анализ научной литературы;
- исследования по фильтрации пульп;
- выделение меди и сульфата алюминия из сернокислых растворов;
- оптимизация процесса выделения сернокислого алюминия из раствора;
- решение экологических проблем.

Научная новизна:

– исследован сорбционный процесс выделения меди из сернокислых растворов различной концентрации ($50-200 \text{ г/дм}^3 \text{ H}_2\text{SO}_4$) на катионитах ряда марок. Сопоставительный анализ сорбции меди из синтетических и реальных растворов показал принципиальную возможность проведения ионообменного процесса из сернокислых растворов после выщелачивания Бозшакольских руд без технологических осложнений;

– физико-химическими анализами показано, что медь после ее выделения сорбцией на катионитах, не загрязняет продукционный сульфат алюминия;

– методом наименьших квадратов получена математическая модель разложения сернокислых растворов алюминия. Определено, что доминирующее влияние на этот процесс оказывает температура. Экспериментально доказана возможность переработки окисленных медных руд по разработанной сернокислотной технологии с комплексным извлечением в качестве товарной продукции меди и сульфата алюминия.

Практическая значимость результатов работы заключается в разработке технологии и интеллектуальной системы управления процессом выделения меди и сульфата алюминия из сернокислых растворов.

Апробация работы: основные положения работы по теме диссертации изложены автором в работах: 1. «Разделение фаз сернокислотной суспензии, полученной после выщелачивания обожженной Бозшакольской руды», в сборнике материалов Международных XIX Байконуровских чтений «Роль инноваций в трансформации современного общества» 2019 г.; 2. «Исследование влияния температуры на скорость химической коррозии меди», Международные Сатпаевские чтения, 2020 г.

1 Аналитический обзор литературы

1.1 Разделение твердой и жидкой фаз сернокислотных суспензий

Металлургия — отрасль тяжелой промышленности, охватывающая процессы получения металлов из руд и других материалов, производства сплавов, придания нужной формы металлическим заготовкам путем обработки их давлением. Традиционно металлургия подразделяется на черную и цветную металлургию. Предприятия металлургического комплекса в условиях конкуренции активно занимаются внедрением передовых технологий производства, современного оборудования и систем управления. Это позволяет продукции, выпускаемой на этих предприятиях, соответствовать самым строгим мировым стандартам. Автоматизация технологических процессов черной и цветной металлургии стала необходимым и неотделимым элементом новой техники. Разработка и внедрение автоматизированных систем управления технологическими процессами черной и цветной металлургии приводит к повышению результатов труда и экономии энергоносителей [1].

Автоматизация предприятий цветной металлургии включает: алюминийную промышленность; титаномагниевою промышленность; медную промышленность; свинцово-цинковую промышленность; оловянную промышленность; никель-кобальтовую промышленность [2].

Опыт комплексной автоматизации предприятий черной и цветной металлургии убедительно доказывает, что эффективное развитие металлургического комплекса, а также значительное повышение конкурентоспособности и качества металлопродукции на мировом рынке требуют глубокого совершенствования автоматизированных и автоматических систем получения и дальнейшей обработки информации о ходе технологических процессов. А современные тенденции развития промышленной автоматизации в металлургии характеризуются широким применением информационных технологий. Среди них такие современные разработки в области нестандартных методов и принципов управления технологическими процессами металлургических предприятий, как экспертные системы поддержки принятия решений, разработка и использование аппарата искусственного интеллекта в системах автоматизации металлургических процессов [3].

Способ выделения сульфата меди из сернокислого раствора, включающий вакуумную кристаллизацию исходного раствора при повышенной температуре, непрерывной циркуляции и отводе суспензии, отделение кристаллов и сушку их, отличающийся тем, что нагретый до 80-90 °С исходный раствор с массовым соотношением меди и серной кислоты смешивают с циркулирующим маточным раствором с температурой на 2-4 °С выше температуры кристаллизации сульфата меди и подвергают вакуумной выпарке-кристаллизации [4].

Изобретение относится к области химии, в частности к способам получения сульфата меди - медного купороса, и может быть использовано в метал-

лургии, химической промышленности, в производстве кормовых микродобавок в сельском хозяйстве. Способ получения сульфата меди из сернокислых растворов электролитического рафинирования меди включает совмещенную выпарку-кристаллизацию нагретого до 80-90 °С раствора с соотношением меди и серной кислоты, равным 35-95:1, с температурой циркулирующего маточного раствора на 2-4 °С выше температуры кристаллизации сульфата меди, при этом вакуумную кристаллизацию осуществляют под давлением 1,5-1,9 кПа. Способ позволяет получать мелкодисперсный продукт с содержанием основного продукта не менее 98,5 % и с содержанием кристаллов фракции крупностью менее 0,5 мм до 85-95 % и дает возможность исключить крупные фракции кристаллов 2,5; 1,6; 1,0 мм [5].

Получение сульфата меди определенного гранулометрического состава, содержащего фракции крупностью менее 0,5 мм, позволяющее расширить область применения медного купороса, является актуальной задачей, так как для кормовых микродобавок необходим сульфат меди более мелких фракций, чем 0,5 мм [6].

Известен способ получения сульфата меди медного купороса из отработанного электролита, включающий нейтрализацию его материалами, содержащими медь, до остаточной концентрации серной кислоты 0,5 % упаривание нейтрализованного раствора меди при 95-100 °С и последующее охлаждение раствора сульфата меди. Отжатые на центрифуге кристаллы промывают и высушивают [7].

Недостатком способа являются сросшиеся в виде двойников кристаллы сульфата меди со средним размером 0,3-0,4 мм, содержание основного компонента $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 93-95 %. Это некондиционный продукт, который необходимо дополнительно перекристаллизовывать.

Известен другой способ получения кристаллического сульфата меди медного купороса из отработанного электролита медеелектролитных производств, включающий нейтрализацию раствора в две стадии. Вначале отработанный электролит нейтрализуют медьсодержащими металлами до остаточного содержания серной кислоты 5-50 г/л и повышения концентрации меди до 140-160 г/л, а затем проводят донейтрализацию раствора гексаметилентетрамином в количестве, превышающем необходимое для нейтрализации кислоты, 10-20 г/л. Нейтрализованный раствор отстаивают, осаждают примеси, осадок их отделяют, а очищенный раствор упаривают и кристаллизуют [8].

Получают сульфат меди в виде рыхлой массы с содержанием основного компонента 94 % железа 0,1 % мышьяка 0,05 % нерастворимого осадка 0,1 % примеси органики 0,1 % с преобладанием частиц размером 0,25 мм. Такой продукт плохо отжимается, содержит влагу до 10-20 % загрязнен примесными элементами.

Продукт слеживается, комкуется при хранении и транспортировке. Из-за низкого содержания основного компонента (97 %) и повышенного содержания примесей и органики полученный сульфат меди нельзя использовать в качестве кормовой добавки [9].

Кроме того, способ с двухстадийной нейтрализацией раствора разными материалами с отстаиванием и отделением осадка примесей затрудняет его промышленное осуществление, требует применения дорогостоящего и дефицитного гексаметилентетрамина.

Изобретение относится к технологии получения сульфата алюминия, который используют в качестве коагулянта при очистке хозяйственно-питьевых, промышленных и сточных вод, в промышленных и технологических процессах, и может быть использовано на предприятиях, занимающихся переработкой первичных отвальных алюмосодержащих шлаков. Способ получения сульфата алюминия включает предварительную отмывку шлака, содержащего оксид алюминия, от солей, затем обработку его серной кислотой, отделение фильтрацией полученного раствора от песка [10].

Песок промывают, а очищенный раствор после фильтрации подают в кристаллизатор и охлаждают. Отделяют кристаллы сульфата алюминия от маточного раствора, в состав которого входит серная кислота. Кристаллы сульфата алюминия промывают органическим растворителем, сушат и расфасовывают в мешки. После их промывки из оставшейся смеси органического растворителя, воды и серной кислоты отделяют отгонкой органический растворитель при температуре его кипения. Сжиженный органический растворитель используют в последующих промывочных операциях, а маточный раствор, в состав которого входит серная кислота, используют на последующих стадиях обработки шлака. Изобретение позволяет эффективно реализовывать универсальную безотходную, экологически безопасную технологию получения сульфата алюминия [11].

Изобретение относится к технологии получения коагулянтов, которые используются при очистке хозяйственно-питьевых, промышленных и сточных вод, в промышленных и технологических процессах, и может быть использовано на предприятиях, занимающихся переработкой первичных отвальных алюмосодержащих шлаков.

Известен способ переработки отходов алюминиевого производства, заключающийся в том, что отходы алюминиевого производства обрабатывают соляной кислотой или ее солью, которые используют в виде 1-10 % водного раствора, выдерживанием при температуре рабочего помещения для полного протекания реакции обезвреживания.

Недостатком известного способа является то, что он не решает проблемы улучшения экологической обстановки, так как отходы подлежат дальнейшему хранению [12].

Наиболее близким аналогом по количеству общих существенных признаков является способ получения сульфата алюминия из шлака, содержащего оксид алюминия, включающий предварительную отмывку шлака от солей, затем обработку его серной кислотой, фильтрацию полученного раствора от песка.

Недостатками указанного способа получения сульфата алюминия является загрязнение окружающей среды промышленными отходами, низкая степень конверсии, высокая энергоемкость, низкое качество продукта вследствие загрязненности его различными примесями.

Задачей изобретения является улучшение экологической обстановки за счет переработки отходов алюминиевого производства.

Технический результат заключается в повышении выхода сульфата алюминия с высокой степенью чистоты [13].

Указанный технический результат достигается способом получения сульфата алюминия, включающий предварительную отмывку шлака, содержащего оксид алюминия, от солей, затем обработку его серной кислотой, отделение фильтрацией полученного раствора от песка. При этом песок промывают, а очищенный раствор после фильтрации подают в кристаллизатор и охлаждают, отделяют кристаллы сульфата алюминия от маточного раствора, в состав которого входит серная кислота, кристаллы сульфата алюминия промывают органическим растворителем. Очищенные кристаллы сульфата алюминия сушат и расфасовывают в мешки. После их промывки из оставшейся смеси органического растворителя, воды и серной кислоты отделяют отгонкой органический растворитель при температуре его кипения. Сжиженный органический растворитель используют в последующих промывочных операциях, а маточный раствор, в состав которого входит серная кислота, используют на последующих стадиях обработки шлака [14].

Способ реализуется следующим образом. Шлак, содержащий оксид алюминия, отмывтый от солей, загружают в реактор, добавляют воду и серную кислоту, проводят варку 1,5 часа. Полученный раствор отфильтровывают в вакуум-фильтре, оставшийся песок промывают водой и используют в качестве строительного материала. Очищенный раствор подают в кристаллизатор и охлаждают. Для сокращения времени кристаллизации добавляют затравку в виде кристаллов готового сульфата алюминия. Образовавшиеся кристаллы сульфата алюминия отделяют от маточного раствора, в состав которого входят серная кислота и вода с растворенными сульфатами железа и других материалов на центрифуге. Затем кристаллы сульфата алюминия промывают в промывочной центрифуге органическим растворителем (ацетон, спирт. При промывке кристаллов вместе с ацетоном удаляются остатки маточного раствора. Очищенные кристаллы сульфата алюминия сушат в сушильном барабане и расфасовывают в мешки. Промывную смесь ацетона, воды и серной кислоты далее разделяют отгонкой ацетона при температуре кипения ацетона в испарителе. Образующиеся пары ацетона с испарителя и сушильного барабана попадают в конденсатор. Сжиженный ацетон используется в последующих промывочных операциях. Маточные растворы используются в качестве оборотных в последующих варках сульфата.

Способ позволяет увеличить выход сульфата алюминия до 80 % и выше за счет содержания серной кислоты во время варки в два и более раз, по сравнению со стехиометрическим [15]. Увеличение степени конверсии соответ-

ственно приводит к уменьшению количества отвала в виде песка и в результате к уменьшению расхода воды на его промывку. При высокой степени конверсии большая часть нежелательных примесей в виде сульфата железа и пр. замещается на сульфат алюминия и переходит в песок. Накопления примесей в маточном растворе не происходит. Используя кристаллизацию, как способ выделения сульфата алюминия из его раствора, с последующей промывкой кристаллов ацетоном, позволяет получить продукт высокой степени чистоты. Задавая в два и более раз соотношение кислоты, по сравнению со стехиометрическим во время варки, с последующим разбавлением водой до содержания в растворе $Al_2(SO_4)_3 \times 36H_2O$ позволяет:

- получить раствор сульфата алюминия после фильтрации с низким содержанием растворимых примесей;
- максимально высадить кристаллы из раствора до 92-95 %;
- исключить из схемы упаривание излишней воды;
- исключить из схемы загрязненные стоки [16].

Заявляемый способ не является энергоемким, так как реакция взаимодействия шлака с серной кислотой является экзотермической (с выделением тепла), это тепло, в свою очередь, поддерживает реакцию при температуре 110-160 °С.

Все последующие операции, включая сушку кристаллов и испарение ацетона, происходят при низких плюсовых температурах и не требуют больших энергетических затрат.

Способ позволяет получить кристаллы сульфата алюминия от $Al_2(SO_4)_3 \times 18H_2O$ до безводного.

Предлагаемый способ позволяет эффективно реализовывать универсальную безотходную, экологически безопасную технологию получения сульфата алюминия [17].

Способ получения сульфата алюминия, включающий предварительную отмывку шлака, содержащего оксид алюминия, от солей, затем обработку его серной кислотой, отделение фильтрацией полученного раствора от песка, отличающийся тем, что песок промывают, а очищенный раствор после фильтрации подают в кристаллизатор и охлаждают, отделяют кристаллы сульфата алюминия от маточного раствора, в состав которого входит серная кислота, кристаллы сульфата алюминия промывают органическим растворителем, очищенные кристаллы сульфата алюминия сушат и расфасовывают в мешки, после их промывки из оставшейся смеси органического растворителя, воды и серной кислоты отделяют отгонкой органический растворитель при температуре его кипения, сжиженный органический растворитель используют в последующих промывочных операциях, а маточный раствор, в состав которого входит серная кислота, используют на последующих стадиях обработки шлака [18].

1.2 Современное состояние вопроса разделения пульпы

После выщелачивания руды суспензия подается на разделение твердой и жидкой фаз. Процесс отделения шлама от кислого раствора является достаточно сложным, продолжительным и трудоемким, определяющим производительность всего технологического цикла и качество продукта (глинозема или сульфата алюминия).

При переработке высококремнистого алюминиевого сырья сернокислотным способом разделение твердой и жидкой фаз отстаиванием или фильтрацией связано со значительными трудностями, что обусловлено высокой дисперсностью частиц, значительной вязкостью растворов, переходом некоторого количества кремнезема в виде геля в раствор.

В последние годы в гидрометаллургической практике для интенсификации разделения суспензий широкое применение находят водорастворимые полимеры, обладающие сильным коагулирующим и флокулирующим действием. В связи с вышеизложенным было проведено исследование процессов отстаивания и фильтрования сернокислых суспензий, полученных выщелачиванием обожженных руд Бозшакольского месторождения с целью интенсификации процесса с помощью флокулянтов [19].

Все большую роль в процессах отстаивания и фильтрования находят поверхностно-активные вещества, как инициаторы этого процесса. В настоящее время флокуляция широко используется в технологических процессах. Растворенные в воде флокулянты, находятся в неионизированном состоянии или диссоциируют на ионы. По механизму действия флокулянта до настоящего времени отсутствует единая точка зрения. Большинство теорий флокуляции основано на принципе адсорбции макромолекул на поверхности твердых частиц. Теория флокуляции, основанная на объединении нескольких частиц полимерными мостиками, связывающих частицы между собой, разработана Ла Мером. В соответствии с этой теорией процесс адсорбции протекает в две ступени: сначала каждая макромолекула прикрепляется несколькими сегментами к одной частице (первичная адсорбция), затем свободные сегменты закрепляются на поверхности других частиц, связывая их полимерными мостиками (вторичная адсорбция). Неионогенные полиэлектролиты закрепляются на частицах с помощью молярных групп (чаще всего гидроксильных), благодаря образованию водородных связей между водородом гидроксила и кислородом, азотом и другими атомами, находящимися на поверхности частиц.

Анионные флокулянты способны закрепляться на поверхности частиц не только с помощью водородных связей, но и благодаря химическому взаимодействию (хемосорбции) анионов с катионами, находящимися на поверхности частиц.

Катионные полиэлектролиты, помимо образования агрегатов по механизмам, аналогичным вышеизложенным, способствуют флокуляции благодаря нейтрализации отрицательного заряда частиц.

В работе [20] полиэлектролиты рассматриваются как растворимые в воде ионообменники, а процесс флокуляции как ионообменный процесс.

На скорость и эффективность флокуляции существенное влияние оказывают многие факторы: концентрация частиц и свойства их поверхности, растворенные в воде примеси, перемешивание, последовательность введения коагулянтов и флокулянтов, размер макромолекул. Для обычно применяемых диапазонов молекулярных масс полимеров (до нескольких миллионов) увеличение размеров макромолекул приводит к снижению оптимальной дозы полимера. При значительном различии в размерах частиц и макромолекул флокуляция затрудняется.

На процесс флокуляции оказывает влияние и рН среды. В средах со значительным рН образуются неодинаковые по размерам и плотности флокулы. Оптимальный диапазон для разных флокулянтов различен.

Температура также влияет на процесс флокуляции. Увеличение температуры способствует ускорению образования хлопьев, но при достаточно высоких температурах наблюдается разрушение синтетического флокулянта [21].

В настоящее время в различных странах мира выпускается свыше 100 названий водорастворимых полимеров и флокулянтов на основе синтетических полимеров. За рубежом (США, Великобритания, ФРГ) выпускается большое число полиакриламидных флокулянтов: сепараны № 0-10 и АМ-30, суперфлоки 16,20,84, пурифлоки АК № 2 и № 17, магнифлоки 990, 985, 971 и 860, магнафлоки α -22, α -24, α -25, седипуры, седозаны и т.д. Смешанные полимеры акриловой, метакриловой кислот и метилметакрила запатентованы в ФРГ. В нашей республике широко используются синтетические полиакриламидные и некоторые другие полимеры [22].

Выпускаемый ПАА-12 имеет молекулярную массу $(1-6) \cdot 10^6$, хорошо растворяется в воде.

Для ускорения процессов отстаивания и фильтрования действенным средством является применение различных флокулянтов, в частности полиакриламида, применение которого эффективно почти для всех видов сырья.

А.И. Лайнер и Э.И. Тагиев для ускорения разделения жидкой и твердой фаз, полученных при выщелачивании серной кислотой алунита, испытали различные формы полиакриламида. Самый большой эффект был получен при добавке флокулянта ПАА-СТК (полиакриламид сухой, гранулированный карбонатный) в количестве 20 г/м^3 , при этом скорость процесса отстаивания увеличилась в 7-8 раз. Применение ПАА при оптимальной дозировке последнего равной $40-60 \text{ г/м}^3$ увеличило скорость отстаивания и фильтрования сернокислых пульп алюмосиликатного осадка в 1,8-2 раза при резком снижении твердого в сливе. Для укрупнения частиц алунитовой, каолиновой, нефелиновой сульфатных пульп были испытаны различные флокулянты, из которых наиболее эффективными оказались ПАА-СТК и ПАА-ЖК (полиакриламид желеобразный, карбонатный); ПОЭ (полиоксиэтилен), а также седипуры. Так, например, скорость отстаивания нефелиновой сульфатной пульпы возрастает в 1,5 раза при введении перечисленных флокулянтов в количестве $10-20 \text{ г/м}^3$.

Более подробно изучено фильтрование сернокислотных пульп при переработке Загликских алунитов, нефелиновых концентратов, и глин. Польские исследователи, разработав сернокислотный способ переработки отечественных

глин, и более детально изучив отделение шлама от сернокислого раствора, пришли к выводу, что автоклавное выщелачивание улучшает отделение кремнеземистого шлама от раствора. Было установлено, что с увеличением температуры суспензии, отношения жт и оптимальной дозировки ПАА, равной 18 мг/дм³, скорость оседания частиц повышается на 37,8 по отношению к суспензиям без ПАА.

В данной работе было отмечено, что скорость процесса фильтрования повышается с уменьшением концентрации сернокислого алюминия, концентрации нерастворимого остатка, а также при введении ПАА и увеличении высоты напорного столба фильтруемых суспензий.

Анализ приведенного материала показал, что систематические исследования процессов разделения жидкой и твердой фаз недостаточны. Прогрессивным направлением является использование синтетических флокулянтов, в частности ПАА в процессах отстаивания и фильтрования сернокислотных пульп [23].

2 Экспериментальная часть

2.1 Описание методики и установки эксперимента

Сернокислотную суспензию получали в реакторе выщелачиванием обожженной Бозшакольской руды растворами серной кислоты концентрации порядка 200 г/дм^3 в течение 2 часов при температуре $90\text{-}95 \text{ }^\circ\text{C}$ и отношении Ж:Т = 5:1. Из реактора суспензию переносили в цилиндры с рубашкой из термостойкого стекла диаметром $0,045 \text{ м}$, емкостью $2 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3$, соединенных между собой термостатом типа U-10 посредством резиновых шлангов, которые обогревались проточной горячей водой. Суспензию, выдержанную в цилиндре до заданной температуры ($75, 90 \text{ }^\circ\text{C}$) энергично перемешивали в течение 45 секунд, вынимали мешалку из цилиндра, включали секундомер и наблюдали за передвижением границы раздела осветленного и сгущенного слоев. Длительность процесса отстаивания составляла 90 минут. После отстаивания фиксировали объемы сгущенного и осветленного слоев, а затем декантацией отделяли осветленный слой, который фильтровали через плотный фильтр. По количеству сухого остатка на фильтре определяли содержание твердого в сливе. Жидкую и твердую фазы анализировали по общепринятым методикам.

2.2 Интенсификация процесса отстаивания сернокислотной пульпы с помощью флокулянтов

Ранее было отмечено, что в качестве добавок, интенсифицирующих процесс разделения пульпы, широкое применение находят водорастворимые полимеры, среди которых одно из первых мест принадлежит ПАА.

Применяли следующие флокулянты: различные марки полиакриламидов (ПАА S-13, S-16, ОДО – производство Япония, ПАА желеобразный – отечественного производства), седипур, алклар, флокулянты, синтезированные на основе ПАА: крахмал, а также ГПАА-637, ГПАА-641.

Для сравнения эффективности действия флокулянтов на процесс отстаивания проведены контрольные опыты без добавки флокулянта. Предварительно было установлено, что длительность процесса отстаивания составляет не более 30 минут.

В течение 30-минутного отстаивания происходило незначительное укрупнение частиц и осветление верхнего слоя, в котором было еще довольно много твердых частиц. При выдержке более 30 минут происходило постепенное замедление процесса осветления.

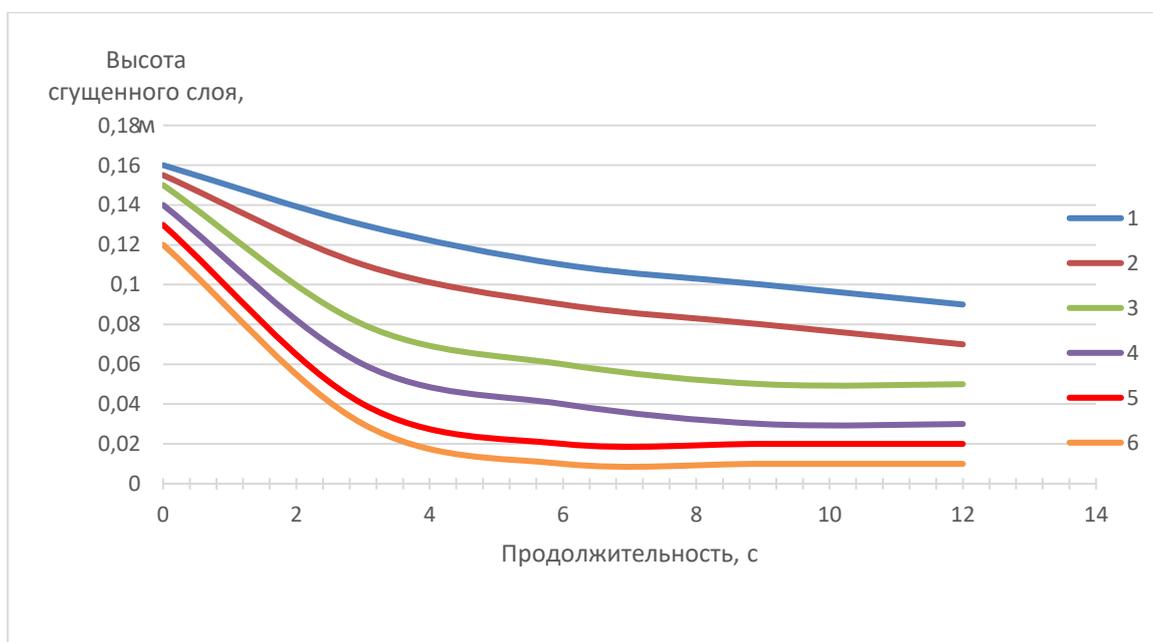
Исходя из наблюдений, процесс отстаивания пульпы в отсутствие флокулянта можно разделить на три периода. Первый период в первоначальный момент отстаивания до 5 минут, когда частицы еще не сфлокулировали в более крупные агрегаты и находятся в среде с большей плотностью; в этот период

наблюдается малая скорость осаждения. Второй период характеризуется максимальной скоростью осветления; от 5 до 15 минут укрупнившиеся частицы находятся в свободном падении. В третьем периоде в течение 15-30 минут происходит стесненное осаждение частиц - уплотнение.

Процесс отстаивания пульп после введения флокулянтов (ПАА), седипура, качественно отличается от процесса отстаивания пульп без флокулянтов. Уже в момент введения флокулянта после тщательного перемешивания происходит интенсивная флокуляция и укрупнение твердых частиц.

После отстаивания в течении 5 минут намечалась четкая граница жидкой и твердой фаз на глубину до 70 мм, но в осветленном слое хаотически перемещалось еще много твердых частиц. После отстаивания в течение 30 минут хаотическое движение частиц почти полностью прекращалось и они постепенно оседали вниз. В дальнейшем скорость заметно падала.

Результаты по сгущению пульпы, а также осветленности раствора при введении в нее полиакриамида представлены на рисунке 1. ПАА вводили, начиная с минимальных дозировок ($0,005 \text{ кг/м}^3$), постепенно увеличивая дозу. При введении ПАА в количестве $0,005 \text{ кг/м}^3$ образовывались крупные и прочные флоккулы. Скорость осаждения при свободном падении частиц $2,373 \cdot 10^{-4} \text{ м/с}$, что в 1,42 раза больше, чем в аналогичном опыте без ПАА. С дальнейшим увеличением ПАА в пульпу до $0,12 \text{ кг/м}^3$ скорость осаждения возрасла до $5,48 \cdot 10^{-4} \text{ м/с}$, т.е. увеличилась в 3,3 раза. Причем наблюдалось осветление верхнего слоя до прозрачности.

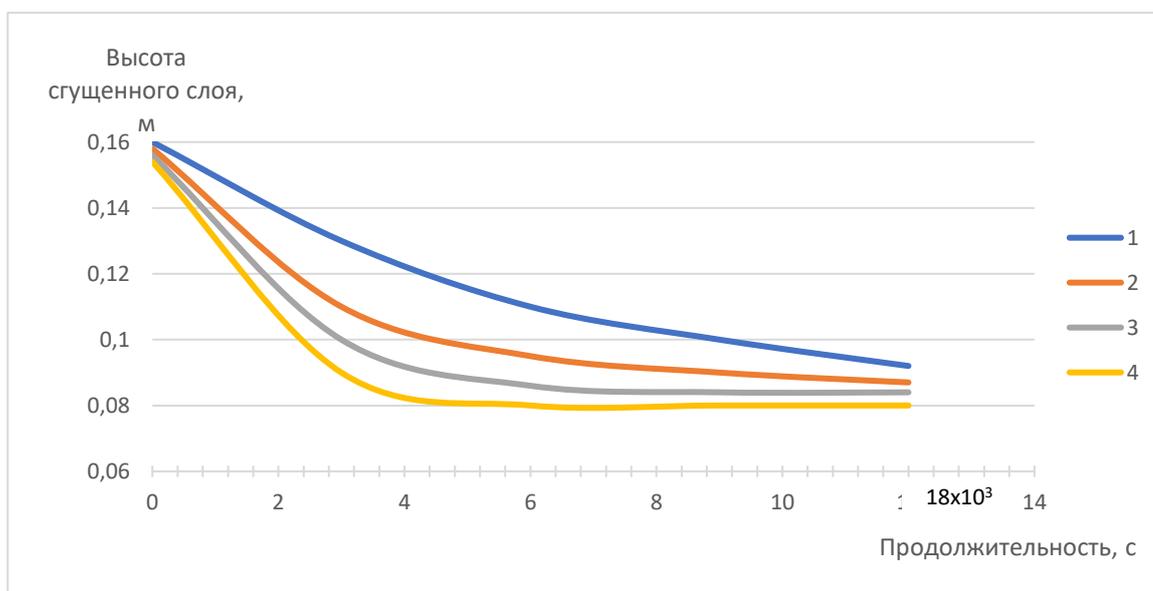


1 – без добавки; 2 – $0,005 \text{ кг/м}^3$; 3 – $0,03$; 4 – $0,06$;
5 – $0,10$; 6 – $0,12 \text{ кг/м}^3$. Ж:Т= 5:1).

Рисунок 1 – Зависимость высоты сгущенного слоя от количества ПАА-S-16 и продолжительности процесса

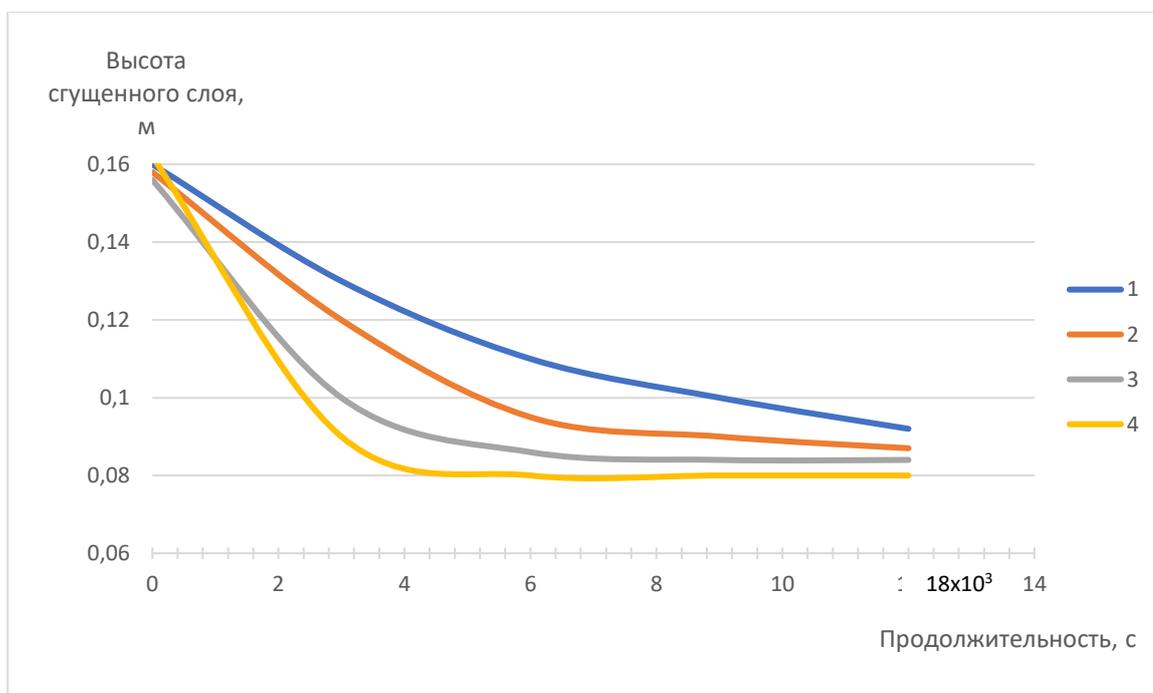
Увеличение температуры пульпы с 75 до 90 °С повысило скорость осаждения частиц от $2,38 \cdot 10^{-4}$ м/с до $5,84 \cdot 10^{-4}$ м/с (более чем в 2 раза), что объясняется уменьшением вязкости сернокислого раствора. Время осаждения частиц в зоне свободного падения с увеличением температуры от 75 до 90 °С сократилось с 5 до 3 минут.

При сопоставлении скоростей отстаивания двух пульп с одним и тем же количеством седипура при 75 и 90° С (рисунок 2 и рисунок 3) видно, что величина скорости осаждения частиц в первом случае меньше, чем во втором и равна $4,06 \cdot 10^{-4}$ и $4,34 \cdot 10^{-4}$ м/с соответственно при расходе флокулянта $0,06 \text{ кг/м}^3$. Это в 2,4 раза в первом и в 2,6 раза во втором случае ускорило процесс осаждения частиц по сравнению с процессом отстаивания без флокулянта. Введение седипура способствовало увеличению скорости оседания частиц, а также их уплотнению. При оптимальной дозировке флокулянта равной $0,03\text{-}0,06 \text{ кг/м}^3$, скорость оседания частиц повышается для пульпы (рисунок 2) на 70 % и для пульпы (рисунок 3) на 62 % по отношению к суспензии без флокулянта.



1 – без добавки, 2 – $0,005 \text{ кг/м}^3$, 3 – $0,03$, 4 – $0,06$

Рисунок 2 – Зависимость высоты сгущенного слоя от количества седипура и продолжительности процесса при 75° С



1 – без добавки, 2 – 0,005 кг/м³, 3 – 0,03, 4 – 0,06

Рисунок 3 – Зависимость высоты сгущенного слоя от количества седипура и продолжительности процесса при 90 °С

Влияние исследованных флокулянтов, увеличивших скорость оседания частиц приведено в таблице 1.

Таблица 1 – Скорость оседания твердых частиц шлама при использовании различных флокулянтов

Марка флокулянта	Скорость, м/ч
Без флокулянта	0,60
ПАА-S-16	1,94
Седипур	1,56
Алklar	0,96
Крахмал	0,92
ГПАА-637	2,07
ГПАА-641	2,09

Таким образом, из испытанных флокулянтов для процесса отстаивания сернокислотных суспензий после выщелачивания обожженной Бозшакольской руды можно рекомендовать следующие флокулянты: ПАА-S-16, седипур TF-5, ГПАА-637, ГПАА-641. Два последних полимера синтезированные в НИФХИ, обладают флокулирующей способностью приблизительно в 1,5-2 раза большей, чем ранее выпускаемый флокулянт ЭПА-31.

2.3 Выделение меди из сернокислых растворов

Этот процесс глубоко изучен многочисленными исследователями, ему посвящено большое число монографической и периодической литературы в странах СНГ и за рубежом.

Широко известны такие приемы выделения меди из растворов, как электролиз, сорбция и экстракция, цементация и электродиализ.

Поэтому в задачу исследований входило рассмотрение одного из них применительно к реальным растворам, полученным от выщелачивания Бозшакольской руды, и доказательство принципиальной возможности выделения меди известным методом без дополнительных осложнений. Сернокислый раствор после выщелачивания руды и отделения шлама, направляется на выделение из него меди, присутствующей здесь в сульфатной форме. Концентрация серной кислоты является определяющим фактором для полного извлечения меди. Поэтому ее влияние исследовано в широком диапазоне: от 50 до 200 г/дм³. Верхний предел влияния концентрации (200 г/дм³,) взят из условий достаточно полного технологического извлечения глинозема при выщелачивании (68,7 %) от его общего содержания в руде и практически полного извлечения из каолинитовой фракции (90 %). Снижение концентрации серной кислоты хотя и благотворно действует на последующее извлечение меди из раствора, однако снижает переход глинозема в жидкую фазу при выщелачивании. Кроме того, последующая операция по выделению сульфата алюминия требует повышенных концентраций сернокислых растворов (за счет их упаривания), поэтому использование разбавленных растворов нецелесообразно. Концентрация меди в растворе колеблется в пределах 0,8-1,5 г/дм³.

При выщелачивании Бозшакольских руд наряду с медью и алюминием возможен переход в раствор незначительных количеств других элементов: Fe³⁺, Mn²⁺, Sb³⁺ и т.д., влияние которых, на выделение меди представляет определенный технологический интерес. Поэтому основной целью дополнительных исследований по сорбции меди являлось проведение сопоставительного анализа результатов выделения меди из синтетических и реальных растворов, полученных после выщелачивания Бозшакольских руд.

2.4 Сорбция меди на катионитах промышленного производства

В таблице 2 приведены марки катионитов, на которых была проведена сорбция меди из растворов серной кислоты различной концентрации. Катионитом марки КБ-4 медь практически не сорбировалась, что, по-видимому, связано со слабокислотностью катионита.

Таблица 2 – Промышленные иониты, выпускаемые в странах СНГ, используемые в работе

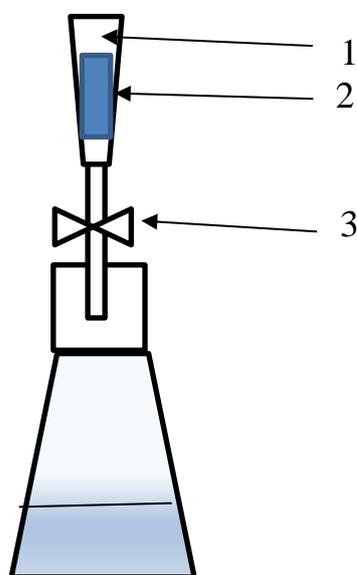
Марка смолы	Активная группа	Основа матрицы	СОЕ, мг-экв/г по 0,1 N раствору		Макс. раб. темп, °С
			CaCl ₂	NaOH	
КУ-2-8	-SO ₃ H	Стирол, дизин- бензо	4.3-4.9	4.9-5.1	120-130
КУ-23	-SO ₃ H	Стирол, бутадиен, нафталин-сульфо кислоты, формальдегид	4.5	5.5	100
КБ-4	-COOH	Метилловый эфир метакриловой кислот дивинил бензол	0.1	8.5-9.5	150-180

Катионитами КУ-2-8 и КУ-23 медь сорбирует согласно следующей реакции:



где R – полимерный радикал.

Исследования проводились в динамических условиях на установке (рисунок 4), состоящей из стеклянной колонки, заполненной смолой (10 г).



- 1 — Ионообменная колонка
- 2 — Ионит
- 3 — Кран

Рисунок 4 – Установка для проведения сорбции меди

Для перевода ионита КУ-2-8 в водородную форму осуществляли его обработку растворами соляной или серной кислот при объемном соотношении ионит: раствор = 1:10 в течение двух часов. Затем ионит отмывали дистиллированной водой до исчезновения в промывных водах ионов хлора или сульфат ионов.

Синтетические медьсодержащие растворы готовили растворением навески сернокислой меди в дистиллированной воде; кислотность раствора варьировали в пределах от 50 до 200 г/дм³ H₂SO₄.

Раствор меди пропускали через слой смолы со скоростью 10-20 уд.об./час. В последовательно вытекающих порциях раствора по 20 мл определяли концентрацию меди до достижения полного насыщения ионита медью.

Результаты, приведенные в таблице 3, свидетельствуют о том, что с увеличением концентрации серной кислоты в растворе сорбция меди ухудшается. Это объясняется, вероятно тем, что с повышением кислотности происходит разрушение комплексов меди со смолой. Расположение выходных кривых сорбции (рисунок 5) также позволяет сделать аналогичный вывод. Для сравнения представлены результаты сорбции меди из реальных растворов, полученных после выщелачивания Бозшакольской руды сернокислым раствором с концентрацией серной кислоты порядка 200 г/дм³ при оптимальных условиях (температура 95 °С продолжительность 2 ч, Ж: Т = 5 : 1).

Таблица 3 – Результаты сорбции меди на смоле КУ – 2-8 в зависимости от кислотности раствора

Cu г/дм ³	H ₂ SO ₄ г/дм ³	Кол-во фильтрата		Сорбировано меди, мг/дм ³	Кол-во сорб-й меди, мг	ПДОЕ мг/г
		мл	уд.об			
1,56 Синт-й р-р	50	160	9,4	110	20,17	3,65
		260	15,3	440	32,32	
		360	20,0	1280	35,43	
		420	24,7	1420	36,23	
		500	29,4	1520	36,55	
1,17 Синт-й р-р	100	40	2,4	24	4,59	1,86
		80	4,7	45	9,12	
		160	9,4	465	16,23	
		260	15,3	1075	18,38	
		340	18,8	1146	18,63	
1,12 Синт-й р-р	200	40	2,4	30	4,41	1,06
		80	4,7	143	6,37	
		160	9,4	945	9,43	
		260	12,9	990	10,26	
		340	16,4	1127	10,67	
1,15 Синт-й р-р	212	40	2,4	31	4,39	1,05
		80	4,7	150	6,57	
		160	9,4	951	9,51	
		260	15,4	1002	10,30	
		340	17,9	1130	10,51	

Из данных таблицы 3 следует, что извлечение меди из раствора в зависимости от кислотности раствора находится на уровне 90 %, однако при этом значительно (примерно в 2-3 раза) снижается полная динамическая обменная емкость смолы.

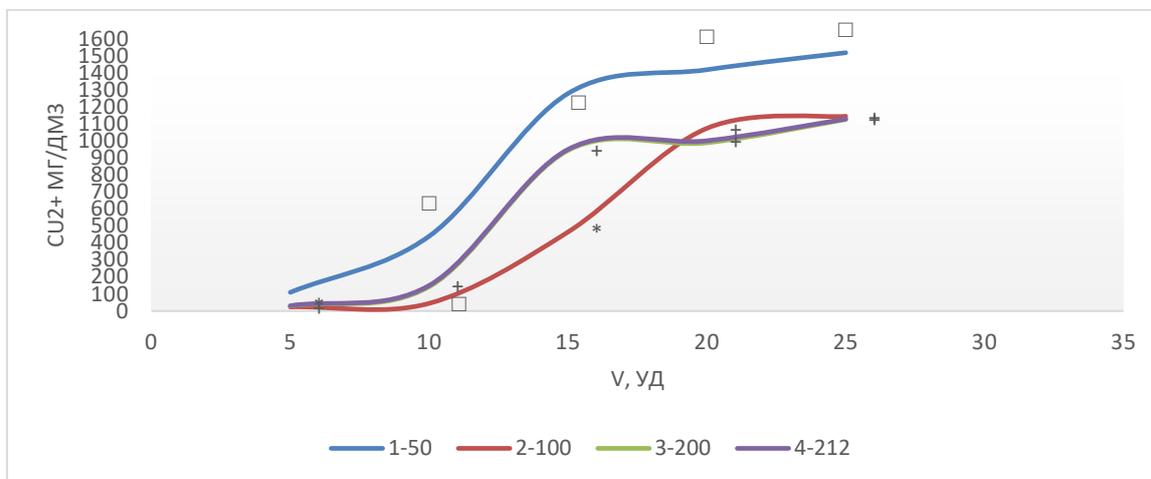


Рисунок 5 – Выходные кривые сорбции меди на смоле КУ-2-8 при различной концентрации H₂SO₄ (1 — 50, 2 — 100, 3 — 200, 4 — 212 г/дм³)

Результаты по сорбции меди на КУ-23 приведены в таблице 4 и рисунке 6.

Таблица 4 – Результаты по сорбции меди на смоле КУ - 23 в зависимости от кислотности раствора ([Cu]_{исх} = 1 г/дм³)

H ₂ SO ₄ г/дм ³	Кол-во фильтрата		Сорбировано меди, мг/дм ³	Кол-во сорб-й меди, мг	ПДОЕ мг/г
	мл	уд.об			
50 Синт. р-ры	60	5,5	63,5	18,73	5,94
	80	7,3	444,5	29,84	
	100	9,1	572,0	38,40	
	120	10,9	635,0	45,70	
	140	12,7	739,0	54,92	
	160	14,5	825,0	58,42	
	180	16,4	952,5	59,37	
	200	18,2	1000,0	59,37	
	220	20,0	1000,0	59,37	
100 Синт. р-ры	60	5,5	381,0	22,38	6,31
	80	7,3	508,0	32,22	
	100	9,1	571,5	40,80	
	120	10,9	889,0	43,02	
	140	12,7	952,5	53,08	
	160	14,5	952,5	60,14	
	180	16,4	1000,0	63,14	
200 Синт. р-ры	40	5,2	30,0	19,4	6,42
	60	5,5	350,0	32,04	
	80	7,3	440,0	43,24	
	100	9,1	540,0	52,44	
	120	10,9	640,0	59,64	
	140	12,7	790,0	63,84	
	160	14,5	980,0	64,24	
180	16,4	1000,0	64,24		

Извлечение меди (таблица 4) из синтетического и реального растворов близкой концентрации (200 и 206 г/дм³ H₂SO₄) протекает практически нацело.

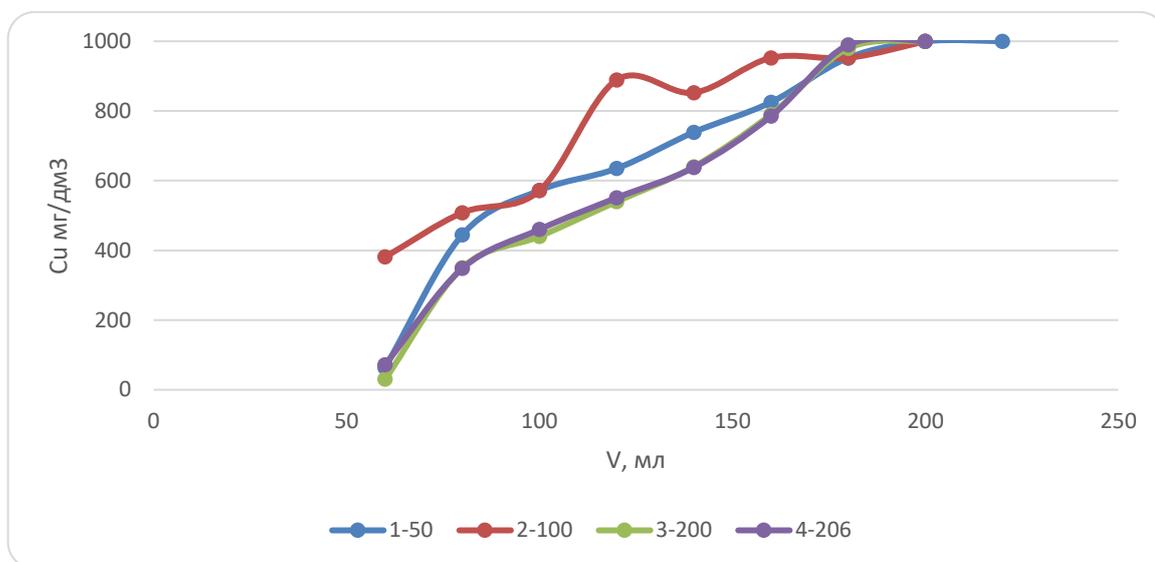
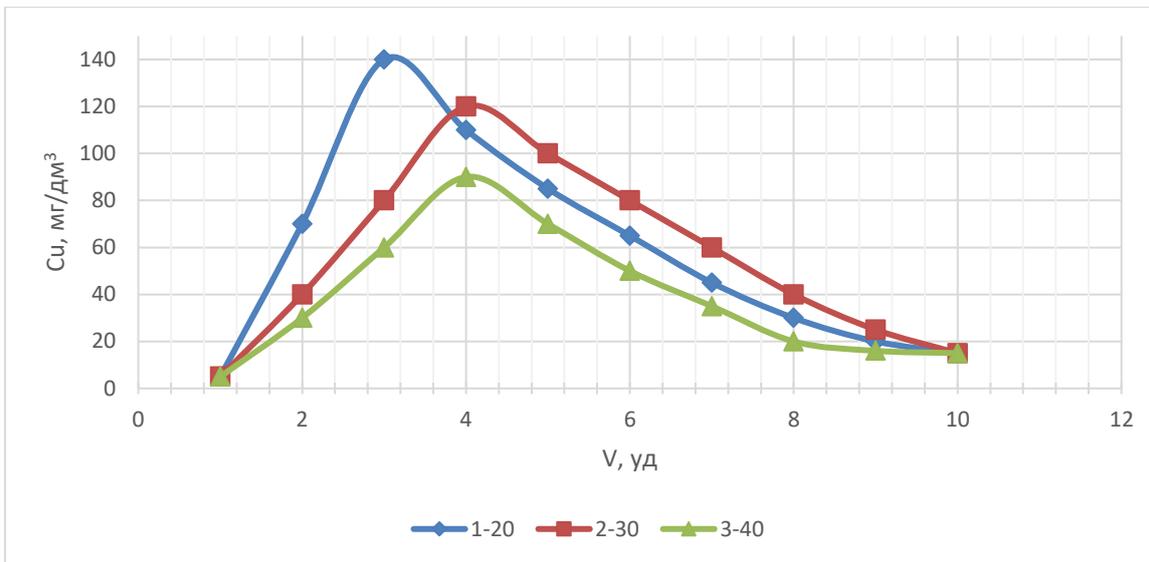


Рисунок 6 – Сорбция меди на смоле КУ-23 при концентрации серной кислоты (г/дм³): 1 – 50; 2 – 100; 3 – 200; 4 – 206.

Сопоставление данных по сорбции меди на катионитах КУ-2-8 и КУ-23 показывает, что емкость последней выше более чем в 2,5 раза, несмотря на то, что в ионном обмене участвует одна и та же ионогенная группа - SO₃H. Улучшение сорбционных свойств катионита КУ-23 по сравнению с катионитом КУ-2-8 связано с основой матрицы, а значит с пространственной структурой ионита и доступностью ионогенных групп.

В качестве десорбентов для элюирования меди были использованы растворы соляной и серной кислот.

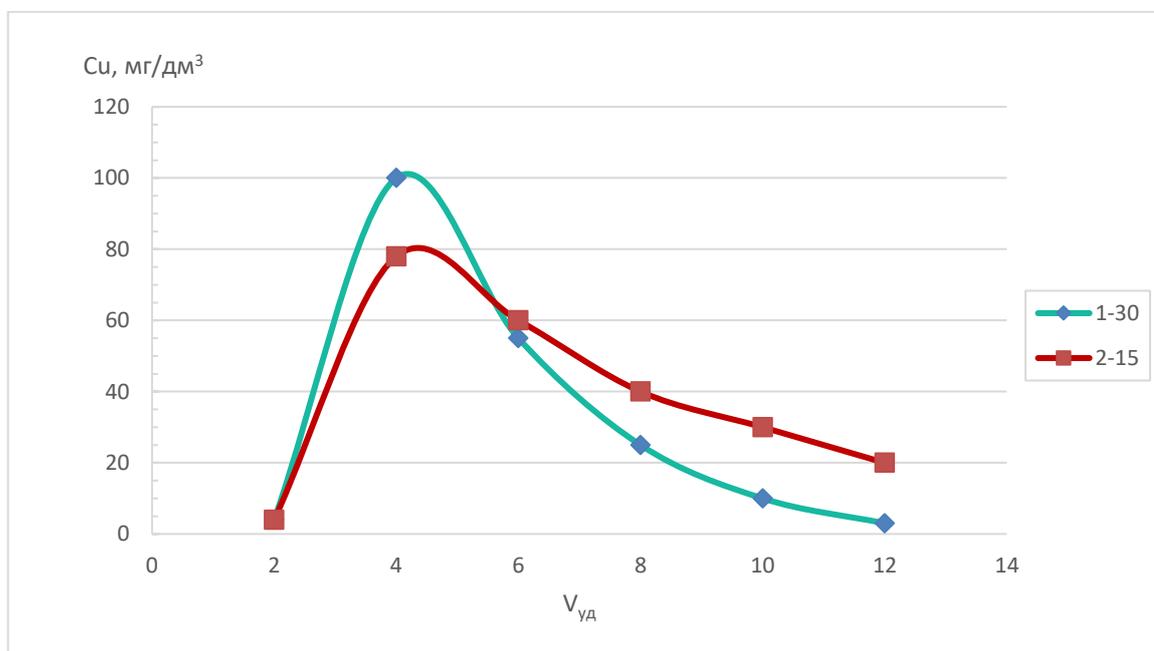
Элюирование проводили 5 %-ным раствором серной кислоты. Результаты приведены на рисунке 7. Как видно, основное количество сорбированной смолой меди было элюировано восемью удельными объемами элюента (около 80 % меди).



Скорость пропускания раствора, уд.об./час: 1 – 20, 2 – 30, 3 – 40.

Рисунок 7 – Выходные кривые элюирования меди 5 процентной серной кислотой.

В качестве элюирующего агента была испытана и соляная кислота (5 %). Как следует из рисунка 8 восемь удельными объемами элюента можно практически нацело извлечь медь из фазы смолы.



Скорость пропускания раствора, уд.об./час: 1 – 30, 2 – 15

Рисунок 8 – Элюирование меди 5 процентной соляной кислотой

Таким образом, сопоставительный анализ сорбции меди из синтетических и реальных растворов показал практически полную идентичность проведения процесса. Заметных отклонений или ухудшения процессов сорбции и элюирования из реальных растворов обнаружено не было, что свидетельствует об отсутствии влияния на этот процесс примесных ионов других металлов, перешедших в сернокислый раствор при выщелачивании Бозшакольской руды.

Вполне вероятно использование других приемов выделения меди из растворов экстракции и электролиза. Окончательный выбор одного из них будет определяться технико-экономическими показателями процессов.

2.5 Выделение сульфата алюминия из сернокислых растворов.

В процессе сернокислотного выщелачивания Бозшакольских руд каолиновая фракция породы после обжига разлагается с переводом глинозема в раствор в форме сульфата алюминия. В соответствии с технологической схемой глинозем из подобных растворов может быть выделен при последующей выпарке и охлаждении раствора в виде сульфата алюминия. Этот прием широко используется в промышленности для получения сернокислого алюминия и квасцов.

Сернокислый алюминий является более дорогостоящим и дефицитным продуктом, чем глинозем, поэтому наиболее рационально при переработке Бозшакольских руд получать именно его. Он находит широкое применение в текстильной промышленности для протрав, при крашении хлопчатобумажных, шерстяных и шелковых тканей, в бумажной промышленности для проклейки бумаги, при дублении кож и так далее. Большое количество этого соединения используется в качестве коагулянтов для очистки промышленных стоков и питьевых вод.

Сернокислый алюминий $Al_2(SO_4)_3 \cdot nH_2O$ ($n=16-18$) представляет собой бесцветные кристаллы, (плотность $1,69 \text{ г/см}^3$) легко растворимые в воде. При прокаливании он теряет кристаллизационную воду и переходит в безводное соединение, которое при дальнейшем нагревании (около $700 \text{ }^\circ\text{C}$) начинает разлагаться без плавления.

По химическому составу сернокислый алюминий подразделяется на сорта экстра, А, С и В (ОСТ 18180-40), которые регламентируются содержанием Al_2O_3 , H_2SO_4 , железом в перерасчете на Fe_2O_3 , Al_2O_3 . И хотя соединения меди в техническом сернокислом глиноземе не оговариваются, учитывая токсичность сульфата меди (он применяется в качестве яда для борьбы с вредителями сельскохозяйственных культур) его присутствие в коагулянте недопустимо.

В процессе переработки Бозшакольских руд основной минерал меди – атакамит при обжиге трансформируется в оксид меди (I), которая при сернокислотном выщелачивании переходит в жидкую фазу в виде сульфата меди и может загрязнять производственный сульфат алюминия.

1.6 Оптимизация процесса выделения сернокислого алюминия из раствора

Используя метод многофакторного планирования эксперимента, составим планирование эксперимента. Процесс зависит одновременно от трех независимых переменных, определяющих физико-химические свойства конечных продуктов:

x_1 – концентрация раствора серной кислоты, (фактор, определяющий концентрацию растворов сульфата алюминия и кислотность раствора; он задается условиями выщелачивания Бозшакольской руды), (% , вес);

x_2 – температура выделения сернокислого алюминия, ($^{\circ}\text{C}$);

x_3 – продолжительность процесса, (мин);

$$18 \leq x_1 \leq 40$$

$$40 \leq x_2 \leq 80$$

$$30 \leq x_3 \leq 120$$

Количество опытов $2^3 = 8$

Концентрация серной кислоты изменяется от 18 % до 40 % (соответственно 200 г/дм³ до 430 г/дм³), температура от 80 до 40 $^{\circ}\text{C}$, и продолжительность от 30 минут до 2 часов.

Матрица планирования и результаты опытов по разложению сернокислого раствора алюминия приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Матрица планирования и результаты опытов по разложению сернокислого раствора алюминия

№ опыта	Факторы			Извлечение в осадок %
	x_1 , %	x_2 , $^{\circ}\text{C}$	x_3 , мин	
1	-1	-1	-1	27,57
2	+1	-1	-1	52,04
3	-1	+1	-1	23,28
4	+1	+1	-1	19,53
5	-1	-1	+1	28,66
6	+1	-1	+1	59,11
7	-1	+1	+1	25,22
8	+1	+1	+1	26,3

Уравнение регрессии было получено в результате обработки экспериментальных данных прикладной программой АРМ, разработанной специалистами кафедры автоматизации металлургических процессов КазНИТУ.

Полученная математическая модель методом наименьших квадратов является линейной моделью разложения сернокислых растворов алюминия:

$$y = 38,89 + 0,06 x_1 - 0,46 x_2 + 0,05 x_3 \quad (2)$$

где x_1, x_2, x_3 – независимые переменные в нормированном виде.

Как следует из представленного уравнения доминирующее влияние на выделение сернокислого алюминия оказывает температура процесса. Влияние концентрации серной кислоты и продолжительности процесса кристаллизации проявляются в меньшей степени, что хорошо согласуется с практикой получения сульфата алюминия.

Физико-химический анализ выделенного сульфата алюминия из реальных растворов, полученных после выщелачивания Бозшакольской руды, из которых предварительно была извлечена медь методом ионного обмена, показал ее полное отсутствие в кристаллическом сернокислом алюминии. Спектральный и химический анализы не обнаружили наличия в сульфате алюминия следов меди, что убедительно показывает возможность его использования для очистки не только сточных, но и питьевых вод.

Что касается наличия в сульфате алюминия свободной серной кислоты, то ее содержание определяется степенью отмывки твердого осадка и регламентируется количеством холодной воды, используемой для отмывки и технологией самой отмывки. Как показала практика промывки сульфата алюминия оптимальные результаты были получены при агитационной обработке осадка водой комнатной температуры в течение 5-7 минут и отношении Ж:Т = 2:1. Далее осадок отфильтровывался и сушился при 105 °С в течение 30-40 минут. В процессе промывки до 5 % (вес) сульфата алюминия переходило в промывку.

Таким образом, при переработке Бозшакольских руд решается вопрос комплексного использования ценных составляющих - меди и глинозема, что благотворно влияет на экономические показатели всей технологической схемы.

2.7 Использование природных сорбентов для очистки сточных вод

Для проведения экспериментов использовали природные сорбенты: клинфиллит и шунгит. Кроме того, для сравнительной оценки, в качестве сорбента, применяли синтетический цеолит, получаемый по методике, описанной в работе.

Опыты проводили в статических и динамических условиях при комнатной температуре. Для проведения экспериментов готовились модельные растворы различных металлов.

Изучение сорбционной способности в статических условиях проводилось следующим образом: сорбенты рассеивались и отбирались фракции менее 0,25 мм. Затем взвешивались различные навески от 1 до 10 г в расчете на 1 л раствора. Время активного перемешивания 20 минут, а время отстаивания 2 часа.

Сорбция меди в динамических условиях на природном клиноптилолите проводилась на фракции +0,25 мм. Сорбент загружали в колонку объемом 250 см³, заполненную 100 г клиноптилолита. Через него сверху вниз пропускали исследуемый раствор. Количество раствора 15 л. Высота слоя сорбента 10 см, скорость пропускания раствора 250 мл/ч. Использование природного клиноптилолита в качестве сорбента исследовано без предварительного низкотемпературного (240-300 °С) обжига и после его проведения. Оптимальная температура обжига взята из условий удаления кристаллизационной воды без разрушения кристаллической структуры цеолита. Следует отметить, что предварительный обжиг повышает сорбционную емкость цеолита на 18-20 %, что позволяет снизить его расход, примерно на такую же величину. Учитывая дефицит и высокую стоимость энергоносителей, ниже представлены экспериментальные данные относятся к процессам сорбции без предварительной термической обработки сорбентов. Подготовка сорбентов заключается в их сушке при 105 °С для удаления механической влаги, последующего измельчения и отсева на фракции -0,25 и +0,25 мм.

В таблицах 5 и 6 приведены данные по сорбции меди из синтетических растворов с различной исходной концентрацией ионов меди. Из представленных результатов следует, что лучшие данные по извлечению меди были получены на клиноптилолите и искусственном цеолите. Применение шунгита для извлечения не обеспечивает глубокого удаления ионов из сточных вод. Так, в отработанном шунгитом растворе остается 0,79 мг/л ионов меди, в то время как использование клиноптилолита и искусственного цеолита приводит практически к полной очистке раствора от меди. Расход сорбента 10 г/л.

Таблица 6 – Результаты сорбции меди. Исходное содержание ионов меди 78,5 мг/л

№	Расход сорбента, г/л	Клиноптилолит			Искусств. цеолит			Шунгит		
		pH	Медь, мг/л	%	pH	Медь, мг/л	%	pH	Медь, мг/л	%
1	1	6,5	41,5	52	7,4	69,5	88,5	6,7	29	36,9
2	2	6,8	49,1	62,5	7,6	76,4	97,3	6,8	39	49,6
3	3	6,9	59,1	75,2	7,8	78,3	99,7	6,9	49	62,4
4	4	6,9	73,4	93,5	7,9	78,2	99,6	6,9	58	73,8
5	5	7,0	78,49	99,9	8,2	78,5	100	7,0	59	75,2
6	10	7,6	78,49	99,9	8,2	78,5	100	7,0	77,71	98

В таблицах 8 и 9 приведены результаты расчетов статической обменной емкости (СОЕ) клиноптилолита, искусственного цеолита и шунгита при исходной концентрации ионов меди 78,5 и 11,0 мг/л. СОЕ представляет отношение разности исходной и конечной концентрации ионов меди в растворе к расходу сорбента.

Таблица 7 – Результаты сорбции меди. Исходное содержание ионов меди 11,0 мг/л

№	Расход сорбента, г/л	Клиноптилолит			Искусств. цеолит			Шунгит		
		pH	Медь, мг/л	%	pH	Медь, мг/л	%	pH	Медь, мг/л	%
1	1	6,6	4,25	38,6	7,0	6,0	54,5	6,8	3,6	32,7
2	2	6,7	8,55	77,7	7,2	10,8	98	6,9	5,5	50
3	3	6,8	10,21	92,8	7,4	10,99	99,9	6,9	6,8	61,8
4	4	6,9	10,99	99,9	7,6	11	100	6,9	8,67	78,8
5	5	6,9	11	100	7,6	11	100	6,9	9,63	87,5

Таблица 8 – Статическая обменная емкость (СОЕ) сорбентов. Исходное содержание ионов меди 78,5 мг/л

№	Расход сорбента, г/л	Клиноптилолит		Искусственный цеолит		Шунгит	
		Медь, мг/л	СОЕ, мг/г	Медь, мг/л	СОЕ, мг/г	Медь, мг/л	СОЕ, мг/г
1	1	37	41,5	9	69,5	49,5	29
2	2	29,4	24,55	2,1	38,2	47,5	15,5
3	3	19,4	19,7	0,2	26,1	29,5	16,3
4	4	5,1	18,35	0,3	19,55	20,5	14,5
5	5	0,01	15,7	н/обн	15,7	19,5	11,8
6	10	0,01	7,84	н/обн	7,85	0,79	7,8

Таблица 9 – Статическая обменная емкость (СОЕ) сорбентов. Исходное содержание ионов меди 11,0 мг/л

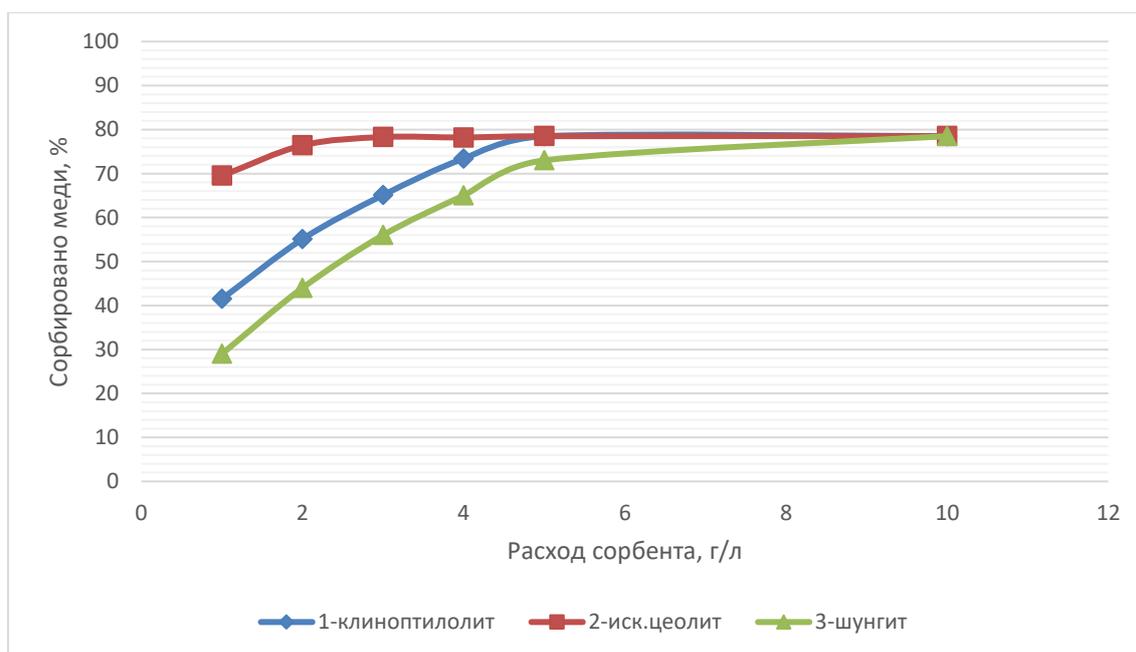
№	Расход сорбента, г/л	Клиноптилолит		Искусств. цеолит		Шунгит	
		Медь, мг/л	СОЕ, мг/г	Медь, мг/л	СОЕ, мг/г	Медь, мг/л	СОЕ, мг/г
1	1	6,75	4,25	5	6	7,4	3,6
2	2	2,45	4,24	0,2	5,4	6,5	2,26
3	3	0,79	3,4	0,01	3,66	4,2	2,26
4	4	0,01	2,7	н/обн	2,7	2,33	2,16
5	5	н/обн	2,7	н/обн	2,7	1,37	1,94

В случае использования вышеперечисленных материалов для извлечения меди из растворов, содержащих 11 мг/л ионов расход сорбентов не превышает

3-5 г/л. При этом остаточное содержание меди составляет 1,37 мг/л при использовании шунгита и обнаружены лишь следы ионов меди при сорбции на клиноптилолите и искусственном цеолите.

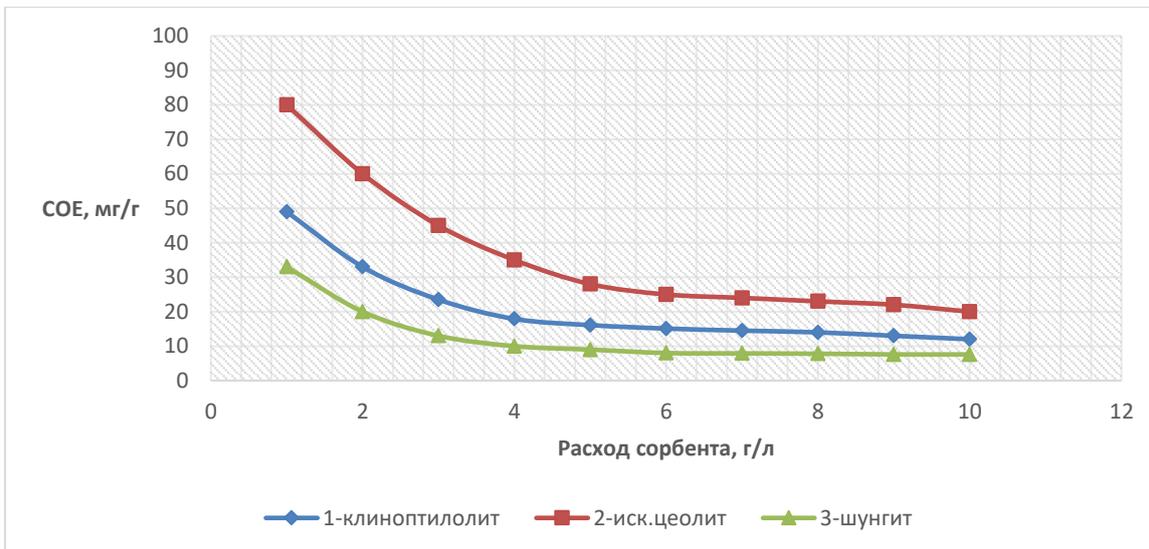
Проводились опыты по извлечению меди из раствора с исходным содержанием ее 1000 мг/л и $pH=2,5$. В качестве сорбента применяли шунгит, его расход составил 10 г. Время перемешивания 20 минут. Смесь отстаивалась 24 часа. Раствор был окрашен в серый цвет за счет частичного растворения сорбента. Химический анализ пробы показал, что содержание меди в растворе составило 500 мг/л при раствора 4,5. Содержание других катионов, в частности, Al, Fe, Ca соответственно составило 250,36,80 мг/л. Полученные результаты свидетельствуют о том, что при извлечении меди из кислых растворов наблюдается частичное растворение компонентов, входящих в состав шунгита. Это обстоятельство затрудняет его практическое применение для удаления ионов меди из сильно кислых растворов (вместо ионообменных смол).

На рисунках 9 и 10 приведены кривые сорбции ионов меди на клиноптилолите, шунгите и искусственном цеолите, полученные в статических условиях, построенные по данным таблиц 7 и 8. Из представленных данных следует, что статическая емкость по меди выше у искусственного цеолита, затем идет клиноптилолит и шунгит.



1 – клиноптилолит;
2 – искусственный цеолит;
3 – шунгит.

Рисунок 9 – Изотермы сорбции меди в статических условиях



- 1 – клиноптилолит;
- 2 – искусственный цеолит;
- 3 – шунгит.

Рисунок 10 – Кривые сорбции меди на различных сорбентах

В связи с тем, что в опытах, проведенных в статических условиях лучшие результаты были получены на клиноптилолите, то изучение сорбционной способности меди в динамических условиях выполняли с использованием только клиноптилолита.

На рисунке 11 приведена изотерма сорбции меди на клиноптилолите, полученная динамических условиях. Расход сорбента 6,6 г/л. Полная динамическая емкость составила 35,2 мг/г. Данные по сорбции меди на клиноптилолите в динамических условиях приведены в таблице 10.

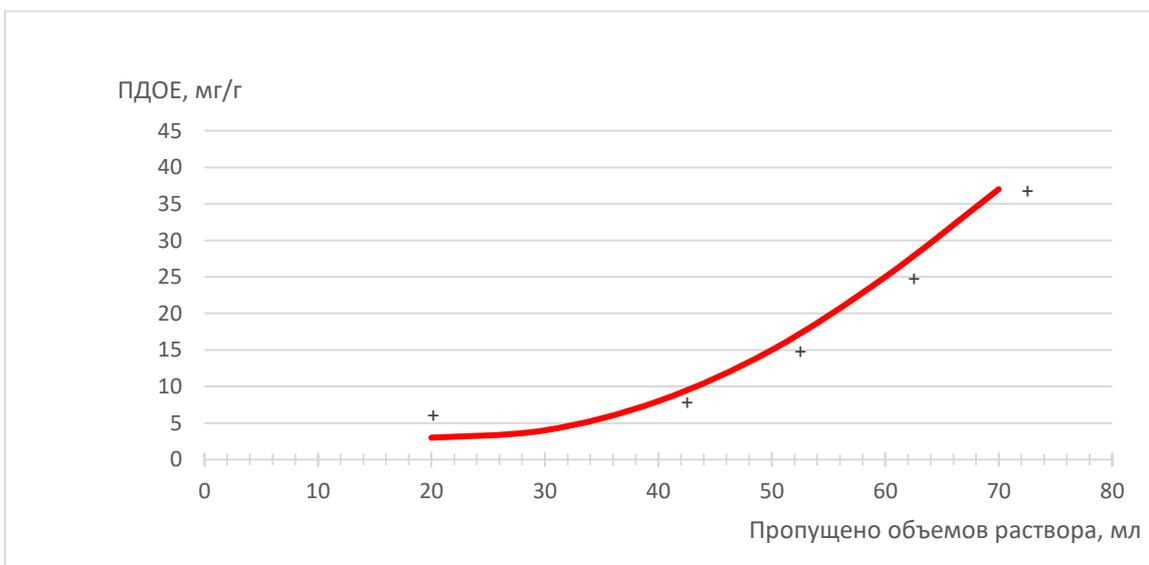


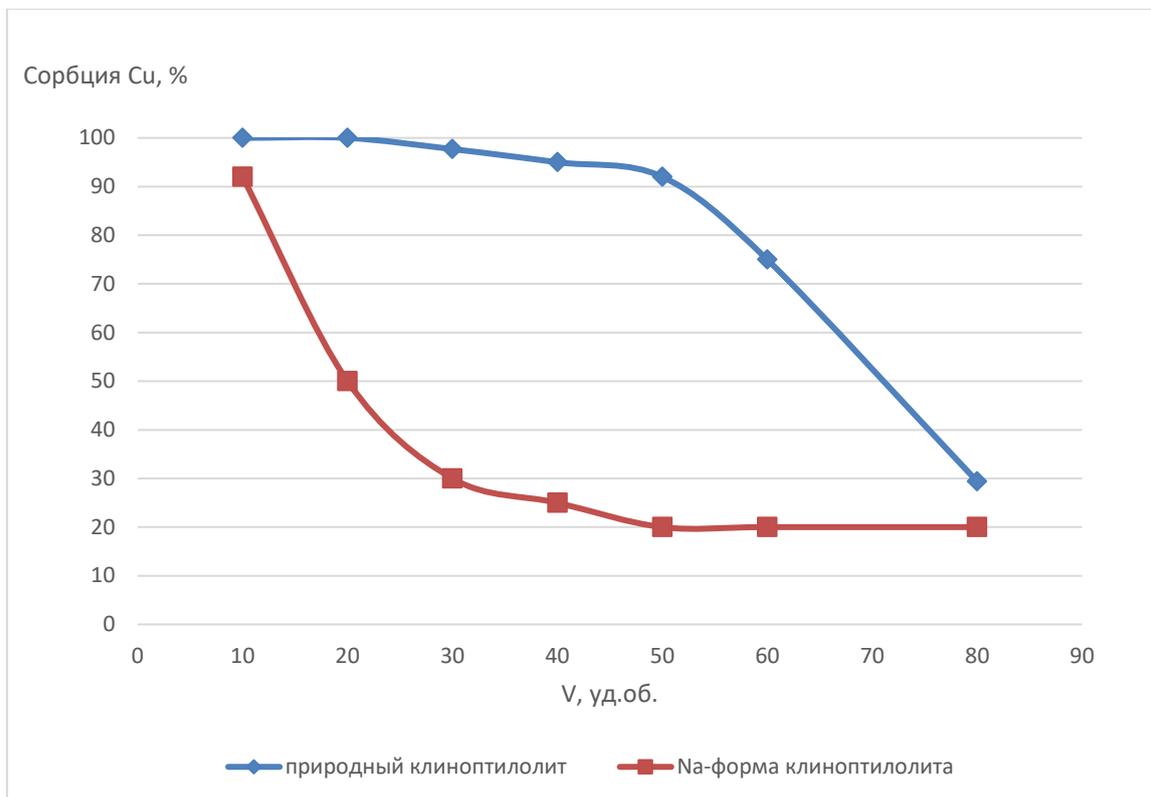
Рисунок 11 – Выходная кривая сорбции меди на клиноптилолите в динамических условиях

Клиноптилолит является кальциевым катионообменным цеолитом (сорбентом), способным обменивать ионы Ca^{2+} на другие катионы, например, Na^+ . Поэтому представляло интерес испытать клиноптилолит, заряженный в Na-форму. Для этой цели природный клиноптилолит обрабатывали 5 % раствором NaCl и далее использовали его для сорбции меди.

Таблица 10 – Данные по сорбции меди на клиноптилолите в динамических условиях. 1 удельный объем равен 250 мл

№	Кол-во уд.объемов/объем о	Концентрация р-ра, мг/л			ПДОЕ, мг/г сорбента
		исходн.	сорбир.	остат.	
1	10/2,5	245	проскок	245	-
2	20/5,0	245	15,0	230	2,3
3	40/10	245	25,0	220	3,8
4	50/12,2	245	100	145	15
5	60/15,0	245	200	45	30,3
6	70/17,5	245	230	15	35,2

Раствор пропускали через колонки (объемом 250 см^3), заполненные клиноптилолитом природным и клиноптилолитом, обработанным 5 % раствором NaCl , переведенным в Na-форму. Пробы раствора, прошедшего через колонки, отбирались каждый час и анализировались на содержание меди. На рисунке 12 и в таблице 11 показано, что при пропускании через колонку с клиноптилолитом, заряженным в Na- форму 20 удельных объемов раствора меди с концентрацией 135 мг/л наблюдается практически 100 %-ная сорбция. Тогда, как при пропускании 10 удельных объемов раствора через природный клиноптилолит с аналогичной концентрацией меди сорбция несколько ниже 70 %. Это свидетельствует о том, что природный клиноптилолит после перезарядки ионов Ca^{2+} на 2Na^+ становится более активным, он с большей легкостью и полнотой способен обменивать свои катионы на катионы меди. Отсюда напрашивается вывод о том, что сорбированные ионы меди способны к последующей десорбции с их заменой на другие ионы, то есть к регенерации сорбента.



1 – природный клиноптилолит;
2 – Na-форма клиноптилолита.

Рисунок 12 – Изотерма сорбции меди

Таблица 11 – Результаты сорбции меди на природном клиноптилолите и клиноптилолите в Na-форме. 1 удельный объем равен 50 мл

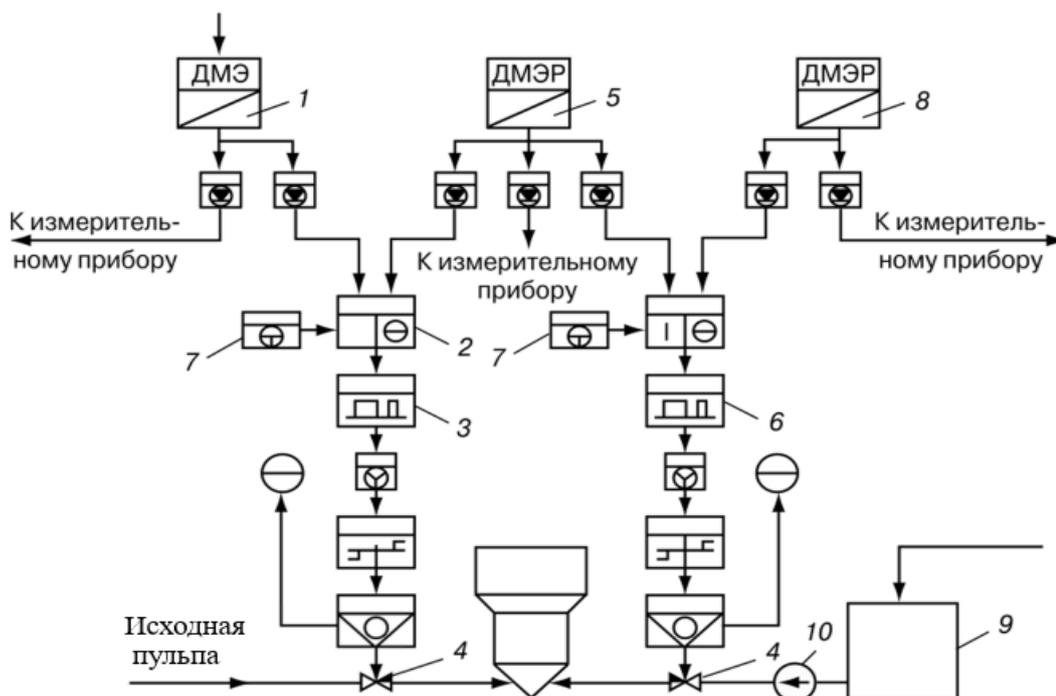
№	Кол-во удельных объемов раствора	Исходное содержание меди, мг/л	Сорбировано меди, мг/л	Сорбировано меди, %	Остаточное содержание меди в р-ре, мг/л
Кривая «1» -природный клиноптилолит					
1	2,5	135	121,5	90	13,5
2	10	135	94,5	70	40,5
3	15	135	54,0	40	81
4	22,5	135	36,45	27	98,75
Кривая «2» - клиноптилолит в Na-форме					
1	10	135	135	100	-
2	20	135	135	100	-
3	30	135	131,9	97,7	3,1
4	40	135	128,25	95	6,75
5	50	135	124,2	92	10,8
6	60	135	101,25	75	33,75
7	80	135	39,8	29,4	95,2

3 Автоматизация процессов отстаивания и фильтрации пульпы

3.1 Отстаивание

Несмотря на кажущуюся простоту процессов, происходящих в отстойниках, довольно трудно добиться их работы в оптимальном режиме с эффективным использованием всего объема рабочего пространства. Особенно сложно стабилизировать режим работы осветлителей со взвешенным слоем осадка, где на гидродинамику процесса накладываются колебания температуры. Такие осветлители нуждаются в автоматизации в большей степени, чем отстойники [24].

Схема АСР (автоматической системы регулирования) гидравлической нагрузки на осветлитель, выполненная на элементах серийной системы «Каскад» (рисунок 13), обеспечивает регулирование нагрузки, превышающей 50 % номинальной, по расходу пульпы, подаваемой в осветлитель, и по уровню воды в сборном резервуаре. Помимо этого, система регулирует поступление в осветлитель пульпы от промывки фильтров [25].



- 1 — уровнемер пульпы в баке-сгустителе; 2 — измерительный блок; 3, 6 — регуляторы; 4 — задвижки с исполнительным механизмом; 5 — расходомер пульпы, поступающей на осветлитель; 7 — задатчики; 8 — расходомер промывной воды; 9 — бак промывной воды; 10 — насос.

Рисунок 13 – Схема АСР гидравлической нагрузки на осветлитель

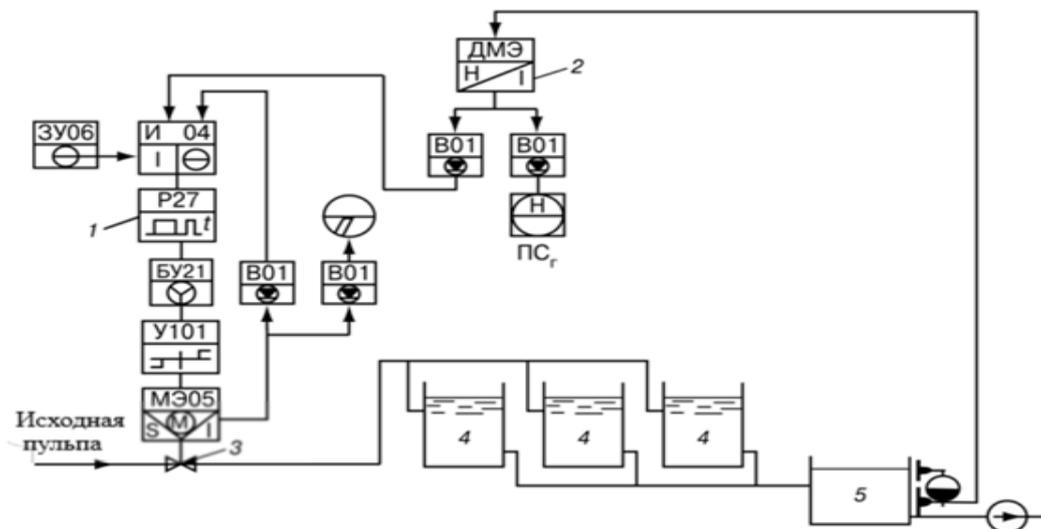
Регулятор 3 с измерительным блоком 2, получая входные сигналы от расходомера 5 и уровнемера 7, воздействует на исполнительный механизм задвижки на трубопроводе подачи исходной пульпы и таким образом регулирует расход пульпы, поступающей на осветлитель, в зависимости от уровня пульпы в промежуточном баке. Регулятор 6, получая сигналы от расходомеров 5 и 8, воздействует на исполнительные механизмы задвижек 4 и таким образом регулирует соотношение между расходами исходной пульпы и промывной воды, поступающей от механических фильтров. Расход промывной воды, поступающей на осветлитель, составляет 2—6 % полного расхода. Соотношение между расходом пульпы на осветлитель, расходом промывной воды и уровнем в промежуточном резервуаре задается задатчиками 7.

3.2 Фильтрация

Для удаления из пульпы мелкодисперсных и коллоидных частиц, не задержанных в отстойниках и осветлителях, используют обычные скорые фильтры с инертной зернистой загрузкой (песок, гравий, дробленый антрацит). Рабочие циклы (фильтрация) периодически прерываются для восстановления фильтрующей способности загрузки путем промывки чистой водой [26].

При устройстве АСР производительности фильтров и скорости фильтрации различают два способа наполнения открытых фильтров. По первому способу подача пульпы производится напуском с разрывом напорного потока. В этом случае фильтры не имеют между собой гидравлической связи: производительность и скорость фильтрации отдельного фильтра могут регулироваться по уровню пульпы или по потерям напора, а общая производительность фильтровального отделения регулируется графиком вывода фильтров на промывку и ремонт.

По второму способу промывная вода на фильтр подводится под уровень пульпы, т.е. под небольшим напором. При таком способе увеличение сопротивления загрузки в одном из фильтров или вывод фильтра на промывку влечет за собой перераспределение пульпы по другим фильтрам. Скорость фильтрации регулируется по расходу пульпы, прошедшей через фильтр, а общая производительность — по уровню в резервуарах чистого раствора (рисунок 14). По такой схеме работают все напорные фильтры. На станциях небольшой производительности применяют регуляторы скорости фильтрации прямого действия (поплавковые с дроссельной заслонкой или гидравлические) [27].



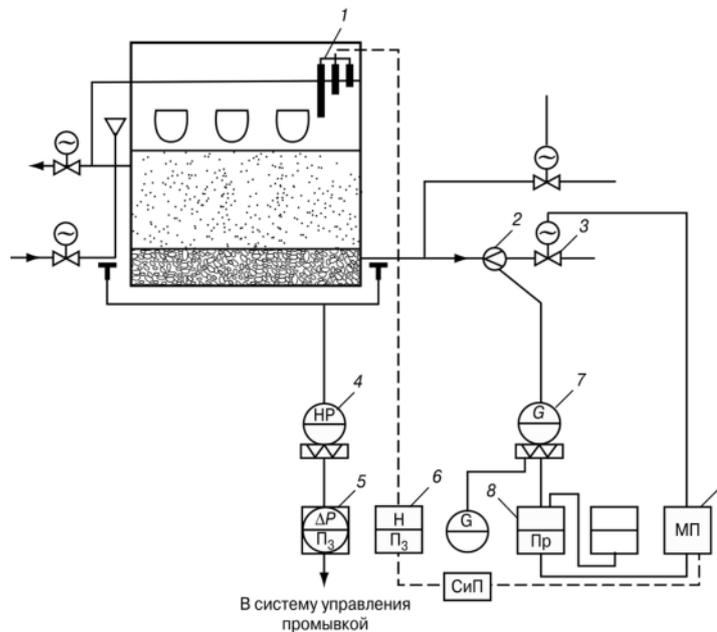
1 — регулятор; 2 — дифманометр; 3 — задвижка с исполнительным механизмом; 4 — фильтры; 5 — резервуар чистого раствора

Рисунок 14 – Схема АСР производительности фильтров по уровню в резервуаре чистого раствора

Система управления открытыми фильтрами (рисунок 15) состоит из двух не связанных между собой подсистем — для регулирования скорости фильтрования и управления промывкой фильтра.

Первая действует по отклонению расхода фильтрата от заданного значения и построена на базе расходомера и П-регулятора. Раствор через открытую задвижку 3 отводится в резервуар чистого раствора. Расход воспринимается сужающим устройством 2 с дифманометром 7, электрический сигнал с которого поступает в регулятор 8, управляющий приводом задвижки с помощью магнитного пускателя 9. Задвижка открывается до тех пор, пока уменьшение ее сопротивления не компенсирует прирост потерь в зернистой загрузке. Перепад напора в фильтре измеряется дифманометром 4 и вторичным прибором 5 с позиционным регулятором, по сигналу которого приводится в действие подсистема управления промывкой.

Когда наполнение фильтра производится не под уровень и между фильтрами нет гидравлической связи, регулирование скорости фильтрования производится по уровню с помощью электродного датчика 1, регулятора 6 и магнитного пускателя 9 привода задвижки 3.



- 1 – электродный датчик; 2 – сужающее устройство; 3 – задвижка;
 4 – дифманометр; 5 – вторичный прибор; 6 – регулятор;
 7 – дифманометр; 8 – регулятор; 9 – магнитный пускатель.

Рисунок 15 – Схема АСР производительности фильтров по уровню раствора в фильтре

3.3 Интеллектуализация систем управления процессами оттаивания и фильтрации

Представленные на рисунках 14 и 15 системы автоматизации должны быть скорректированы с учетом современных достижений науки и техники.

Самыми последними достижениями в области управления является использование в системе автоматического управления элементов теории искусственного интеллекта. Поэтому нами предложено использовать в системе автоматического управления процессами оттаивания и фильтрации современные технологии искусственный интеллект как в алгоритмах управления, так и в технологических средствах автоматизации [28].

Ниже приведены концептуальные предложения по интеллектуализации систем управления процессами оттаивания и фильтрации.

Отличительной особенностью интеллектуальных систем управления является то, что они относятся к классу динамических систем, систем работающих в режиме реального времени и имеющих в своем составе подсистемы сопряжения с внешним миром (датчики, исполнительные устройства) [29].

Программные технологии, применяемые в системах управления, могут быть подразделены на традиционные, использующие обычные вычислитель-

ные процедуры, и подпадающие под определение «систем искусственного интеллекта», или интеллектуальных систем. Типичными примерами последних являются экспертные системы и нейронные сети. В общем случае вопрос выбора типа программного обеспечения (ПО) зависит непосредственно от требований предметной области и от стоимости разработки ПО опосредованно. Так, например, система *G-2*, использующая весь спектр современных информационных технологий, позволяет решать достаточно широкий круг задач управления, но ее применение становится проблематичным при решении задач прикладного характера не столько по причине высокой стоимости системы, сколько из-за высоких требований к вычислительным ресурсам [30]. Широко известная система СИАМ, использующая традиционные вычислительные процедуры, к сожалению, позволяет решать только задачи моделирования в достаточно узких пределах, что ограничивает возможности ее применения в основном рамками учебного процесса. Более мощная система моделирования *Matlab + Simulink* дает возможность работать с широким классом объектов и методологических подходов, в том числе с использованием элементов искусственного интеллекта (*NeuralNetworkToolbox, FuzzyLogicToolbox*). Трудности, связанные с сопряжением системы с реальными объектами и отдельными программными модулями, ограничивают область применения системы задачами моделирования [31].

Однако существует ряд задач управления, в которых информация об объекте может быть неполной, неточной или нечеткой, когда применение традиционных вычислительных алгоритмов становится проблематичным и не дает желаемого результата. Кроме того, связь между входными и выходными параметрами может быть настолько сложна, что моделирование в традиционном смысле становится малоэффективным, а порой просто невозможным. В таких ситуациях желаемый результат может принести применение нейросетевых технологий [32].

3.4 Особенности современных интеллектуальных датчиков

Особенности использования современных интеллектуальных датчиков заключается в следующем:

- резкое уменьшение искажений измерительной информации на пути от датчика к контроллеру, т. к. вместо низковольтного аналогового сигнала по кабелю, соединяющему датчики с контроллером, идут цифровые сигналы, на которые электрические и магнитные промышленные помехи оказывают несравнимо меньшее влияние;

- увеличение надежности измерения за счет самодиагностики датчиков, т. к. каждый датчик сам оперативно сообщает оператору факт и тип возникающего нарушения, тем самым исключая использование для управления некачественных и/или недостоверных измерений;

- возможность использования принципов измерения, требующих достаточно сложной вычислительной обработки выходных сигналов сенсора, но

имеющих ряд преимуществ перед традиционно используемыми принципами измерения по точности, стабильности показаний, простоте установки и обслуживания датчика в процессе его эксплуатации;

- возможность построения мультисенсорных датчиков, в которых преобразователь получает и перерабатывает сигналы ряда однотипных или разнотипных чувствительных элементов;

- возможность проведения всей необходимой первичной переработки измерительной информации в датчике и выдачи им искомого текущего значения измеряемой величины в заданных единицах измерения;

- возможность передачи в систему автоматизации не только текущего значения измеряемой величины, но и добавочных сигналов о выходе его за пределы заданных норм, а также возможность передачи по сети не каждого текущего измеряемого значения, а только изменившегося по сравнению с предыдущим значения, или вышедшего за пределы заданных норм значения, или значения, требующего управляющего воздействия;

- наличие в датчике базы данных для хранения значений измеряемой величины за заданный длительный интервал времени;

- возможность дистанционно с пульта оператора в оперативном режиме выбирать диапазон измерения датчика;

- возможность, путем программирования работы датчика на достаточно простом технологическом языке, реализовывать в нем простые алгоритмы регулирования, программного управления, блокировок механизмов;

- возможность строить достаточно простые цепи регулирования, программного управления, блокировок на самом нижнем уровне управления из трех компонентов: интеллектуальных датчиков, полевой сети и интеллектуальных исполнительных механизмов, не загружая этими вычислительными операциями контроллеры, что позволяет использовать мощность контроллеров для реализации в них достаточно сложных и совершенных алгоритмов управления [33].

3.5 Технологическая схема процесса

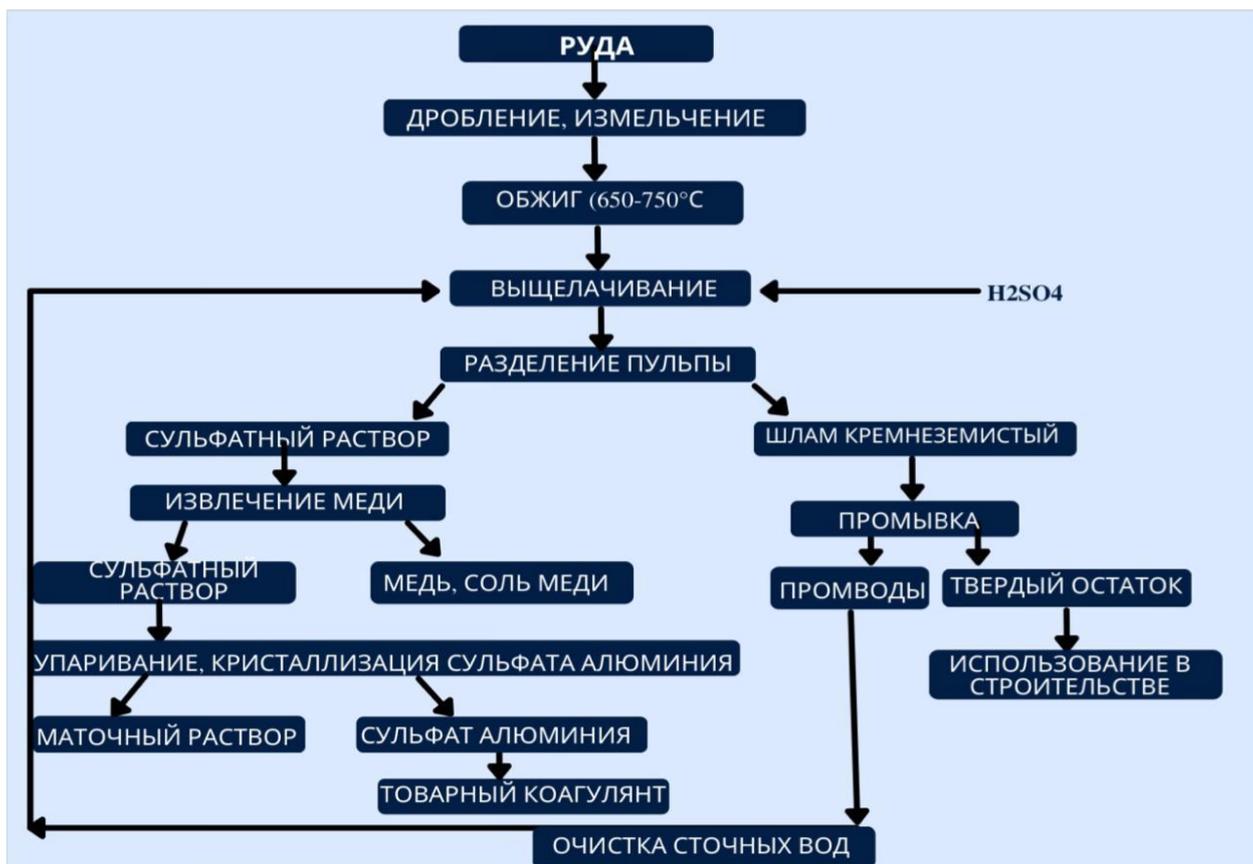


Рисунок – 16 Технологическая схема процесса

Пульпа после выщелачивания разделяется на жидкую и твердую фазы сгущением и фильтрацией. Поскольку подобные пульпы трудно отстаиваемые из-за кремнезистого осадка предусмотрено использование флокулянтов ПАА-S-16, Седипура, ГПАА [34].

Кремнезистый остаток может быть использован в качестве строительного, закладочного материала или направляется в отвал. Сульфатный раствор после выщелачивания содержит ценные компоненты – сульфаты алюминия и меди. Извлечение меди из подобного раствора возможно одним из известных способов: ионным обменом, экстракцией, электродиализом. Выделение сульфата алюминия осуществляется по широко применяемой технологии за счет его кристаллизации.

Предусматривается экологическая защита окружающей среды за счет проведения очистки сточных вод от ионов тяжелых цветных металлов с использованием сорбционных свойств природных цеолитов.

Кроме того, очистка бытовых и сточных вод может проводится с использованием получаемого товарного сульфата алюминия [35].

Технологическая схема переработки Бозшакольской руды приведена на рисунке 16.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Из приведенных в диссертационной работе результатов исследований можно сделать следующие выводы:

– физико-химическими методами анализа установлено, что шлам после серноокислотного выщелачивания обожженных руд Бозшакольского месторождения серной кислотой концентрации 200 г/дм^3 состоит из мелко и средне-дисперсных фракций, основным составляющим которого является кремний, который находится в шламе в виде селикагеля. При испытании действия флокулянтов наибольший эффект при отстаивании серноокислотных пульп был получен при использовании в качестве осадителя шлама полиакриламида ПАА-S-16, седипура и ГПАА;

– исследовано влияние флокулянтов и их дозировки, температуры процесса, отношения Ж:Т на скорость фильтрования и степень очистки раствора серноокислого алюминия. Установлено, что скорость процесса фильтрования увеличивается с ростом температуры и отношения Ж:Т. Лучшие результаты при испытании флокулянтов на процесс фильтрования были получены при введении в пульпу 5 г/м^3 ПАРА-S-16, ГПА. Скорость процесса с добавкой ПАВ увеличилась более, чем в 3 раза, причем степень осветления возросла с $0,82 \text{ г/л}$ до $0,03 \text{ г/л}$ - в 27 раз;

– выделять сульфат алюминия из реальных растворов выщелачивания Бозшакольских руд возможно традиционным методом упаривания раствора и последующей кристаллизацией. Физико-химическими анализами показано, что медь после ее выделения сорбцией на катионитах, не загрязняет производственный сульфат алюминия;

– методом наименьших квадратов получена математическая модель разложения серноокислых растворов алюминия. Определено, что доминирующее влияние на этот процесс оказывает температура;

– экспериментально доказана возможность переработки окисленных медных руд по разработанной серноокислотной технологии с комплексным извлечением в качестве товарной продукции меди и сульфата алюминия;

– в экспериментальной части в качестве сорбентов для сравнительной оценки использовали клиноптилолит, шунгит и искусственный цеолит. Лучшие результаты по извлечению меди были получены на клиноптилолите и искусственном цеолите. Применение шунгита не обеспечивает глубокого удаления ионов из сточных вод. Кроме того, при извлечении меди из кислых растворов наблюдалось частичное растворение компонентов, входящих в состав шунгита. Это также затрудняет его практическое применение для удаления ионов меди из сильно кислых растворов. Рассчитанная статическая обменная емкость по меди (СОЕ) выше у искусственного цеолита, затем идет клиноптилолит и шунгит;

– определена экономическая целесообразность разработанной схемы АСР (автоматической системы регулирования) процессов отстаивания и фильтрации пульп.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 В.И.Брагина, В.И.Брагин. Флотационные методы обогащения// Учебное пособие. Красноярск ИПК СФУ –2010. С. 5.
- 2 А.А. Абрамов. Флотационные методы обогащения // Москва, издательство «Горная книга» –2016, с. 405.
- 3 <https://www.scopus.com/sourceid/16934> Society of mining: Minerals and Metallurgical Processing.
- 4 Электронный справочный ресурс «Академик» <https://dic.academic.ru/dic.nsf/ruwiki/1851812#.D0.9F.D1.80.D0.B8.D0.BC.D0.B5.D0.BD.D0.B5.D0.BD.D0.B8.D0.B5>.
- 5 Kupka, N., Rudolph, M. «Froth flotation of scheelite» // International Journal of Mining Science and Technology Volume 28, Issue 3, May 2018, Pages 373–384 <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85038827964&origin=inwar&txGid=94b47122fcf3d09d2075dd49d52902f9>
- 6 Морачевский А. Г., Фирсова Е. Г. М 79 Физическая химия. Термодинамика химических реакций: Учебное пособие. — 2е изд., испр. — СПб.: Издательство «Лань», 2015. — 112 с.: ил. — (Учебники для вузов. Специальная литература).
- 7 Александрова Т.Н., Ромашев А.О., Николаева Н.В. Обогащение полезных ископаемых//Учебное пособие. Санкт–Петербург 2014.
- 8 Majid Abdellahia, Maryam Bahmanpour. A Novel Technology for Minimizing the Synthesis Time of Nanostructured Powders in Planetary Mills // Journal «Materials Research». – 2014. – 17(03). – P. 781–791.
- 9 Т.А. Кетегенов. Механохимическое сульфидирование окисленных минералов меди. Серия химии и технологии №4. 2011. С. 64.
- 10 Усов Б.А. Гуринович Л.С. Механохимическая обработка, как способ интенсификации физико–химических и технологических процессов // журнал «Системные технологии» № 16 –2015 г. С. 48,50.
- 11 Абрамов А.А. Флотация. Физико–химическое моделирование процессов.: Т.6. Учебник для вузов / А.А. Абрамов М.: Горная книга, 2010. С.373.
- 12 Т. Osserov, Т. Ketegenov, G. Guseynova, M. Myrzabekova, N. Khan. The use of Raman spectroscopy for the identification of sodium polysulphide obtained by the mechanochemical method// V International Conference “Fundamental Bases of Mechanochemical Technologies” – Novosibirsk– 2018 С.
- 13 Осеров Т.Б., Гусейнова Г.Д. Моделирование и оптимизация шламового выхода при механоактивации медной руды// Совместный Международный симпозиум – Алматы 2016 – с 233.
- 14 Осеров Т.Б., Гусейнова Г.Д. О кинетике флотационного процесса// Журнал: «Вестник Национальной инженерной академии Республики Казахстан № 2 (68)» – Алматы– 2018 С. 49.
- 15 Государственная Программа индустриально–инновационного развития Республики Казахстан на 2015–2019 годы // Электронный ресурс [http://www.aztm.kz/news/GPFIIR/GPFIIR 2015–2019.pdf](http://www.aztm.kz/news/GPFIIR/GPFIIR%202015–2019.pdf)

- 16 Объединение независимых консультантов в области минеральных ресурсов, металлургии и химической промышленности «ResearchGroupInfoMine»// Обзор рынка сульфида и гидросульфида натрия в СНГ/ Издание 2 Москва 2012 с.21.
- 17 Электронный ресурс компании «ХИМПЭК»:
<http://www.chempack.ru/ru/chemical-raw-materials/>
- 18 Электронный ресурс компании ТОО «Химия и технология»:
<http://www.cht.kz>
- 19 Hindawi, Database:Scopus “Research Letters in Materials Science” until 2009.
- 20 Морачевский А. Г., Фирсова Е. Г. М 79 Физическая химия. Термодинамика химических реакций: Учебное пособие. — 2е изд., испр. — СПб.: Издательство «Лань», 2015. — 112 с.: ил. — (Учебники для вузов. Специальная литература).
- 21 Осеров Т.Б., Гусейнова Г.Д. Моделирование и оптимизация шламового выхода при механоактивации медной руды// Совместный Международный симпозиум – Алматы 2016 – с 233.
- 22 Осеров Т.Б., Гусейнова Г.Д. Предварительная обработка медной руды механоактивацией// Журнал: «Промышленность казахстана 5 (98)» – Алматы– 2016 С. 73.
- 23 T Rosenqvist, T (2004) Principles of Extractive Metallurgy, Second Edition, Tapir Academic Press: Trondheim, p. 331.
- 24 Hardness, tensile and impact behaviour of hot forged aluminium metal matrix composites Narayan, S., Rajeshkannan, A. 2017. Journal of Materials Research and Technology 6(3), pp.213-219.
- 25 Studies on formability of sintered aluminum composites during hot deformation using strain hardening parameters Narayan, S., Rajeshkannan, A. 2017. Journal of Materials Research and Technology 6(2), pp.101-107.
- 26 Characterization of hybrid aluminum matrix composites for advanced applications - A review Singh, J., Chauhan, A. 2016 Journal of Materials Research and Technology. 5(2), pp.159-169.
- 27 Computer simulation of the aluminium extrusion process Śliwa, A., Kwaśny, W., Sroka, M., Dziwis, R. 2017 Metalurgija 56(3-4), pp.422-424.
- 28 Modern trends and challenges of development of global aluminum industry Dudin, M.N., Voykova, N.A., Frolova, E.E., (...), Rusakova, E.P., Abashidze, A.H. 2017 Metalurgija 56(1-2), pp.255-258.
- 29 Морачевский А. Г., Фирсова Е. Г. М 79 Физическая химия. Термодинамика химических реакций: Учебное пособие. — 2е изд., испр. — СПб.: Издательство «Лань», 2015. — 112 с.: ил. — (Учебники для вузов. Специальная литература).
- 30 Александрова Т.Н., Ромашев А.О., Николаев Н.В. Обогащение полезных ископаемых//Учебное пособие. Санкт–Петербург 2014.
- 31 Дейграф И.Э., Таскарина А.Ж., Абсолямова Д.Р. Автоматизация металлургического производства. Учебное пособие. — Павлодар: Кереку, 2016. — 88 с.

32 Мордасов Д.М., Завражин Д.О. Оборудование и автоматизация процессов производства и обработки материалов. Учебное пособие. — Тамбов: ТГТУ, 2016. — 96 с. — ISBN 978-5-8265-1550-1.

33 Осипова В.А., Астахова Т.В. Автоматизация металлургических производств. Учебное пособие. — Красноярск: СФУ, 2008. — 67 с.

34 Парсункин Б.Н., Андреев С.М. Оптимизация управления технологическими процессами в металлургии. Магнитогорск: МГТУ им. Г.И. Носова, 2006. - 198 с. Монография.

35 Салихов З.Г., Гинсберг К.С. Исследование эволюции в области идентификации математических моделей металлургических процессов при создании реальных систем автоматического управления // Цветные металлы. 2016. №11. С. 105-112.

Қазақстан Республикасы Білім және ғылым министрлігі
Ө.А.Байқоңыров атындағы Жезқазған университеті



**Халықаралық ХІХ Байқоңыров оқулары
материалдарының жинағы
“Қазіргі қоғамның трансформациясындағы
инновациялардың ролі”**



**Сборник материалов Международных
ХІХ Байконуровских чтений
“Роль инноваций в трансформации
современного общества”**

Жезқазған 2019

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ
БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

ЖЕЗҚАЗҒАН ҚАЛАСЫ ӘКІМДІГІ

Ө. А. БАЙҚОҢЫРОВ атындағы ЖЕЗҚАЗҒАН УНИВЕРСИТЕТІ

«Қазіргі қоғамның трансформациясындағы
инновациялардың ролі»

Халықаралық ХІХ Байқоңыров оқулары
материалдарының жинағы

«Роль инноваций в трансформации
современного общества»

Сборник материалов
Международных ХІХ Байконуровских чтений

Жезқазған
2019

1. Маргулан А. Х. Горное дело и металлургия в эпоху бронзы. Джекказган- древний и средневековый металлургический центр (городище Милькудук) /Сочинения: В 14 т. Т. 2. / Сост. Д. А. Маргулан, Д. Маргулан. - Алматы: ДайкПресс, 2001. - 144 с.
2. Рудные месторождения СССР, в 3 т. М, Недра, 1978, под ред. акад. В.И.Смирнова .
3. Сатпаева М. К., Таненов Т. И. Минералогия руд и зональность залежей Джезказганского месторождения (по материалам рудного района «Анненский»). Алматы: Гылым, 1995. 124 с.
4. Сатпаев К. И. Собрание трудов. В 8 т. Т. 1 Большой Джезказган. – Алматы: Гылым, 1998.- 528 с.
5. А.П.Волков. К обоснованию технологии разработки маломощных наклонных залежей с селеставкой горной массы на Жезказганском месторождении/

УДК 669.334

РАЗДЕЛЕНИЕ ФАЗ СЕРНОКИСЛОТНОЙ СУСПЕНЗИИ, ПОЛУЧЕННОЙ ПОСЛЕ ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ ОБОЖЖЕННОЙ БОЗШАКОЛЬСКОЙ РУДЫ

Мажит А.Е., Швецов Н.С., Гусейнова Г.Д.
Satbayev University, г.Алматы, Казахстан

Физико-химическими методами анализа установлено, что шлам, полученный после сернокислотного выщелачивания обожженных руд Бозшакольского месторождения состоит из мелко и среднedisперсных фракций, основным составляющим которого является кремний, который находится в шламе в виде силикагеля. После выщелачивания Бозшакольской руды суспензия подается на разделение твердой и жидкой фаз. Процесс отделения шлама от кислого раствора является достаточно сложным, продолжительным и трудоемким, определяющим производительность всего технологического цикла и качество продукта (глинозема или сульфата алюминия).

При переработке высококремнистого алюминиевого сырья сернокислотным способом разделение твердой и жидкой фаз отстаиванием связано со значительными трудностями, что обусловлено высокой дисперсностью частиц, значительной вязкостью растворов, переходом некоторого количества кремнезема в виде геля в раствор.

В последние годы в гидрометаллургической практике для интенсификации разделения суспензий широкое применение находят водорастворимые полимеры, обладающие сильным коагулирующим и флокулирующим действием. В связи с вышеизложенным было проведено исследование процессов отстаивания сернокислых суспензий, полученных выщелачиванием обожженных руд Бозшакольского месторождения с целью интенсификации процесса с помощью флокулянтов.

Все большую роль в процессах отстаивания находят поверхностно-активные вещества, как инициаторы этого процесса. В настоящее время флокуляция широко используется в технологических процессах. Растворенные в воде флокулянты, находятся в неионизированном состоянии или диссоциируют на ионы. По механизму действия флокулянта до настоящего времени отсутствует единая точка зрения. Большинство теорий флокуляции основано на принципе адсорбции макромолекул на поверхности твердых частиц.

На скорость и эффективность флокуляции существенное влияние оказывают многие факторы: концентрация частиц и свойства их поверхности, растворенные в воде примеси, перемешивание, последовательность введения коагулянтов и флокулянтов, размер макромолекул. Для обычно применяемых диапазонов молекулярных масс

полимеров (до нескольких миллионов) увеличение размеров макромолекул приводит к снижению оптимальной дозы полимера [1]. При значительном различии в размерах частиц и макромолекул флокуляция затрудняется.

На процесс флокуляции оказывает влияние и pH-среды. В средах с значительным pH образуются неодинаковые по размерам и плотности флоккулы. Оптимальный диапазон для разных флокулянтов различен.

Температура также влияет на процесс флокуляции. Увеличение температуры способствует ускорению образования хлопьев, но при достаточно высоких температурах наблюдается разрушение синтетического флокулянта.

В настоящее время в различных странах мира выпускается свыше 100 названий водорастворимых полимеров и флокулянтов на основе синтетических полимеров. В нашей республике широко используются синтетические полиакриламидные и некоторые другие полимеры.

Для ускорения процессов отстаивания действенным средством является применение различных флокулянтов, в частности полиакриламида, применение которого эффективно почти для всех видов сырья.

Для укрупнения частиц алунитовой, каолиновой, нефелиновой сульфатной пульпы были испытаны различные флокулянты [2], из которых наиболее эффективными оказались ПАА-СГК (полиакриламид сухой гранулированный, карбонатный) и ПАА-ЖК (полиакриламид желеобразный, карбонатный); ПОЭ (полиоксипропилен), а также седипуры Т и TF-5. Так, например, скорость отстаивания нефелиновой сульфатной пульпы возрастает в 1,5 раза при введении перечисленных флокулянтов в количестве 10-20 г/м³ [2].

Анализ приведенного материала показал, что систематические исследования процессов разделения жидкой и твердой фаз недостаточны. Прогрессивным направлением является использование синтетических флокулянтов, в частности ПАА в процессах отстаивания сернокислотных пульп.

Описание методики и установки эксперимента.

Сернокислотную суспензию получали в реакторе выщелачиванием обожженной Бозшакольской руды растворами серной кислоты концентрации порядка 200 г/дм³, в течение двух часов при температуре 90-95°C и отношении ж:т = 5:1. Из реактора суспензию переносили в цилиндры с рубашкой из термостойкого стекла диаметром 0,045 м, емкостью 2*10⁻⁴ м³, соединенных между собой термостатом типа У-1 посредством резиновых шлангов, которые обогревались проточной горячей водой. Суспензию, выдержанную в цилиндре до заданной температуры (75, 90 °C) энергично перемешивали в течение 45 секунд, вынимали мешалку из цилиндра, включали секундомер и наблюдали за передвижением границы раздела осветленного и сгущенного слоев. Длительность процесса отстаивания составляла 90 минут. После отстаивания фиксировали объемы сгущенного и осветленного слоев, а затем декантацией отделяли осветленный слой, который фильтровали через плотный фильтр. По количеству сухого остатка на фильтре определяли содержание твердого в слое. Жидкую и твердую фазы анализировали по общепринятым методикам.

Интенсификация процесса отстаивания сернокислотной пульпы с помощью флокулянтов.

Ранее было отмечено, что в качестве добавок, интенсифицирующих процесс разделения пульпы, широкое применение находят водорастворимые полимеры, среди которых одно из первых мест принадлежит ПАА.

Применяли следующие флокулянты: различные марки полиакриламидов (ПАА-S-13, ПАА-S-16, ОДО - производство Япония, ПАА желеобразный - отечественного производства), седипур, алклар; флокулянты, синтезированные на основе ПАА-крахмал, а также ГПАА-637, ГПАА-641.

Для сравнения эффективности действия флокулянтов на процесс отстаивания были проведены контрольные опыты без добавки флокулянта. Предварительно было установлено, что длительность процесса отстаивания составляет не более 30 минут.

В течение 30-минутного отстаивания происходило незначительное укрупнение частиц и осветление верхнего слоя, в котором было еще довольно много твердых частиц. При выдержке более 30 минут происходило постепенное замедление процесса осветления.

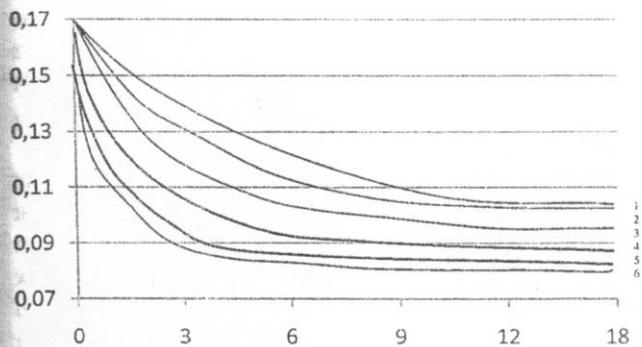
Исходя из наблюдений, процесс отстаивания пульпы в отсутствие флокулянта можно разделить на три периода. Первый период в первоначальный момент отстаивания до 5 минут, когда частицы еще не сфлуктурировали в более крупные агрегаты и находятся в среде с большей плотностью; в этот период наблюдается малая скорость осаждения. Вторым периодом характеризуется максимальной скоростью осветления; от 5 до 15 минут укрупнившиеся частицы находятся в свободном падении. В третьем периоде в течение 15-30 минут происходит стесненное осаждение частиц - уплотнение.

Процесс отстаивания пульпы после введения флокулянтов (ПАА), седипура, качественно отличается от процесса отстаивания пульпы без флокулянтов. Уже в момент введения флокулянта после тщательного перемешивания происходит интенсивная флокуляция и укрупнение твердых частиц.

После отстаивания в течении 5 минут намечалась четкая граница жидкой и твердой фаз на глубину до 70 мм, но в осветленном слое хаотически перемещалось еще много твердых частиц. После отстаивания в течении 30 минут хаотическое движение частиц полностью прекращалось и они постепенно оседали вниз. В дальнейшем скорость осветления заметно падала.

Результаты по сгущению пульпы, а также осветленности раствора при введении в нее полиакриамида представлены на рисунке 1. ПАА вводили, начиная с минимальных дозировок ($0,005 \text{ кг/м}^3$), постепенно увеличивая дозу. При введении ПАА в количестве $0,005 \text{ кг/м}^3$ образовывались крупные и прочные флокулы. Скорость осаждения при свободном падении частиц $2,373 \cdot 10^{-4} \text{ м/с}$ что в 1,42 раза больше, чем в аналогичном опыте без ПАА. С дальнейшим увеличением ПАА в пульпу до $0,12 \text{ кг/м}^3$, скорость осаждения возросла до $5,48 \cdot 10^{-4} \text{ м/с}$, т.е. увеличилась в 3,3 раза. Причем наблюдалось осветление верхнего слоя до прозрачности.

Высота сгущенного слоя, м.



Продолжительность, с.

Рисунок 1 - Зависимость высоты сгущенного слоя от количества ПАА-S-16 и продолжительности процесса: 1 - без добавки; 2 - $0,005 \text{ кг/м}^3$; 3 - $0,03 \text{ кг/м}^3$; 4 - $0,06 \text{ кг/м}^3$; 5 - $0,10 \text{ кг/м}^3$; 6 - $0,12 \text{ кг/м}^3$ (ж:т = 5:1).

Увеличение температуры пульпы с 75 до 90°C повысило скорость осаждения частиц от $2,38 \cdot 10^{-4}$ м/с до $5,84 \cdot 10^{-4}$ м/с (более чем в 2 раза), что объясняется уменьшением вязкости сернокислого раствора. Время осаждения частиц в зоне свободного падения с увеличением температуры от 75 до 90°C сократилось с 5 до 3 минут.

При сопоставлении скоростей отстаивания двух пульп с одним и тем же количеством седикура при 75 и 90°C (рисунки 2 и 3) видно, что величина скорости осаждения частиц в первом случае меньше, чем во втором и равна $4,06 \cdot 10^{-4}$ и $4,34 \cdot 10^{-4}$ м/с соответственно при расходе флокулянта $0,06 \text{ кг/м}^3$. Это в 2,4 раза в первом и в 2,6 раза во втором случае ускорило процесс осаждения частиц по сравнению с процессом отстаивания без флокулянта. Введение седикура способствовало увеличению скорости оседания частиц, а также их уплотнению. При оптимальной дозировке флокулянта равной $0,03\text{-}0,06 \text{ кг/м}^3$, скорость оседания частиц повышается для пульпы (рисунок 2) на 70 % и для пульпы (рисунок 3) на 62 % по отношению к суспензии без флокулянта.

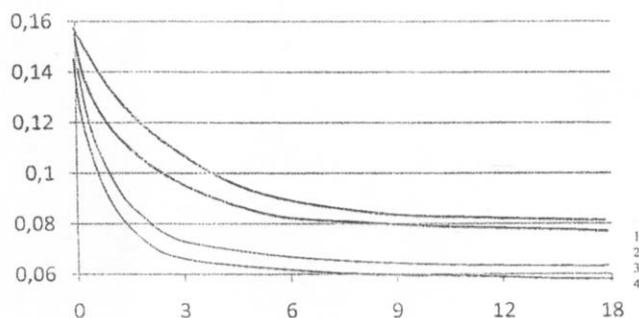
Влияние исследованных флокулянтов, увеличивших скорость оседания частиц приведено в таблице 1.

Таблица 1. Скорость оседания твердых частиц шлама при использовании различных флокулянтов.

№	Марка флокулянта	Скорость, м/ч
1	Без флокулянта	0,60
2	ПАА-S-16	1,94
3	Седикур TF-5	1,56
4	Алклар	0,96
5	Крахмал	0,92
6	ГПАА-637	2,07
7	ГПАА-641	2,09

Таким образом, из испытанных флокулянтов для процесса отстаивания сернокислотных суспензий после выщелачивания обожженной Бозшакольской руды можно рекомендовать следующие флокулянты: ПАА-S-16, седикур TF-5, ГПАА-637, ГПАА-641.

Высота сгущенного слоя, м.



Продолжительность, с.

Рисунок 2 - Зависимость высоты сгущенного слоя от количества седикура и продолжительности процесса при 75°C: 1 — без добавки; 2 — $0,005 \text{ кг/м}^3$; 3 — $0,03 \text{ кг/м}^3$; 4 — $0,06 \text{ кг/м}^3$.

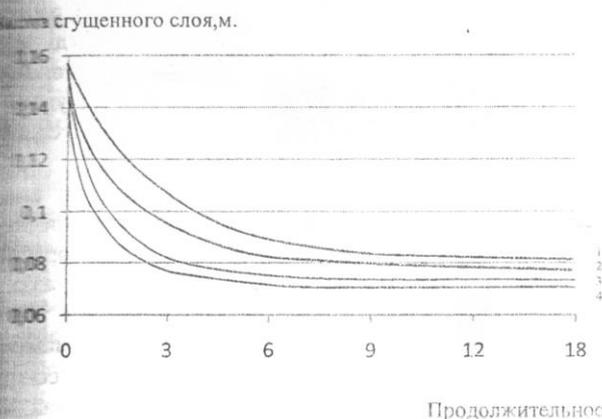


Рисунок 3 - Зависимость высоты сгущенного слоя от количества седипура и продолжительности процесса при 90 °С: 1 – без добавки, 2 – 0,005 кг/м³; 3 – 0,03 кг/м³; 4 – 0,06 кг/м³.

1. Вейцер Ю.И., Минц Д.М. Высокомолекулярные флокулянты в процессе очистки воды. М: Стройиздат, 1975.- С.191.
2. Лайнер Ю.А. Комплексная переработка алюминийсодержащего сырья кислотными способами. М:"Наука", 1982.- С.109.

ЭОЖ 34

ДАЛА ДАНАЛЫҒЫНЫҢ ЖАЛҒАСЫ

Мамбетбаева М.К., Коңурова П.С
«№8 гимназиясы», Жезқазған қ.

Қазақ қашанда кез келген дауды қызыл тілмен қара тасты қақ жарғандай әділ төрелігін айтып, ақ киізге көтеріп хан сайлаған патшаларға тұжырымды ойлар ұсынып, ердің емес, елдің қамын ойлап, елдің түтіні түзу шығу жолында төреліктерін көрсетіп, елге ұйытқы болғаны тарихтан белгілі. Сонау заманнан бабаларымыздан қалған ақылды өсиеттер мен аңыз әңгімелерді тілге тиек етіп, бүгінгі қоғамда ел арасындағы түсініспеушіліктерді заң тұрғысынан әділ төрелігін айтып жүрген «Медиатор» деген ұғым пайда болды.

Қазіргі дамыған өркениетті елімізде, заманның алға басуына байланысты халықтың мүддесі үшін жана заңдар қабылдануда. Солардың бірі-елімізде 2011 жылдың 28 қаңтарында шыққан және қолданысқа тамыз айында енген «Медиация туралы» заң сот жүйесіне жаңашыл өзгеріс енгізіп, дауды шешудің тағы бір тиімді жолын айқындап берді. Аталған Заң жеке және заңды тұлғалар қатысатын азаматтық, еңбек, отбасылық және өзге де құқық қатынастарынан, сондай-ақ, онша ауыр емес және ауырлығы орташа қылмыстар туралы істер бойынша қылмыстық сот ісін жүргізу барысында және де сотқа дейінгі дауларды шешуге, сонымен қатар атқарушылық іс жүргізуді орындау кезінде туындайтын қатынастар бойынша қолданылады. Жалпы алғанда бітімгершілік біздің бітімімізге, болмысымызға жат емес. Билер сотының қазақ қоғамында құқықтық мәдениеттің қалыптасуында атқарған рөлін тарихқа үңілген кез келген жанның бағамдары анық. Билер – бүгінгінің судьялары. Билердің беделі халықтың мойындауымен, тануымен артып отырды. Өзі сыйлаған, өзі дәріптеген, өзі

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

1 из 719

"САТПАЕВ ОҚУЛАРЫ - 2020"

СӘТБАЕВ ОҚУЛАРЫНЫҢ

ЕҢБЕКТЕРІ

I Том

ТРУДЫ

САТПАЕВСКИХ ЧТЕНИЙ

"САТПАЕВСКИЕ ЧТЕНИЯ - 2020"

Том I

PROCEEDINGS

SATPAYEV'S READINGS

"SATPAYEV READINGS - 2020"

I volume

Алматы 2020 Almaty

УДК 378
ББК 74.58
И С21

Кенжалиев Б.К.	–	Проректор по науке, председатель
Жолтаев Г.Ж.	–	Директор ТОО «Институт геологических наук имени К.И.Сатпаева», заместитель председателя
Сыздыков А.Х.	–	Директор Института геологии и нефтегазового дела, заместитель председателя
Бекботаева А.А.	–	Заведующий кафедрой «Геологическая съемка, поиски и разведка месторождений полезных ископаемых», ответственный исполнитель
Алдашев А.	–	Директор Института управления проектами
Куспангалиев Б.У.	–	Директор Института архитектуры и строительства
Омарбеков Б.О.	–	Директор Института промышленной автоматизации и цифровизации
Саренова А.С.	–	Директор Института базового образования
Сейлова Н.А.	–	Директор Института кибернетики и информационных технологий
Туйебахова З.К.	–	Директор Института химических и биологических технологий
Турсыбекова Г.С.	–	Директор Института металлургии и промышленной автоматизации
Узбаева Б.Ж.	–	Директор Научной библиотеки
Баудагулова Г.Т.	–	Специалист минералогического музея кафедры ГСПиРМПИ, ответственный секретарь конференции

«Сатпаевские чтения -2020»: сборнике представлены материалы конференции Сатпаевские чтения.

И С21 – Алматы: КазННТУ имени Сатпаева, 2020. - 710 с

ISBN 978-601-323-209-6

В современном мире цифровые технологии играют все более важную роль в развитии стран, в том числе таких ключевых сфер как инженерия, строительство, высокие технологии, машиностроение и образование

ISBN 978-601-323-209-6

УДК 378
ББК 74.58
И С21

© Казахский национальный
исследовательский технический
университет имени К.И.Сатпаева

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ НА СКОРОСТЬ ХИМИЧЕСКОЙ КОРРОЗИИ МЕДИ.

Аннотация: Количественно скорость коррозии отражают показатели коррозии, среди которых различают весовой (отрицательный и положительный) и глубинный.

По глубинному показателю коррозии оценивают коррозионную стойкость металла, пользуясь десяти- и пятибалльной шкалой. Образец меди был подвергнут химической газовой коррозии при температуре 600 °С. Для него рассчитаны показатели коррозии и определена скорость коррозии меди (мм/год), балл и группа стойкости

Ключевые слова: металл, коррозия, скорость химической коррозии, температура, весовой показатель, глубинный показатель, шкала оценки коррозионной стойкости.

Металлы и их сплавы являются наиболее важными современными конструкционными материалами. В то же время, всюду, где они эксплуатируются, происходит постепенное разрушение металлических конструкций. Коррозия металлов наносит большой ущерб экономике нашей республики. Поэтому столь большое значение придается изучению коррозионных процессов, причин их возникновения и защите металлоконструкций от коррозии.

Показатель коррозии – это величина, по которой можно судить о скорости протекания коррозионных процессов (коррозионного разрушения металла). Глубинный показатель коррозии определяет, на какую глубину распространилась коррозия за определенный отрезок времени, измеряется он, например, в мм/год. Используют его для количественной оценки скорости коррозии.

Для оценки коррозионной стойкости металлов применяются десяти- и пятибалльные шкалы, основанные на глубинном показателе скорости коррозии, который демонстрирует проникновение коррозии в металл, коррозионную проницаемость, т. е. глубину

разрушения металла. При этом, фактором, влияющим на этот показатель в первую очередь, является температура. С повышением температуры процессы окисления металлов протекают значительно быстрее, несмотря на уменьшение их термодинамической возможности [1].

Характер влияния температуры на скорость окисления металлов определяется температурной зависимостью константы скорости химической реакции (при кинетическом контроле процесса окисления металла) или коэффициента диффузии (при диффузионном контроле процесса), которая выражается одним и тем же экспоненциальным законом:

$$\kappa_{m^+} = Ae^{-\frac{Q}{RT}} \quad (1)$$

где κ_{m^+} – константа скорости химической реакции или коэффициент диффузии;

положительный показатель изменения массы $\left(\frac{г}{м^2 \cdot ч}\right)$;

A – постоянная; $A = \kappa_{m^+}$ при $\frac{1}{T} = 0$;

e – основание натурального логарифма;

Q – энергия (теплота) активации химической реакции или диффузии, $\left(\frac{Дж}{моль}\right)$.

Соотношение между скоростью газовой коррозии металлов и температурой может быть осложнено или нарушено, если с изменением температуры изменяется структура или некоторые другие свойства металла или образующейся на нем пленки [2].

Испытанию подвергали образец из меди. Включали муфельную печь (рисунок 1), нагревали ее до заданной температуры 600 °С. Температуру определяли и поддерживали постоянной с помощью термомпары 2 и терморегулятора 1. Испытываемый пластинчатый образец зачищали наждачной бумагой и определяли размеры (3,9х2,9) см² штангенциркулем для нахождения величины поверхности. Затем образец обезжиривали органическим растворителем, протирали фильтровальной бумагой и взвешивали на аналитических весах.

Образец помещали в открытый тигель 5 из огнеупорного материала (фарфора), который находится в гнездах подставок 4 из жаростойкой стали; закрыв печь, выдерживали заданное время (1 ч) при соответствующей температуре.

После этого, открыв дверцу печи, с помощью специальных щипцов закрывали тигель с образцом крышками (во избежание потери части окалины, кусочки которой при остывании образцов часто от отскакивают), извлекали щипцами подставку с тиглем из печи и ставили его на лист асбеста. После 10-15 минут остывания на воздухе тигель с крышками помещали в эксикатор для окончательного охлаждения. По охлаждении образец взвешивали.

486

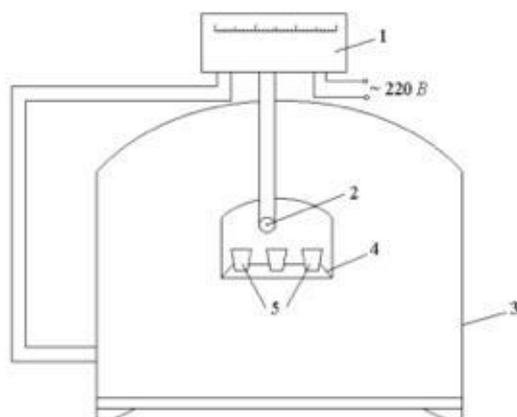


Рисунок 1 – Схема установки для испытания металлов на газовую коррозию в воздухе
1 – электронный терморегулятор; 2 – термомпара; 3 – муфельная печь;
4 – подставка для тиглей; 5 – тигли с исследуемыми образцами.

Положительный показатель изменения массы κ_{m^+} рассчитывали по формуле:

$$\kappa_{m^+} = \Delta m^+ / S \tau \left(\frac{z}{M^2 \cdot q} \right) \quad (2)$$

где Δm^+ – удельное увеличение массы образца, (г);

τ – время опыта, ($\tau = 1$ ч);

S – площадь поверхности образца, (м²);

$\Delta m^+ = (m_1 - m_0)$ (г);

m_1 – масса образца с окалиной, $m_1 = 2,92028$ (г);

m_0 – начальная масса образца, $m_0 = 2,92$ (г);

$$\kappa_{m^+} = (2,92028 - 2,92) / 3,9 \cdot 2,9 \cdot 10^{-4} \cdot 1 = 0,2475 \left(\frac{z}{M^2 \cdot q} \right)$$

Отрицательный показатель изменения массы κ_m^- рассчитывали по формуле:

$$\kappa_m^- = \kappa_m^+ (A_{Cu}/A_O) = 0,2475(63,546/16) = 0,9829 \quad (3)$$

где A_{Cu} – атомная масса меди;

A_O – атомная масса кислорода.

Глубинный показатель коррозии, скорость коррозии Π (мм/год), определяющий фактор оценки скорости металлов и сплавов по десятибалльной и пятибалльной международным шкалам рассчитывается по формуле:

$$\Pi = \kappa_m^- \cdot 8,76 / \rho_{Cu}$$

(4)

где ρ_{Cu} – плотность меди, г/см³ ($\rho_{Cu}=8,93$ г/см³);

$$\Pi = 0,9829 \cdot 8,76 / 8,93 = 0,964 \text{ (мм/год)}.$$

Таким образом, по десятибалльной шкале [3] медный образец обладает оценкой стойкости 5 баллов и относится к группе «стойкие металлы».

487

По пятибалльной шкале образец [3] обладает оценкой стойкости 2 балла и относится к той же группе – «стойкие металлы».

Литературы:

1. Жук Н.П. Курс коррозии и защиты металлов. 2-е издание, стереотипное - М.: Альянс, 2006.
2. Розенфельд И.Л. Коррозия и защита металлов. М.: Metallurgia, 2009.
3. Семенова И.В., Флорианович Г. М., Хорошилов А.В. Коррозия и защита от коррозии / Под ред. И.В. Семеновой – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2002.

А.Ж. Алтмышбаева, А.Е. Мажит, Н.С. Швецов., Г.Д. Гусейнова

Мыстың химиялық коррозиялану жылдамдығына температураның әсерін зерттеу

Аңдатпа. Сандық жағынан коррозия жылдамдығы коррозия көрсеткіштерімен сипатталады, олардың арасында салматқы (теріс және оң) және тереңдік көрсеткіштері деп бөлінеді.

Коррозияның тереңдігінің индексіне сәйкес металдың коррозияға төзімділігі он және бес балдық шкала бойынша бағаланады. Мыс үлгісі 600 °С температурада химиялық газ коррозиясына ұшырайды. Ол үшін коррозия көрсеткіштері есептелді және мыстың коррозия деңгейі (мм / жыл), балл және қарсылық тобы анықталды.

Түйін сөздер: металл, коррозия, химиялық коррозия жылдамдығы, температура, салмақ индикаторы, тереңдік көрсеткіші, коррозияға төзімділік рейтингісі.

A.Zh. Altmyshbayeva, A.E. Mazhit, N.S. Shvetsov., G.D. Gusseynova

Study of the influence of temperature on speed chemical corrosion of copper

Abstract: Corrosion indicators reflect quantitatively the corrosion rate, among which there are weight (negative and positive) and deep.

According to the depth index of corrosion, the corrosion resistance of the metal is estimated using a ten- and five-point scale. The copper sample was subjected to chemical gas corrosion at a temperature of 600 °C. Corrosion indicators were calculated for it and the corrosion rate of copper (mm / year), score and resistance group were determined

Keywords: metal, corrosion, chemical corrosion rate, temperature, weight indicator, depth indicator, corrosion resistance rating scale.