

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ
КАЗАХСТАН

SATBAYEV UNIVERSITY

Горно-металлургический институт имени О.А. Байконурова

Кафедра «Металлургия и обогащение полезных ископаемых»

УДК 622.765

На правах рукописи

Нарбекова Сабира Мирзановна

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

На соискание академической степени магистра

Название диссертации Усовершенствование технологии обогащения труднообогатимой полиметаллической руды с использованием метода комбинированной микрофлотации

Направление подготовки 7М07223- Metallургия и обогащение полезных ископаемых

Научный руководитель:

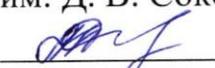
К.т.н., вед.науч. сотр. АО «ИМиО»

 Турысбеков Д.К.

« 16 » 05 2022 г.

Рецензент:

К.т.н., с.н.с. сектора редких рассеянных элементов АО «Институт топлива, катализа и электрохимии им. Д. В. Сокольского»

 Шарипова А.С.

« 16 » 05 2022 г.

Нормоконтроль:

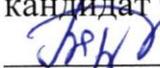
Доктор Ph.D, ассистент-профессор

 Дюсенова С.Б.

« 17 » 05 2022 г.

ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ

заведующая кафедрой МиОПИ,
кандидат технических наук

 М.Б. Барменшинова

« 17 » 05 2022 г.

Алматы 2022

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ
КАЗАХСТАН

SATBAYEV UNIVERSITY

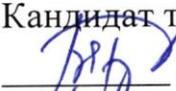
Горно-металлургический институт имени О.А. Байконурова

Кафедра «Металлургия и обогащение полезных ископаемых»

УТВЕРЖДАЮ

Заведующая кафедрой МиОПИ,

Кандидат технических наук

 М.Б.Барменшинова

«04» 11 20 20 г.

ЗАДАНИЕ

на выполнение магистерской диссертаций

Магистранту Нарбековой Сабире Мирзановне

Тема: Усовершенствование технологии обогащения труднообогатимой полиметаллической руды с использованием метода комбинированной микрофлотации.

Утверждена приказом Ректора Университета № 2026-М от «03» 11. 2020 г.

Срок сдачи законченной диссертации 25.05.2022 г.

Исходные данные к магистерской диссертации: Усовершенствование технологии обогащения труднообогатимой полиметаллической руды с использованием метода комбинированной микрофлотации.

Методы исследований: химический, спектральный, рентгенофазовый, рентгенофлюоресцентный, мономинеральная флотация, флотация и другие.

Перечень подлежащих разработке в магистерской диссертации вопросов:

- а) флотационное обогащение полиметаллических сульфидных руд;
- б) методики исследований;
- в) изучение физико-химических свойств водовоздушной микродисперсии флотационных реагентов;
- г) мономинеральная флотация сульфидных минералов с применением водовоздушной микродисперсии флотационных реагентов.

Перечень графического материала: 18 слайдов

Рекомендуемая основная литература:

1 Годен А.М. Основы флотации //М.: Изд-во Гос. науч.-техн. горное изд.-1933. -144 с.

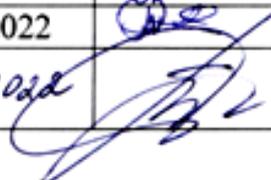
2Абрамова А.А. Флотационные методы обогащения //М.: Изд-во МГГУ.-2008.- 708 с.

ГРАФИК
подготовки магистерской диссертации

Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки предоставления научному руководителю и консультантам	Примечание
Введение	07.02.2022	выполнено
Аналитический обзор литературы	21.02.2022	выполнено
Методика исследований	21.03.2022	выполнено
Экспериментальная часть	18.04.2022	выполнено
Заключение	19.05.2022	выполнено

Подписи

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

Наименование раздела	Консультанты И.О.Ф (уч.степень, звание)	Дата подписания	подпись
Введение	Турысбеков Д.К. к.т.н.	07.02.2022	
Аналитический обзор литературы		21.02.2022	
Методика исследований		21.03.2022	
Экспериментальная часть		18.04.2022	
Заключение		19.05.2022	
Нормоконтролер	Дюсенова С.Б. доктор PhD	17.05.2022	

Научный руководитель



Турысбеков Д.К

Задание принял к исполнению
обучающийся



Нарбекова С.М.

Дата

«04» 11 2022 г.

АҢДАТПА

Магистерлік жұмыста комбинирленген микрофлотацияны қолдана отырып, қиынбайытылатын майдасеппелі көпметалды полиметалл кендерінен бағалы компоненттерді алу үшін флотацияны қолдану тиімділігін арттыратын әдістер әзірленді. Флотациялық жүйесінде комбинирленген микрофлотация барысында макро- және микрокөпіршіктер бір уақытта қолданылады. Микро-көпіршіктерді алу құрал ретінде көбіктендіргіш ерітіндісін су-ауа микродисперсиясына айналдыратын генератор қолданылады. Зерттеу мақсаты флотация қалдықтарымен пайдалы минералдардың шөгінді бөлшектерінің жоғалуын азайту.

Қиынбайытылатын майдасеппелі шикізатты флотациялық байытуы жайлы аналитикалық деректер жүргізілді. Майдасеппелі және кешенді кендерден түсті металдарды бөліп алу үшін, байытудың негізгі әдісі флотация болып табылады.

Флотациялық реагенттерден су-ауалы микродисперсиялар алынды және олардың физика-химиялық қасиеттері зерттелінді. Флотациялық машина мен су-ауа микродисперсиясын алуға арналған жабдықтың жұмыс істеу уақытынан қойыртпақ температурасының өзгеруі зерттелінді. Ең жақсы дисперсиялық нәтижелер ротордың торлы түрін пайдаланған кезде алынады. Генератор жұмысының оңтайлы параметрлері анықталды: айналу жылдамдығы 6000 айн/мин; фазалық қатынас сұйық-газ=1:1; генератордың өнімділігі 6-7,2 л/сағ.

Түрлі ұсақтағы түсті металдардың минералдарының флотациялануын зерттеу мономинералды флотация процесіне микрокөпіршіктердің қосымша берілуі әртүрлі майдалықтағы минералдардың шығуын арттыруға және флотация процесін 10-15%-ға жылдамдатуға мүмкіндік беретінін көрсетті.

Су-ауа микродисперсиясын құру мүмкіндігі бойынша флотациялық реагенттерді келесі қатарға орналастыруға болады: МИБК → Senfroth 580 → В-ТЭТА → ОПСБ → флотанол С-7 → Т-92 → бутил аэрофлоты.

Риддер-Сокол кенорнындағы көпметалды кеннің бастапқы заттық құрамы зерттелді. Риддер-Сокол кенорнындағы көпметалды кеннің флотациясына базалық реагенттерді, және флотациялық реагенттердің су-ауалы микродисперсиясын қолданғандағы реагенттік режим өңделінді. Негізгі режиммен салыстырғанда су-ауа микродисперсия генераторын қолдану негізгі және бақылау флотация уақытын 25%-ға, қайта тазарту уақытын 30%-ға қысқартуға мүмкіндік беретіні анықталды.

АННОТАЦИЯ

В данной магистерской работе проведена разработка методов, повышающих эффективность применения флотации для извлечения ценных компонентов из труднообогатимых тонковкрапленных полиметаллических руд с использованием комбинированной микрофлотации. При комбинированной микрофлотации во флотосистеме используются одновременно макро- и микропузырьки. В качестве источника микропузырьков используется генератор, который преобразует раствор пенообразователя в водовоздушную микродисперсию. Задача исследований минимизировать потери шламовых частиц полезных минералов с хвостами флотации.

Проведен аналитический обзор современного состояния и перспективы флотационного обогащения труднообогатимого тонковкрапленного сырья. Основным методом обогащения для извлечения цветных металлов из тонковкрапленных и комплексных руд является флотация.

Получены водовоздушные микродисперсии флотационных реагентов и изучены их физико-химические свойства. Исследовано изменение температуры пульпы от времени работы флотомшины и оборудования по получению водовоздушной микродисперсии. Наилучшие результаты диспергации получены при использовании сеточного типа ротора. Определены оптимальные параметры работы генератора: частота вращения 6000 об/мин; соотношение фаз Ж:Г=1:1; производительность генератора 6-7,2 л/ч.

Изучение флотируемости минералов цветных металлов различной дисперсности показало, что дополнительная подача микропузырьков в процесс мономинеральной флотации позволяет повысить выход минералов различной дисперсности и ускорить процесс флотации на 10-15 %.

По способности создавать водовоздушную микродисперсию флотореагенты можно расположить в следующий ряд: МИБК → Senfroth 580 → Б-ТЭТА → ОПСБ → флотанол С-7 → Т-92 → бутиловый аэрофлот.

Изучен вещественный состав полиметаллической руды Риддер-Сокольского месторождения. Проведена отработка технологических режимов флотации сульфидной полиметаллической руды Риддер-Сокольского месторождения с применением базовых реагентов и водовоздушной микродисперсии флотореагентов. Установлено, что по сравнению с базовым режимом применение генератора водовоздушной микродисперсии позволяет сократить время основной и контрольной флотации на 25 %, время перечисток – на 30 %.

ABSTRACT

This work covers development of methods, which improve efficiency of flotation for extracting valuable components from hard-to-recover finely disseminated polymetallic ores using combined microflotation was carried out. In combined microflotation, both macro- and microbubbles are used in the flotation system. A generator is used as a source of microbubbles, which converts the foaming agent solution into a water-air microdispersion. The task of research is to minimize the loss of slime particles of useful minerals with flotation tailings.

An analytical review of the current state and prospects of flotation enrichment of refractory finely disseminated raw materials has been carried out. The main beneficiation method for extracting non-ferrous metals from finely disseminated and complex ores is flotation.

Water-air microdispersions of flotation reagents have been obtained and their physicochemical properties have been studied. The change in the temperature of the pulp from the time of operation of the flotation machine and equipment for obtaining water-air microdispersion has been studied. The best dispersion results are obtained when using a mesh type of rotor. The optimal parameters of the generator operation were determined: rotational speed 6000 rpm; phase ratio liquid-gas=1:1; generator performance 6-7.2 l/h.

The study of the floatability of non-ferrous metals minerals of various fineness showed that the additional supply of microbubbles to the monomineral flotation process makes it possible to increase the yield of minerals of various fineness and speed up the flotation process by 10-15%.

According to the ability to create water-air microdispersion, flotation reagents can be arranged in the following row: MIBK → Senfroth 580 → B-TETA → OPSB → flotanol S-7 → T-92 → butyl aeroflot.

The material composition of polymetallic ores of the Ridder-Sokol deposit was studied. Technological modes of flotation of sulfide polymetallic ores of Ridder-Sokol deposit were tested using basic reagents and water-air microdispersions of flotation reagents.

It has been established that, compared with the basic mode, the use of a water-air microdispersion generator makes it possible to reduce the time of the main and control flotation by 25%, and the time of recleaning by 30%.

СОДЕРЖАНИЕ

	Введение	8
1	Аналитический обзор	11
1.1	Анализ современного состояния и перспективы флотационного обогащения труднообогатимого тонковкрапленного сырья	11
1.2	Методы получения микропузырьков	15
2	Получение водовоздушной микродисперсии флотационных реагентов и изучение их физико-химических свойств	19
2.1	Получение водовоздушной микродисперсии флотационных реагентов в генераторе	19
2.2	Изучение влияния частоты вращения генератора на крупность и устойчивость водовоздушной микродисперсии	27
2.3	Изучение влияния соотношения фаз: жидкость-газ на свойства микродисперсии	30
2.4	Изучение свойств микродисперсии в зависимости от используемого флотореагента	34
2.5	Изучение влияния применения водовоздушной микродисперсии на мономинеральную флотацию цветных металлов различной дисперсности	38
3	Применение водовоздушной микродисперсии реагентов для эффективного обогащения полиметаллических руд	45
3.1.	Отработка реагентного режима флотации труднообогатимой руды Риддер-Сокольного месторождения с применением базовых реагентов	45
3.1.1	Изучение вещественного состава руды Риддер-Сокольного месторождения	45
3.1.2	Отработка реагентного режима коллективной медно-свинцово-цинковой флотации руды Риддер-Сокольного месторождения с применением базовых реагентов	52
3.2	Отработка реагентного режима флотации труднообогатимой руды Риддер-Сокольного месторождения с применением комбинированной микрофлотации	59
3.3	Отработка реагентного режима флотации труднообогатимой руды Риддер-Сокольного месторождения с применением генератора водовоздушной микродисперсии и модифицированного пенообразователя	62
	Заключение	65
	Список использованной литературы	68
	Приложение А Список опубликованных работ по теме диссертации	72
	Приложение Б Оттиски опубликованных работ по теме диссертации	73

ВВЕДЕНИЕ

Оценка современного состояния решаемой научно-технической проблемы. Оценка современного состояния решаемой научно-технической проблемы. Подавляющее большинство перерабатываемых в настоящее время в Казахстане руд отличается тесным взаимным проращением весьма тонких, вплоть до коллоидных, минеральных вкраплений. Зерна минералов, содержащих полезные компоненты, столь малы, что для их вскрытия и выделения в свободные частицы, которые можно отделить от вмещающей породы, всю руду приходится тонко измельчать. В то время, как оптимальный размер зерен для флотационного обогащения ~70 мкм, значительная часть добываемых в настоящее время руд требует для вскрытия мономинеральных зерен гораздо более глубокого измельчения до 30-40 мкм. Это приводит к потере с микродисперсиями (супершламами) значительной части вскрытых мономинеральных зерен, содержащих обогащаемые металлы.

Технологически проблема флотации микродисперсий связана с тем, что по мере уменьшения размера минеральных частиц их поведение в гидродинамических потоках меняется, они теряют массу и наступает граничный предел, ниже которого микрочастица не может накопить в движении кинетическую энергию, обеспечивающую ей преодоление водно-структурного энергетического барьера при встрече с пузырьками. Это при флотационном обогащении приводит к потере извлечения цветных металлов с микродисперсиями от 5 до 30 %, как при селективной, так и при коллективной флотациях. Динамическая тенденция увеличения доли тонковкрапленных руд определила направление исследований по управлению флотационным поведением микродисперсий как актуальное и приоритетное. В середине прошлого века исследователями [1-5] было показано, что наиболее эффективным методом обогащения микрочастиц является флотация с аэрацией газами, выделившимися из их водного раствора. Одним из решений этой проблемы может быть применение комбинированной микрофлотации, где в процессе флотации участвуют как микро-, так и макропузырьки.

Теоретически [6-7] показано, что решение проблемы флотации частиц менее 25 мкм может быть достигнуто только путем применения в процессе флотации пузырьков воздуха, размер которых не превышает 50 мкм. Поскольку использование столь мелких пузырьков во флотационных машинах известных конструкций сопряжено с некоторыми технологическими трудностями, был разработан принципиально новый метод флотации ультрадисперсных минералов, получивший название «турбулентная микрофлотация» [8-9]. Принципиальное отличие этого метода от обычной флотации состоит в том, что пузырьки воздуха, используемые в процессе, формируются вне обрабатываемой пульпы в виде концентрированной водовоздушной микроэмульсии, которая затем

смешивается с пульпой и пропускается по трубчатому статическому миксеру (флотореактору) в виде турбулентного потока. В результате такой обработки во флотореакторе осуществляется не только минерализация микропузырьков, но и их укрупнение за счет коалесценции, агрегирования в крупные флотокомплексы, содержащие тысячи исходных микропузырьков, что обеспечивает их быстрое отделение от пульпы седиментацией.

Обоснование необходимости проведения НИР. Невысокая эффективность флотационного извлечения из руд частиц микронных размеров является одной из важных причин больших потерь ценных компонентов на обогатительных фабриках. Решением данной проблемы занимаются обогатители всех стран. Одним из решений данной проблемы является применение комбинированной микрофлотации с получением водовоздушной микродисперсии, что позволит доизвлекать микродисперсные ценные минералы руды, оптимизировать процесс флотации и получить более высокие технологические показатели.

Усовершенствование технологии обогащения труднообогатимой полиметаллической руды с использованием метода комбинированной микрофлотации позволит повысить степень извлечения цветных металлов в концентрат. В этой связи научная и технологическая необходимость осуществления проекта очевидны.

Сведения о метрологическом обеспечении диссертации. В процессе проведения работ метрологическое обеспечение определялось наличием сертифицированных химико-аналитической лаборатории и лаборатории физических методов анализа. Метрологические измерения выполнялись на поверенных контрольно-измерительных приборах, что обеспечивает достоверность получаемых результатов и анализов.

Актуальность работы. Большие потери цветных, благородных и редких металлов в исследуемом минеральном сырье связаны с очень тонкой дисперсностью полезных минералов, их тесным взаимопроращением между собой и пороодообразующими минералами. Исследования, направленные на применение комбинированной микрофлотации [10-12], позволяющей доизвлекать тонкодисперсные минералы, теряющиеся с хвостами флотации и получить при этом концентраты с высоким извлечением полезного компонента, являются актуальными и экономически целесообразными.

Научная новизна заключается в изучении влияния вида флотореагента на устойчивость и дисперсность водовоздушной микродисперсии, создаваемой генератором, с целью получения устойчивой ультрадисперсной пены создания инновационной технологии переработки тонковкрапленного труднообогатимого сырья с использованием комбинированной микрофлотации, позволяющей улучшить флотацию минерального сырья, содержащего цветные металлы, повысить технологические показатели и снизить потери полезных компонентов с хвостами флотации.

Практическая значимость. Практическая значимость данной работы заключается в получении достоверных данных о флотационной обогатимости

полиметаллической руды и разработка экономически выгодной и эффективной технологической схемы обогащения с применением комбинированной микрофлотации.

Цели и задачи работы. Целью данной магистерской работы является усовершенствование технологии обогащения труднообогатимой полиметаллической руды с использованием метода комбинированной микрофлотации. В задачи исследований входят:

- анализ современного состояния и перспективы флотационного обогащения труднообогатимого тонковкрапленного сырья;
- получение водовоздушной микродисперсии флотационных реагентов в генераторе;
- изучение влияния частоты вращения генератора на крупность и устойчивость водо-воздушной микродисперсии;
- изучение влияния соотношения фаз: жидкость-газ на свойства микродисперсии;
- изучение свойств микродисперсии в зависимости от используемого флотореагента;
- изучение влияния природы получения пузырьков на мономинеральную флотацию цветных металлов различной дисперсности;
- изучение вещественного состава полиметаллического сырья Риддер-Сокольного месторождения;
- отработка реагентного режима флотации полиметаллического сырья Риддер-Сокольного месторождения с применением базовых реагентов;
- отработка реагентного режима флотации полиметаллического сырья Риддер-Сокольного месторождения с применением комбинированной микрофлотации;
- отработка реагентного режима флотации труднообогатимой руды Риддер-Сокольного месторождения с применением генератора водовоздушной микродисперсии и модифицированного пенообразователя.

1. Аналитический обзор

1.1. Анализ современного состояния и перспективы флотационного обогащения труднообогатимого тонковкрапленного сырья

Флотация, как метод обогащения минералов и очистки промышленных стоков известен более 100 лет. Ровно столько же существует проблема флотации мелких частиц [1,6,13]. Ещё в 1931 году А.М. Годен и др. [14] установили, что с уменьшением размера минеральных частиц в области менее 10 мкм их флотируемость (т.е. извлечение из воды, где они взвешены, с помощью всплывающих пузырьков газа) катастрофически падает. При этом уменьшается не только скорость флотационного процесса, но и его селективность, т.е. преимущественное извлечение частиц какого-либо одного сорта из флотируемой смеси. По мере истощения богатых месторождений и вовлечение в производство бедных и тонко вкрапленных руд, требующих для своего раскрытия тонкого измельчения, эта проблема приобретает всё большее значение. Достаточно сказать, что при обогащении руд цветных и редких металлов в хвостохранилища уходит до 40% полезного минерала.

Трудности обогащения полиметаллических руд обусловлены особенностями их вещественного состава. К основным из них относится необходимость очень тонкого измельчения некоторых продуктов обогащения. Невысокая эффективность флотационного извлечения из руд частиц микрометровых размеров является одной из важных причин больших потерь ценных компонентов на обогатительных фабриках. Решением данной проблемы занимаются обогатители по всему миру.

Необычное поведение шламов при флотации в значительной мере вытекает из специфических особенностей тонкоизмельченного материала. При измельчении твердых тел с ростом дисперсности происходит изменение ряда физических свойств вещества, в результате чего материал приобретает свойства, не присущие ему в крупнозернистом состоянии [13].

Установлено, что очень тонкое диспергирование в общем случае способствует резкому повышению реакционной способности вещества, увеличивается его растворимость, меняются скорости ряда гетерогенных процессов. Эффект изменения свойств твердого тела при этом обычно связывается не только с уменьшением крупности частиц и увеличением удельной поверхности продукта. Определенную роль играет также изменение удельной адсорбционной способности вещества и его поверхностной энергии [1,6].

Особенности поверхности минеральных частиц микродисперсных размеров обуславливаются тремя факторами:

- преимущественным переходом в этот класс крупности легко шламуемых минералов, особенно охристых, глинистых или лимонитизированных;

- изменением поверхности тонких частиц вследствие взаимодействия с водой и растворенными в ней веществами (кислородом и др.);

- влиянием на кристаллическую поверхность механических воздействий, приводящее в общем случае к разупорядочению решетки и изменению ее адсорбционной активности.

Плохая флотация минералов мельче 10-5 мкм объясняется тем, что эти частицы имеют очень небольшую вероятность столкновения с пузырьками воздуха во флотируемой пульпе, так как потоки воды, обтекающие пузырьками, легко увлекают частицы в сторону от последних.

Для флотации тонких частиц решающую роль играет вероятность их столкновения с пузырьками, а устойчивость закрепления имеет подчиненное значение в виду небольшой величины отрывающих сил [15].

Заметное улучшение флотации без предварительной дешламации руд может быть достигнуто введением, в дополнение к собирателю, аполярных масел (керосин, топливное масло и т.п.). Этот метод был назван эмульсионной или агломерационной флотацией. Значительное улучшение флотации отмечается при использовании масел в сочетании с жирнокислотными собирателями, однако с аминами положительного эффекта не наблюдается. Углеводородные масла могут увеличивать скорость флотации шламов или снижать их вредное влияние на флотацию более крупных частиц.

Ультрафлотация с помощью минералов-носителей заключается в создании условий налипания тонких частиц на зерна минералов флотационной крупности, при этом возникает необходимость подбора реагентного и гидродинамического режимов и регенерации минерала-носителя. Первоначально на этот метод возлагали большие надежды, однако повышенные расходы собирателя и трудности последующего отделения минерала-носителя от полезных минералов в значительной степени ограничили использование данного метода [16].

Для того, чтобы тончайшие частицы могли столкнуться с пузырьками, приходится их вначале флокулировать с помощью реагентов-собирателей, так называемая флокулярная флотация. Но флокуляция отличается небольшой избирательностью и таким путем не удастся качественно разделить тонкие частицы [17].

Улучшение селективности флотации шламов было достигнуто в лабораторных условиях при осуществлении процесса в вакуумной камере при флотации с помощью газов, выделившихся из раствора. Вероятность возникновения пузырька на частице не зависит от размера частицы, а вероятность удержания больше у частиц малых размеров. Следовательно, флотация частиц шламовых размеров газами, выделяющимися из раствора, при прочих равных условиях является более успешной [7, 18-19].

Одним из решений проблемы извлечения флотируемых частиц размером менее 25 мкм может быть применение в процессе флотации пузырьков воздуха, размер которых не превышает 50 мкм [8-9,20].

Исследования, проведенные еще в 60-х годах прошлого века, показали [21], что наличие в пульпе даже нескольких объемных процентов микропузырьков может существенно увеличить скорость флотационного процесса, осуществляемого в обычных пневмомеханических флотомашинах. Поскольку в современных флотационных машинах как импеллерного, так и колонного типов получение пузырьков менее 300 мкм практически невозможно, то для насыщения пульпы необходимым для ускорения флотации количеством микропузырьков можно использовать внешний источник микропузырьков, применяемый при турбулентной микрофлотации. В результате можно реализовать т.н. «комбинированную микрофлотацию», в которой будут сочетаться как обычная, так и микрофлотация. Важное значение для реализации как «турбулентной микрофлотации», так и «комбинированной микрофлотации» играет наличие подходящего источника микропузырьков.

Высокая эффективность комбинированной микрофлотации была обнаружена еще в 70-х годах прошлого века, однако, ее реализация была невозможна из-за отсутствия подходящего метода генерирования микропузырьков. Все исследования в этом направлении сводятся к подбору эффективного способа получения микропузырьков в виде газовой эмульсии.

Известны способы получения газовой эмульсии электрохимическим [22-23], эжекторными методами, когда для выделения газа из пульпы ее прокачивают через эжектор [24] или щелевые аэраторы [25]. В работе [26] предлагают смешивать пульпу с сатурированной воздухом водой при атмосферном давлении и полученную смесь пульпы с сатурированной водой обрабатывают током воздушных пузырьков флотационных размеров. Автором [27] предложено редуцирующее сопло для воды под давлением для генерирования микропузырьков во флотационной установке.

Как уже отмечалось, метод микрофлотации был впервые предложен и теоретически обоснован применительно к ультрадисперсным рудным минералам. Более 10 лет этот метод в комбинации с флокуляцией используется для очистки промышленных стоков от тонкодисперсных загрязнений. Недавно в лабораториях компаний "Англоплатинум" (ЮАР), "Рио Тинто" (Австралия) и "Коминко" (Канада) экспериментально было подтверждено, что "турбулентная микрофлотация" позволяет достигать не только высокой степени извлечения (до 90%) полезного компонента тонкодисперсных рудных минералов (-15 мкм), но и высокого качества концентрата. Результаты пилотных испытаний турбулентной микрофлотации при обогащении тонкодисперсных угольных суспензий (крупностью -0,2 и -0,045 мм) на ОФ Свято-Варваринская (Украина) свидетельствуют об относительной эффективности метода. Следует особо отметить, что, поскольку микропузырьки обладают эффективностью захвата ультратонких частиц на несколько порядков более высокой, чем пузырьки в обычных флотационных машинах, расход воздуха на единицу объема пульпы при

турбулентной микрофлотации уменьшается на порядок по сравнению с обычной флотацией. Это позволяет, повысить извлечение угольных частиц в пенный продукт. Известны схема и оборудование фирмы Iris (США) для микрофлотации углей в промышленных масштабах на колоннах большого диаметра. Проблему генерации микропузырьков в необходимых объемах также решили специалисты СЕТСО, разработав устройство, устанавливаемое непосредственно на трубе питания флотомашин любого типа. Частично проблемы генерации микропузырьков решили во флотомашинах Pneufлот (ФРГ) и во флотационных системах Jameson Cell (Австралия) [28].

В настоящее время многие производители флотационных машин пытаются снабдить их средствами для получения мелких пузырьков. В частности, фирма «IMHOFLOT» предлагает пневматические флотационные машины, в которых пузырьки образуются с помощью пористых тел на основе керамики. Основной недостаток таких машин состоит в том, что пористые тела очень быстро закупориваются, требуют очистки воздуха, а пузырьки при этом имеют недостаточно малый размер (не менее 200 мкм).

Предлагаются также флотационные машины колонного типа (например, фирмой СРТInc., Canada), в которых пузырьки генерируются путем пропускания воздуха под высоким давлением через тонкий кольцевой зазор. Образующаяся при этом тонкая пленка воздуха в воде рвется на отдельные пузырьки. Как и в предыдущем случае, такие устройства быстро закупориваются, требуют постоянной очистки, дороги в эксплуатации, а также, самое главное, не позволяют получать пузырьки размером менее 200 мкм.

Существует несколько уже используемых в промышленности методов получения микропузырьков в виде водо-воздушной микроэмульсии, однако наиболее перспективными для применения во флотации представляются методы, в которых смесь воздуха и раствора вспенивателя пропускается через динамический миксер, так как в этом случае достигается максимальная объемная концентрация микропузырьков при минимальном расходе вспенивателя. Для решения поставленной задачи предложены установки - диспергаторы [29-32] для предварительного диспергирования газа в жидкости с получением микропузырьков размером 10-50 мкм. Данный метод используется при флотации тонкого угля и при очистке сточных вод. Но широкого применения данный метод в практике обогащения пока не нашло. Это связано в большей степени с недостаточно высокой устойчивостью дисперсности микропузырьков.

Поскольку получение и применение столь мелких пузырьков во флотационных машинах известных конструкций практически невозможно, совместно с украинскими учеными (ЧП «Турбофлотсервис», г. Киев) был разработан принципиально новый метод флотации ультратонкодисперсных минеральных частиц, получивший название «турбулентная микрофлотация». Принципиальное отличие этого метода от традиционной флотации заключается в формировании флотационных воздушных пузырьков вне

обрабатываемой пульпы в виде концентрированной водо-воздушной эмульсии, которая затем смешивается с пульпой и пропускается через специальный турбулентный миксер (флотореактор). Во флотореакторе осуществляется минерализация микропузырьков и их последующее укрупнение за счёт коалесценции и агрегирования в крупные флотокомплексы, содержащие тысячи исходных микропузырьков, что способствует их быстрому отделению от пульпы седиментацией. Разработанный метод был успешно проверен в 2013-2014 гг. на «Полтавском» и «Ингулецком» ГОКах (Украина) в процессах обратной флотации ультратонкодисперсного магнетитового концентрата железной руды [33]. Результаты испытаний показали, что даже незначительный расход микропузырьков (0,4-0,8 об. %) позволяет на 6-12% увеличить скорость флотационного процесса. Получены положительные результаты, превосходящие традиционные флотационные способы обогащения – в 2-3 раза увеличилась производительность и существенно снизились потери металла в хвостах.

Стоит отметить, что в последнее время появился ряд публикаций, например, [11, 34-35], в которых исследуется влияние на процесс флотации пузырьков не только микронного, но и субмикронного или нано- размера, а также разных комбинаций нано-, микро- и милли- пузырьков. В отличие от «комбинированной микрофлотации», в которой микропузырьки, по существу, действуют как флотационные носители, при «комбинированной нанофлотации» нанопузырьки действуют скорее, как собиратели и/или флокулянты. В первом случае, как предполагается в [34], нанопузырьки, зародившиеся и выросшие на поверхности больших частиц, или прикрепившиеся к ним, увеличивают вероятность последующего закрепления этих частиц на более крупных пузырьках в процессе их столкновения за счет эффекта коалесценции уже закрепившихся на поверхности частиц нанопузырьков и свободных крупных пузырьков.

Во втором случае, как предполагается в [11], нанопузырьки действуют как флокулянты, связывающие мелкие частицы в более крупные агрегаты и, таким образом, увеличивают вероятность их закрепления на миллипузырьках. В отличие от микропузырьков, нанопузырьки, как показано в [34], значительно сильнее увеличивают эффективность флотации крупных фракций, чем мелких, что свидетельствует о разных механизмах влияния микро- и нанопузырьков на флотационный процесс.

1.2 Методы получения микропузырьков

Анализ научно-технической литературы показывает, что для повышения эффективности переработки сложных, тонковкрапленных руд необходимо применение новых способов обогащения, позволяющих повысить эффективность флотации рудных минералов. Особые трудности связаны с переработкой шламовой части измельченной руды, которая, как

правило, обогащена цветными, редкими и благородными металлами. На тонкие классы руды, флотация которых малоэффективна, приходится до 25-30 % потерь цветных и благородных металлов. Решение этой проблемы может быть достигнуто путем применения в процессе флотации пузырьков двух размеров: микро- и макропузырьков. Задача сводится к поиску способа получения микропузырьков, исследования в этом направлении остаются актуальными. Немаловажное значение имеет еще пространственное разделение процессов образования микропузырьков и флотации, что позволит устранить процесс нагревания пульпы во флотокамере и коалесценции пузырьков, стабилизируя процесс образования однородных по крупности микродисперсии. Все это в совокупности обеспечивает улучшение показателей флотации глубоко измельченных до микродисперсного состояния руд, более полное извлечение тонкодисперсных ценных минералов.

Существует несколько аналогов способа получения микропузырьков в процессе флотации. Известен способ пневматической флотации с предварительной аэрацией пульпы в центробежных флотационных машинах. Реализация данного способа осуществляется в машине с предварительной аэрацией фирмы "KHD Humboldt Wedag AG", включающей камеру, в верхней части которой установлены "щелевые аэраторы", через которые тангенциально подается исходная пульпа, а в центральной - патрубок для разгрузки концентрата [36]. Недостатком данного способа является невозможность обеспечения равномерной дисперсности пузырьков в центробежном потоке пульпы, вследствие чего снижается эффективность флотации.

Известен способ, предусматривающий одновременное использование для флотации пузырьков двух размеров, где микропузырьки получены в результате выделения газа из пульпы при ее прокачке через эжектор, а макропузырьки в результате гидродинамического воздействия потоков пульпы на поверхность пузырьков в камере флотомшины [37]. Недостатком данного способа флотации является необходимость прокачки всего объема пульпы через эжектор, для получения микропузырьков. Кроме того, твердые частицы, находящиеся в пульпе, приводят к быстрому износу конусных насадок эжектора, что снижает долговечность, надежность устройства.

Известны диспергаторы для получения микропузырьков в виде водовоздушной микроэмульсии [38-40]. Однако применение их во флотации имеет ряд недостатков: сложность конструкции; получение на выходе из диспергатора пузырьков широкого спектра размеров и пропуск достаточно крупных пузырьков, нарушающих процесс пенообразования во флотационных аппаратах.

Общеизвестно, что в классической флотации тоже используются пузырьки разных видов: макро-, средние и микропузырьки. Макропузырьки - транспортируемые пузыри имеют размер 300-500 мкм, средние - 70-300 мкм

и микро - менее 70 мкм. Но, при обычной флотации объем макропузырьков (>90 %) значительно превосходит объем средних и микропузырьков.

Ученые АО «Институт металлургии и обогащения» имеют опыт по апробации схем обогащения с применением различных модифицированных реагентов, дополнительной аппаратуры для переработки полиметаллических, золотосодержащих руд [41-42]. Разработаны различные технологии переработки техногенного сырья, позволяющие снизить потери полезных компонентов в отвальных хвостах, сократить расходы реагентов, снизить время флотации [43-44]. Есть опыт применения комбинированной микрофлотации с использованием лабораторного генератора водовоздушной микроэмульсии (ГВВМЭ) [45-46]. Было проведено тестирование ГВВМЭ в заводской лаборатории ТОО "Altyntau Kokshetau" при флотации золотосодержащей руды Васильковского месторождения: содержание золота в концентрате увеличивается на 10,72 %, время флотации сокращается на 20-28% [47]. При тестировании ГВВМЭ в Исследовательском Центре АО «Полюс Красноярск» в процессе флотации руды Олимпиадинского месторождения отмечена положительная динамика увеличения технологических показателей обогащения золотосодержащих руд, хвостов месторождений «Олимпиадинское», «Благодатное».

В данной работе предлагается на стадии воздушной аэрации в минерализованную пульпу подавать раствор пенообразователя в виде водовоздушной микродисперсии, содержащей от 66 до 70 % газа в виде пузырьков с размером 20-70 мкм. При использовании микродисперсии во флотосистеме образуются также пузырьки разных размеров: микропузырьки 20-70 мкм, средние пузыри за счет сцепления нескольких микропузырьков (так называемый каскад пузырьков) и макропузырьки, генерируемые аэратором флотомашины. Микропузырьки и каскад пузырьков, являясь мобильными, более флотоактивными, притягивают к себе тонкодисперсные минералы размером менее 30 мкм, налипают на поверхность макропузырьков, которые всплывают на поверхность пульпы в виде флотоконцентрата.

Для получения водовоздушной микродисперсии применяется инновационное оборудование - генератор, позволяющий регулировать оптимальное соотношение макро- и микропузырьков, стабилизировать дисперсность микропузырьков и который может быть легко имплементирован в любую флотационную схему, колонного, механического или пневмомеханического типа, превращая ее в систему комбинированной микрофлотации.

Выводы по 1 главе

Таким образом, одним из решений проблемы флотации тонкодисперсных частиц может быть применение в процессе флотации пузырьков воздуха, размер которых не превышает 50 мкм, которые в силу высокой флотационной активности будут играть роль флотоносителей,

связывающих микрочастицы ценного минерала с большими пузырьками, генерируемыми самой флотомашинной, что позволит более полно извлекать тонкодисперсные шламовые ценные минералы.

Задача сводится к поиску способа получения микропузырьков, исследования в этом направлении остаются актуальными. Немаловажное значение имеет еще пространственное разделение процессов образования микропузырьков и флотации, что позволит устранить процесс нагревания пульпы во флотокамере и коалесценции пузырьков, стабилизируя процесс образования однородных по крупности микродисперсии.

2 Получение водовоздушной микродисперсии флотационных реагентов и изучение их физико-химических свойств

2.1 Получение водовоздушной микродисперсии флотационных реагентов в генераторе

Схема и основные части генератора водовоздушной микродисперсии

В основе генератора используется уже известный принцип, при котором смесь воздуха и раствора вспенивателя пропускается через динамический миксер, так как в этом случае достигается максимальная объемная концентрация микропузырьков при минимальном расходе вспенивателя [45-47]. На рисунке 1 представлена схема системы генерации водо-воздушной микродисперсии.

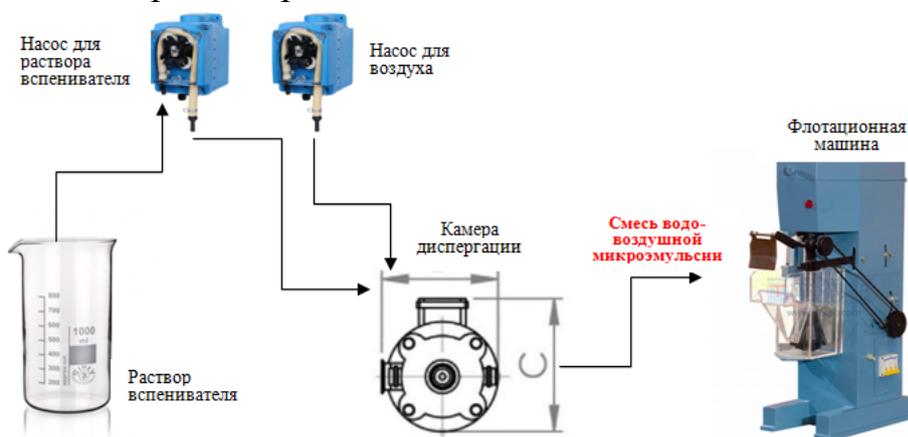


Рисунок 1 - Схема системы генерации водо-воздушной микродисперсии

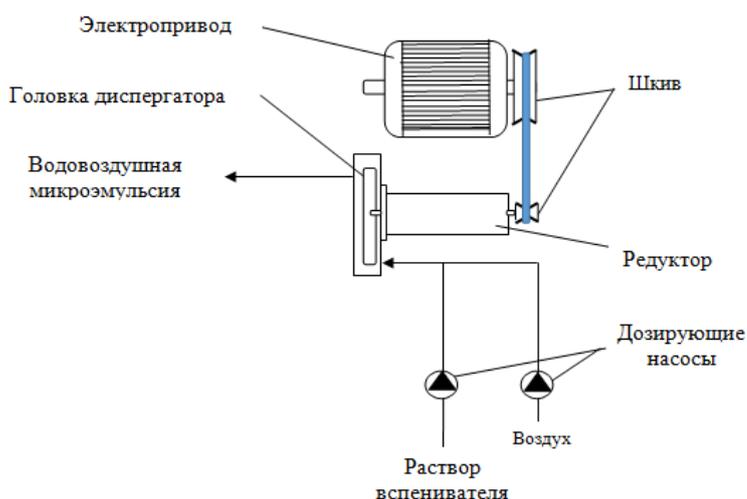


Рисунок 2 - Функциональная схема лабораторного генератора водо-воздушной микродисперсии

На рисунке 2 представлена технологическая схема лабораторного генератора водо-воздушной микроэмульсии. Основным элементом оборудования является головка диспергатора, внутри которой с помощью

высокоскоростного электропривода создается сильно неоднородное гидродинамическое поле, с помощью которого смесь воздуха и концентрированного раствора вспенивателя преобразуется в микродисперсию воздуха в водной фазе.

Вспомогательными элементами оборудования являются:

- два дозирующих насоса, один из которых предназначен для подачи воздуха, а другой - для подачи раствора пенообразователя, причем дозирование должно производиться таким образом, чтобы создать благоприятные условия для получения пузырьков с размером 20-70 мкм;

- редуктор, предназначенный для уменьшения частоты вращения ведомого вала при одновременном увеличении крутящего момента;

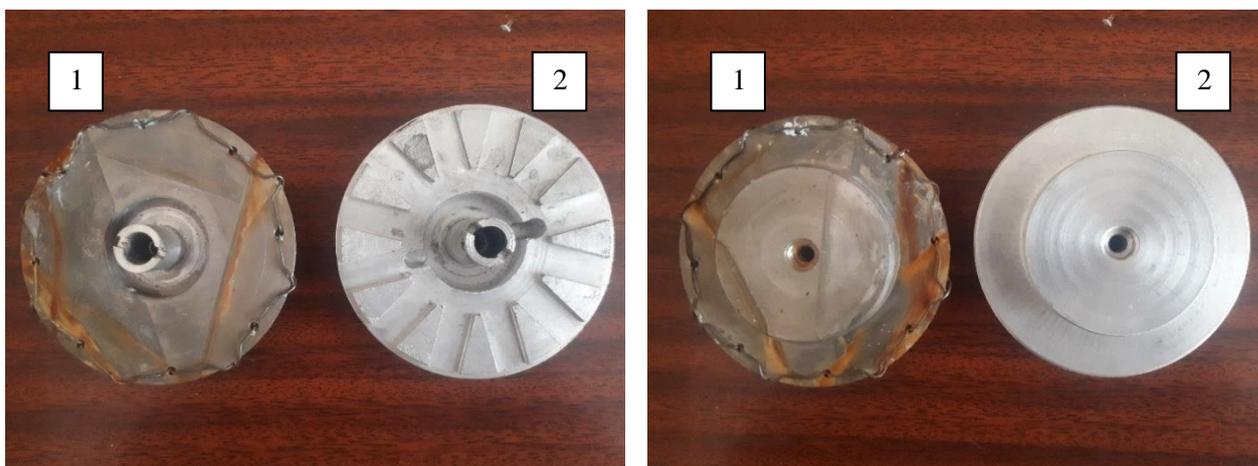
- шкив для перемещения по ремню от электрического двигателя. Назначение шкива: передать нагрузку с оси на ремень или же наоборот. При помощи шкивов создается бесшумный плавный ход. Они уменьшают вибрацию узлов, и как следствие, поломку узлов, а так же дают нешумный, плавный ход;

- электропривод - управляемая электромеханическая система, предназначенная для преобразования электрической энергии в механическую и обратно и управления этим процессом.

Принцип работы лабораторного генератора (рисунок 3) состоит в том, что с помощью дозирующих насосов воздух и раствор пенообразователя поступает через входной патрубок головки диспергатора в камеру смешивания. В ней осуществляется дополнительное перемешивание смеси с помощью роторной части головки диспергатора. За счёт высокой окружной скорости смесь отбрасывается к периферии и переходит через щель между ротором и статором. На пути перемещения к периферии устанавливается проволочное ограждение, способствующее диспергированию пузырьков на мелкие пузырьки. Дисперсность пузырьков зависит от величины турбулентной силы.

Проведены исследовательские работы по изучению влияния различных видов ротора на дисперсность получаемой водо-воздушной микроэмульсии.

На рисунке 3 представлены два вида конструкции роторной части диспергатора. Первая конструкция представлена слева на рисунке 3а, б под номером 1. Особенностью этой конструкции является то, что диспергирование происходит за счет разбивания пузырьков воздуха проволочной сеткой, которая изготовлена из прочной нержавеющей стали. Диаметр проволоки составляет 0,5 мм. Вторая конструкция представлена справа на рисунке 3 а, б под номером 2. Особенностью этой конструкции является то, что диспергирование происходит за счет разбивания пузырьков воздуха благодаря выступам - лопастям ротора.



а

б

а - вид сверху; б - вид снизу

Рисунок 3 - Виды роторной части диспергатора

Вторая конструкция состоит из 12 одинаковых радиально расположенных выступов треугольной формы. Лопастные выступы расположены во внутренней стороне ротора, обратная сторона - плоская.

Крышки камеры диспергатора также были выполнены двух конструкций: с четырьмя и шестью стержневыми выступами, которые представлены на рисунке 4. Внутренний диаметр между стержнями 88 мм. В крышке камеры диспергирования с 4 стержнями расстояние между стержнями составило 56 мм; с 6 стержнями - 42 мм.



а



б

а - с четырьмя стержневыми выступами; б - с шестью стержневыми выступами

Рисунок 4 - Виды крышек камеры диспергирования

Проведены тестовые опыты по изучению влияния конфигурации роторной части и крышки диспергатора на размер водо-воздушной микроэмульсии. Для получения микропузырьков раствор пенообразователя бутилового аэрофлота натрия (БТФ) с концентрацией 0,5 г/л был пропущены через генератор. Затем растворы реагентов исследовались на анализаторе размеров частиц Photocor Compact.

Условия проведения 1 опыта: тип роторной части - лопастной, крышка с 4 стержнями, концентрация БТФ - 0,05 %. Результаты, полученные на анализаторе, представлены на рисунке 20. Второй опыт отличается конструкцией крышки - с 6 стержнями. Условия 3 опыта: тип роторной части - сеточный, крышка с 6 стержнями, концентрация БТФ - 0,05 %. Четвертый опыт отличается от третьего конструкцией крышки - с 4 стержнями. На рисунках 5-8 представлены распределение частиц микропузырьков, полученных при различных конструкциях ротора и крышки диспергатора.

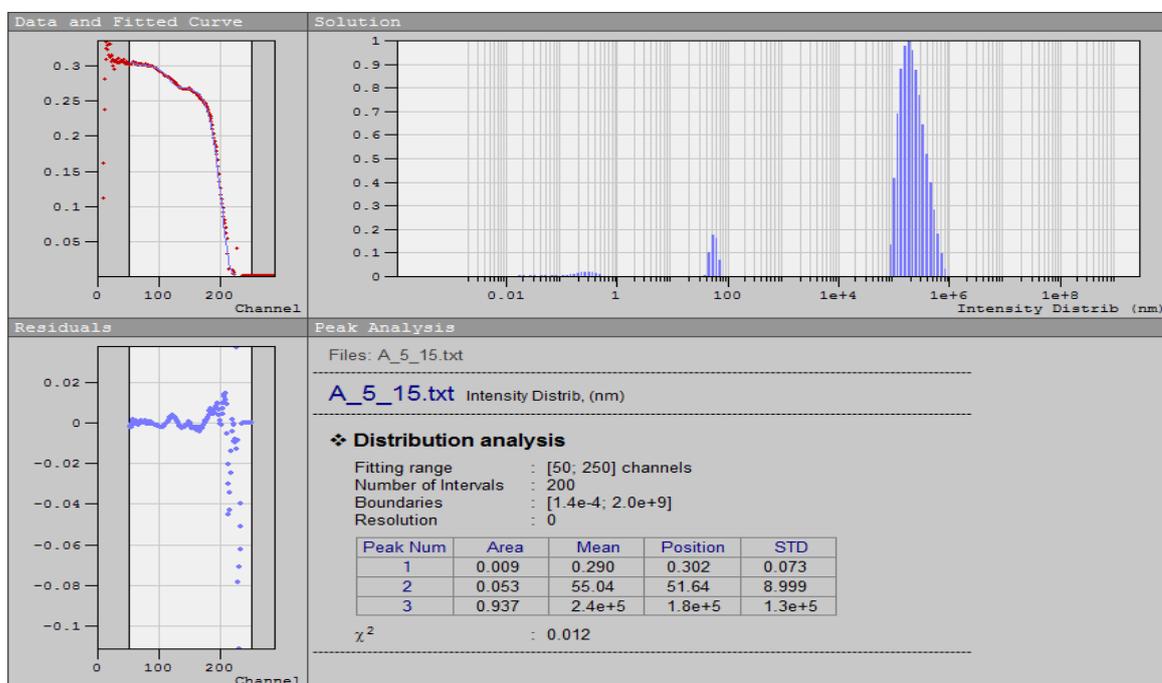


Рисунок 5 - Распределение частиц микропузырьков (лопастной тип ротора, крышка с 4 стержнями, концентрация БТФ 0,05 %)

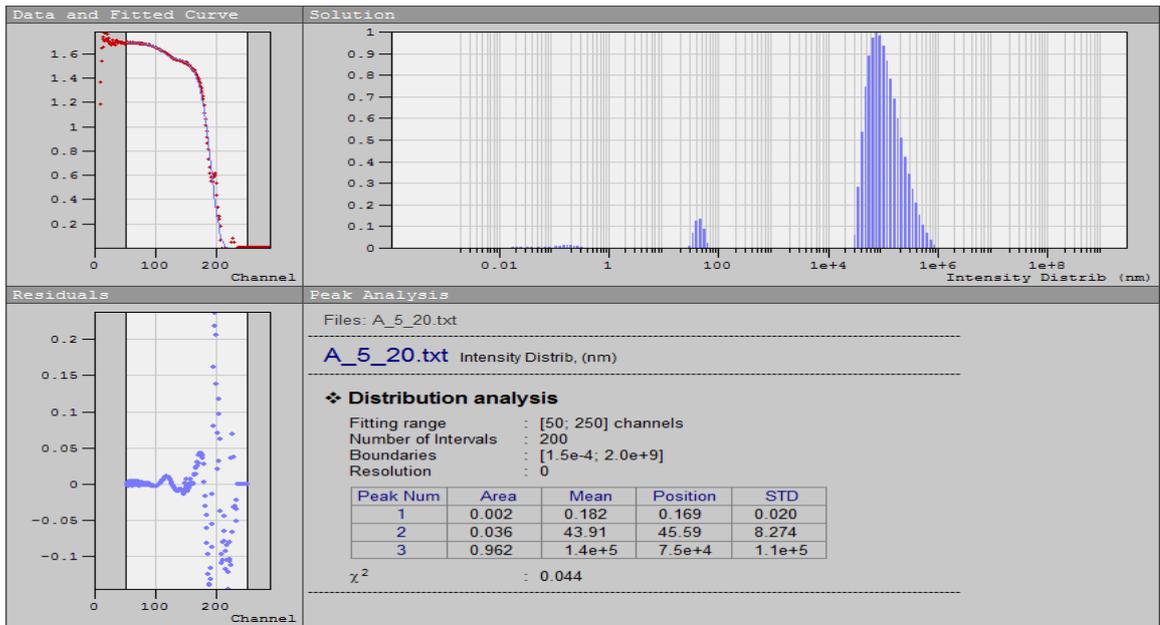


Рисунок 6 - Распределение частиц микропузырьков (лопастной тип ротора, крышка с 6 стержнями, концентрация БТФ 0,05 %)

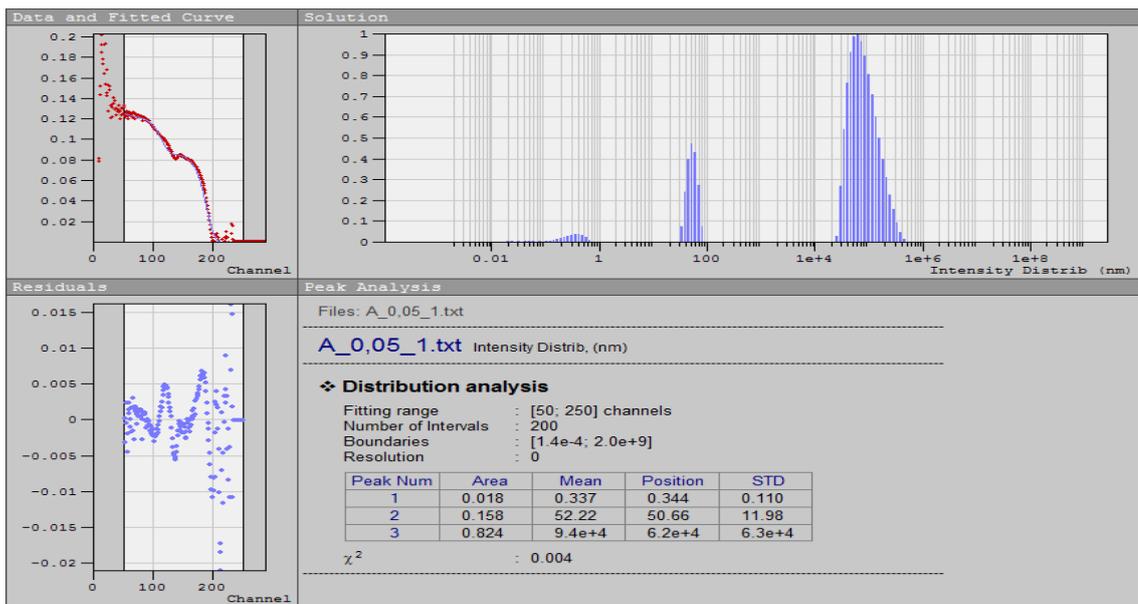


Рисунок 7 - Распределение частиц микропузырьков (сеточный тип ротора, крышка с 6 стержнями, концентрация БТФ 0,05 %)

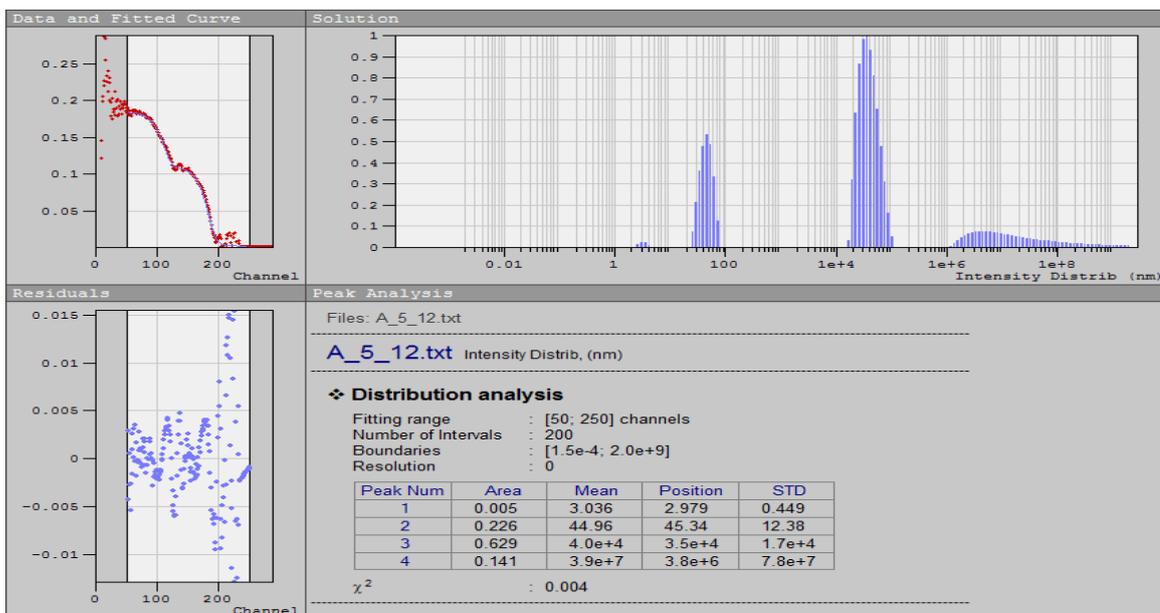


Рисунок 8 - Распределение частиц микропузырьков (сеточный тип ротора, крышка с 4 стержнями, концентрация БТФ 0,05 %)

Результаты показывают, что:

- в 1 опыте средний размер частиц микропузырьков равняется 240 мкм (графа Mean, позиция 3), содержание (доля) этих частиц 93,7 % (графа Area, позиция 3).

- во 2 опыте средний размер частиц микропузырьков равняется 140 мкм (графа Mean, позиция 3), содержание (доля) этих частиц 96,2 % (графа Area, позиция 3).

- в 3 опыте средний размер частиц микропузырьков равняется 94 мкм (графа Mean, позиция 3), содержание (доля) этих частиц 82,4 % (графа Area, позиция 3).

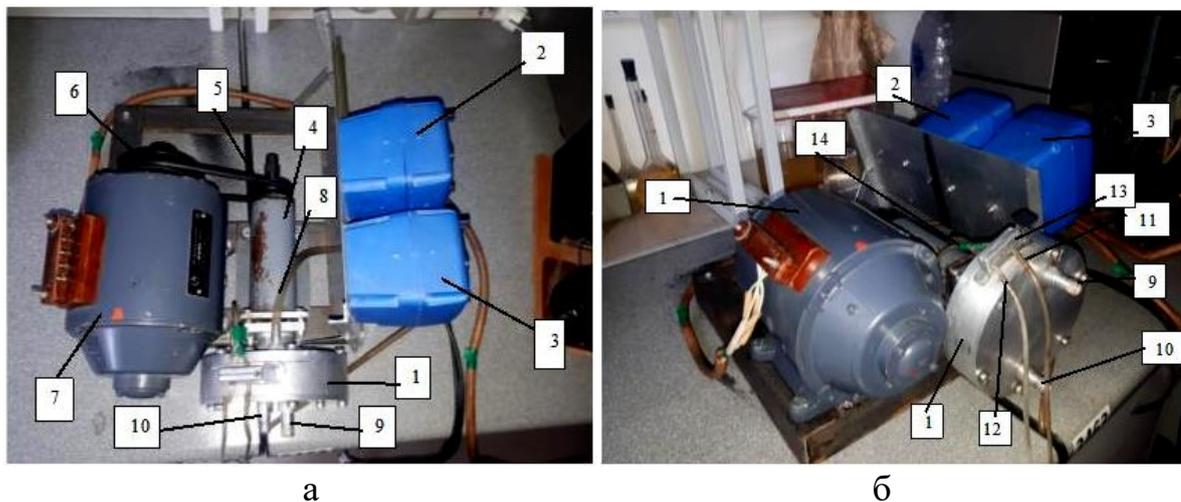
- в 4 опыте средний размер частиц микропузырьков равняется 40 мкм (графа Mean, позиция 3), содержание (доля) этих частиц 62,9 % (графа Area, позиция 3).

При использовании лопастного типа ротора диспергатора микропузырьки получены относительно крупных размеров: 140-240 мкм при доле этих частиц 93,7-96,2 %.

При использовании сеточного типа ротора получены микропузырьки следующих размеров: 94 мкм при доле этих частиц 82,4 % (крышка с шестью стержнями); 40 мкм при доле этих частиц 62,9 % (крышка с четырьмя стержнями).

Таким образом, степень измельчения пузырьков воздуха зависит от вязкости среды, вида пенообразователя, типа используемого диспергирующего элемента и окружной скорости. Оптимальный зазор между ротором диспергатора и крышкой камеры диспергирования не должна превышать 3 мм.

Изготовлен корпус и основные узлы оборудования по получению водовоздушной микродисперсии (рисунок 9). Предусмотрена камера охлаждения для головки диспергатора, предотвращающая нагрев камеры диспергатора и водовоздушной смеси. Наилучшие результаты диспергации получены при использовании сеточного типа ротора.



1 - головка диспергатора; 2 - дозатор воздуха; 3 - дозатор раствора вспенивателя; 4 - редуктор (держатель головки диспергатора); 5 - шкив редуктора; 6 - шкив электродвигателя; 7 - электродвигатель; 8 - вход для воздуха и раствора вспенивателя в диспергатор; 9 - выход для охлаждающей воды; 10 - вход для охлаждающей воды, 11 - выход водовоздушной микродисперсии (ВВМД) в режиме настройки; 12 - выход ВВМД в режиме нагрузки; 13 - переключатель режимов; 14 - выход ВВМД из диспергатора

Рисунок 9 - Генератор водо-воздушной микродисперсии
(а-вид сверху, б - вид сзади)

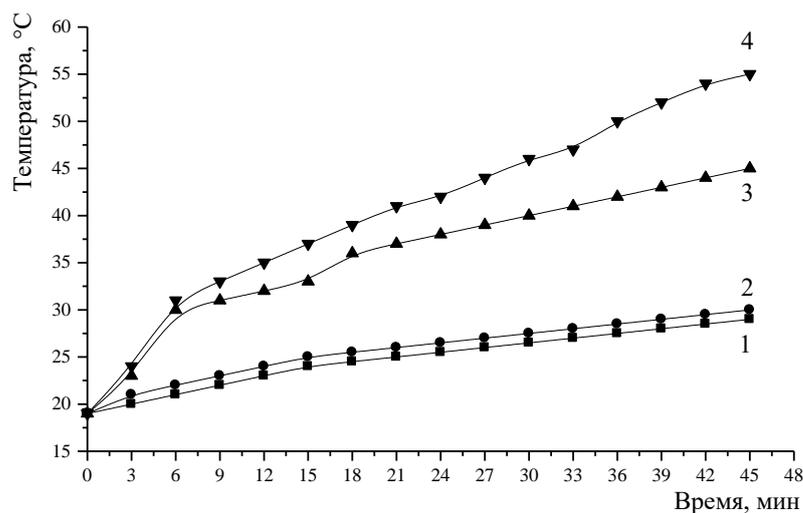
Для получения микропузырьков определенной дисперсности немаловажно правильное дозирование расходов воздуха и раствора вспенивателя. При правильном дозировании головка диспергатора формирует микропузырьки определенной дисперсности. Коэффициент использования дозирующих насосов колеблется между 0,5-0,8 (50-80 %). Для дозирования воздуха и раствора вспенивателя нами выбран насос типа ВЗ-V 12-1 Норпрен с производительностью 12 л/ч (12000 мл/час = 3,3 мл/сек). В соответствии с техническими характеристиками генератора, приведенными выше, максимальный расход воздуха и раствора вспенивателя составляют 12 л/ч. Отсюда следует, что максимальная производительность по водовоздушной микроэмульсии не превышает 24 л/ч при объемной концентрации микропузырьков 50 об.%. При этом, максимальная производительность генератора по тонкодисперсному воздуху составит 12 л/ч. Поскольку максимально достижимая объемная концентрация микропузырьков воздуха в воде не превышает 66 об.%, то отсюда следует, что минимальный расход вспенивателя при максимальной производительности по воздуху не менее, чем 6,2 л/ч.

Изменение температуры пульпы от времени работы флотомашины, оборудования по получению водовоздушной микродисперсии и от частоты вращения генератора

Проведены тестовые испытания по получению водовоздушной микродисперсии. В первую очередь изучены изменения температуры пульпы во флотационной камере в зависимости от времени работы флотомашины, от времени работы оборудования по получению водовоздушной микродисперсии и от частоты вращения генератора. Результаты приведены в таблице 1. Результаты зависимости температуры пульпы от времени работы флотомашины и генератора приведены на рисунке 10.

Таблица 1 - Зависимость температуры пульпы от времени работы флотомашины, оборудования по получению водовоздушной микродисперсии и от частоты вращения генератора

Время, мин	Температура пульпы в камере флотомашины, °С			
	Лаб.ФЛ (2000)	Генератор, об/мин		
		4000	5000	6000
0	19	19	19	19
3	20	21	23	24
6	21	22	30	31
9	22	23	31	33
12	23	24	32	35
15	24	25	33	37
18	24,5	25,5	36	39
21	25,0	26	37	41
24	25,5	26,5	38	42
27	26,0	27,0	39	44
30	26,5	27,5	40	46
33	27,0	28,0	41	47
36	27,5	28,5	42	50
39	28	29	43	52
42	28,5	29,5	44	54
45	29	30	45	55



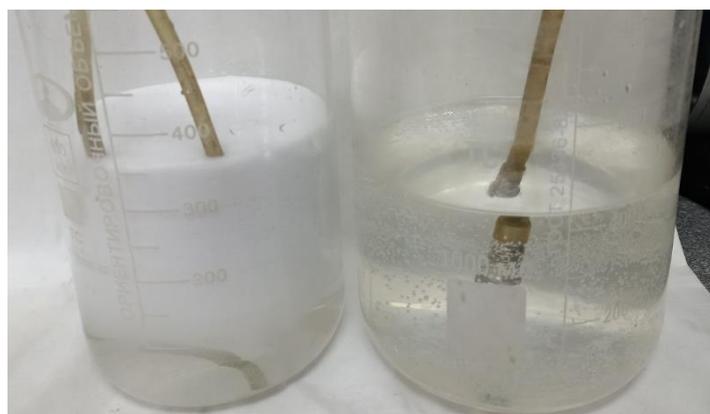
1 - лабораторная флотомашина; 2 - с генератором, 4000 об/мин;
 3 - с генератором, 5000 об/мин; 4 - с генератором, 6000 об/мин

Рисунок 10 - Зависимость температуры пульпы от времени работы флотомашины и от разных режимов работы генератора

Результаты показывают, что с течением времени происходит нагрев пульпы, причем при использовании генератора с увеличением количества оборотов нагрев происходит интенсивнее (кривые 3,4 на рисунке 10). При проведении лабораторных тестовых опытов в течение недлительного периода времени нагревание головки и соответственно нагрев пульпы не оказывают отрицательного влияния на качество водо-воздушной микроэмульсии. При проведении укрупненных испытаний, при длительных испытаниях необходимо наличие дополнительного охлаждающего корпуса для охлаждения головки диспергатора.

2.2 Изучение влияния частоты вращения генератора на крупность и устойчивость водовоздушной микродисперсии

Введено такое понятие как устойчивость водовоздушной микродисперсии - это время, затраченное на разрушение эмульсии. Для этого раствор флотореагента объемом 500 дм³ пропускают через генератор и получают водовоздушной микроэмульсию (рисунок 11а). Затем включают перемешивающее устройство, секундомер и засекают время, потраченное на разрушение микроэмульсии до определенного состояния (рисунок 11б). Время, затраченное на разрушение, показывает стабильность водовоздушной микродисперсии. Крупность водовоздушной микродисперсии определяли на анализаторе размеров частиц Photocor Compact.



а

б

Рисунок 11- Вид водовоздушной микродисперсии до (а) и после (б) разрушения

Изучено влияние частоты вращения генератора на крупность и устойчивость водовоздушной микродисперсии, полученного из 0,5 г/л раствора бутилового аэрофлота, результаты приведены в таблице 2.

Таблица 2 - Зависимость крупности и устойчивости водовоздушной микродисперсии от частоты вращения генератора

Частота вращения генератора, об/мин	Устойчивость, сек	Крупность, мкм
2000	10	460
3000	20	189
4000	35	124
5000	45	103
6000	80	40
7000	120	32
8000	140	19

Результаты показывают, что при низких частотах вращения устойчивость водовоздушной микродисперсии незначительна. При частоте вращения выше 6000 об/мин начинается действие квантационного процесса: пропорционально увеличивается устойчивость микродисперсии и снижается размер микроэмульсии.

Результаты показывают, что:

- при частоте вращения 2000 об/мин средний размер частиц микропузырьков равняется 460 мкм, содержание (доля) этих частиц 80,4 % (рисунок 12);

- при частоте вращения 6000 об/мин средний размер частиц микропузырьков равняется 40 мкм, содержание (доля) этих частиц 62,9 % (рисунок 13);

- при частоте вращения 8000 об/мин средний размер частиц микропузырьков равняется 19 мкм, содержание (доля) этих частиц 81,0 % (рисунок 14).

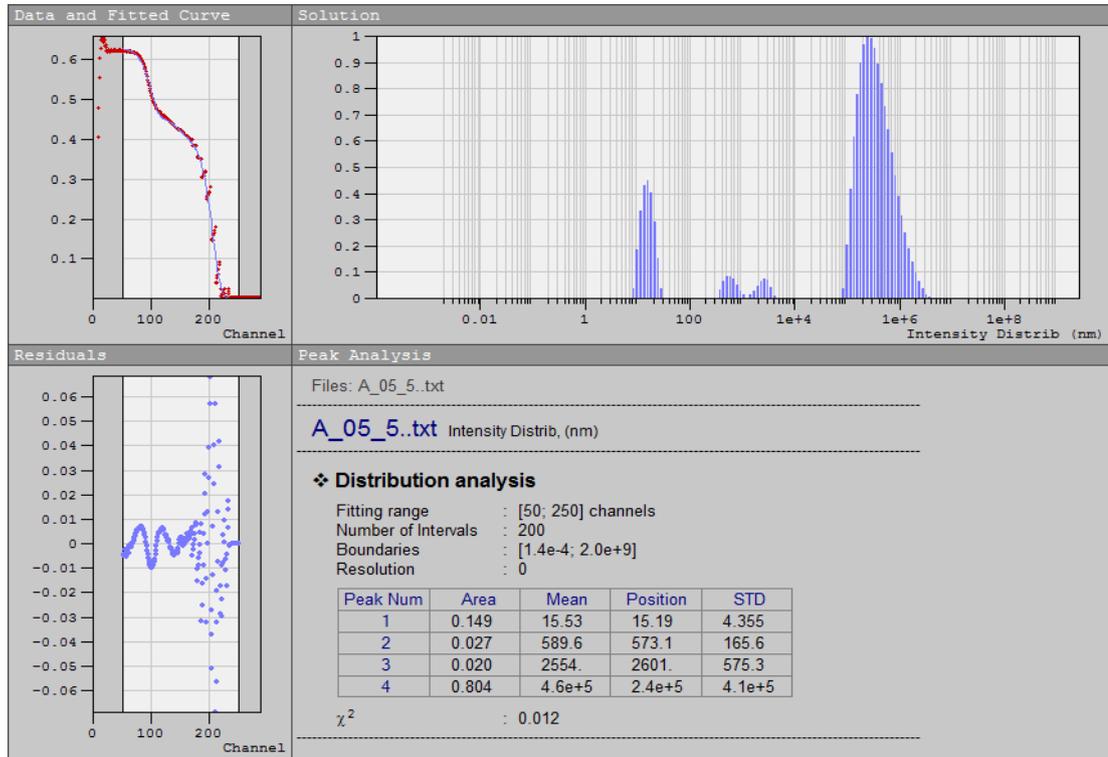


Рисунок 12- Распределение частиц микропузырьков (2000 об/мин)

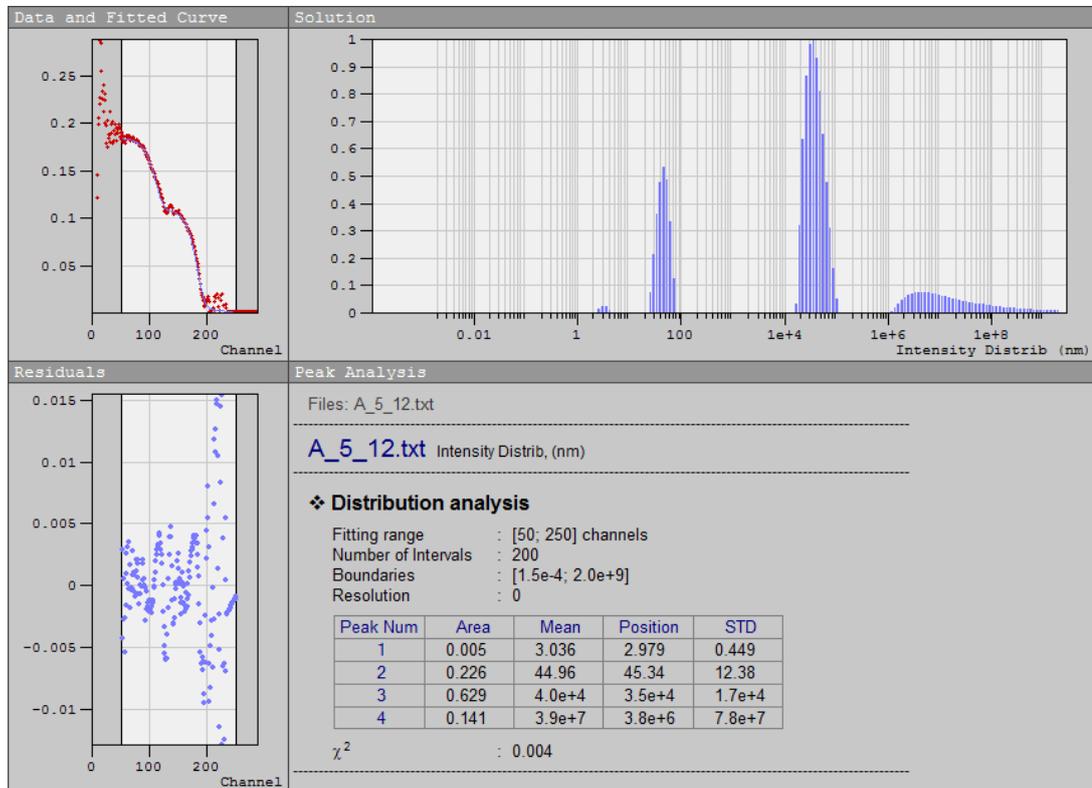


Рисунок 13-Распределение частиц микропузырьков (6000 об/мин)

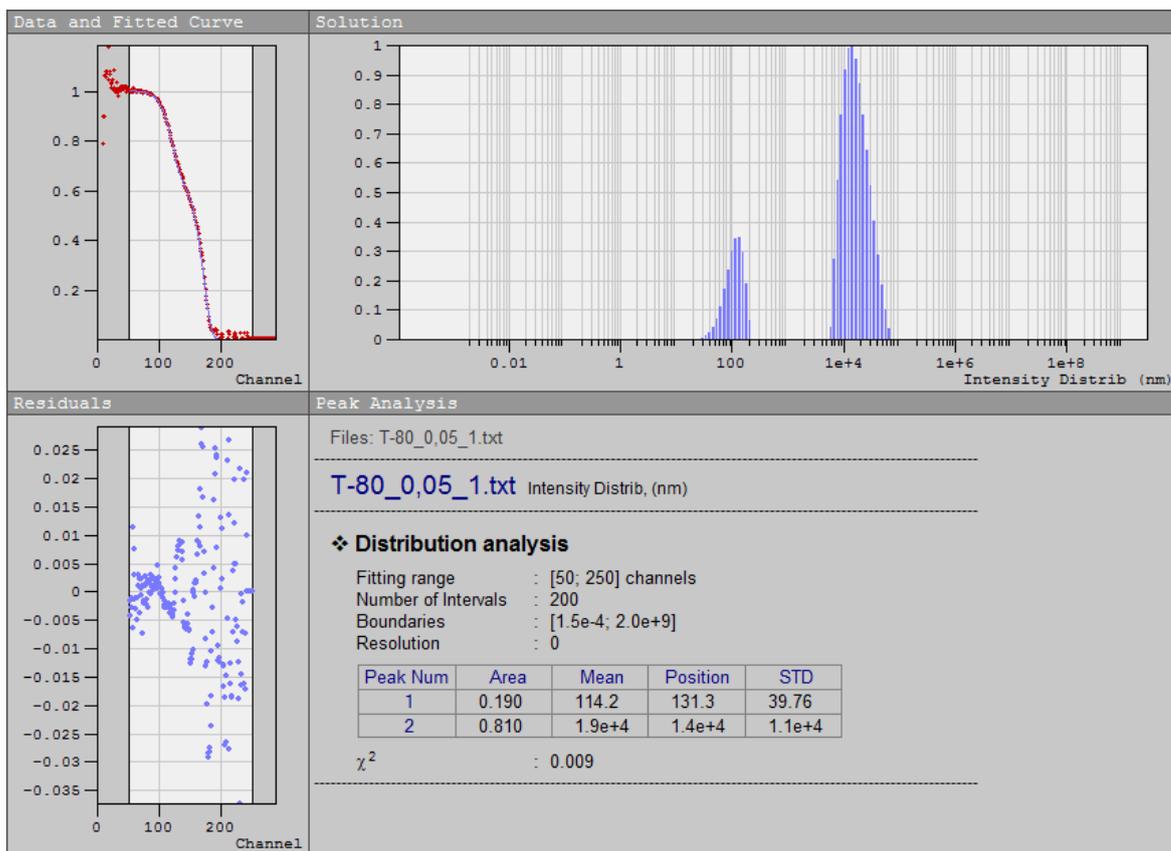


Рисунок 14- Распределение частиц микропузырьков (8000 об/мин)

2.3 Изучение влияния соотношения фаз: жидкость-газ на свойства микродисперсии

Изучено влияние соотношения фаз: жидкость-газ на свойства водовоздушной микродисперсии. Исследованы разные соотношения фаз Ж:Г, оно варьировалось Ж:Г=1:0,75; Ж:Г=1:1; Ж:Г=1:1,25; Ж:Г=1:1,5. В качестве реагента использовали бутиловый аэрофлот натрия, флотанол С-7, Б-ТЭТА при концентрации 0,5 г/л. Кроме того, испытания проведены при различной производительности насосов. В таблице 3 приведены результаты влияния соотношения фаз жидкость-газ на крупность полученной водовоздушной микродисперсии при различном ее выходе (производительности).

На рисунках 15-17 представлены зависимости средней крупности водовоздушной микродисперсии, полученных из растворов реагентов БТФ, С-7, Б-ТЭТА, от соотношения фаз жидкость-газ.

Результат анализов показывает, что изменения соотношения фаз жидкость—газ влияет на конечную крупность водовоздушной микродисперсии. При соотношении фаз жидкость—газ 1:1,5 средняя крупность водовоздушной микродисперсии увеличивается для всех растворов флотореагентов в сравнении с другими соотношениями фаз жидкость-газ. Это свидетельствует о том, что повышенная подача газовой фазы, чем жидкой фазы, ухудшает свойства водовоздушной микродисперсии.

Таблица 3 - Крупность водовоздушной микродисперсии при различном соотношении фаз жидкость-газ и разной производительности микродисперсии

Соотношение фаз жидкость-газ	Производительность насоса			
	6 л/ч (1,65 мл/сек) (50%)	7,2 л/ч (2 мл/сек) (60%)	9,6 л/ч (2,7мл/сек) (80%)	12 л/ч (3,3 мл/сек) (100%)
БТФ				
1:0,75	32	40	59	70
1:1	33	41	60	73
1:1,25	35	45	61	
1:1,5	63	84		
С-7				
1:0,75	101	104	116	133
1:1	103	107	122	142
1:1,25	105	109	125	
1:1,5	135	155		
Б-ТЭТА				
1:0,75	86	89	100	117
1:1	90	93	104	123
1:1,25	93	95	107	
1:5	115	129		

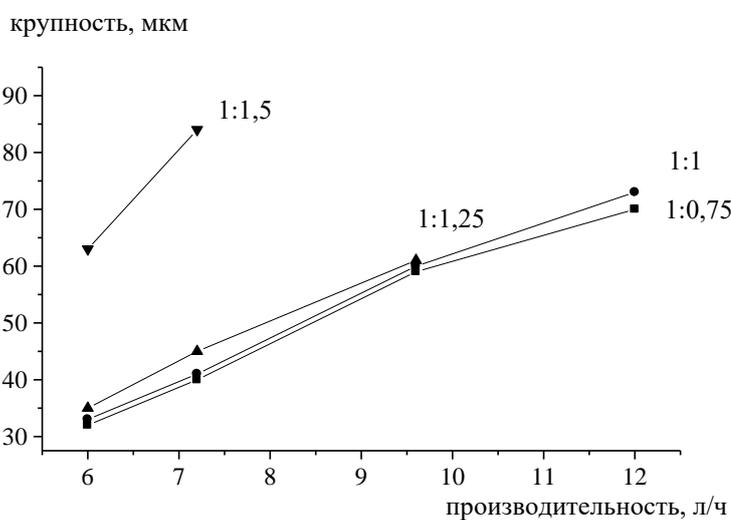


Рисунок 15 -Зависимость средней крупности водовоздушной микродисперсии, полученной из 0,5 г/л раствора БТФ, от соотношения фаз жидкость-газ при разной производительности насоса

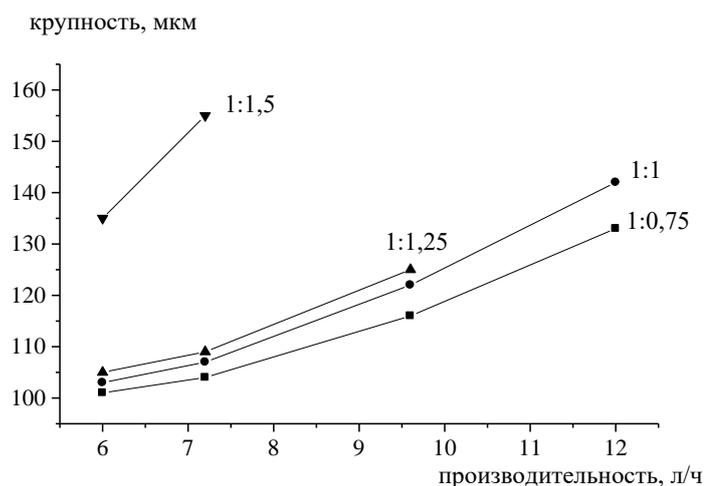


Рисунок 16 -Зависимость средней крупности водовоздушной микродисперсии, полученной из 0,5 г/л раствора С-7, от соотношения фаз жидкость-газ при разной производительности насоса

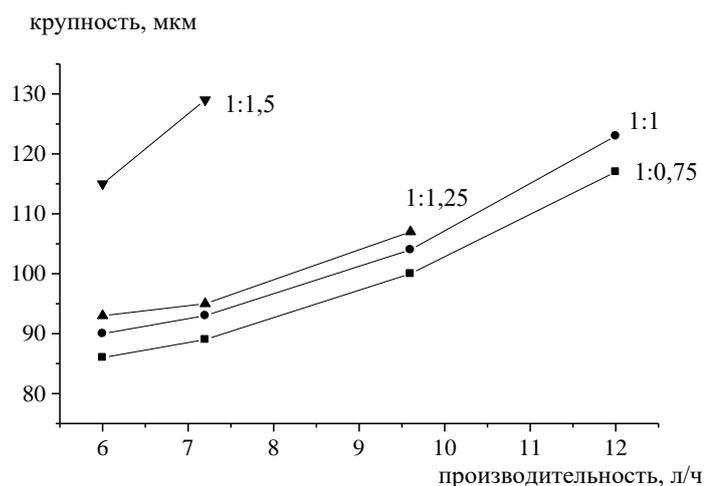
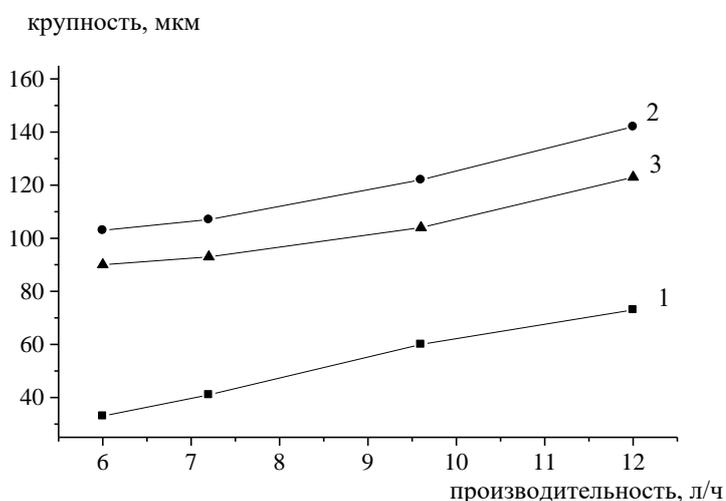


Рисунок 17 -Зависимость средней крупности водовоздушной микродисперсии, полученной из 0,5 г/л раствора Б-ТЭТА, от соотношения фаз жидкость-газ при разной производительности насоса

При соотношениях фаз жидкость—газ, равных 1:0,75, 1:1 и 1:1,25, конечная средняя крупность водовоздушной микродисперсии близка друг к другу. Для получения оптимальной крупности водовоздушной микродисперсии необходимо правильно отрегулировать производительность генератора (насосов) и соотношение фаз жидкость—газ. Правильная подача газовой фазы, оптимальное соотношение фаз жидкость—газ оказывают огромное влияние при формировании водовоздушной микродисперсии.

Повышенная подача газовой фазы даёт увеличение количества микропузырьков с меньшим расходом жидкой фазы (раствора реагента). Для получения высоких показателей в процессе флотации важны не только конечная крупность водовоздушной микродисперсии, но и количества создаваемой микродисперсии, т.е. нужно создать определенный объём водовоздушной микродисперсии. Конечный объём создаваемой водовоздушной микродисперсии по количеству должен обеспечить извлечение всех полезных частиц шламного класса, которые не адсорбируются стандартными пузырьками в стандартном режиме.

Анализ полученных результатов показывает, что оптимальным для всех видов реагентов является соотношение фаз жидкость—газ, равным 1:1. На рисунке 18 показана зависимость средней крупности водовоздушной микродисперсии, полученных из 0,5 г/л растворов реагентов БТФ, С-7, Б-ТЭТА при соотношении фаз жидкость-газ 1:1.



1 - раствор БТФ, 2 - раствор С-7, 3 - раствор Б-ТЭТА

Рисунок 18 - Зависимость средней крупности водовоздушной микродисперсии, полученных из 0,5 г/л растворов реагентов БТФ, С-7, Б-ТЭТА при соотношении фаз жидкость-газ 1:1, от производительности

Анализ полученных результатов (рисунок 18) показывает, что изменения крупности водовоздушной микродисперсии для всех видов флотореагентов от производительности генератора имеет одинаковый характер, с увеличением производительности средняя крупность водовоздушной микродисперсии равномерно растет.

Производительность насосов, регулирующих подачу жидкой и газовой фаз, в конечном счете влияет на конечную крупность водовоздушной микродисперсии и оптимальную работу генератора.

Соотношение фаз жидкость-газ можно варьировать в интервалах 1:0,75, 1:1, 1:1,25. Испытания проводились при следующих значениях производительности генератора: 6 л/ч; 7,2 л/ч; 9,6 л/ч; 12 л/ч. Установлена

наиболее оптимальная производительность генератора: 6 л/ч; 7,2 л/ч. При этих значениях производительности из 0,5 г/л раствора БТФ получена водовоздушная микродисперсия средней крупности 33-41 мкм; из 0,5 г/л раствора С-7 - средней крупности 103-107 мкм; из 0,5 г/л раствора Б-ТЭТА-средней крупности 90-93 мкм.

При повышенной производительности жидкой фазы (9,6 л/ч; 12 л/ч) средняя крупность водовоздушной микродисперсии, полученной из 0,5 г/л раствора БТФ, составляет 60-73 мкм; из 0,5 г/л раствора С-7 - 122-142 мкм; из 0,5 г/л раствора Б-ЭТА- 104-123 мкм.

Анализ результатов показывает, что при производительности 9,6 л/ч; 12 л/ч увеличивается крупность водовоздушной микродисперсии для раствора БТФ на 100 %; для раствора С-7 на 20%; для раствора Б-ЭТА на 15%. Таким образом, для создания оптимальной крупности водовоздушной микродисперсии производительность генератора должна колебаться в пределах 6-7,2 л/ч.

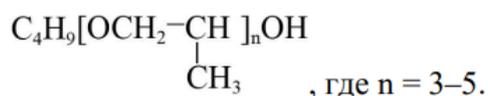
2.4 Изучение свойств микродисперсии в зависимости от используемого флотореагента

Максимальная производительность генератора по воздуху, а также дисперсность пузырьков существенным образом зависят от типа и концентрации флотореагента. В процессе исследований работы генератора водовоздушной микроэмульсии исследовались нижеследующие реагенты: БТФ, Т-92, ОПСБ, С-7, Б-ТЭТА, МИБК, Senfroth 580 (Южная Африка). Приведем некоторые характеристики этих реагентов.

БТФ - аэрофлот натриево-бутиловый ($(C_4H_9)_2S_2O_2PNa$, молярная масса 264,3 г/моль) представляет собой водный раствор натриевой соли дибутилдифтиофосфорной кислоты.

Флотореагент - оксаль Т-92 представляет собой продукт высококипящих побочных продуктов производства диметилдиоксана. Флотореагент-оксаль представляет собой нерасслаивающуюся горючую жидкость со слабым ароматическим запахом, содержащую более 50 % диоксановых спиртов и эфиров и около 50 % смесь 1, 2, 3 атомных спиртов. Оксаль представляет собой светло-коричневую жидкость со слабым приятным запахом, умеренно растворимую в воде, плотностью 1,06...1,08 г/см³ при 20 °С.

ОПСБ (окись пропилен спирт бутиловый) - смесь монобутиловых эфиров полипропиленгликолей $C_4H_9-O-(C_3H_6O)_nH$. Флотореагент ОПСБ является неионогенным пенообразователем. ОПСБ сильный пенообразователь, наиболее эффективен при флотации сростков или крупных частиц медно-молибденовых руд и алмазов. ОПСБ применяется также в тех случаях, когда в качестве собирателя используются углеводородные масла. Ниже приведена структурная формула ОПСБ.



Флотореагент Flotanol C7 - вспениватель на основе алкилполигликоля для флотации минералов. Вспениватели Flotanol C7 для сульфидных руд разработаны с учетом оптимальной селективности и эффективны с рудами, содержащими цветные металлы, минералы платиновой группы, драгоценные металлы.

Бутилтриэтиленetetрамин Б-ТЭТА чаще всего используют в качестве собирателя или модифицирующей добавки. Он в своем составе имеет четыре аминогруппы с четырьмя бутильными радикалами, хорошо растворяется в воде. Адсорбируясь на поверхности пузырьков, изменяет их отрицательные заряды на положительные, тем самым, интенсифицируется процесс флотации.

МИБК - метил изобутил карбинол, молекулярная формула: $(\text{CH}_3)_2\text{CHCH}_2\text{CH}(\text{OH})\text{CH}_3$. Метилизобутилкарбинол представляет собой бесцветную и прозрачную устойчивую жидкость со слабым раздражающим запахом, токсичная, мало растворимая в воде, и может растворяться в большинстве органических растворителей.

Вспениватели серии Senfroth представляют собой смесь вспенивателей, торгующиеся под названиями Senfroth 200, Senfroth 516 и Senfroth 580, поставляются в жидкой форме. Они состоят из разного количества спирта, полиэтиленгликоли и этиленгликоли. Количественное соотношение этих составляющих конфиденциальны.

В реагенте Senfroth 580 содержание спирта колеблется 37-50 %, гликольэфира – 38-51 %, гликоля ≥ 9 %, плотность 0,903-0,96. В реагенте, использованном в исследовании, содержание спирта составляет 44,87 %, гликольэфира – 44,28 %, гликоля – 10,85 %, плотность 0,929.

В области образования пузырьков делаются попытки создать больше микропузырьков. Уменьшение размера пузырьков увеличивает эффективность флотации. Асимметричность строения молекул пенообразователя и невысокая растворимость в воде способствуют концентрации их на поверхности раздела фаз Ж-Г (или Ж-Т), где они ориентированы так, что их гидрофильная группа обращена в воду, а гидрофобная (углеводородный радикал) – к менее полярной фазе (воздух, масло). Имея низкое поверхностное натяжение, пенообразователи снижают поверхностное натяжение воды и образуют гидратный слой вокруг пузырька воздуха. Это резко повышает устойчивость пузырьков воздуха, что позволяет сохранять их исходную дисперсность [48-50]. Существенным для поверхностной активности вещества является расположение полярных групп в молекуле. Молекулы пенообразователя адсорбируются тем активнее, чем резче выражена асимметричность расположения в молекуле гидрофильных и гидрофобных групп, предельным местом расположения полярной группы является конец углеводородного радикала. Кроме устойчивости к

коалесценции пузырьки должны быть упругими и эластичными, т.е. деформироваться. Эластичность зависит от длины углеводородного радикала, особенно высокой эластичностью обладают средние гомологи ряда одноатомные спирты.

В таблице 4 представлена зависимость устойчивости и крупности водовоздушной микродисперсии от вида и концентрации флотореагента при оптимальной частоте вращения генератора 6000 об/мин.

Таблица 4 - Зависимость устойчивости и крупности водовоздушной микродисперсии от вида и концентрации флотореагента при оптимальной частоте вращения генератора 6000 об/мин

Температура, °С	Размер пузырька и жизнь пузырька при разных концентрации (г/л)							
	0,05		0,5		5,0		50	
	Устойчивость пузырьков, сек	Размер частиц, мкм	Устойчивость пузырьков, сек	Размер частиц, мкм	Устойчивость пузырьков, сек	мкм	Устойчивость пузырьков, сек	Размер частиц, мкм
1	2	3	4	5	6	7	8	9
БТФ								
20	55	90	80	42	70	65	70	65
30	45	100	80	43	65	73	70	69
40	40	110	80	41	65	76	70	67
50	35	120	70	65	65	75	70	66
60	35	123	70	68	65	72	65	73
70	30	142	60	81	60	83	65	75
80	25	150	50	85	50	93	55	86
Т-92								
20	35	123	60	80	80	42	35	128
30	35	121	60	83	75	53	35	125
40	30	145	60	81	70	58	35	126
50	30	141	60	84	65	73	35	124
60	30	140	60	82	60	82	30	142
70	30	144	55	88	55	87	20	159
80	30	145	55	89	50	96	20	162
ОПСБ								
20	30	143	55	85	60	81	60	83
30	30	141	55	87	60	83	55	88
40	30	144	55	89	60	83	55	89
50	30	143	55	86	55	89	50	87
60	30	142	55	87	55	87	45	103
70	30	141	50	98	55	88	45	105
80	30	140	50	97	55	86	40	113
С-7								
20	30	143	40	112	70	55	75	55
30	30	142	40	116	70	57	75	54
40	25	153	40	114	65	75	70	58
50	25	156	40	113	65	74	70	59
60	25	151	30	145	60	82	65	72

Продолжение таблицы 4

1	2	3	4	5	6	7	8	9
70	25	154	30	147	55	88	65	71
80	25	152	30	143	55	87	65	71
Б- ТЭТА								
20	20	180	50	91	60	83	75	53
30	20	185	50	94	55	89	75	54
40	20	188	50	93	55	88	70	59
50	20	181	50	93	50	95	70	60
60	20	189	45	103	50	94	70	59
70	20	187	40	117	45	105	65	73
80	20	185	35	125	45	104	60	81
МИБК								
20							10	
30							10	
40							10	
50							10	
60							10	
70							10	
80							10	
SENFROTH 580								
20					65	73	65	74
30					60	85	65	73
40					60	84	60	86
50					55	89	60	84
60					55	90	60	85
70					55	89	55	87
80					50	97	45	62

Результаты таблицы 4 показывают, что:

- оптимальной для бутилового аэрофлота является концентрация 0,5 г/л, при которой крупность частиц колеблется 43-58 мкм (t 20-40 °С), устойчивость пузырьков составляет 80 сек;

- оптимальной для Т-92 является концентрация 5 г/л, при которой крупность частиц колеблется 41-43 мкм (t 20-40 °С), устойчивость пузырьков составляет 70-80 сек;

- оптимальной для ОПСБ является концентрация 5 г/л и более, при которой крупность частиц колеблется 81-83 мкм (t 20-40 °С), устойчивость пузырьков составляет 60 сек;

- оптимальной для флотанола С-7 является концентрация 5 г/л, при которой крупность частиц колеблется 55-75 мкм (t 20-40 °С), устойчивость пузырьков составляет 65-70 сек;

- оптимальной для Б-ТЭТА является концентрация 50 г/л, при которой крупность частиц колеблется 53-59 мкм (t 20-40 °С), устойчивость пузырьков составляет 70-75 сек;

- МИБК при концентрации 50 г/л дает малоустойчивые микропузырьки, которые в течение 10 сек быстро разрушаются;

- вспениватель Senfroth 580 при концентрации 5 г/л и более дает микропузырьки с устойчивостью 60-65 сек, крупность частиц колеблется 73-85 мкм (t 20-40 °С).

По способности создавать водовоздушную микродисперсию флотореагенты можно расположить в следующий ряд: МИБК→ Senfroth 580→ Б-ТЭТА→ОПСБ→ флотанол С-7→Т-92→бутиловый аэрофлот.

2.5 Изучение влияния применения водовоздушной микродисперсии на мономинеральную флотацию цветных металлов различной дисперсности

Изучено влияние применения водовоздушной микродисперсии раствора пенообразователя на мономинеральную флотацию цветных металлов различной дисперсности.

Исследования проведены на сульфидных минералах цветных металлов (халькопирит, галенит, сфалерит, пирит). Отобранные для флотационных опытов минералы измельчали в фарфоровой ступке, навеска составляла 5 грамм. Пробы сульфидных минералов хранились в эксикаторах. Флотацию проводили в лабораторной флотомашине типа ФЛ объемом 50 см³. Корпус машины был изготовлен из оргстекла. Скорость вращения импеллера составляла 1100 об/мин. Минералы перемешивали с водой, вакуумировали, после чего подавали реагенты и проводили обработку в агитационном и аэрационном режимах. Схема мономинеральной флотации представлена на рисунке 19.

В качестве собирателя применяли бутиловый ксантогенат натрия при постоянном расходе 5 мг/дм³, вспенивателя– Т-92 при расходе 15 мг/дм³. Исследования по флотуемости сульфидных минералов проводились с применением дополнительной подачи микропузырьков. Растворы реагентов готовили непосредственно перед флотационными опытами, рН среды контролировали рН-метром типа рН-150 М. Величину рН регулировали едким натром и серной кислотой.

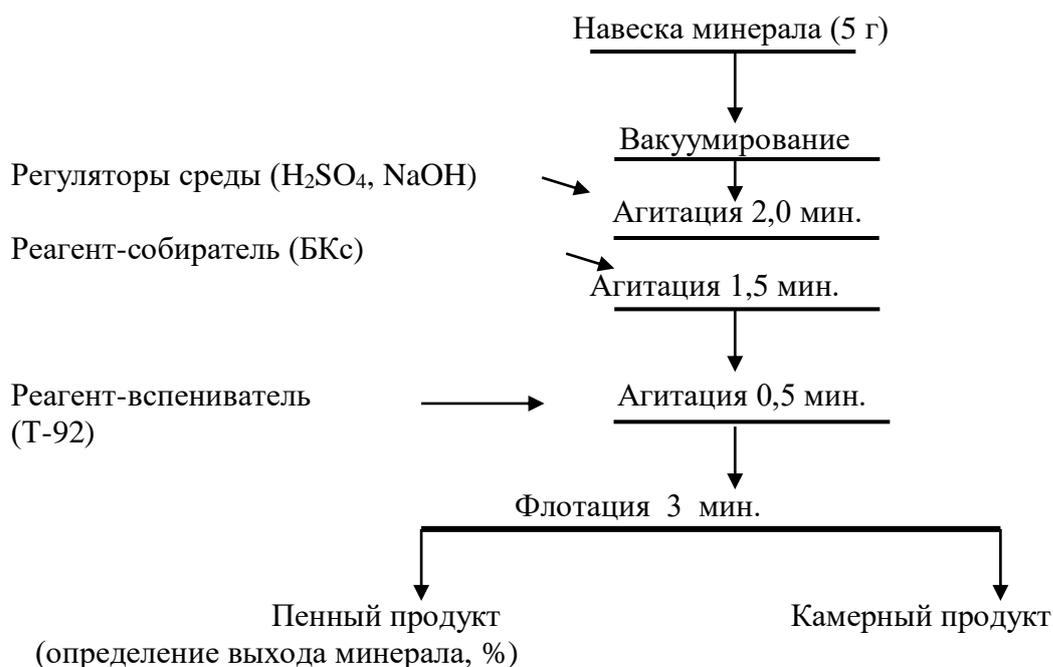
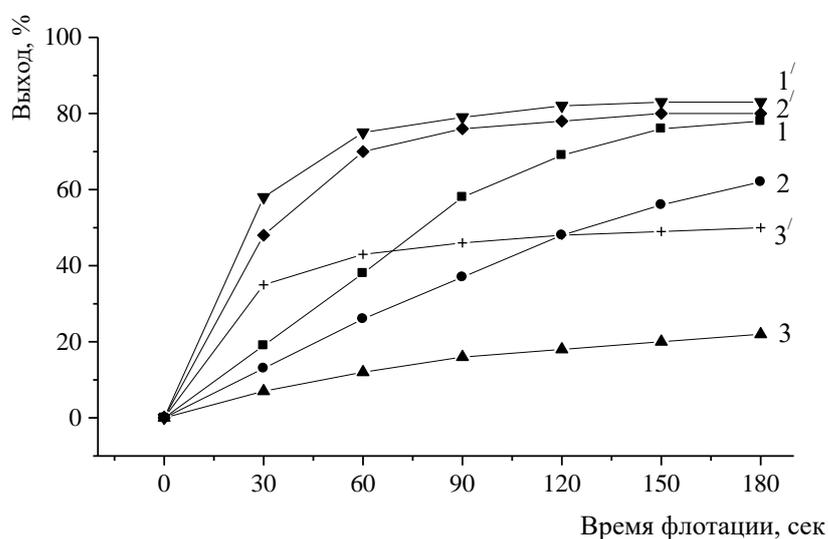


Рисунок 19 – Схема мономинеральной флотации

Мономинеральная флотация проводилась при различной дисперсности минералов халькопирита, галенита, сфалерита и пирита: $-0,074+0,044$ мм; $-0,044+0,020$ мм; $-0,020+0$ мм. Результаты мономинеральной флотации в зависимости от времени представлены на рисунках 20-23 и в таблицах 5-8.



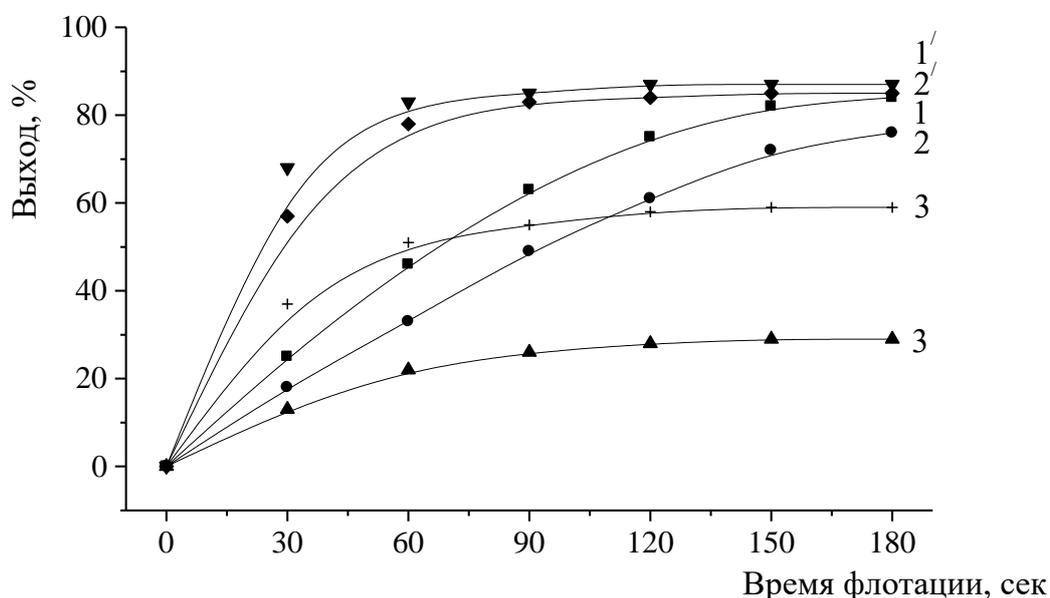
1) $-0,074+0,044$ мм; 2) $-0,044+0,020$ мм; 3) $-0,020+0$ мм

Рисунок 20 – Флотация халькопирита разных классов дисперсности с применением базового режима (1;2;3) и микропузырьков (1';2';3') в зависимости от времени флотации при pH=8

Таблица 5 – Флотация халькопирита разных классов дисперсности с применением базового режима и микропузырьков в зависимости от времени флотации

Время флотации, с	Выход, % (базовый режим)			Выход, % (с применением микропузырьков)		
	-0,074 +0,044 мм	-0,044 +0,020 мм	-0,020 +0 мм	-0,074 +0,044 мм	-0,044 +0,020 мм	-0,020 +0 мм
0	0	0	0	0	0	0
30	19	13	7	58	48	35
60	38	26	12	75	70	43
90	58	37	16	79	76	46
120	69	48	18	82	78	48
150	76	56	20	83	80	49
180	78	62	22	83	80	50

Результаты исследований показали, что при флотации халькопирита дисперсностью $-0,074+0,044$ мм с дополнительным применением микропузырьков выход минерала увеличивается с 78 до 83 %; при дисперсности $-0,044+0,020$ мм выход минерала увеличивается с 62 до 80 %; при дисперсности $-0,020+0$ мм – с 22 до 50 %.



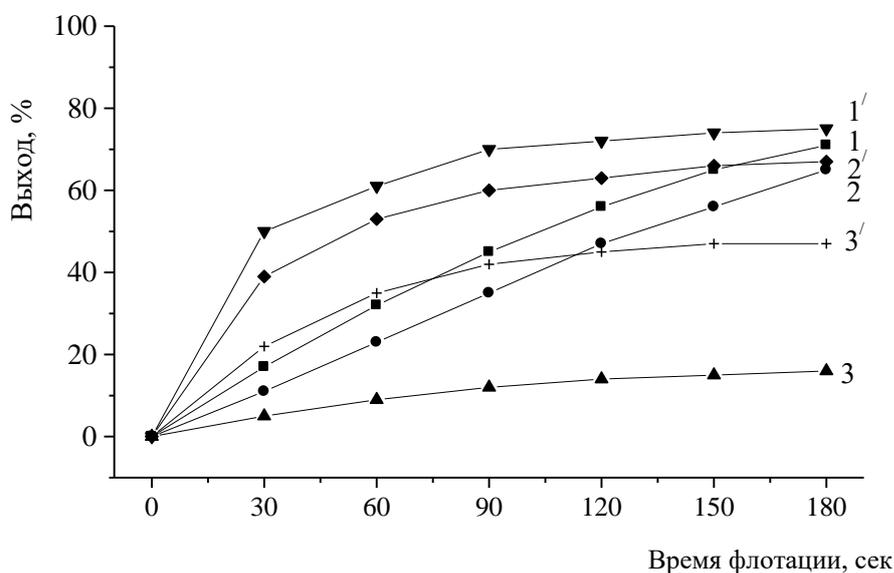
1) $-0,074+0,044$ мм; 2) $-0,044+0,020$ мм; 3) $-0,020+0$ мм

Рисунок 21 – Флотация галенита разных классов дисперсности с применением базового режима (1;2;3) и микропузырьков (1';2';3') в зависимости от времени флотации при pH=8

Таблица 6 – Флотация галенита разных классов дисперсности с применением базового режима и микропузырьков в зависимости от времени флотации

Время флотации, с	Выход, % (базовый режим)			Выход, % (с применением микропузырьков)		
	-0,074 +0,044 мм	-0,044 +0,020 мм	-0,020 +0 мм	-0,074 +0,044 мм	-0,044 +0,020 мм	-0,020 +0 мм
0	0	0	0	0	0	0
30	25	18	13	68	57	37
60	46	33	22	83	78	53
90	63	49	26	85	83	56
120	75	61	28	87	84	57
150	82	72	29	87	85	58
180	84	76	29	87	85	58

При флотации галенита дисперсностью $-0,074+0,044$ мм с дополнительным применением микропузырьков выход минерала увеличивается с 84 до 87 %; при дисперсности $-0,044+0,020$ мм выход минерала увеличивается с 76 до 85 %; при дисперсности $-0,020+0$ мм – с 29 до 58 %.



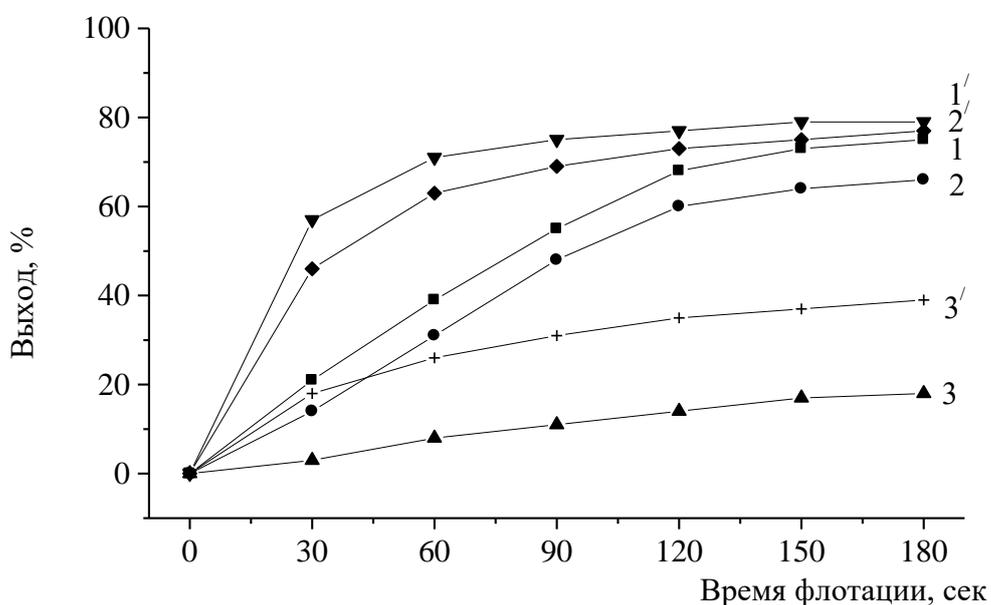
1) $-0,074+0,044$ мм; 2) $-0,044+0,020$ мм; 3) $-0,020+0$ мм

Рисунок 22 – Флотация пирита разных классов дисперсности с применением базового режима (1;2;3) и микропузырьков (1';2';3') в зависимости от времени флотации при pH=6

Таблица 7 – Флотация пирита разных классов дисперсности с применением базового режима и микропузырьков в зависимости от времени флотации

Время флотации, с	Выход, % (базовый режим)			Выход, % (с применением микропузырьков)		
	-0,074 +0,044 мм	-0,044 +0,020 мм	-0,020 +0 мм	-0,074 +0,044 мм	-0,044 +0,020 мм	-0,020 +0 мм
0	0	0	0	0	0	0
30	17	11	5	50	39	22
60	32	23	9	61	53	35
90	45	35	12	70	60	42
120	56	47	14	72	63	45
150	65	56	15	74	66	47
180	71	65	16	75	67	47

При флотации пирита дисперсностью -0,074+0,044 мм с дополнительным применением микропузырьков выход минерала увеличивается с 71 до 75 %; при дисперсности -0,044+0,020 мм выход минерала увеличивается с 65 до 67 %; при дисперсности -0,020+0 мм – с 16 до 47 %.



1) -0,074+0,044 мм; 2) -0,044+0,020 мм; 3) -0,020+0 мм

Рисунок 23 – Флотация сфалерита разных классов дисперсности с применением базового режима (1;2;3) и микропузырьков (1';2';3') в зависимости от времени флотации при рН=10,5

Таблица 8 – Флотация сфалерита разных классов дисперсности с применением базового режима и микропузырьков в зависимости от времени флотации

Время флотации, сек.	Выход, % (базовый режим)			Выход, % (с применением микропузырьков)		
	-0,074 +0,044 мм	-0,044 +0,020 мм	-0,020 +0 мм	-0,074 +0,044 мм	-0,044 +0,020 мм	-0,020 +0 мм
0	0	0	0	0	0	0
30	21	14	3	57	46	18
60	39	31	8	71	63	26
90	55	48	11	75	69	31
120	68	60	14	77	73	35
150	73	64	17	79	75	37
180	75	66	18	79	77	39

При флотации сфалерита дисперсностью $-0,074+0,044$ мм с дополнительным применением микропузырьков выход минерала увеличивается с 75 до 79 %; при дисперсности $-0,044+0,020$ мм выход минерала увеличивается с 66 до 77 %; при дисперсности $-0,020+0$ мм – с 18 до 39 %.

Таким образом, представленные результаты показывают, что дополнительная подача микропузырьков в процесс мономинеральной флотации позволяет повысить выход минералов различной дисперсности и ускорить процесс флотации на 10-15 %.

Выводы по 2 главе

Получены водовоздушные микродисперсии флотационных реагентов с применением генератора и изучены их физико-химические свойства. Основным элементом оборудования является головка диспергатора, внутри которой с помощью высокоскоростного электропривода создается сильно неоднородное гидродинамическое поле, с помощью которого смесь воздуха и концентрированного раствора вспенивателя преобразуется в микродисперсию воздуха в водной фазе.

Наилучшие результаты диспергации получены при использовании сеточного типа ротора, при этом оптимальный зазор между ротором диспергатора и крышкой камеры диспергирования не должна превышать 3 мм.

Определены оптимальные параметры работы генератора:

- частота вращения 6000 об/мин. При данной частоте средний размер частиц микропузырьков равняется 40 мкм, содержание (доля) этих частиц 62,9 %;

- оптимальное соотношение фаз Ж:Г=1:1. При этом производительность генератора должна колебаться в пределах 6-7,2 л/ч;

- вид используемого флотореагента влияет на свойства и дисперсность водовоздушной микродисперсии. По способности создавать водовоздушную микродисперсию флотореагенты можно расположить в следующий ряд: МИБК→ Senfroth 580→ Б-ТЭТА→ОПСБ→ флотанол С-7→Т-92→бутиловый аэрофлот.

Изучение флотирuemости минералов цветных металлов различной дисперсности с применением водовоздушной микродисперсии флотореагентов показали, что дополнительная подача микропузырьков в процесс мономинеральной флотации позволяет повысить выход минералов различной дисперсности и ускорить процесс флотации на 10-15 %.

3 Применение водовоздушной микродисперсии реагентов для эффективного обогащения полиметаллических руд

3.1. Обработка реагентного режима флотации труднообогатимой руды Риддер-Сокольного месторождения с применением базовых реагентов

3.1.1 Изучение вещественного состава руды Риддер-Сокольного месторождения

Риддер-Сокольное месторождение расположено в южной части Лениногорского горнорудного района и является одним из основных его объектов. В соответствии с принятыми схемами в региональном плане оно относится к Рудноалтайской структурно-формационной зоне. По особенностям геологического развития последняя подразделяется на три подзоны (Коргонскую, Лениногорско-Синюшинскую и Быструшинско-Змеиногорскую), которые граничат между собой по Белоубинско-Бухтарминскому и Бутачихинскому глубинным разломам.

В месторождении выделяются прожилково-вкрапленные, прожилковые, сетчато-жилвные типы руд. Каждая залежь характеризуется развитием всех структурно-генетических типов руд при различном количественном их соотношении.

Состав руд месторождения типичен для Рудного Алтая, однако, они отличаются от руд других месторождений повышенным содержанием золота и серебра и большим разнообразием генетических типов. Главные сульфиды в рудах всех горизонтов одни и те же (сфалерит, галенит, халькопирит, пирит), но их соотношения от горизонта к горизонту заметно меняются. Усредненные отношения Cu:Pb:Zn для руд I горизонта составляют 0,2:1:2; II – 0,17:1:2,5 и IV – 0,5:1:4,3.

Изучен вещественный состав пробы полиметаллической руды Риддер-Сокольного месторождения. Предварительно проба была подготовлена путем дробления руды на лабораторной щековой дробилке, отбор пробы на анализ (минералогический, химический, спектральный, рентгенофазовый) и навески для флотационных опытов проводили методом квадратования.

Главные рудообразующие минералы в Риддер-Сокольном месторождении – сфалерит, галенит, халькопирит; второстепенные – тетраэдрит, теннантит, марказит, арсенопирит, золото, серебро, электрум; редкие – борнит, молибденит, алтаит, самородный висмут, висмутин и др. Среди нерудных минералов преобладают кварц, карбонаты, серицит, барит, хлорит. По результатам химического анализа содержание меди в исходной пробе составило 0,15 %, свинца – 0,25 %, цинка 0,32 %, железа – 1,7 %, золота 1,7 г/т, серебра 5,4 г/т.

На рисунке 24 представлен спектр исходной руды. Анализ проведен на ИК-Фурье спектрометре «Avatar 370», диапазон измерений составил 4000-250 см⁻¹.

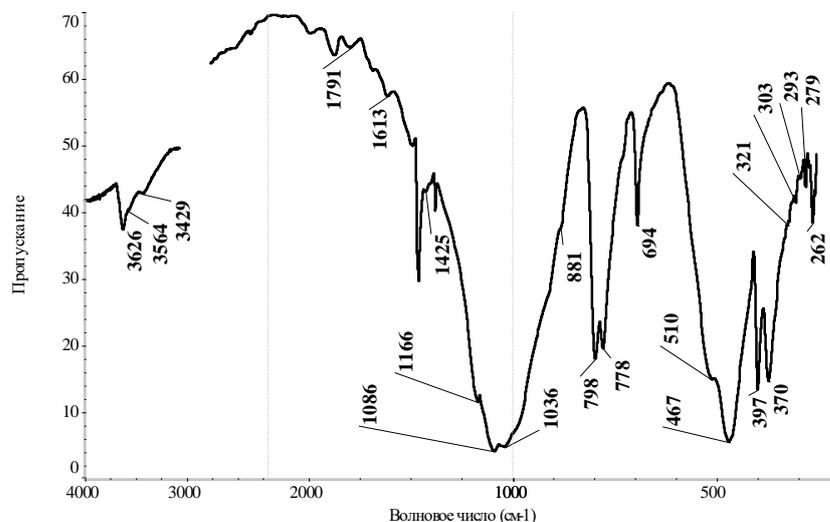


Рисунок 24 - Спектр исходной руды на спектрометре «Avatar 370»

Состав исходной руды:

Кварц α -SiO₂ – 1166, 1086, 798, 778, 694, 510, 467, 397, 370 см⁻¹ [51-53].

Мусковит KAl₂[(OH,F)₂] AlSi₃O₁₀ – 3626, 1036 см⁻¹ [51,52].

Карбонат типа кальцита CaCO₃ – 1791, 1425, 881 см⁻¹ [51,52, 54].

Возможно, присутствует сфалерит ZnS – 293 см⁻¹ [55].

Полосы поглощения в диапазоне проявления валентных колебаний OH группы с максимумами при волновых числах 3564, 3429 см⁻¹ и полоса деформационных колебаний воды δ HOH – 1613 см⁻¹ могут свидетельствовать о присутствии в образце гидрослюды [56]. Полоса поглощения в диапазоне проявления валентных колебаний OH группы с максимумом при волновом числе 3564 см⁻¹ может относиться к минералу типа Rhipidolith (Prochlorit) – (Mg, Fe, Al)₃ [(OH)₂ | Al_{1,2-1,5} Si_{2,8-2,5}O₁₀] Mg₃(OH)₆ [51]. Валентные колебания Fe³⁺-O (в силикатах) проявляются в диапазоне 400-300 см⁻¹ [55]. Валентные колебания Cu⁺-O (в солях) – 262 см⁻¹ [55].

По результатам спектрального анализа в руде присутствуют: Au < 1,0 г/т; Ag ≤ 0,001 %; Rb < 0,001 %; Cu ≤ 0,1 %; As – н/о; Na < 1,0 %; Al – много; Mg > 1 %; Fe > 1 %; Sr ≥ 0,01 %; Si – много; Pb ~ 0,1 %.

Рентгенофазовый анализ проводился на дифрактометре D8 Advance (BRUKER), излучение α -Cu. Результаты рентгенофазового анализа представлены в таблице 9.

Рентгенофазовый анализ руды показывает, что породообразующие минералы представлены в основном кварцем и алюмосиликатами.

Таблица 9 - Результаты рентгенофазового анализа исходной руды

Compound Name	Formula	S-Q
Quartz, syn	SiO ₂	60,8
Gismondine	Ca Al ₂ Si ₂ O ₈ · 4H ₂ O	21,7
Clinochlore	Mg _{2.5} Fe _{1.65} Al _{1.5} Si _{2.2} Al _{1.8} O ₁₀ (OH) ₈	8,5
Kaolinite	Al ₂ O ₃ · 2SiO ₂ · 2H ₂ O	4,3
Muscovite-2M1	KAl ₂ Si ₃ AlO ₁₀ (OH) ₂	3,5
Calcite	CaCO ₃	1,1

Для проведения рентгено-флуоресцентного анализа использовали спектрометр с волновой дисперсией Venus 200 PANalytical B.V. (Голландия). В таблице 10 представлены результаты анализа, которые показывают, что содержание свинца в пробе составляет 0,109 %, меди – 0,101 %, цинка 0,271 %, железа – 1,583 %.

Таблица 10 - Результаты рентгено-флуоресцентного анализа исходной руды

Составная формула	Концентрация, %	Состояние	Составная формула	Концентрация, %	Состояние
O	53,110	BgC	Ti	0,149	
F	0,081		Mn	0,082	BgC
Na	0,056		Fe	1,583	BgC
Mg	1,561	BgC	Ni	0,006	
Al	4,729	BgC	Cu	0,101	BgC
Si	29,667	BgC	Zn	0,271	BgC
P	0,037		Rb	0,004	
S	0,496	BgC	Sr	0,005	
Cl	0,008	BgC	Zr	0,028	
K	1,475	BgC	Ba	0,301	
Ca	1,309	BgC	Pb	0,109	BgC

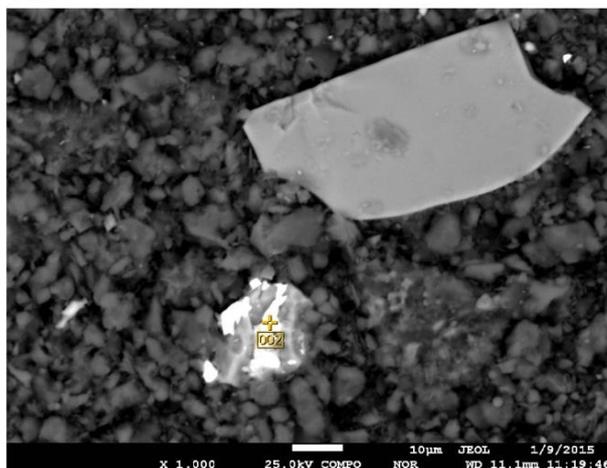
Проведен микроанализ исходной пробы на электронно-зондовом микроанализаторе JXA-8230 фирмы JEOL. Результаты микроанализа приведены на рисунках 25-29.

Минерал свинца галенит совместно со сфалеритом слагает прожилки, гнезда, вкрапленность, образуя петельчатые структуры срастания, самостоятельные прожилковидные выделения. Размер зерен галенита от 0,03 до 1,5 мм.

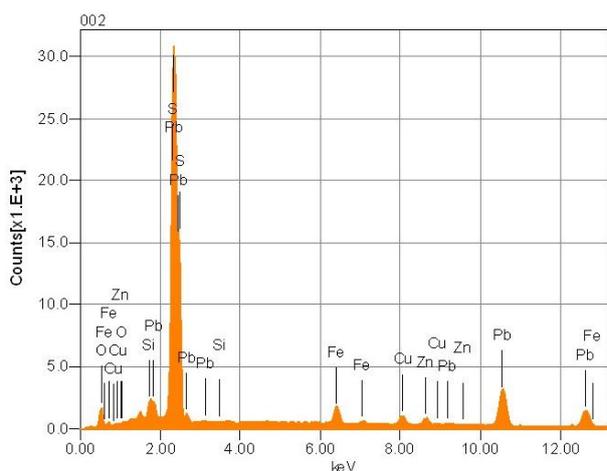
Сфалерит вместе с пиритом - главные сульфидные минералы в рудах. Сфалерит имеет изометричные и округлые формы размером до 0,5-1 см в диаметре. Вокруг зерен сфалерита часто развита серицитовая, карбонат - серицитовая, галенит - халькопиритовая кайма. Сфалерит нередко содержит эмульсионную вкрапленность халькопирита, иногда включения галенита.

Халькопирит в рудных прожилках в тесном сростании со сфалеритом и галенитом образует полосы, чередующиеся с карбонатными и кварцкарбонатными. Во вкрапленных рудах он проявлен в виде отдельных неправильных выделений в сфалерите или образует в нем тонкую эмульсионную вкрапленность.

002



Volt : 25.00 kV
Mag. : x 1,000
Date : 2015/01/09
Pixel : 1280 x 960



Acquisition Condition
Instrument : 8230
Volt : 25.00 kV
Current : 5.00 nA
Process Time : T3
Live time : 50.00 sec.
Real Time : 66.55 sec.
DeadTime : 24.00 %
Count Rate : 25745.00 CPS

Elements	ms%	mol%	Sigma	Net	K ratio	Line
O	4.23	27.88	0.33	270252	0.0282740	K
Si*	1.12	4.20	0.15	422634	0.0084336	K
S	3.80	12.50	0.13	1572920	0.0410165	K
Fe	3.07	5.79	0.37	637260	0.0344160	K
Cu	2.30	3.81	0.63	338151	0.0272319	K
Zn	2.05	3.30	0.76	263176	0.0247910	K
Pb	83.45	42.50	0.59	170657230	7.325449	M
Total	100.00	100.00				

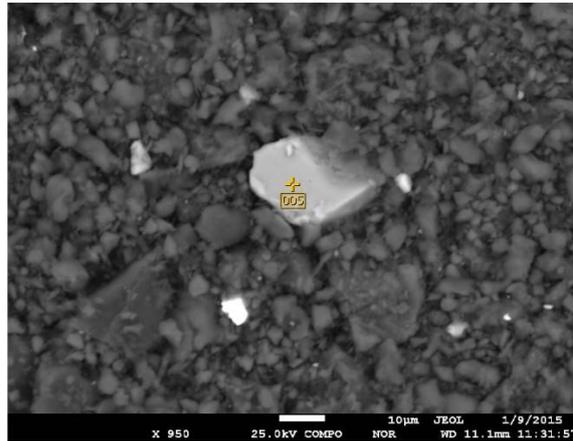
JEOL EDS System

JEOL

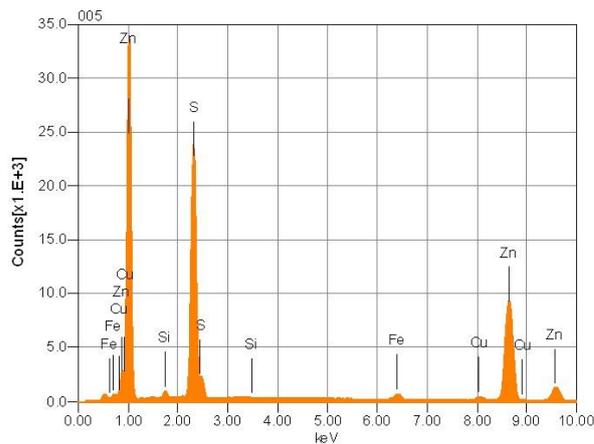
Рисунок 25 – Микроанализ исходной руды (минералы свинца)

Форма золота различная: неправильная, пластинчатая, волосовидная, овальная, изометричная. Размер зерен от 0,001 – 0,005 мм до 3 – 4 мм (преобладающий размер 0,006 – 0,07 мм). Самородное золото встречается в самых различных минералах: кварце, кальците, пирите, сфалерите, халькопирите, галените, блеклой руде, сериците, хлорите.

005



Volt : 25.00 kV
Mag. : x 950
Date : 2015/01/09
Pixel : 1280 x 960



Acquisition Condition
Instrument : 8230
Volt : 25.00 kV
Current : 7.00 nA
Process Time : T3
Live time : 50.00 sec.
Real Time : 64.13 sec.
DeadTime : 22.00 %
Count Rate : 22079.00 CPS

Elements	ms%	mol%	Sigma	Net	K ratio	Line
Si*	0.85	1.44	0.88	149360	0.0029988	K
S	34.64	51.40	0.64	7486782	0.1964312	K
Fe	1.63	1.39	1.38	241487	0.0131220	K
Cu*	0.29	0.22	2.68	26985	0.0021865	K
Zn	62.58	45.54	3.28	4930850	0.4673406	K
Total	100.00	100.00				

JEOL EDS System

JEOL

Рисунок 26 – Микроанализ исходной руды (минералы цинка)

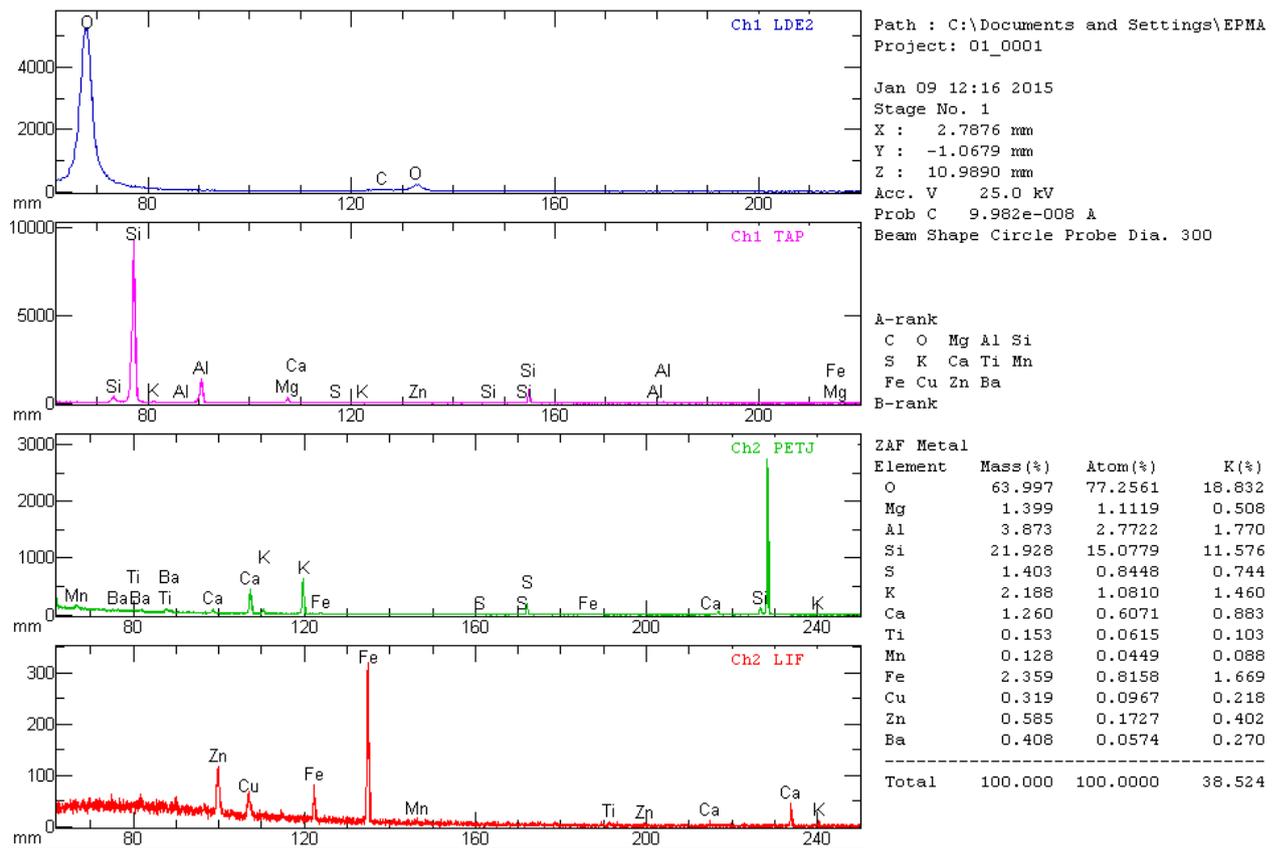


Рисунок 27 – Микроанализ исходной руды

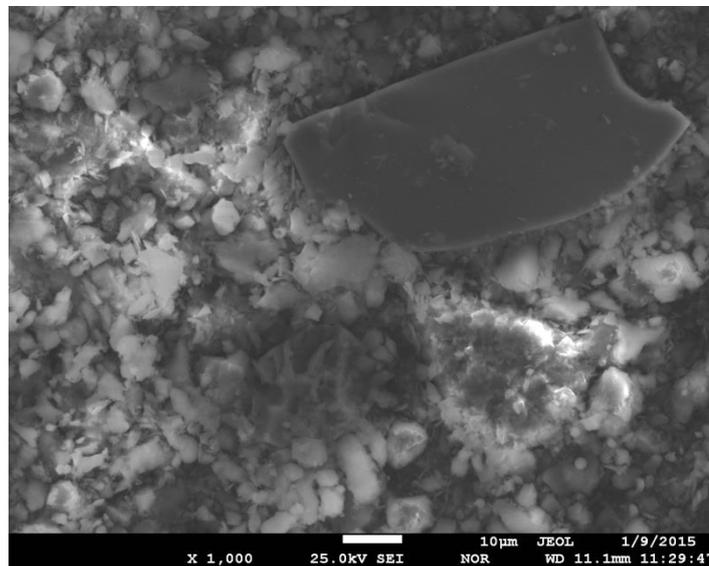
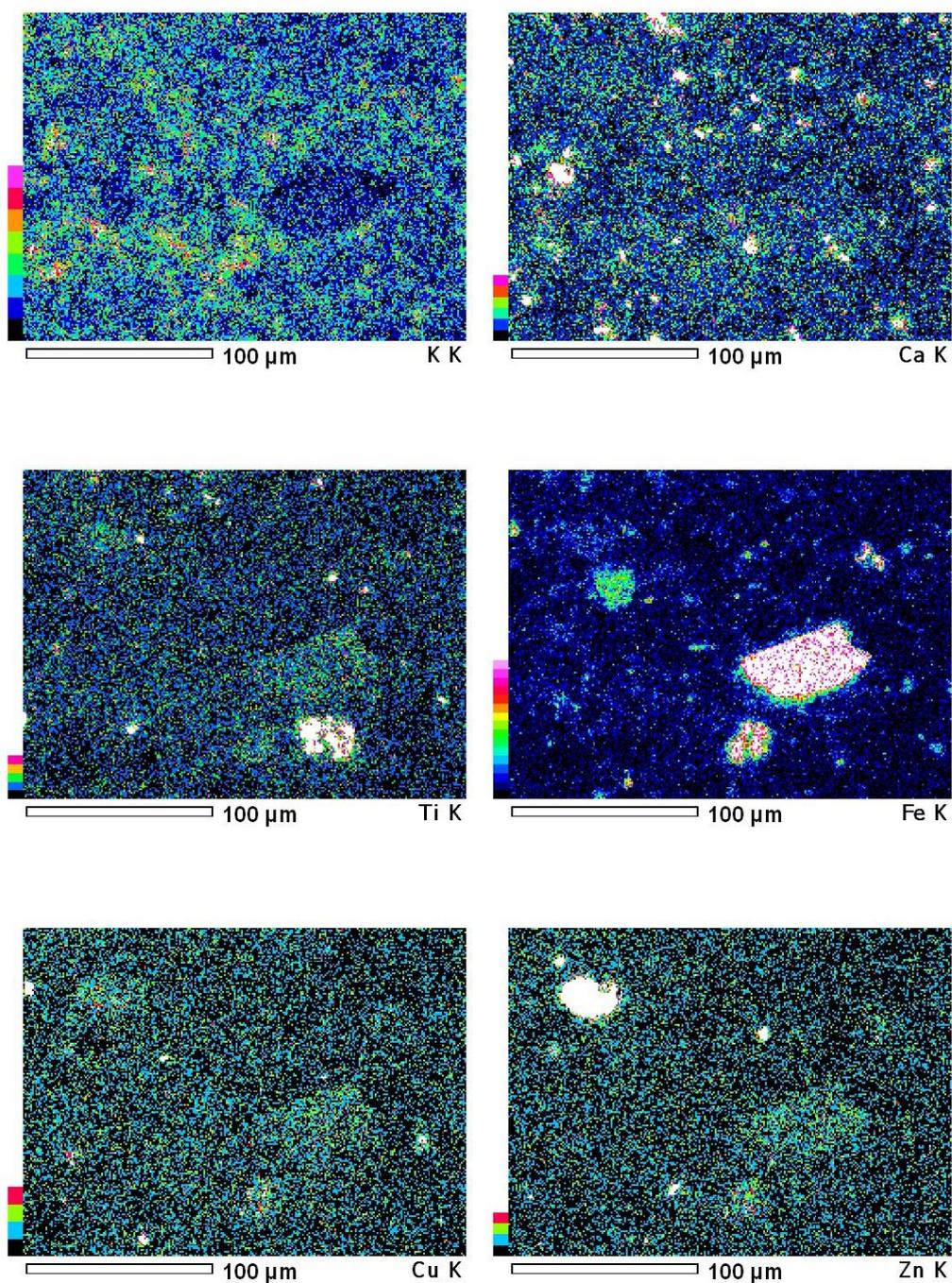


Рисунок 28 – Микрофотография одного из образцов пробы исходной руды



JEOL EDS System

JEOL

Рисунок 29 – Распределение K, Ca, Fe, Cu, Zn в исходной руде

Электрум в виде включений развит в галените и слюдах, реже выполняет микротрещины в пирите и сфалерите. В нерудных минералах его почти нет. Серебро представлено самородными образованиями, фрейбергитом $\text{Ag}_6\text{Cu}_4\text{Fe}_2\text{Sb}_4\text{S}_{13}$ и гесситом Ag_2Te .

3.1.2 Обработка реагентного режима коллективной медно-свинцово-цинковой флотации руды Риддер-Сокольного месторождения с применением базовых реагентов

Определения гранулометрического состава руды

Для определения гранулометрического состава исходной руды проводился ситовой анализ. Анализ производят просеиванием навески материала через набор стандартных сит. Результаты приведены в таблице 11.

Таблица 11 – Результаты гранулометрического анализа дробленной руды

Классы крупности, мм	Выход, %	Содержание, %				Распределение, %			
		Cu	Pb	Zn	Fe	Cu	Pb	Zn	Fe
+1,6	2,5	0,06	0,28	0,086	2,26	1,23	1,42	0,76	3,1
-1,6+1	5,85	0,04	0,32	0,12	1,69	1,91	3,8	2,48	5,4
-1+0,5	30,2	0,08	0,42	0,19	1,48	19,75	25,72	20,32	24,5
-0,5+0,2	27,95	0,09	0,47	0,24	1,71	20,57	26,64	23,76	26,3
-0,2+0,1	12,45	0,16	0,51	0,38	1,93	16,28	12,9	16,76	13,20
-0,1+0,071	14,75	0,18	0,62	0,38	2,06	21,72	18,54	19,85	16,7
-0,071+0	6,3	0,36	0,86	0,72	3,1	18,54	10,98	16,07	10,8
Исход. руда	100	0,12	0,49	0,28	1,81	100,0	100,0	100,0	100,0

Анализ на крупность тонких фракций представляет собой дисперсионный анализ. Он основан на изучении скорости осаждения частиц материала в вязкой дисперсионной среде в зависимости от их крупности и плотности. Результаты дисперсионного анализа представлены в таблице 12, которые показывают, что большая часть полезных компонентов – 69,1 % меди, 64,53 % свинца, 73,13 % цинка сосредоточена во фракции 0-40 мкм.

Таблица 12 – Результаты дисперсионного анализа руды, измельченной до 98 % класса -0,074 мм

Классы крупности, мкм	Выход, %	Содержание, %				Распределение, %			
		Cu	Pb	Zn	Fe	Cu	Pb	Zn	Fe
-10+0	43,85	0,09	0,14	0,28	2,35	29,09	35,33	33,14	43,42
-20+10	19,4	0,12	0,13	0,33	2,27	17,16	14,51	17,28	18,55
-30+20	10,7	0,13	0,1	0,36	2,07	10,25	6,16	10,40	9,33
-40+30	11,4	0,15	0,13	0,4	2,05	12,60	8,53	12,31	9,84
-50+40	2,35	0,17	0,2	0,44	2,35	2,94	2,75	2,79	2,32
-60+50	4,9	0,23	0,21	0,52	2,85	8,30	5,92	6,87	5,88
-71+60	7,4	0,36	0,63	0,86	3,41	19,63	26,8	17,18	10,63
Исход. руда	100	0,1356	0,1737	0,3703	2,3732	100	100	100	100

Изучение кинетики измельчения руды

Изучена кинетика измельчения исходной руды. Зависимость измельчаемости руды (по классу -0,071 мм) от времени измельчения представлена в таблице 13.

Таблица 13 – Зависимость измельчаемости руды (по классу -0,074 мм) от времени измельчения

Время измельчения, мин	Выход класса -0,074 мм, %
10	53,06
20	78,7
30	94,4
40	98,18

Отработка реагентного режима коллективной медно-свинцово-цинковой флотации

Проведены исследования по отработке реагентного режима коллективной медно-свинцово-цинковой флотации руды Риддер-Сокольного месторождения с применением базовых реагентов. Отработан режим измельчения исходной руды перед коллективной медно-свинцово-цинковой флотацией, выбраны оптимальные расходы собирателя, базового пенообразователя Т-80.

Руду дробили на лабораторных щековой и валковой дробилках до крупности -2,5+0 мм, затем измельчали в лабораторной шаровой мельнице. Флотационные опыты проводились на лабораторных флотационных машинах ФМЛ-1 и ФМЛ-2. Навеска руды для опыта составляла 1000 г. После измельчения проводили флотационные опыты по получению коллективного медно-свинцово-цинкового концентрата. Схема коллективной флотации руды (рисунок 30) включала в себя коллективную медно-свинцово-цинковую флотацию, контрольную флотацию и две перечистки коллективного концентрата.

В цикле коллективной флотации проводились опыты по установлению оптимального режима измельчения и реагентного режима, необходимого для получения коллективного медно-свинцово-цинкового концентрата. В связи с тем, что руда является тонковкрапленной измельчение проводили до крупности 0,044 мм.

Коллективную медно-свинцово-цинковую флотацию проводили в течение 24 минут при рН 8,0-9,0, контрольную флотацию в течение 6 минут и использовали следующие реагенты в качестве собирателя – бутиловый ксантогенат и аэрофлот; в качестве вспенивателя – Т-92.

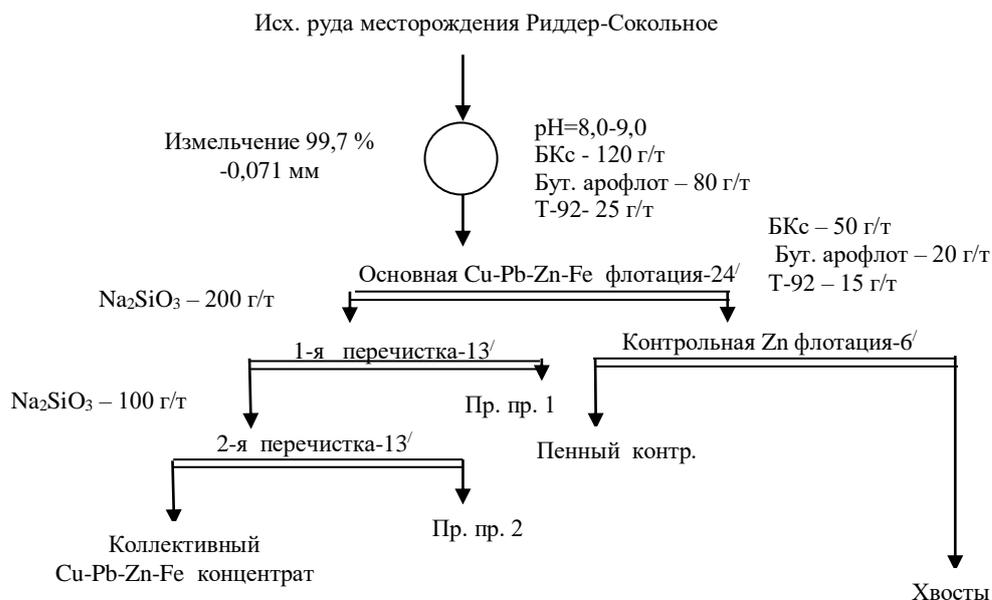


Рисунок 30 - Схема коллективной медно-свинцово-цинковой флотации руды

Для депрессии минералов пустой породы в перечистные операции подавали жидкое стекло. Время перечисток составило 13 минут.

Результаты по отработке оптимальных параметров обогащения с получением коллективного медно-свинцово-цинкового концентрата приведены в таблицах 14-16.

Проводились опыты по определению оптимальной степени измельчения исходной руды. Степень измельчения варьировали от 95,0 до 99,9 % класса -0,074 мм. Опыты проводились при реагентном режиме: расход собирателя в основную и контрольную флотации 170 г/т бутилового ксантогената и 100 г/т бутилового аэрофлота; расход пенообразователя Т-92 – 20 г/т; расход жидкого стекла – 300 г/т.

Результаты опытов по подбору оптимального режима измельчения в цикле коллективной медно-свинцово-цинковой флотации представлены в таблице 14, из которой видно, что оптимальной степенью измельчения является 99,7 % класса -0,074 мм. При этом получен коллективный медно-свинцово-цинковый концентрат, содержащий 4,1 % меди при извлечении 77,0 %; 5,1 % свинца при извлечении 75,1 %; 8,5 % цинка при извлечении 69,2 %; 22,6 % железа; 28,2 г/т золота при извлечении 60,5 %; 159 г/т серебра при извлечении 48,0 %.

При оптимальном измельчении руды проведены опыты по определению оптимального расхода собирателя (бутиловый ксантогенат и аэрофлот). Суммарный расход их варьировался от 160 до 220 г/т. При этом 60 % от общего расхода составляла доля бутилового ксантогената, а 40 % - доля аэрофлота.

Результаты опытов по подбору оптимального расхода собирателя представлены в таблице 15. Результаты исследований показали, что

оптимальным расходом собирателя является расход 200 г/т. При этом получен коллективный медно-свинцово-цинковый концентрат, содержащий 3,6 % меди при извлечении 92,6 %; 3,9 % свинца при извлечении 85,8 %; 7,8 % цинка при извлечении 87,4 %; 19,1 % железа; 25,1 г/т золота при извлечении 81,6 %; 153 г/т серебра при извлечении 70,6 %.

Далее при оптимальном измельчении руды и расходе собирателя проведены опыты по определению оптимального расхода пенообразователя Т-92. Расход Т-92 варьировали от 17,5 до 25 г/т, результаты флотации представлены в таблице 16. Оптимальный расход составил 22,5 г/т. При этом получен коллективный медно-свинцово-цинковый концентрат, содержащий 3,4 % меди при извлечении 93,5 %; 3,8 % свинца при извлечении 88,3 %; 7,7 % цинка при извлечении 92,9 %; 20,3 % железа; 24,2 г/т золота при извлечении 84,8 %; 145,6 г/т серебра при извлечении 81,0 %.

Таким образом, установлен оптимальный базовый режим: оптимальное измельчение 99,7 % класса -0,071 мм; оптимальный расход базовых реагентов: (БКс+бут.аэр) - 200 г/т, Т-92 - 22,5 г/т. При оптимальном базовом режиме получен коллективный концентрат, содержащий 3,4 % меди при извлечении 93,5 %; 3,8 % свинца при извлечении 88,3 %; 7,7 % цинка при извлечении 92,9 %; 20,3 % железа; 24,2 г/т золота при извлечении 84,8 %; 145,6 г/т серебра при извлечении 81,0 %.

Далее с целью более полного извлечения полезных минералов и оптимизации процесса флотационного обогащения полиметаллической руды проведены опыты с применением водовоздушной микродисперсии раствора пенообразователя.

Таблица 15 – Результаты коллективной медно-свинцово-цинковой флотации руды при различном расходе собирателя

Наименование продуктов	Выход, %	Содержание, %, г/т						Извлечение, %						Примечание
		Cu	Pb	Zn	Fe	Au	Ag	Cu	Pb	Zn	Fe	Au	Ag	
Колл. конц-т	2,6	4,1	5,1	8,5	22,6	28,2	159	77,0	75,1	69,2	27,7	60,5	48,0	Расход собирателя 160 г/т
Пром. прод. 1	1,8	0,05	0,07	0,1	2,8	1,0	6,37	0,6	0,7	0,6	2,4	1,5	1,3	
Пром. прод. 2	6,5	0,05	0,08	0,12	3,2	1,4	9,6	2,3	2,9	2,4	9,8	7,5	7,2	
Пен.контр.фл.	1,7	0,09	0,15	0,6	2,12	1,2	9,3	1,1	1,4	3,2	1,7	1,7	1,8	
Хвосты	87,4	0,03	0,04	0,09	1,42	0,4	4,1	18,9	19,8	24,6	58,5	28,8	41,6	
Исход. руда	100	0,14	0,18	0,32	2,12	1,21	8,62	100	100	100	100	100	100	
Колл. конц-т	3,1	3,8	4,5	8,2	21,2	26,8	155,3	85,1	80,0	77,2	31,3	68,0	57,1	Расход собирателя 180 г/т
Пром. прод. 1	2,0	0,02	0,06	0,06	2,7	1,0	6,25	0,3	0,7	0,4	2,6	1,6	1,5	
Пром. прод. 2	7,2	0,03	0,07	0,09	2,72	1,3	9,2	1,6	2,9	2,0	9,3	7,7	7,9	
Пен.контр.фл.	1,8	0,05	0,16	0,4	1,96	1,1	9,5	0,7	1,7	2,2	1,7	1,6	2,0	
Хвосты	85,9	0,02	0,03	0,07	1,35	0,3	3,1	12,4	14,8	18,3	55,2	21,1	31,6	
Исход. руда	100	0,14	0,17	0,33	2,10	1,22	8,44	100	100	100	100,	100	100	
Колл. конц-т	3,9	3,6	3,9	7,8	19,1	25,1	152,6	92,6	85,8	87,4	34,4	81,6	70,6	<i>Расход собирателя 200 г/т</i>
Пром. прод. 1	2,1	0,02	0,05	0,03	2,5	0,5	5,75	0,3	0,6	0,2	2,4	0,9	1,4	
Пром. прод. 2	8,1	0,02	0,06	0,04	2,45	1,1	8,1	1,1	2,7	0,9	9,2	7,4	7,8	
Пен.контр.фл.	2,1	0,04	0,12	0,3	1,85	1,0	9,1	0,6	1,4	1,8	1,8	1,7	2,3	
Хвосты	83,8	0,01	0,02	0,04	1,35	0,12	1,8	5,5	9,5	9,6	52,2	8,4	17,9	
Исход. руда	100	0,15	0,18	0,35	2,17	1,20	8,43	100	100	100	100	100	100	
Колл. конц-т	4,5	2,8	3,1	6,8	16,5	20,8	132	92,2	85,8	87,5	34,5	81,0	71,1	Расход собирателя 220 г/т
Пром. прод. 1	2,3	0,01	0,04	0,02	2,1	0,5	5,64	0,2	0,6	0,1	2,2	1,0	1,6	
Пром. прод. 2	8,2	0,02	0,05	0,05	2,57	1,2	7,9	1,2	2,5	1,2	9,8	8,5	7,8	
Пен.контр.фл.	1,4	0,03	0,1	0,4	1,74	0,7	9,3	0,3	0,9	1,6	1,1	0,8	1,6	
Хвосты	83,6	0,01	0,02	0,04	1,35	0,12	1,8	6,1	10,3	9,6	52,4	8,7	18,0	
Исход. руда	100	0,14	0,16	0,35	2,15	1,16	8,34	100	100	100	100	100	100	

Таблица 16 – Результаты коллективной медно-свинцово-цинковой флотации руды при различном расходе базового пенообразователя Т-92

Наименование продуктов	Выход, %	Содержание, %, г/т						Извлечение, %						Примечание
		Cu	Pb	Zn	Fe	Au	Ag	Cu	Pb	Zn	Fe	Au	Ag	
Колл. конц-т	3,5	3,8	4,5	8,1	20,2	26,4	154,9	86,2	85,0	85,0	32,1	79,1	66,5	Расход пенообразователя 17,5 г/т
Пром. прод. 1	1,9	0,02	0,05	0,04	2,5	0,5	5,82	0,2	0,5	0,2	2,2	0,8	1,4	
Пром. прод. 2	7,6	0,03	0,07	0,08	2,8	1,2	9,6	1,5	2,9	1,8	9,7	7,8	9,0	
Пен.контр.фл.	2,3	0,07	0,2	0,4	1,7	0,7	8,5	1,0	2,5	2,8	1,8	1,4	2,4	
Хвосты	84,7	0,02	0,02	0,04	1,41	0,15	2,0	11,0	9,1	10,2	54,3	10,9	20,8	
Исход. руда	100	0,15	0,19	0,33	2,20	1,17	8,15	100	100	100	100	100	100	
Колл. конц-т	3,9	3,6	3,9	7,8	19,1	25,1	152,6	92,6	85,8	87,4	34,4	81,6	70,6	Расход пенообразователя 20,0 г/т
Пром. прод. 1	2,1	0,02	0,05	0,03	2,5	0,5	5,75	0,3	0,6	0,2	2,4	0,9	1,4	
Пром. прод. 2	8,1	0,02	0,06	0,04	2,45	1,1	8,1	1,1	2,7	0,9	9,2	7,4	7,8	
Пен.контр.фл.	2,1	0,04	0,12	0,3	1,85	1,0	9,1	0,6	1,4	1,8	1,8	1,7	2,3	
Хвосты	83,8	0,01	0,02	0,04	1,35	0,12	1,8	5,5	9,5	9,6	52,2	8,4	17,9	
Исход. руда	100	0,15	0,18	0,35	2,17	1,20	8,43	100	100	100	100	100	100	
Колл. конц-т	4,75	3,4	3,8	7,7	20,3	24,2	145,6	93,5	88,3	92,9	44,4	84,4	81,0	<i>Расход пенообразователя 22,5 г/т</i>
Пром. прод. 1	2,6	0,02	0,05	0,02	2,29	0,6	4,6	0,3	0,6	0,1	2,7	1,1	1,4	
Пром. прод. 2	8,22	0,02	0,05	0,05	2,01	1,0	6,3	1,0	2,0	1,0	7,6	6,0	6,1	
Пен.контр.фл.	1,8	0,04	0,11	0,38	3,05	0,9	8,6	0,4	1,0	1,7	2,5	1,2	1,8	
Хвосты	82,63	0,01	0,02	0,02	1,12	0,12	1,0	4,8	8,1	4,2	42,7	7,3	9,7	
Исход. руда	100	0,17	0,20	0,39	2,17	1,36	8,53	100	100	100	100	100	100	
Колл. конц-т	4,82	3,1	3,4	6,8	19,6	22,1	135,6	93,3	79,3	89,0	43,7	85,3	75,6	Расход пенообразователя 25,0 г/т
Пром. прод. 1	2,7	0,02	0,05	0,04	2,5	0,7	5,8	0,3	0,7	0,3	3,1	1,5	1,8	
Пром. прод. 2	5,3	0,02	0,06	0,1	2,41	0,9	8,9	0,7	1,5	1,4	5,9	3,8	5,5	
Пен.контр.фл.	2,1	0,03	0,2	0,41	3,2	1,1	9,6	0,4	2,0	2,3	3,1	1,9	2,3	
Хвосты	85,1	0,01	0,04	0,03	1,12	0,11	1,5	5,3	16,5	6,9	44,1	7,5	14,8	
Исход. руда	100	0,16	0,21	0,37	2,16	1,25	8,64	100	100	100	100	10	100	

3.2 Обработка реагентного режима флотации труднообогатимой руды Риддер-Сокольного месторождения с применением комбинированной микрофлотации

Процесс комбинированной микрофлотации с использованием микропузырьков, диаметр которых D_m намного меньше диаметра обычных пузырьков D_b , будет проходить преимущественно в две стадии (рисунок 31): сначала частицы будут захватываться микропузырьками (первичная, или микрофлотация), поскольку их флотационная активность намного больше, чем у обычных (больших) пузырьков, а затем минерализированные микропузырьки – будут захватываться пузырьками большого размера, формируемыми импеллером флотационной машины или диспергатором колонной машины (вторичная флотация).

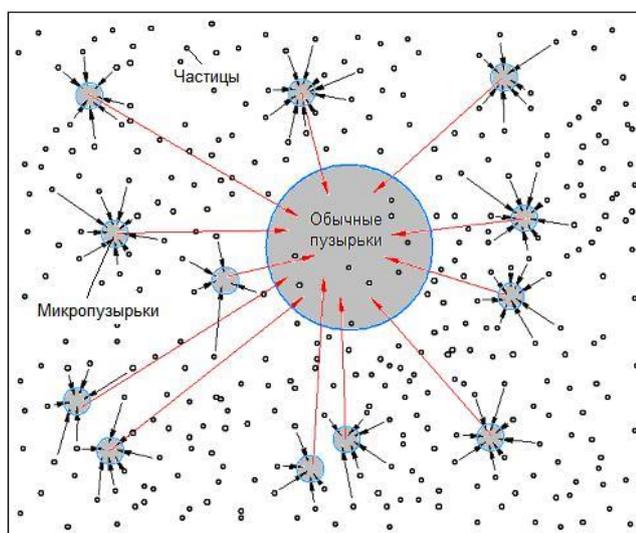


Рисунок 31 - Схема комбинированной микрофлотации

Для обогащения руд с применением метода микрофлотации разработан и изготовлен лабораторный генератор водо-воздушной микродисперсии (ГВВМД).

Проведены исследования по обработке коллективной медно-свинцово-цинковой флотации руды Риддер-Сокольного месторождения с применением лабораторного генератора водо-воздушной микроэмульсии в присутствии базового вспенивателя Т-92. Схема флотации и реагентный режим аналогичны базовому режиму (рисунок 30).

Результаты по коллективной медно-свинцово-цинковой флотации руды с применением базового вспенивателя Т-92 и лабораторного генератора водо-воздушной микроэмульсии приведены в таблице 17.

По сравнению с базовым режимом применение генератора водо-воздушной микроэмульсии позволяет сократить время основной и контрольной флотации на 25 %, время перечисток – на 30 %.

По базовому режиму (таблица 16) с применением Т-92 без генератора водо-воздушной микроэмульсии получен коллективный медно-свинцово-цинковый концентрат, содержащий 3,4 % меди при извлечении 93,5 %; 3,8 %

свинца при извлечении 88,3 %; 7,7 % цинка при извлечении 92,9 %; 20,3 % железа; 24,2 г/т золота при извлечении 84,8 %; 145,6 г/т серебра при извлечении 81,0 %.

С применением генератора водо-воздушной микроэмульсии получен коллективный медно-свинцово-цинковый концентрат, содержащий 4,3 % меди при извлечении 94,1 %; 4,5 % свинца при извлечении 90,2 %; 7,9 % цинка при извлечении 93,3 %; 21,6 % железа; 25,3 г/т золота при извлечении 85,1 %; 152 г/т серебра при извлечении 82,1 %.

В результате проведенных исследований показано, что применение генератора водо-воздушной микроэмульсии позволяет повысить качество и извлечение полезных компонентов в коллективный концентрат с одновременным уменьшением времени флотации по всем операциям на 25-30 %.

3.3 Обработка реагентного режима флотации труднообогатимой руды Риддер-Сокольного месторождения с применением генератора водовоздушной микродисперсии и модифицированного пенообразователя

Основными флотореагентами в горно-металлургической промышленности Казахстана являются вспениватели Т-66, Т-80, Т-92 и Т-94 (производные 1.3-диоксана), а также фосфорорганические и сульфгидрильные собиратели (аэрофлоты, калиевые и натриевые соли ксантогенатов первичных спиртов).

Пенообразователь СВИМ получен на основе сивушного масла и обладает повышенным на 10 % в сравнении с базовым пенообразователем Т-92 пенообразующим свойством, это связано образованием равномерно нагруженной пены, быстро разрушаемой в желобах, что может интенсифицировать процесс флотации, повышая при этом, прочность закрепления пузырьков воздуха на поверхности минеральных частиц.

Реагент СВИМ-1 синтезировали на пилотной установке на основе фракции спиртов C_3-C_9 , выделенных из сивушных масел, содержащих не более 15% воды, с дальнейшим их окислением кислородом воздуха в течении 3-5 часов в присутствии кислотного катализатора – смеси серной и уксусной кислот, взятых в соотношении 3:0,75-1.

На рисунке 32 представлен ИК-спектральный анализ реагента СВИМ.

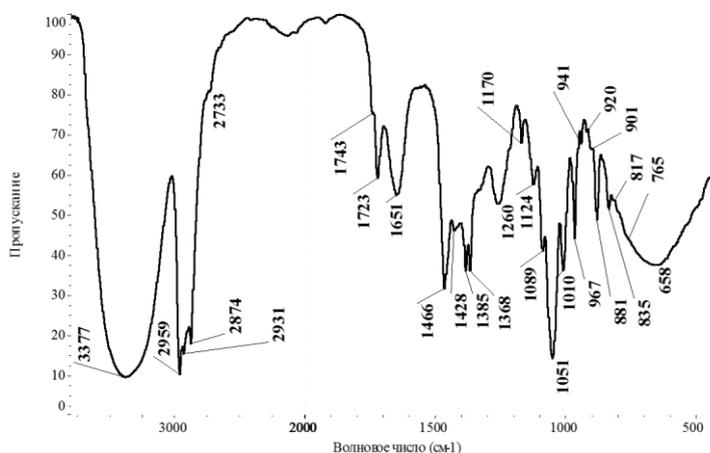


Рисунок 32 – ИК-спектральный анализ пенообразователя СВИМ

В составе пробы установлено присутствие соединений: 3-Methyl-1-butanol; 2-Methyl-1-propanol; ethylalcohol, denatured; валентные колебания группы $C=O$; асимметричные валентные колебания $-C-O-C-$ эфиров, лактонов и т.д., а также валентных колебаний $C=S$.

Проведен подбор оптимального расхода пенообразователя СВИМ. С применением нового пенообразователя получен коллективный медно-свинцово-цинковый концентрат, содержащий 3,7 % меди при извлечении 93,8 %; 3,95 % свинца при извлечении 88,8 %; 7,5 % цинка при извлечении

93,4 %; 20,5 % железа. При этом расход СВММ меньше, чем расход Т-92 на 20 %.

Проведены опыты в замкнутом цикле по оптимальному базовому режиму, с применением генератора и пенообразователя СВММ. По базовому режиму в замкнутом цикле получен коллективный медно-свинцово-цинковый концентрат, содержащий 2,08 % меди при извлечении 94,69 %; 3,67 % свинца при извлечении 77,92 %; 4,44 % цинка при извлечении 92,89 %; 13,89 % железа при извлечении 98,8 %. С применением генератора водовоздушной микродисперсии и базового пенообразователя Т-92 в замкнутом цикле получен коллективный медно-свинцово-цинковый концентрат, содержащий 2,1 % меди при извлечении 94,74 %; 3,7 % свинца при извлечении 77,91 %; 4,3 % цинка при извлечении 92,94 %; 14,0 % железа при извлечении 98,93 %. Применение ГВММД не улучшает технологические показатели флотационной переработки, как показывают результаты, но позволяет сократить время основной и контрольной флотации на 25 %, время перемешивания – на 30 %. С применением ГВММД и пенообразователя СВММ получены аналогичные результаты, как в базовом режиме, за исключением расхода СВММ (меньше на 20 %). Результаты опытов в замкнутом цикле представлены в таблице 18.

Таблица 18 – Результаты коллективной флотации руды Риддер-Сокольского месторождения в замкнутом цикле

Наименование продуктов	Выход, %	Содержание, %				Извлечение, %				Примечание
		Cu	Pb	Zn	Fe	Cu	Pb	Zn	Fe	
Коллект. концентрат	7,86	2,1	3,8	4,6	14,8	94,21	76,42	92,9	98,9	Базовый режим Т-92 – 22,5 г/т
Отв. хвосты	92,14	0,011	0,1	0,03	0,014	5,79	23,58	7,1	1,1	
Исход. руда	100	0,175	0,391	0,389	1,176	100	100	100	100	
Коллект. концентрат	7,8	2,2	3,9	4,5	14,5	94,9	76,74	92,7	98,95	СВММ – 17,5 г/т
Отв. хвосты	92,2	0,01	0,1	0,03	0,013	5,1	23,26	7,3	1,05	
Исход. руда	100	0,181	0,396	0,379	1,143	100	100	100	100	

Анализ полученных результатов показывает, что применение ГВММД и пенообразователя не оказывает влияния на качество коллективного концентрата, полученного из руды Риддер-Сокольского месторождения, извлечение полезных компонентов в концентрат равнозначно базовому режиму. Применение ГВММЭ позволяет сократить время флотации на 25-30 %. Установлено, что объемная доза микропузырьков в количестве 0,1 литра на 1 кг руды позволяет увеличить скорость флотации. Это связано с тем, что эффективность гетерокоагуляции частиц и микропузырьков в 50-70 раз больше, чем эффективность захвата частиц крупными пузырьками и скорость флотации минерализованных микропузырьков крупными пузырьками в несколько раз больше скорости флотации отдельных частиц.

Таким образом, проведен комплекс опытных испытаний эффективности комбинированной микрофлотации с использованием генератора водо-воздушной микродисперсии и пенообразователя СВИМ на руде Риддер-Сокольного месторождения. Показано, что применение генератора водовоздушной микродисперсии приводит к существенному ускорению на 25-30 % процесса флотации, расход же пенообразователя СВИМ снижается на 20 % в сравнении с базовым пенообразователем.

Выводы по 3 главе

Разработана усовершенствованная технология обогащения труднообогатимой полиметаллической руды Риддер-Сокольного месторождения с использованием метода комбинированной микрофлотации.

Изучен вещественный состав и отработан реагентный режим флотации полиметаллического сырья Риддер-Сокольного месторождения с применением базовых реагентов. По результатам химического анализа содержание меди в исходной пробе составило 0,15 %, свинца - 0,25 %, цинка 0,32 %, железа – 1,7 %. Результаты дисперсионного анализа показали, что большая часть полезных компонентов – 69,1 % меди, 64,53 % свинца, 73,13 % цинка сосредоточена во фракции 0-40 мкм.

Отработан реагентный режим флотации руды с применением базовых реагентов. Схема флотации включала измельчение руды, основную, контрольную коллективные флотации и две перечистки коллективного концентрата. Установлен оптимальный базовый режим: степень измельчения - 99,7 % класса -0,071 мкм, общий расход собирателей 200 г/т (60% БКс, 40% бутиловый аэрофлот), расход Т-92 - 22,5 г/т. При выбранном реагентном режиме получен коллективный медно-свинцово-цинковый концентрат, содержащий 3,4 % меди при извлечении 93,5 %; 3,8 % свинца при извлечении 88,3 %; 7,7 % цинка при извлечении 92,9 %; 20,3 % железа; 24,2 г/т золота при извлечении 84,8 %; 145,6 г/т серебра при извлечении 81,0 %.

Отработан реагентный режим обогащения труднообогатимой полиметаллической руды с использованием метода комбинированной микрофлотации. Раствор вспенивателя пропускают через генератор и в виде водовоздушной микродисперсии подается в камеру флотомшины. Установлено, что по сравнению с базовым режимом применение генератора водо-воздушной микроэмульсии позволяет сократить время основной и контрольной флотации на 25 %, время перечисток – на 30 %.

Отработан реагентный режим флотации руды Риддер-Сокольного месторождения с применением генератора водовоздушной микродисперсии и модифицированного пенообразователя СВИМ, полученного на основе сивушного масла. Опыты в замкнутом цикле показали, что применение модифицированного пенообразователя не улучшает технологические показатели флотации, расход же пенообразователя СВИМ снижается на 20 % в сравнении с базовым пенообразователем.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведен аналитический обзор современного состояния и перспективы флотационного обогащения труднообогатимого тонковкрапленного сырья. Одним из методов усовершенствования технологии флотационного обогащения труднообогатимой полиметаллической руды является применение комбинированной микрофлотации, где одновременно используются макро- и микропузырьки. Микропузырьки воздуха, размер которых не превышает 50 мкм, имеют высокую флотационную активность и играют роль флотоносителей, связывающих микрочастицы ценного минерала с большими пузырьками, генерируемыми самой флотомашинной, что позволит более полно извлекать тонкодисперсные шламовые ценные минералы.

Получены водовоздушные микродисперсии флотационных реагентов и изучены их физико-химические свойства. Для получения водовоздушной микродисперсии использовали генератор, основным элементом которого является головка диспергатора, внутри которой с помощью высокоскоростного электропривода создается сильно неоднородное гидродинамическое поле, с помощью которого смесь воздуха и концентрированного раствора вспенивателя преобразуется в микродисперсию воздуха в водной фазе. Исследовано изменение температуры пульпы от времени работы флотомашинной и оборудования по получению водовоздушной микродисперсии. Установлено, что с течением времени происходит нагрев пульпы, причем при использовании генератора с увеличением количества оборотов нагрев происходит интенсивнее. Для устранения негативного влияния нагрева предусмотрели камеру охлаждения для головки генератора.

Изучено влияние частоты вращения генератора на крупность и устойчивость водовоздушной микродисперсии. Установлено, что при низких частотах вращения устойчивость водо-воздушной микродисперсии незначительна. При частоте вращения выше 6000 об/мин начинается действие квантационного процесса: пропорционально увеличивается устойчивость микродисперсии и снижается размер микроэмульсии. За оптимум принята частота вращения 6000 об/мин.

Изучено влияние соотношения фаз: жидкость-газ на свойства микродисперсии. Исследованы разные соотношения фаз жидкость-газ: Ж:Г=1:0,75; Ж:Г=1:1; Ж:Г=1:1,25; Ж:Г=1:1,5. В качестве вспенивателя использовали бутиловый аэрофлот натрия, С-7, Б-ТЭТА при концентрации 0,5 г/л. Анализ полученных результатов показывает, что оптимальным всех видов вспенивателей является соотношение фаз жидкость—газ, равным 1:1. При этом, для создания оптимальной крупности водовоздушной микродисперсии производительность генератора должна колебаться в пределах 6-7,2 л/ч.

Изучены свойства микродисперсии в зависимости от используемого флотореагента. В процессе исследований работы генератора водовоздушной микроэмульсии исследовались нижеследующие реагенты: БТФ, Т-92, ОПСБ, С-7, Б-ТЭТА, МИБК, Senfroth 580 (Южная Африка). По способности создавать водовоздушную микродисперсию флотореагенты можно расположить в следующий ряд: МИБК→ Senfroth 580→ Б-ТЭТА→ОПСБ→ флотанол С-7→Т-92→бутиловый аэрофлот.

Изучено влияние природы получения пузырьков на мономинеральную флотацию цветных металлов различной дисперсности. Мономинеральная флотация проводилась при различной дисперсности минералов халькопирита, галенита, сфалерита и пирита: $-0,074+0,044$ мм; $-0,044+0,020$ мм; $-0,020+0$ мм. Установлено, что дополнительная подача микропузырьков в процесс мономинеральной флотации позволяет повысить выход минералов различной дисперсности и ускорить процесс флотации на 10-15 %.

Разработана усовершенствованная технология обогащения труднообогатимой полиметаллической руды с использованием метода комбинированной микрофлотации.

Изучен вещественный состав и отработан реагентный режим флотации полиметаллического сырья Риддер-Сокольского месторождения с применением базовых реагентов. По результатам химического анализа содержание меди в исходной пробе составило 0,15 %, свинца - 0,25 %, цинка 0,32 %, железа – 1,7 %. Рентгенофазовый анализ руды показывает, что породообразующие минералы представлены в основном кварцем и алюмосиликатами. Результаты дисперсионного анализа показали, что большая часть полезных компонентов – 69,1 % меди, 64,53 % свинца, 73,13 % цинка сосредоточена во фракции 0-40 мкм.

Отработан реагентный режим флотации руды с применением базовых реагентов. Схема флотации включала измельчение руды, основную, контрольную коллективные флотации и две перечистки коллективного концентрата. Установлен оптимальный базовый режим: степень измельчения - 99,7 % класса $-0,071$ мкм, общий расход собирателей 200 г/т (60% БКс, 40% бутиловый аэрофлот), расход Т-92 - 22,5 г/т. При выбранном реагентном режиме получен коллективный медно-свинцово-цинковый концентрат, содержащий 3,4 % меди при извлечении 93,5 %; 3,8 % свинца при извлечении 88,3 %; 7,7 % цинка при извлечении 92,9 %; 20,3 % железа; 24,2 г/т золота при извлечении 84,8 %; 145,6 г/т серебра при извлечении 81,0 %.

Отработан реагентный режим обогащения труднообогатимой полиметаллической руды с использованием метода комбинированной микрофлотации. Раствор вспенивателя пропускают через генератор и в виде водовоздушной микродисперсии подается в камеру флотомашины. Установлено, что по сравнению с базовым режимом применение генератора водо-воздушной микроэмульсии позволяет сократить время основной и контрольной флотации на 25 %, время перечисток – на 30 %.

Отработан реагентный режим флотации руды Риддер-Сокольного месторождения с применением генератора водовоздушной микродисперсии и модифицированного пенообразователя СВИМ, полученного на основе сивушного масла. Опыты в замкнутом цикле показали, что применение модифицированного пенообразователя не улучшает технологические показатели флотации, расход же пенообразователя СВИМ снижается на 20 % в сравнении с базовым пенообразователем.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Глембоцкий А.В. Флотация ультратонких частиц //Цветные металлы.- 1978.- № 7.- С.112-114.
- 2 Sebba F. An improved generator for micron-sized bubbles // Chemistry and Industry.-1985.- Vol.4.-P.91-92.
- 3 Karger B., Grieves R.B., Lemlich R., Rubin A.J., Sebba F. Nomenclature recommendations for adsorptive bubble separation methods. Separation Science 2.401 (1967).
- 4 Anfruns J.F., Kitchener J.A. Rates of capture of small particles in flotation // Transactions of the Institution of Mining and Metallurgy, Section C: Mineral Processing and Extractive Metallurgy.-1977.- Vol.86.- P.9-15.
- 5 Глембоцкий В.А., Классен В.И. Флотация.-М.: Недра, 1973.- 384 с.
- 6 Бочаров В.А., Вигдергауз В.Е. Флотация сульфидных тонкодисперсных минеральных систем // Цветные металлы.- 1997.- №3.- С.8-11.
- 7 Ультаракова Д.Д., Ерёмин Ю.П., Загайнов В.Г. Разработка способа флотации с эжекторной аэрацией с выделением газов из жидкой фазы // Промышленность Казахстана.-2007.- № 2.- С.58.
- 8 Rulyov N.N. Turbulent microflotation: Theory and Experiment //Colloids & Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects.- 2001.- Vol.192.-С.73–91.
- 9 Rulyov N.N. Turbulent microflotation of ultra-fine minerals //Mineral Processing and Extractive Metallurgy.Trans. Inst. Min. Metall.- 2008.-Vol.117.- № 1.-P.32-37.
- 10 Rulyov N.N., Filippov L.O., Kravchenko O.V. Combined microflotation of glass beads // Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects.-2020.-Vol. 598.-P.124810.
- 11 Calgaroto S., Azevedo A., Rubio J. Flotation of quartz particles assisted by nanobubbles // International Journal of Mineral Processing.- 2015.-Vol.137.- P.64-70.
- 12 Ahmadi R., Khodadadi D. A., Abdollahy M., Fan M. Nano-microbubble flotation of fine and ultrafine chalcopyrite particles //International Journal of Mining Science and Technology.-2014.- Vol. 24.- P.559-566.
- 13 Абишев Д.Н., Еремин Ю.П. Обогащение тонковкрапленных руд – приоритетное направление горно-металлургического комплекса //Промышленность Казахстана, 2000.- № 2.- С.96.
- 14 Годен А.М. Основы флотации //М.: Изд-воГос. науч.-техн. горное изд.-1933. -144 с.
- 15 Жарменов А.А., Чантурия В.А., Ерёмин Ю.П., Загайнов В.Г., Ниязов А.А. и др. Комплексная переработка минерального сырья Казахстана. Состояние, проблемы, решения. Труды РГП «НЦ КПМС РК» в 10 томах. Том 2. Теория и технология обогащения природного и техногенного минерального сырья. – Алматы, 2008.- 462 с.

16 Бобракова А.А., Александрова Т.Н. Особенности флотации сульфидных минералов из молибденовых руд алюмосиликатного состава //Материалы IX Конгресса обогатителей стран СНГ, 2013.- Т.1.- С.115-117.

17 Ультаракова Д.Д., Еремин Ю.П., Куликова О.В. Новый экологически чистый флокулянт сульфидов цветных металлов и золота на основе поливинилацетатной эмульсии //Материалы совещания «Проблемы совершенствования технологий на обогатительных предприятиях Казахстана – наука и практика», Алматы.- 2002.- С.87-88.

18 Мещеряков Н.Ф., Сабиров Р.Х., Зимин А.В., Якушкин В.П. Мещеряков А.Н. Применение вакуумных аппаратов со струйными аэраторами для флотации калийных солей //Горный журнал, 2003, спец. выпуск.- С.15-17.

19 Еремин Ю.П., Жарменов А.А., Загайнов В.Г., Чантурия В.А., Вигдергауз В.Е., Бектурганов Н.С. Гидрофобные флотационные взаимодействия, как коалесценция пузырьков //Материалы VI Конгресса обогатителей стран СНГ, 2007.- Т.2.- С.134-136.

20 Rulyov N.N. Turbulent microflotation of fine disperse minerals (The General Concept) // Proceedings of Strategic Conference and Workshop: flotation & flocculation: From Fundamentals to Applications, (ed. J. Ralston et al), Snap Printing, Australia.- 2003.- P.177-184.

21АбрамовА.А. Флотационные методы обогащения //М.: Изд-во МГГУ.- 2008.- 708 с.

22 Козлов Д.А. Способ безнапорной микрофлотации и установка для его осуществления // Патент SU №1787945, опубл. 15.01.1993.

23 Секисов А.Г., Лавров А.Ю., Мязин В.П., Шкатов В.Ю., Кондратьев С.А., Федоров А.С. Способ флотационного обогащения руд, содержащих сульфидные минералы и золото // патент RU №2443475, опубл. 27.02.2012.

24Бочкарев Г.Р., Кондратьев С.А., Филиппов Ю.М. Способ флотационного обогащения полезных ископаемых // Патент №2038856, опубл. 09.07.1995.

25 Матвеев А.И., Саломатова С.И., Яковлев В.Б., Монастырев А.М., Еремеева Н.Г., Слепцова Е.С. Способ флотации и центробежная флотационная машина// Патент №2183998, опубл. 27.06.2002.

26 Бабенко В.Г. Способ извлечения избранных минералов из рудных пульп напорной флотацией и устройство для его осуществления // Патент №2507007, опубл. 20.02.2014.

27 Вион Патрик Редукционное сопло для воды под давлением для генерирования микропузырьков во флотационной установке // Патент RU 2324531, опубл. 20.05.2008.

28 Новак В.И. Автореферат диссертации «Обоснование и разработка рациональной технологии флокуляционного разделения тонкодисперсных угольных шламов // ИОТТ-МГГУ. Москва, 2012.

29 Генцлер Г.Л. Диспергатор // Патент RU №2074117, опубл. 27.02.1997.

30 Бочкарев Г.Р., Кондратьев С.А. Диспергатор // Патент RU №2248842, опубл. 27.03.2005.

31 McKay Jeffrey D Bubble generator // PatentUS-4752383-A, GrantDates 21.06.1988.

32 Nonaka M., Wastewater treatment system applying aeration-cavitation flotation mechanism // Sep. Sci. & Tech.- 1986.- Vol.21.- P. 457-474.

33 Nikolaj N. Rulyov Application of ultra-flocculation and turbulent micro-flotation to the removal of fine contaminants from water // Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects. – 1999. -№ 151. – P.283–291.

34 Fan M., Tao D., Honaker R. and Luo Z. Nanobubble generation and its applications in froth flotation (part IV): mechanical cells and specially designed column flotation of coal // Mining Science and Technology.- 2010.- V.20.- P.641–671.

35 Fan M., Tao D., Honaker R. and Luo Z. Nanobubble generation and its applications in froth flotation (part II): fundamental study and theoretical analysis// Mining Science and Technology.- 2010.- V.20.- P. 0159–0177.

36 Патент RU №2183998 Способ флотации центробежная флотационная машина / Матвеев А.И., Саломатова С.И., Яковлев В.Б., Монастырев А.М., Еремеева Н.Г., Слепцова Е.С. Оpubл. 27.06.2002.

37 Патент RU №2038856 Способ флотационного обогащения полезных ископаемых / Кондратьев С.А. Оpubл. 09.07.1995.

38 Патент RU №2074117 Диспергатор/ ГенцлерГ.Л. Оpubл. 27.02.1997.

39 Патент RU №2248842 Диспергатор /Бочкарев Г.Р., Кондратьев С.А. Оpubл. 27.03.2005.

40 Патент РК №19803 Способ и устройство для флотации микродисперсий /Оpubл. 15.12.2010, Бюл. №12.

41 Тусупбаев Н.К., Семушкина Л.В., Турысбеков Д.К., Бектурганов Н.С., Мухамедилова А.М. Использование модифицированных флотореагентов при переработке техногенного сырья //Комплексное использование минерального сырья.- 2017.- № 1.- С. 78-82.

42 Тусупбаев Н.К., Калдыбаева Ж.А., Семушкина Л.В., Нарбекова С.М. Возможность использования композиционных реагентов при флотационном обогащении медной руды Казахстана //Обогащение руд. – 2017. – № 3. - С. 36-40.

43 Semushkina L., Kenzhaliyev B., Turisbekov D., Tussupbayev N., Narbekova S. About a possibility of processing of technogenic waste with use of the new equipment and flotoreagent //Materials 17th SGEM International Scientific Multidisciplinary Conference. - Vienna, Austria, 27 – 30 November 2017. - P.3-9.

44 Семушкина Л.В., Турысбеков Д.К., Рулев Н.Н., Нарбекова С.М. Флотация хвостов обогащения свинцово-цинковых руд комбинированным собирателем с использованием микроэмульгирования // Обогащение руд. – 2017. – № 2. - С.26-31.

45 Рулев Н.Н., Тусупбаев Н.К., Турысбеков Д.К., Семушкина Л.В., Нарбекова С.М. Комбинированная микрофлотация тонкодисперсных минералов //Цветные металлы.-2017. - №9. – С.14-20.

46 Rulyov N.N., Tussupbayev N.K., Turusbekov D.K., Semushkina L.V., KaldybaevaZh.A.Effect of microbubbles as flotation carriers on fine sulphide ore beneficiation //Mineral Processing and Extractive Metallurgy. – 2018. – Vol.127. – No.3. – P.133-139.

47 Тусупбаев Н.К., Нарбекова С.М., Семушкина Л.В., КалдыбаеваЖ.А. Обогащение золотосодержащего сырья с применением турбофлотационной аппаратуры //Известия ВУЗов Кыргызстана.-2019.- № 7.- С.13-17.

48 Tatek Temesgen, Thi Thuy Bui, Mooyoung Han, Tschung-il Kim, Hyunju Park Micro and nanobubble technologies as a new horizon for water-treatment techniques: A review // Advances in Colloid and Interface Science.- 2017.- 246.- С.40-51.

49 Zhizhao Che, Panagiotis E. Theodorakis Formation, dissolution and properties of surface nanobubbles // Journal of Colloid and Interface Science.- 2017.- Vol.417.- P.123-129.

50 Edison Muzenda, Adeshina G. Ikotun, Freeman Ntuli Influence of Frothers on the Flotation of Black Mountain Ore// International Conference on Chemical Engineering and its Applications (ICCEA'2012) September 8-9, 2012 Bangkok (Thailand).-P.103-105.

51 Moenke H., Mineralspektren, Acad. Verlag, Berlin.- 1962.- 394 S.

52 HR Minerals (600 spectra). Thermo Fisher Scientific Inc. for Nicolet FT-IR.- 2008.

53 Власов А.Г., Флоринская В.А. и др. Инфракрасные спектры неорганических стекол и кристаллов, Изд-во «Химия», Л.- 1972.- С.304.

54 Farmer V.C. The Infrared Spectra of minerals, London. – 1974. - 539 p.

55 Солнцева Л.С., Сидоренко Г.А., Солнцев Б.П. Применение ИК-спектроскопии к изучению характера связи и координации катионов по кислороду и галогенам в минералах //Конституция и свойства минералов.- 1972. - № 6.- С.30-46.

56 Тарасевич Ю.И., Сивалов Е.Г. Инфракрасные спектры слюд // Ук. Хим. Ж.- 1972.- Т.38,11.- С. 1112–1120.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Список опубликованных работ по теме диссертации

1 Турысбеков Д.К., Семушкина Л.В., Нарбекова С.М., Калдыбаева Ж.А., Мухамедилова А.А., Мусина М.М. Изучение влияния комбинированной микрофлотации в обогащении бедной полиметаллической руды // Международная конференция «Проблемы комплексной и экологически безопасной переработки природного и техногенного минерального сырья» (Плаксинские чтения – 2021), Владикавказ, 04-08 октября 2021 г.- С.230-234.<http://plaksin.ipkonran.ru/download/programm.pdf>

2 D. Turysbekov, N. Tussupbayev, L. Semushkina, S. Narbekova, Zh. Kaldybaeva, A. Mambetaliyeva Effect of the water-air emulsion size of the foaming agent solution on the non-ferrous metal minerals flotation ability // Metalurgija. 2021.- Vol.60.- №3-4.- P.395-398. (Web of science, Q3).<https://hrcak.srce.hr/file/386165>

3 D. Turysbekov, N. Tussupbayev, L. Semushkina, S. Narbekova, ZH. Kaldybaeva, A. Mukhamedilova Study of the properties of water-air microdispersion of a floatation agent solution // Metalurgija. 2022.- Vol.61.- №2, P.363-366. (Web of science, Q3).<https://hrcak.srce.hr/file/372284>

4 Turysbekov D.K., Tussupbayev N.K., Semushkina L.V., Narbekova S.M., Mukhamedilova A.M. Determination of factors affecting properties of water-air microdispersion // ComplexUse of Mineral Resources.- 2022.- 322 (3).- P.5-13. <https://doi.org/10.31643/2022/6445.23>

5 Турысбеков Д.К., Семушкина Л.В., Нарбекова С.М., Калдыбаева Ж.А., Мухамедилова А.А. Изучение флотуемости минералов цветных металлов в присутствии водовоздушной эмульсии раствора пенообразователя // Сборник материалов Международных XXI Байконуровских чтений «Перспективы развития науки и образования в условиях новой реальности».- Жезказган.- 2021.- С.296-300.<https://cloud.mail.ru/public/m1HL/1i5DHsRp6>

6 Турысбеков Д.К., Тусупбаев Н.К., Семушкина Л.В., Нарбекова С.М., Калдыбаева Ж.А., Мухамедилова А.А. Изучение свойств водовоздушной микродисперсии раствора флотореагента // Материалы Международной Научно-практической Конференции «Сатпаевские чтения – 2022».- Алматы.- 2022.- С.40-46.

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Оттиски опубликованных работ по теме диссертации



2021

**ПРОБЛЕМЫ КОМПЛЕКСНОЙ И
ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ
ПРИРОДНОГО И ТЕХНОГЕННОГО
МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ
(Плаксинские чтения – 2021)**

**МАТЕРИАЛЫ
МЕЖДУНАРОДНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ**



**PROBLEMS OF INTEGRATED AND
ENVIRONMENTALLY SAFE PROCESSING
OF NATURAL AND MAN-MADE
MINERAL RAW MATERIALS
(Plaksinsky Readings – 2021)**

**PROCEEDINGS
OF INTERNATIONAL CONFERENCE**

ВЛАДИКАВКАЗ

**ПРОБЛЕМЫ КОМПЛЕКСНОЙ И
ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНОЙ
ПЕРЕРАБОТКИ ПРИРОДНОГО И
ТЕХНОГЕННОГО МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ**

(Плаксинские чтения – 2021)

г. Владикавказ, 04-08 октября 2021 г

**МАТЕРИАЛЫ
МЕЖДУНАРОДНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ**



**PROBLEMS OF INTEGRATED AND
ENVIRONMENTALLY SAFE PROCESSING
OF NATURAL AND MAN- MADE
MINERAL RAW MATERIALS**

(Plaksinsky readings – 2021)

Vladikavkaz, 04-08 October, 2021

**PROCEEDINGS
OF INTERNATIONAL CONFERENCE**

**ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ КОМБИНИРОВАННОЙ МИКРОФЛОТАЦИИ
В ОБОГАЩЕНИИ БЕДНОЙ ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКОЙ РУДЫ***

*Турсыбеков Д.К., Семушкина Л.В., Нарбекова С.М., Калдыбаева Ж.А.,
Мухамедилова А.А., Мусина М.М.*

Satbayev University, АО «Институт металлургии и обогащения»
г. Алматы, Республика Казахстан, e-mail: s.narbekova@mail.ru

Проведены комплексные испытания эффективности комбинированной микрофлотации с использованием генератора водовоздушной микроэмульсии и пенообразователя SSIM. Изучено влияние комбинированной микрофлотации на эффективность флотационной обработки месторождения Риддер-Сокол. Показано, что использование генератора водовоздушной микроэмульсии позволяет ускорить процесс флотации на 25-30%, расход пенообразователя SSIM снижен на 20% по сравнению с базовым пенообразователем.

**Study of the influence of combined microflotation in processing
poor polymetallic ore**

*Turysbekov D.K., Semushkina L.V., Narbekova S.M., Kaldybaeva Zh.A.,
Mukhamedilova A.A., Musina M.M.*

Complex tests of the efficiency of combined microflotation using a generator of water-air microemulsion and foaming agent SSIM were carried out. The effect of combined microflotation on the efficiency of flotation processing of the Ridder-Sokol deposit was studied. It is shown that the use the generator of water-air microemulsion allows to accelerate the flotation process by 25-30%, the consumption of the foaming agent SSIM is reduced by 20% in comparison with the base foaming agent.

По мере истощения богатых месторождений и возникновения необходимости вовлечения в переработку бедных, тонковкрапленных руд и техногенного сырья, раскрытие которых требует очень тонкого измельчения, проблема флотации мелких шламовых частиц приобретает актуальное значение [1-3]. Одним из решений этой проблемы может быть применение в процессе флотации пузырьков воздуха, размер которых не превышает 50 мкм, что позволит более полно извлекать тонкодисперсные шламовые ценные минералы [4]. Поскольку использование столь мелких пузырьков во флотационных машинах известных конструкций сопряжено с некоторыми технологическими трудностями, был разработан принципиально новый метод флотации ультрадисперсных минералов - «турбулентная микрофлотация». Для ее

* Исследования проведены при финансовой поддержке Комитета науки Министерства образования и науки Республики Казахстан по гранту AP08856041.

реализации большую роль играет наличие подходящего источника микропузырьков. Фирмой «Турбофлотсервис» (Украина) разработан генератор водовоздушной микроэмульсии (ГВВМЭ). Замена основного потока воздуха через флотационные камеры потоком микропузырьков позволит увеличить извлечение металла при сохранении требуемого качества концентрата.

Предлагаемая микрофлотационная технология позволит увеличить добычу ценных металлов на существующих месторождениях, освоить новые относительно бедные и ранее экономически бесперспективные месторождения.

Проведено исследование возможности флотационной переработки полиметаллической руды Риддер-Сокольского месторождения (Казахстан) с применением генератора ГВВМЭ и пенообразователя СВИМ. Пенообразователь СВИМ получен на основе сивушного масла и обладает повышенным на 10% в сравнении с базовым пенообразователем Т-92 пенообразующим свойством.

В исходной руде по результатам химического анализа содержание свинца составило 0,25%, меди 0,15%, цинка 0,32%, железа 1,7%. Результаты дисперсионного анализа измельченной руды показали, что большая часть полезных компонентов – 69,1% меди, 64,53% свинца, 73,13% цинка сосредоточена во фракции 0-40 мкм. По результатам рентгенофазового анализа основную часть породообразующих минералов в исходной руде составляют кварц и алюмосиликаты.

Главные рудообразующие минералы в Риддер-Сокольском месторождении – сфалерит, галенит, халькопирит; второстепенные – тетраэдрит, теннантит, марказит, арсенопирит, золото, серебро, электрум; редкие – борнит, молибденит, алтант, самородный висмут, висмутин и др. Среди нерудных минералов преобладают кварц, карбонаты, серицит, барит, хлорит.

Реагент СВИМ-1 синтезировали на пилотной установке на основе фракции спиртов С₃-С₉, выделенных из сивушных масел, содержащих не более 15% воды, с дальнейшим их окислением кислородом воздуха в течении 3-5 часов в присутствии кислотного катализатора – смеси серной и уксусной кислот, взятых в соотношении 3:0,75-1.

На рисунке представлен ИК-спектральный анализ реагента СВИМ.

В составе пробы установлено присутствие соединений: 3-Methyl-1-butanol; 2-Methyl-1-propanol; ethyl alcohol, denatured; валентные колебания группы С=О; асимметричные валентные колебания –С–О–С– эфиров, лактонов и т.д., а также валентных колебаний С=S.

Схема укрупненно-лабораторных испытаний по коллективной флотации руды включала в себя коллективную медно-свинцово-цинковую флотацию, контрольную флотацию и две перечистки коллективного концентрата.

Коллективную медно-свинцово-цинковую флотацию проводили при pH 8,0-9,0. При проведении основной коллективной и контрольной флотациях использовали в качестве собирателя – бутиловый ксантогенат (Бкс) и аэрофлот (Баэр); в качестве вспенивателя – Т-92. Соотношение собирателей Бкс : Баэр=60% : 40%. В перемешивании подавали жидкое стекло (300 г/т) для депрессии минералов пустой породы.

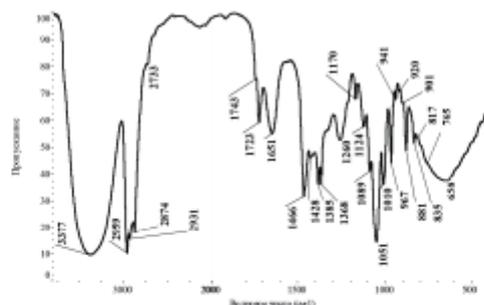


Рисунок. ИК-спектральный анализ пенообразователя СВМ

Проведен подбор оптимального режима измельчения руды, расхода собирателя и пенообразователя, подаваемого во флотацию. При оптимальном измельчении руды Риддер-Сокольского месторождения до 99,5% класса -0,04 мм, суммарном расходе собирателя 200 г/т, пенообразователя Т-92 - 22,5 г/т получен коллективный медно-свинцово-цинковый концентрат, содержащий 3,6% меди при извлечении 92,6%; 3,9% свинца при извлечении 85,8%; 7,8% цинка при извлечении 87,4%; 19,1% железа.

Проведен подбор оптимального расхода пенообразователя СВМ. С применением нового пенообразователя получен коллективный медно-свинцово-цинковый концентрат, содержащий 3,7% меди при извлечении 93,8%; 3,95% свинца при извлечении 88,8%; 7,5% цинка при извлечении 93,4%; 20,5% железа. При этом расход СВМ меньше, чем расход Т-92 на 20%.

Проведены опыты в замкнутом цикле по оптимальному базовому режиму, с применением генератора и пенообразователя СВМ.

По базовому режиму в замкнутом цикле получен коллективный медно-свинцово-цинковый концентрат, содержащий 2,08% меди при извлечении 94,69%; 3,67% свинца при извлечении 77,92%; 4,44% цинка при извлечении 92,89%; 13,89% железа при извлечении 98,8%.

С применением генератора водо-воздушной микроэмульсии и базового пенообразователя Т-92 в замкнутом цикле получен коллективный медно-свинцово-цинковый концентрат, содержащий 2,1% меди при извлечении 94,74%;

**«Проблемы комплексной и экологически безопасной переработки
природного и техногенного минерального сырья»**

3,7% свинца при извлечении 77,91%; 4,3% цинка при извлечении 92,94%; 14,0% железа при извлечении 98,93%.

Применение ГВВМЭ не улучшает технологические показатели флотационной переработки, как показывают результаты, но позволяет сократить время основной и контрольной флотации на 25%, время перечисток – на 30%. С применением ГВВМЭ и пенообразователя СВИМ получены аналогичные результаты, как в базовом режиме, за исключением расхода СВИМ (меньше на 20%). Результаты опытов в замкнутом цикле представлены в таблице.

Таблица. Результаты коллективной флотации руды Риддер-Сокольского месторождения в замкнутом цикле

Наименование продуктов	Выход, %	Содержание, %				Извлечение, %				Примечание
		Cu	Pb	Zn	Fe	Cu	Pb	Zn	Fe	
Коллект. концентрат	7,86	2,1	3,8	4,6	14,8	94,21	76,42	92,9	98,9	Базовый режим Т-92 – 22,5 г/т
Отв. хвосты	92,14	0,011	0,1	0,03	0,014	5,79	23,58	7,1	1,1	
Исход. руда	100	0,175	0,391	0,389	1,176	100	100	100	100	
Коллект. концентрат	7,8	2,2	3,9	4,5	14,5	94,9	76,74	92,7	98,95	СВИМ – 17,5 г/т
Отв. хвосты	92,2	0,01	0,1	0,03	0,013	5,1	23,26	7,3	1,05	
Исход. руда	100	0,181	0,396	0,379	1,143	100	100	100	100	

Анализ полученных результатов показывает, что применение ГВВМЭ и пенообразователя не оказывает влияния на качество коллективного концентрата, полученного из руды Риддер-Сокольского месторождения, извлечение полезных компонентов в концентрат равнозначно базовому режиму.

Применение ГВВМЭ позволяет сократить время флотации на 25-30%.

Установлено, что объемная доза микропузырьков в количестве 0,1 литра на 1 кг руды позволяет увеличить скорость флотации. Это связано с тем, что эффективность гетерокоагуляции частиц и микропузырьков в 50-70 раз больше, чем эффективность захвата частиц крупными пузырьками и скорость флотации минерализованных микропузырьков крупными пузырьками в несколько раз больше скорости флотации отдельных частиц.

Таким образом, проведен комплекс опытных испытаний эффективности комбинированной микрофлотации с использованием генератора водо-воздушной микроэмульсии и пенообразователя СВИМ на руде Риддер-Сокольского месторождения. Показано, что применение генератора водо-воздушной микроэмульсии приводит к существенному ускорению на 25-30% процесса флотации, расход же пенообразователя СВИМ снижается на 20% в сравнении с базовым пенообразователем.

Список использованных источников

1. Абишев Д.Н., Еремин Ю.П. Обогащение тонковкрапленных руд – приоритетное направление горно-металлургического комплекса //Промышленность Казахстана, 2000.- № 2.- С.96.
2. Глембоцкий А.В. Флотация ультратонких частиц //Цветные металлы, 1978.- № 7.
3. Бочаров В.А., Вигдергауз В.Е. Флотация сульфидных тонкодисперсных минеральных систем //Цветные металлы, 1997.- № 3.- С.8-11.
4. Рулев Н.Н., Тусупбаев Н.К., Кравченко О.В. Обогащение ультрадисперсного магнитного концентрата железной руды методом комбинированной микрофлотации //Мат. 9 Конгресса обогатителей стран СНГ, Москва, 2013. С.488-495.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ КАЛИЙНЫХ РУД – НОВЫЕ ФЛОТАЦИОННЫЕ РЕАГЕНТЫ

Титков С.Н.¹, Конобеевских А.В.¹, Афонина Е.И.¹, Алиферова С.Н.²

¹ Акционерное общество ВНИИ Галургии, Санкт Петербург, Российская Федерация

² Публичное акционерное общество «Уралкалий», г. Березники, Российская Федерация
e-mail: Stanislav.Titkov@uralkali.com

Приведены результаты лабораторных и промышленных испытаний новых реагентов для флотационного обогащения калийных руд – собиратель шламов КЭ-40 и депрессор шламов К-6. Реагенты рекомендованы для промышленного применения.

Improvement of potash ore processing technology - new flotation reagents

Titkov S.N., Konobeevskih A.V., Afonina E.I., Aliferova S.N.

The results of laboratory and industrial tests of new reagents for flotation concentration of potash ores – sludge collector КЭ-40 and sludge depressor К-6 are presented. Reagents are recommended for industrial use.

В условиях отсутствия централизованного планирования производства и поставок флотационных реагентов горнорудным предприятиям для обеспечения стабилизации и улучшения технико-экономических показателей переработки минерального сырья целесообразно расширение разработки альтернативных флотационных реагентов для обеспечения действующих и новых предприятий.

Одними из основных реагентов для флотационной переработки калийных руд являются собиратель шламов для проведения флотационного обесшламливания калийных руд и депрессор шламов, устраняющий отрицательное влияние остаточного количества силикатно-карбонатных шламовых примесей на катионную флотацию селвина первичными алифатическими аминами. В качестве собирателя шламов, альтернативного

СОДЕРЖАНИЕ

ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ	3
<i>Чантурия В.А., Шадрюнова И.В.</i> Инновационные процессы глубокой и экологически безопасной переработки техногенного сырья в условиях новых экономических вызовов	3
<i>Дмитрак Ю.В.</i> Основные направления научной деятельности СКГМИ (ГТУ) в исследовании и решении проблемы комплексной и экологически безопасной переработки природного и техногенного минерального сырья	8
<i>Курков А.В., Ануфриева С.И., Темнов А.В.</i> Перспективы разработки и внедрения комплексных технологий переработки отходов недропользования	13
<i>Семячков А.И., Почечун В.А.</i> Методологические основы оценки воздействия горнопромышленных комплексов на окружающую среду	19
<i>Алборов И.Д., Тедеева Ф.Г.</i> Экологические аспекты сохранения техногенных месторождений цветных металлов на Северном Кавказе	22
<i>Маслобоев В.А., Макаров Д.В., Ключникова Е.М.</i> Устойчивое развитие горнопромышленного комплекса Мурманской области: минимизация техногенных воздействий на окружающую среду	27
<i>Устинов И.Д.</i> Геометаллургия как основа комплексной переработки минерального сырья	30
<i>Ожогина Е.Г., Котова О.Б.</i> Технологическая минералогия в решении проблемы комплексной переработки минерального сырья	34
<i>Александрова Т.Н., Афанасова А.В., Николаева Н.В.</i> Низкоразмерные структуры благородных и цветных металлов и методы их селективной сепарации	39
<i>Матвеева Т.Н.</i> Флотационные реагенты для извлечения тонковкрапленного золота из труднообогатимых руд и техногенных продуктов	42
<i>Хетагуров В.Н., Гегелашвили М.В.</i> Развитие оборудования для тонкодисперсного измельчения минерального сырья	49
<i>Заалишвили В.Б., Бурдзиева О.Г., Капуков А.С.</i> Влияние неблагоприятного экологического состояния окружающей среды на здоровье населения	52
СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ В ПРОЦЕССАХ ПЕРЕРАБОТКИ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ	57
<i>Двойченкова Г.П., Чантурия Е.Л.</i> Физико-химические и электрохимические методы модифицирования свойств алмазов и компонентов рудной пульпы при сепарации алмазосодержащих кимберлитов	57

ФЛОТАЦИЯ, ГРАВИТАЦИЯ, МАГНИТНАЯ И ЭЛЕКТРО-МАГНИТНАЯ СЕПАРАЦИЯ	219
<i>Афанасова А.В., Александрова Т.Н., Кузнецов В.В.</i> Развитие методического подхода к оценке флотуемости сульфидных минералов	219
<i>Матвеева Т.Н., Громова Н.К., Лапцова Л.Б.</i> Формирование адсорбционного слоя цианэтилированного дитиокарбамата на золотосодержащем халькопирите в условиях флотации комплексных руд	222
<i>Семушкина Л.В., Абдыкирова Г.Ж., Турысбеков Д.К., Нарбекова С.М., Калдыбаева Ж.А., Мухамедилова А.М.</i> Применение комбинированного флотореагента при обогащении медьсодержащего сырья	226
<i>Турысбеков Д.К., Семушкина Л.В., Нарбекова С.М., Калдыбаева Ж.А., Мухамедилова А.А., Мусина М.М.</i> Изучение влияния комбинированной микрофлотации в обогащении бедной полиметаллической руды	230
<i>Титков С.Н., Конобеевских А.В., Афонина Е.И., Алиферова С.Н.</i> Совершенствование технологии переработки калийных руд – новые флотационные реагенты	234
<i>Соложенкин П.М.</i> Оксихлориды сурьмы и висмута при инновационной переработке сурьму- и висмутсодержащих руд	237
<i>Соложенкин П.М.</i> Флотореагенты на основе селеноксантогената-и-селенокарбамата в качестве собирателей сульфидных минералов благородных металлов	239
<i>Соложенкин П.М.</i> Изучение замещения серы традиционных диалкилдитиофосфатов на селен-и-теллур	246
<i>Матвеева Т.Н., Гетман В.В., Каркешикина А.Ю.</i> Изучение сорбционной и флотационной активности минералов медно-молибденовых руд с использованием композитного реагента	251
<i>Кондратьев С.А., Коваленко К.А.</i> Определение стабильности флотационного агрегата в турбулентном потоке	255
<i>Кондратьев С.А.</i> Сила и селективность действия флотационного реагента	259
<i>Каркешикина А.Ю., Гетман В.В.</i> Изучение физико-химических свойств дитиопирилметана на пиритах различной природы	263
<i>Юрьев А.И., Лесникова Л.С., Величко В.В., Дациев М.С., Лукожьев И.О.</i> Исследования по повышению эффективности процесса дообогащения отвального малоникелистого пирротинового продукта	266
<i>Лебедев А.В., Куртуков В.С., Чебурашкин А.С., Маркворт Л.</i> Оценка эффективности использования пневматических флотомашин «Allflot» при переработке шламовой фракции лежалых хвостов хвостохранилища №1 Норильской обогатительной фабрики	270

ISSN 1842-6596 (print) / ISSN 1848-0197 (online)

Volume 48
No. 3-4 (2016)

METALURGIJA

IN MEMORIAM

Prof. dr. sc. Ivan Čadež (1928-2016)
Prof. dr. sc. Alojz Kramar (1927-2016)

3-4



IZDAVAČIŠKA DRUŠTVA ZVEZDA I S. KUPČIČIĆI

IZDAVAČIŠKA DRUŠTVA ZVEZDA I S. KUPČIČIĆI

Number 3-4

Metalurgija 60 (2021) 3-4, pp. 177 – 464

Original scientific papers

E. Kardas, R. Prusak – The quality of coke and its consumption blast furnace process (pp. 181-184)	PDF 373 KB
W. Deng, L. Zhang, D. Cang – Study on distribution of sulfur element in blast furnace (BF) process with different pellet proportions (pp. 185-187)	PDF 370 KB
K. Janiszewski – The influence of ferrous scrap's grade on the yield of steel smelted in an electric-arc furnace (EAF) (pp. 188-190)	PDF 1 MB
J. H. Zhang, Y. X. Chen, D. Z. Yang – Process design and life analysis of tundish lining (pp. 191-194)	PDF 161 KB
S. M. Jia, L. Miao, C. J. Wu, D. Xu – Simulation study on the effect of riser heating mode on solidification of flat ingot head (pp. 195-197)	PDF 556 KB
H. H. Yu, X. Li, S. M. Wang, Q. Z. Liu, H. Liu – Effect of Cr_2O_3 on crystallization of CaO-MgO- Al_2O_3 - SiO_2 (CMAS) slag glass-ceramics (pp. 198-200)	PDF 1 MB
J. Pieprzyca, T. Merder – The process of dissolving solid lump carbonaceous fuel (SLCF) in the oxygen converter – physical modeling (pp. 201-204)	PDF 345 KB
Y. J. Zhang, L. B. Wu – Adaptive neural event-triggered design for the molten steel level in a strip casting process (pp. 205-208)	PDF 885 KB
A. Bobrowski, D. Drożyński, K. Kaczmarska, B. Grabowska, S. Cukrowicz – Kinetics of gas emission from aluminosilicates used as a relaxing additive for moulding and core sands (pp. 209-212)	PDF 472 KB
Y. Gao, L. Y. Huang, C. Chen – Analysis on temperature field after angle steel's controlled cooling (pp. 213-215)	PDF 790 KB
C. J. Wang, Q. Guo, Y. Y. Shao – Effect of hot rolling temperature on microstructures and textures of grain oriented silicon steel (pp. 216-218)	PDF 316 KB
L. Bernat – The influence of cooling rate and heat treatment on microstructure and mechanical properties of Al-Si-Cu alloy castings made in gypsum molds (pp. 219-222)	PDF 291 KB

A. Zhauyt, A. Bukayeva, Z. Tursymbekova, G. Bulekbayeva, Zh. Begendikova, G. Mambetaliyeva, M. Chazhabayeva – Development of hot rolling technology using the method of physical modeling (pp. 387-390)	PDF 412 KB
L. Semushkina, G. Abdykirova, D. Turysbekov, S. Narbekova, Zh. Kaldybaeva, A. Mukhamedilova – About the possibility of copper-bearing ore flotation processing of with the use of a combined flotation reagent (pp. 391-394)	PDF 219 KB
D. Turysbekov, N. Tussupbayev, L. Semushkina, S. Narbekova, Zh. Kaldybaeva, A. Mambetaliyeva – Effect of the water-air emulsion size of the foaming agent solution on the non-ferrous metal minerals flotation ability (pp. 395-398)	PDF 434 KB
C. Kolmasiak, M. Łągiewka – Solidification of the Al alloy composite reinforced with graphite particles (pp. 399-402)	PDF 347 KB
A. M. Dostayeva, I. I. Erahtina, N. R. Zholmagambetov, N. A. Medeubayev, S. R. Zholmagambetov – Investigation of aluminum-titanium alloys production and labor safety in metal smelting process (pp. 403-406)	PDF 444 KB
R. A. Ramazanova, S. V. Mamyachenkov, N. V. Seraya, G. K. Daumova, R. A. Aubakirova, Zh. T. Bagasharova – Research of kinetics of zinc leaching with sulfuric acid from smithsonite (pp. 407-410)	PDF 182 KB
A. A. Ultarakova, A. M. Yessengazyev, E. I. Kuldeyev, K. K. Kassymzhanov, O. Kh. Uldakhanov – Processing of titanium production sludge with the extraction of titanium dioxide (pp. 411-414)	PDF 179 KB
A. E. Burdonov, P. K. Fedotov, Y. V. Novikov, A. A. Garashchenko, M. P. Kuzmin, A. V. Rasskazova – Influence of temperature on the strength of alumina-containing raw materials (pp. 415-418)	PDF 408 KB
G. Dairbekova, B. Zhautikov, N. Zobnin, D. Bekmagambetov, D. Tolubayeva – Use of Si-composite aspiration dusts production in the creation of thin-film anodes (pp. 419-422)	PDF 395 KB

EFFECT OF THE WATER-AIR EMULSION SIZE OF THE FOAMING AGENT SOLUTION ON THE NON-FERROUS METAL MINERALS FLOTATION ABILITY

Received – Primljeno: 2021-01-18
Accepted – Prihvaćeno: 2021-04-10
Preliminary Note – Prethodno priopćenje

The research objective is to study the effect of the water-air emulsion size of the foaming agent solution on the flotation ability of non-ferrous metal minerals. An air-water emulsion of a foaming agent solution was obtained in a water-air microemulsion generator. It has been established that the supply of microbubbles to the monomineral flotation process makes it possible to increase the yield of minerals with different dispersion ability and accelerate the flotation process by 10 - 15 %.

Keywords: non-ferrous metal, monomineral flotation, foaming agent, water-air microemulsion, size of minerals

INTRODUCTION

The overwhelming majority of ores processed at present in Kazakhstan are distinguished by the close intergrowth of very thin, up to colloidal, mineral inclusions. All the ore has to be finely ground since the mineral grains containing useful components are so small to open and release them into free particles applicable to be separated from the host rock. A significant part of the currently mined ores requires much deeper grinding up to 30 - 40 μm to open monomineral grains, while the optimal grain size for flotation beneficiation is ~ 70 μm . It results in the loss with microdispersions (superslimes) of a significant part of the opened monomineral grains containing enriched metals.

The low efficiency of micron-sized particles flotation extraction from ores is one of the important reasons for the large losses of valuable components in concentration plants. The use of combined microflotation with the water-air microdispersion production that will enable additional extraction of microdispersed valuable ore minerals, optimize the flotation process and obtain higher technological parameters, is one of the solutions to this problem.

In some works [1-4], options for increasing the efficiency of processing fine-dispersed ores using concentration methods and different reagent modes are considered.

In the middle of the last century, researchers [5-11] have shown that the most effective method to beneficiate microparticles is flotation by aeration with gases

released from their aqueous solution. The use of combined microflotation, where both micro- and macro-bubbles are involved in the flotation process, can be one of these problem solutions.

It is theoretically shown [12-13] that the solution to the flotation problem for particles with a size less than 25 μm can be achieved only by using air bubbles that size does not exceed 50 μm , in the flotation process. The air bubbles used in the process are formed outside the treated pulp in the form of a concentrated water-air microemulsion performing the fundamental difference between this method and conventional flotation.

The research aimed to use combined microflotation [14-18] that enables to additionally extract the finely-dispersed minerals lost with flotation tailings and obtain concentrates with a high extraction of the useful component, are relevant and economically feasible.

This work purpose is to study the effect of the water-air microdispersion nature on the flotation ability of non-ferrous metals sulfide minerals. The water-air microdispersion of the foaming agent solution is obtained in the generator and the obtained microdispersion contains 66 - 70 % of gas in the form of microbubbles.

MATERIALS AND METHODS

Objects of the research are the foaming agents: oxal T-92, dialkyldithiophosphate BTF-163. The analysis of the foaming agent solutions surface tension with various concentrations (solution pH is 8,5 - 9) was performed with a KRUSS tensiometer, K20 Easy Dyne series (Table 1).

The results show that the smallest surface tension has solutions at a concentration of 2,5 mg/cm^3 for T-92, 5,0 mg/cm^3 for BTF-163.

D. Turysbekov, N. Tussupbayev, L. Semushkina, S. Narbekova, (s.narbkova@mail.ru) Zh. Kaldybaeva, A. Mambetaliyeva, Sathayev University, Institute of Metallurgy and Ore Beneficiation, Almaty, Kazakhstan

Table 1 Surface tension of the starting reagents

Name	Concentration/ mg/cm ³	t/°C	σ/ mN/m
Water	-	22,0	72,6
T-92	0,25	22,2	60,2
T-92	0,5	21,7	55,1
T-92	2,5	21,6	48,4
BTF-163	0,5	22,1	46,1
BTF-163	2,5	22,2	45,2
BTF-163	5,0	21,9	42,6



Figure 1 Monomineral flotation flow diagram

Then these solutions are passed through a water-air microemulsion generator. It forms a water-air microemulsion. The microbubbles' size and the amount depend on the foaming agent concentration. The obtained water-air microemulsions were investigated on a PhotoCor Compact particle size analyzer.

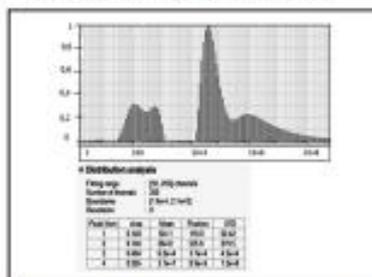
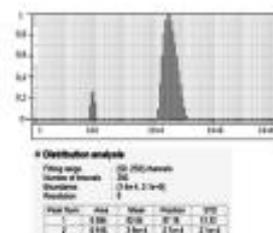
The water-air microemulsion effect on the monominerals (chalcopyrite, galena, sphalerite, pyrite) flotation ability has been studied. The minerals were ground in a porcelain mortar, the weight was 5 grams. Flotation was performed in a laboratory FL type (Russia) flotation machine with a volume of 50 cm³. The impeller rotation speed was 1100 revolutions per minute. The minerals were mixed with water, evacuated, then reagents were supplied and processed in agitation and aeration modes (Figure 1).

Sodium butyl xanthate (consumption 5 mg/dm³) was used as a collector. Foaming agent consumption is 15 mg/dm³.

Monomineral flotation was performed at different dispersion ability of chalcopyrite, galena, sphalerite, and pyrite minerals: - 0,074 + 0,044 mm; - 0,044 + 0,020 mm; - 0,020 + 0 mm. Foaming agents were supplied in the form of solutions (basic mode) and the form of a water-air microemulsion.

RESULTS AND DISCUSSION

The optimal dimensions of the water-air microemulsion were obtained at concentrations of 2,5 mg/cm³ for T-92, 5,0 mg/cm³ for BTF-163 (Figures 2, 3).

Figure 2 Distribution of microbubble particles (T-92, 5 mg/cm³)Figure 3 Distribution of microbubble particles (BTF-163, 2,5 mg/cm³)

Optimal distributions were obtained at concentrations of T-92 5,0 mg/cm³, BTF-163 2,5 mg/cm³. The average particle size of microbubbles is 27 μm, the content (fraction) of these particles is 63,5 % for T-92 solution with a concentration of 2,5 mg/cm³ (Figure 2). The average particle size of microbubbles is 22 μm, the content (fraction) of these particles is 87,6 % for a BTF-163 solution with a concentration of 2,5 mg/cm³ (Figure 3).

Monomineral flotation results versus time are shown in Figures 4-7.

In Figures 1-3 corresponds to the size of minerals 1) - 0,074 + 0,044 mm; 2) - 0,044 + 0,020 mm; 3) - 0,020 + 0 mm in the basic mode, "1-2-3" corresponds to the size of minerals using microemulsion.

The research results showed that the mineral yield increases from 78 to 83 % during flotation of chalcopyrite with a dispersion ability of - 0,074 + 0,044 mm with the microbubbles additional use; the mineral yield increases from 62 to 80 % with a dispersion ability of - 0,044 + 0,020 mm; the mineral yield increases from 22 to 50 % with a dispersion ability of - 0,020 + 0 mm.

The mineral yield increases from 84 to 87 % during flotation of galena with a dispersion ability of - 0,074 + 0,044 mm with the microbubbles additional use; the mineral yield increases from 76 to 85 % with a dispersion ability of - 0,044 + 0,020 mm; the mineral yield

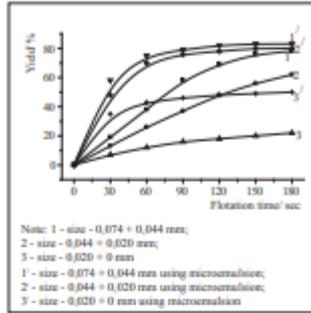


Figure 4 Flotation time dependence of the chalcocopyrite flotation ability

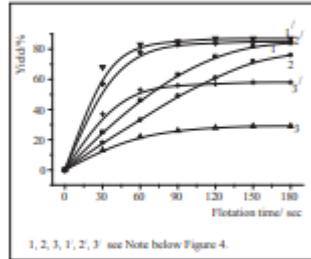


Figure 5 Flotation time dependence of the galena flotation ability

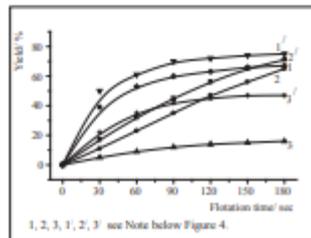


Figure 6 Flotation time dependence of the pyrite flotation ability

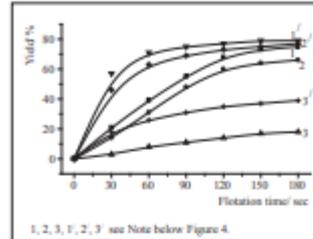


Figure 7 Flotation time dependence of the sphalerite flotation ability

increases from 29 to 58 % with a dispersion ability of - 0,020 + 0 mm.

The mineral yield increases from 71 to 75 % during flotation of pyrite with a dispersion ability of - 0,074 + 0,044 mm with the microbubbles additional use; the mineral yield increases from 65 to 67 % with a dispersion ability of - 0,044 + 0,020 mm; the mineral yield increases from 16 to 47 % with a dispersion ability of - 0,020 + 0 mm.

The mineral yield increases from 75 to 79 % during flotation of sphalerite with a dispersion ability of - 0,074 + 0,044 mm with the microbubbles additional use; the mineral yield increases from 66 to 77 % with a dispersion ability of - 0,044 + 0,020 mm; the mineral yield increases from 18 to 39 % with a dispersion ability of - 0,020 + 0 mm.

Thus, the presented results show that the supply of a foaming agent in the form of microbubbles to the mono-mineral flotation process can increase the yield of minerals with a various dispersion ability and accelerate the flotation process by 10 - 15 %.

Acknowledgments

The research was performed with the financial support of the Science Committee of the Ministry of Education and Science of the Republic of Kazakhstan under grant No.AR08856041.

REFERENCES

[1] Tushbaev N.K., Semashkina L.V., Turysbekov D.K., Bektaganov N.S., Mukhametillova A.M. Use of modified flotation reagents in the processing of technogenic raw materials. *Kompleksnoye ispol'zovaniye mineral'nogo syr'ya* (2017) 1, 78-82. <http://kims-iznio.kz>
 [2] Malyshev V.P., Kalkoeva G.L., Zubrina Yu.S., Oskenbekov I.M., Gornalilina D.R. Development of a complex probabilistic-deterministic model of grinding and flotation processes. *Kompleksnoye ispol'zovaniye mineral'nogo syr'ya* (2017) 1, 47-53. <http://kims-iznio.kz>

- [3] Chantariya, V.A., Kerezhaliyev, B.K., Lashinok, S.S., Amirova, M.D., Bertson, V.D. Improvement of mineral processing technology for the ores from sulfide-polymetallic deposits, *Tsvetnye Metally* (2005) 1, 16-19.
- [4] Kerezhaliyev B.K., et al. Extraction of gold from flotation tails of gold-processing plant, *News of the national academy of sciences of the Republic of Kazakhstan-series chemistry and technology* (2017) 6, 62-69.
- [5] Gierbontskiy A.V. Flotation of ultrafine particles, *Tsvetnye Metally* (1978) 7, 112-114.
- [6] Sebba F. An improved generator for micro-sized bubbles, *Chemistry and Industry* (1985) 4, 91-92.
- [7] Karger B., Grieves R.B., Lemlich R., Rubin A.J., Sebba F. Nomenclature recommendations for adsorptive bubble separation methods, *Separation Science* 401 (1967) 2.
- [8] Aulizaro J.F., Kitchener J.A. Rates of capture of small particles in flotation, *Transactions of the Institution of Mining and Metallurgy, Section C: Mineral Processing and Extractive Metallurgy* (1977) 86, 9-15.
- [9] Gierbontskiy V.A., Klausn V.I. Flotation, *Handbook of Ore Beneficiation*, Moscow, "Nedra", 1974.
- [10] Bocharov V.A., Vlodkynskiy V.E. Flotation of sulphide finely-dispersed mineral systems, *Tsvetnye Metally* (1997) 3, 8-11.
- [11] Utrarukova D.D., HyremenYu.P., Zaganov V.G. Development of a flotation method with ejection aerators with the gases release from the liquid phase, *Industry of Kazakhstan* (2007) 2, 58.
- [12] Rulyov N.N. Turbulent microflotation: Theory and Experiment, *Colloids & Surface A. Physicochemical and Engineering Aspects* (2001) 192, 75-91.
- [13] Rulyov N.N. Turbulent microflotation of ultra-fine minerals, *Mineral Processing and Extractive Metallurgy* 117 (2008) 1, 32-37.
- [14] Calgaroto S., Azavedo A., Rubin J. Flotation of quartz particles assisted by nanobubbles, *International Journal of Mineral Processing* 137 (2015), 64-70.
- [15] Alhradi B., Khodakshi D.A., Abdillay M., Fan M. Nano-microbubbles flotation of fine and ultrafine chalcocyanite particles, *International Journal of Mining Science and Technology* 24(2014), 559-566.
- [16] Rulyov N.N., Turysbekov D.K., Semashkina L.V., Narbekova S.M. Combined microflotation of fine dispersed minerals, *Tsvetnye Metally* (2017) 9, 14-20. DOI 10.17580/tm.2017.09.02.
- [17] Rulyov N.N., Turoshayev N.K., Turashbekov D.K., Semashkina L.V., Kaldybaeva Z.B.A. Effect of microbubbles as flotation carriers on fine sulphide ore beneficiation, *Mineral Processing and Extractive Metallurgy* 127 (2018), 133-139.
- [18] Turoshayev N.K., Zhantayev N.N., Omurov A.T., et al. Method for multicomponent microflotation of finely-dispersed ores of non-ferrous and precious metals and a device for its implementation, *Kazakhstan patent No. 4039 (07.06.2019)*.

Note: The responsible for English language is Karsh A. A., Almaty, Kazakhstan.

ISSN 1846-7813 (print) / ISSN 1848-5500 (online)

UDC 621.772.01(091) : 621.772.01(092)

METALURGIJA 2

Obilježnice Hrvatske metalurgije Anniversaries of Croatian Metallurgy

- ISSN 1846-7813 (print) / ISSN 1848-5500 (online) / 77 pages
- ISSN 1846-7813 (print) / ISSN 1848-5500 (online) / 4 pages
- ISSN 1846-7813 (print) / ISSN 1848-5500 (online) / 10 pages
- ISSN 1846-7813 (print) / ISSN 1848-5500 (online) / 10 pages

Editorial Board: I. Bilić, M. Čadež, M. Čadež, M. Čadež, M. Čadež



61

www.metalurgija.hr / www.metalurgija.hr
 ISSN 1846-7813 (print) / ISSN 1848-5500 (online) / www.metalurgija.hr

Number 2

Metalurgija 61 (2022) 2, pp. 289 – 576

Original scientific papers

T. Merder, J. Pieprzyca – Influence of casting rate on the mixing process of steel in non-symmetric tundish (pp. 291-294)	PDF 483 KB
H. Zhang, B. Wang, J. Zhang – Parametric of dimensional analysis on iron bath gasifier (pp. 295-297)	PDF 444 KB
W. Zhang, Z. X. Yin – Seismic performance analysis of blast furnace shell structure (pp. 298-300)	PDF 334 KB
D. Xu, B. Zheng, L. X. Guo, L. Zheng – A mathematical model of cavity depth in converter steelmaking (pp. 301-304)	PDF 393 KB
A. S. Kim, A. A. Akberdin, N. Yu. Lu, R. B. Sultangaziyev, A. S. Orlov – Diagram of the equilibrium phase composition of the Fe – Cr – Si – B system (pp. 305-308)	PDF 267 KB
Akhyar, I. Hasanuddin, M. Ibrahim, A. Farhan, Z. Jalil – Evaluation of cast defects in ship propeller of recycled aluminum alloy (pp. 309-312)	PDF 527 KB
J. G. He, W. J. Tao, Y. Li, G. Z. Dong, X. X. Cui – Impact of cathode slot on current distribution in cathode carbon of an aluminum electrolytic cell (pp. 313-316)	PDF 305 KB
S. Y. Chen, X. D. Shu, Y. J. Lu – Effect of 6061 aluminum alloy wheel forging and spinning process parameters on forming quality (pp. 317-320)	PDF 358 KB
S. Temirova, G. Abdykairova, E. Kuldeyev, E. Tastanov, I. Bondarenko, I. Motovilov – On the possibility to obtain manganese concentrate from manganese-containing tailings (pp. 321-324)	PDF 420 KB
Ch. Hu, K. Yang – Prediction of silicon content in hot metal based on golden sine particle swarm optimization and random forest (pp. 325-328)	PDF 564 KB
L. Zheng, D. Xu, Y. C. Ren, B. Zheng – Cause analysis and improvement measures of steel-heaping in wire rods production (pp. 329-331)	PDF 322 KB
J. Y. Yuan, B. S. Sun, X. Chen, H. L. Ma, X. S. Gao, X. D. Shu – Effect of process parameters on the force parameters in warm skew rolling of copper ball (pp. 332-334)	PDF 323 KB
D. Xu, B. Zheng, L. X. Guo, H. X. Pang – A mathematical model of critical jet heights causing droplets splashing in BOF steelmaking (pp. 335-337)	PDF 358 KB

W. Bialik, S. Gil, S. Kozłowski – Ecological effect of modernization of a metallurgical furnace (pp. 338-340)	PDF 315 KB
S. K. Arinova, Sv. S. Kvon, V. Yu. Kulikov, M. M. Abdildina, A. E. Omarova – Thermodynamic modeling and analysis of the structure of a heat-resistant alloy of the Fe-Cr-Ni system (pp. 341-343)	PDF 420 KB
G. Shvachych, I. Mamuzić, V. Tsvykh, M. Khylyko, H. Sashchuk, O. Timchenko, O. Ivaschenko, D. Moroz – Some complex intensification features of spheroidizing annealing of low carbon steel (pp. 344-346)	PDF 281 KB
D. Yergaliyev, A. Tulegulov, A. Zhumabayeva, A. Bukayeva, M. Suimenova, G. Yesbolay, A. Yussupov, A. Zhauyt – Study of stress-strain state of the roller conveyor (pp. 347-350)	PDF 345 KB
V. V. Yugay, A. D. Mekhtiyev, G. S. Ozhigin, R. Zh. Aimagambetova, Y. G. Neshina, Y. Zh. Sarsikeyev – Using optical fibers (OF) to control the stress-strain state of steel structures subject to fatigue failure (pp. 351-354)	PDF 244 KB
I. Vidaković, G. Heffer, K. Grilec, I. Samardžić – Resistance of modified material surfaces for agricultural tillage tools to wear by soil particles (pp. 355-358)	PDF 491 KB
I. Bondarenko, E. Kuldeyev, S. Temirova, A. Tastanova, N. Sadykov – Obtaining of strong chromium pellets with the use of a ferrosilicon-calcium binder (pp. 359-362)	PDF 256 KB
D. Turysbekov, N. Tussupbayev, L. Semushkina, S. Narbekova, Zh. Kaldybaeva, A. Mukhamedilova – Study of the properties of water-air microdispersion of a floatation agent solution (pp. 363-366)	PDF 351 KB
Ye. Kuatbay, A. Nurumgaliyev, Ye. Shabanov, O. Zayakin, S. Gabdullin, T. Zhuniskaliyev – Melting of high-carbon ferrochrome using coal of the saryadyr deposit (pp. 367-370)	PDF 268 KB
D. Yessengaliyev, T. Kainenova, A. Angsapov, G. Zhexenbaeva, G. Zhaumitova, Z. Sultamuratova – Feasibility study of using with high basicity manganese ore for smelting refined ferromanganese (pp. 371-373)	PDF 202 KB
G. Siwiec – Research of zinc concentrate oxidative roasting process (pp. 374-376)	PDF 283 KB
A. A. Ultarakova, Z. B. Karshigina, N. G. Lokhova, A. M. Yessengazyev, K. K. Kassymzhanov, S. S. Tolegenova – Extraction of amorphous silica from waste dust of electrowinning of ilmenite concentrate (pp. 377-380)	PDF 332 KB
I. Bondarenko, Ye. Kuldeyev, N. Serzhanova, N. Sadykov, A. Tastanova – The process of beneficiation of fine chrome sludges on concentration tables (pp. 381-384)	PDF 236 KB

STUDY OF THE PROPERTIES OF WATER-AIR MICRODISPERSION OF A FLOTATION AGENT SOLUTION

Received – Priljena: 2021-08-04
Accepted – Prihvaćeno: 2021-11-10
Preliminary Note – Prethodno priopćenje

The objective of the study is to investigate the properties of water-air microdispersion of flotation agent solution. The air-water emulsion of flotation agent solution is obtained in the air-water microemulsion generator. Butyl airfloat, foaming agent C-7 and cationic collector butyltriethylenetetramine B-TETA have been studied as reagents. The factors influencing emulsion stability have been determined. It was found that the temperature increase worsens the stability of microdispersion, the optimal speed of the generator is 6 000 rpm and higher. Flotation agent solutions give stable microdispersions at different solution concentrations. The optimum microdispersion is obtained at a generator speed of 6 000 rpm from 0,5 g/l solution of butyl airfloat, from 50 g/l solution of C-7 and B-TETA. The particle size of the dispersion ranges from 41-59 μm .

Keywords: water-air microemulsion, flotation agent, foaming agent, particle size, properties

INTRODUCTION

Technologically, the problem of microdispersion flotation is related to the fact that as the size of mineral particles decreases, their behaviour in hydrodynamic flows changes, they lose mass, and a threshold limit comes thereunder a microparticle cannot accumulate any kinetic energy in motion providing it the ability to overcome the water-structure energy barrier when meeting the bubbles. In flotation concentration it results in loss of extraction of non-ferrous metals with microdispersions from 5 to 30 %.

The problem of flotation of particles smaller than 25 μm can only be solved by using air bubbles of less than 50 μm in the flotation process [1-3]. There is a so-called "turbulent micro flotation" method [4]. The fundamental difference between this method and conventional flotation is that the air bubbles used in the process are formed concentrated water-air micro-dispersion

which is then mixed with the pulp. There are different ways to produce microbubbles in the flotation process. The method of pneumatic flotation with preliminary aeration of pulp in centrifugal flotation machines is known. This method is implemented in the machine with pre-aeration of "KHD HumboldtWedag AG" that includes a chamber in the upper part of which there are "slot aerators", through which the feed pulp is tangentially supplied, and there is a pipe for discharge of concentrate in the central part [5].

D. Turysbekov, N. Tussupbayev, L. Semushkina, S. Narbekova, (s.narbkova@mail.ru) Zh. Kaldybaeva, A. Mukhamedilova, Sathbayev University, Institute of Metallurgy and Ore Beneficiation, Almaty, Kazakhstan

METALURGIJA 61 (2022) 2, 363-366

There is a known method involving the simultaneous use of bubbles of two sizes for flotation where micro-bubbles are obtained as a result of gas extraction from the pulp when it is pumped through the ejector, and macro-bubbles as a result of hydrodynamic influence of pulp flows on the bubble surface in the flotation machine chamber [6].

With the purpose to obtain water-air microdispersion, a generator [7] was used, the main element of which is a dispersion chamber, inside which, by means of a high-speed electric drive, a highly inhomogeneous hydrodynamic field is created, through which a mixture of air and concentrated solution of foaming agent is transformed into microdispersion of air in the aqueous phase.

When microdispersion is used, bubbles of different sizes are also formed in the flotation system: micro-bubbles of 20-70 μm , medium bubbles due to the attraction of several micro-bubbles (so-called bubble cascade) and macro-bubbles generated by the aerator of the flotation machine. The micro-bubbles and the bubble cascade, being mobile and more flotation active, attract fine minerals of less than 30 μm and stick to the surface of the macro-bubbles, which float to the pulp surface as a flotation concentrate.

By using stable microbubble sizes, the correct ratio of bubbles of different sizes accelerates the flotation extraction of microparticles. When creating the generator, the main task is to regulate the optimum ratio of macro and micro bubbles and to stabilise the dispersion of micro bubbles.

The properties of water-air microdispersion were studied in this work: temperature changes during the operation of the flotation machine and generator, the influence of the type of flotation agent on the stability of microbubble dispersion in the flotation system.

363

MATERIALS AND METHODS

The object of the investigation is butyl airfloat that has both gathering and foaming properties. The concentration of the solution is 0,5 g/l. The changes of pulp temperature in flotation chamber depending on operating time of flotation machine, on operating time of water-air-microdispersion and on frequency of rotation of the generator were studied. The results are shown in Figure 1.

The results show that with the duration of time the pulp is heated, and with the use of a generator with increasing number of rotations the heating is more intense (curves 3,4 in Figure 1). When laboratory test experiments were performed for a short period of time the heating of the head and consequently the heating of the pulp has no negative impact on the quality of water-air microemulsion. When enlarged tests were performed, an additional cooling enclosure to cool the dispersant head is required for longer tests.

The influence of flotation agent type on properties of water-air microdispersion was studied. Butyl airfloat, foaming agent C-7 and cationic collector butyl-triethyl-enetetramine B-TETA widely applied at processing plants of Kazakhstan were used as flotation reagents. The concentration of the reagent solution was varied from 0,05 to 50 g/l. Besides, the influence of temperature on the properties of the water-air microdispersion was studied, the temperature was varied from 20 °C to 80 °C.

The following concept was introduced - the stability of the water-air microemulsion that is the time it takes for the emulsion to be destroyed. For this purpose, a 500 dm³ flotation agent solution is passed through a generator and a water-air microemulsion is obtained (Figure 2a). Then the mixing device and a stopwatch are switched on, and the time taken to destroy the microemulsion to a certain state is recorded (Figure 2b). The time taken for destruction indicates the stability of the water-air microdispersion.

Size of water-air microdispersion was determined with a PhotocorCompact particle size analyzer.

The influence of generator speed on the size and stability of water-air microdispersion obtained from 0,5 g/l butyl airfloat solution was studied, the results are given in Table 1.

The results show that at low speeds the stability of the water-air microdispersion is insignificant. A quittance process begins at rotational speeds above 6 000 rpm: the stability of the microdispersion increases proportionally, and the size of the microemulsion decreases.

Table 1 Dependence of size and stability of water-air micro-dispersion on generator speed

Generator speed / rpm	Stability / sec	Size / μm
2 000	10	460
3 000	20	189
4 000	35	124
5 000	45	103
6 000	80	40
7 000	120	32
8 000	140	19

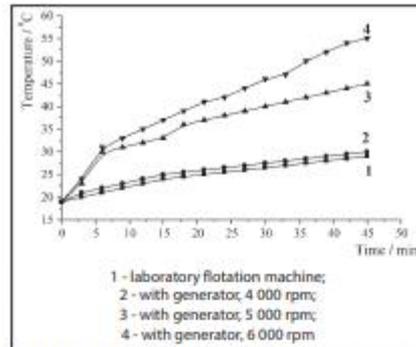


Figure 1 Dependence of pulp temperature on operating time of the flotation machine and on different modes of the generator

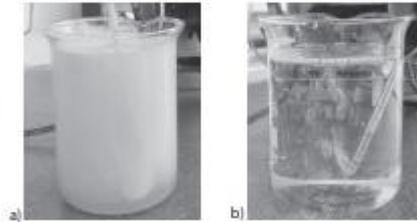


Figure 2 Image of water-air microdispersion before (a) and after (b) destruction

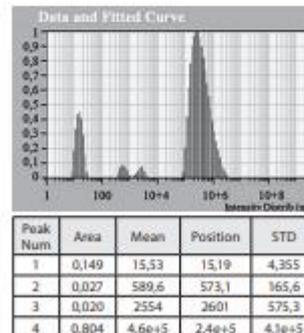


Figure 3 Distribution of particle in microbubbles (2 000 rpm)

Figures 3-5 shows the optimum dimensions of the water-air microdispersion obtained from a 0,5 g/l butyl airfloat solution at generator speeds of 2 000, 6 000 and 8 000 rpm.

The results show that:

- the average particle size of microbubbles is 460 μm, the content (fraction) of these particles is 80,4 % (Figure 3) at 2 000 rpm;

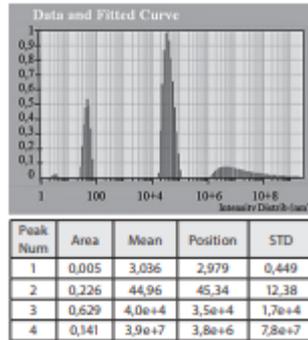


Figure 4 Distribution of particle in microbubbles (6 000 rpm)

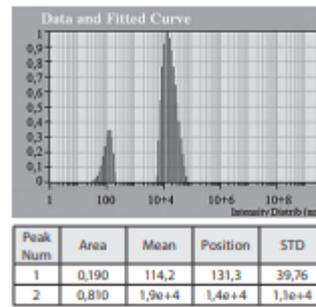


Figure 5 Distribution of particle in microbubbles (8 000 rpm)

- the average size of microbubbles particles is 40 microns, the content (fraction) of these particles is 62,9 % (Figure 4) at rotational speeds of 6 000 rpm;
- the average size of microbubbles particles is 19 microns, content (fraction) of these particles is 81,0 % (Figure 5) at rotational speed 8 000 rpm.

RESULTS AND DISCUSSION

Table 2 shows the results of the effect of the concentration of the reagent solution and the temperature of the

solution on the stability of water-air microdispersion and the size of the microemulsion (size) at a speed of the generator 6 000 rpm.

The results show that the temperature increase of the floatation agent solution, regardless of its type, negatively influences the stability of water-air microdispersion. The temperature increase results in coalescence of micro-bubbles that results in a decrease in the stability of the micro-dispersion. It is advisable not to raise the pulp temperature above 40 °C.

Table 2 Dependence of microemulsion size and water-air microdispersion stability on concentration and temperature of the floatation agent solution

Temperature/ °C	Floatation agent solution concentration / g/l							
	0,05		0,5		5		50	
	Stability/ sec	Size/ µm	Stability/ sec	Size/ µm	Stability/ sec	Size/ µm	Stability/ sec	Size/ µm
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Butyl Aeroflot								
20	55	90	80	42	70	65	70	65
30	45	100	80	43	65	73	70	69
40	40	110	80	41	65	76	70	67
50	35	120	70	65	65	75	70	66
60	35	123	70	68	65	72	65	73
70	30	142	60	81	60	83	65	75
80	25	150	50	85	50	93	55	86
C-7								
20	30	143	40	112	70	55	75	55
30	30	142	40	116	70	57	75	54
40	25	153	40	114	65	75	70	58
50	25	156	40	113	65	74	70	59
60	25	151	30	145	60	82	65	72
70	25	154	30	147	55	88	65	71
80	25	152	30	143	55	87	65	71
B-TETA								
20	20	180	50	91	60	83	75	53
30	20	185	50	94	55	89	75	54
40	20	188	50	93	55	88	70	59
50	20	181	50	93	50	95	70	60
60	20	189	45	103	50	94	70	59
70	20	187	40	117	45	105	65	73
80	20	185	35	125	45	104	60	81

The type of flotation agent influences the stability of the water-air microdispersion. Butyl airfloat gives a more stable microdispersion at a concentration of 0,5 g/l, and the reagents C-7 and B-TETA at a concentration of 50 g/l. At these concentrations and a pulp temperature of 20-40 °C, the microdispersion size is between 41-59 μm.

Thus, the stability of the water-air microdispersion is influenced by the pulp temperature, the reagent concentration and the speed of the water-air microdispersion generator.

Acknowledgments

The research was carried out with the financial support of the Science Committee of the Ministry of Education and Science of the Republic of Kazakhstan under the grant No.AR08856041.

REFERENCES

- [1] Bocharov V. A., Vigdergauz V. E. Flotation of sulphide finely-dispersed mineral systems, *Non-ferrous metals* (1997) 3, 8-11.
- [2] Ultrakova D. D., Hyremin Yu. P., Zagainov V. G. Development of a flotation method with ejector aeration with the gases release from the liquid phase, *Industry of Kazakhstan* (2007) 2, 58.
- [3] Yessengaziyev A. M., Barmenshinova M. B., Bilyalova S. M., Mukhanova A. A., Muhamedilova A. M. Study of the stability of the emulsion of ultramicroheterogeneous flotation reagents obtained by the method of ultrasonic dispersion, *Kompleksnoye ispol'zovaniye mineral'nogo syr'ya* (2020) 3, 65-75.
- [4] Rulyov N. N. Turbulent microflotation of ultra-fine minerals, *Mineral Processing and Extractive Metallurgy Trans. Inst. Min. Metall.* 117 (2008) 1, 32-37.
- [5] Patent RU No. 21183998 Method of flotation Centrifugal Flotation Machine / Matveev A. I., Salomatova S. I., Yakovlev V. B., Monastyrev A. M., Ereemeeva N. G., Sleptsova E. S. Published on 27.06.2002.
- [6] Patent RU No. 2038856 Method of flotation concentration of minerals / Kondratyev S. A. Published on 09.07.1995.
- [7] Turysbekov D., Tussupbayev N., Semashkina L., Narbekova S., Kaldybaeva Zh., Mambetaliyeva A. Effect of the water-air emulsion size of the foaming agent solution on the non-ferrous metal minerals flotation ability, *Metallurgija* 60 (2021) 3-4, 395-398.

Note: The responsible for English language is Kurash A. A., Almaty, Kazakhstan

Комплексное Использование Минерального Сырья

№. 3 (322). 2022

ISSN-L 2616-6445 (Online)
ISSN 2224-5243 (Print)
DOI 10.31643/2018/166445

www.kims-imio.kz
Индекс 75471



Determination of factors effecting the properties of water-air micro dispersion

Turyzbekov D.K., Tussupbayev N.K., Semushkina L.V., *Narbekova S.M., Mukhamedilova A.M.

Satbayev University, Institute of Metallurgy and Beneficiation JSC, Almaty, Kazakhstan

* Corresponding author's email: s.narbekova@satbayev.university

<p>Received: January 27, 2022 Peer-reviewed: February 24, 2022 Accepted: March 11, 2022</p>	<p>ABSTRACT The article presents the results of laboratory studies on the effect of the liquid-gas ratio and the foaming agent type on the average water-air micro dispersion size obtained from the foaming agent solution. The size of microbubbles significantly effects the efficiency of flotation and depends on the type and concentration of foaming agent used for their production. A generator was used to obtain water-air micro dispersion. The works were performed to work out the water-air micro dispersion parameters of at different liquid-gas ratio and different performance of the generator. The following foaming agents were used as objects of research: sodium butyl aero flot (BTF), flotanol C-7, butyl triethylenetetramine (B-TETA) at a concentration of 0.5 g/dm³. It has been established, that the optimal phase liquid-gas ratio was 1:1, the optimal capacity of the generator was 6-7.2 dm³/h with an average particle size of air-water micro dispersion- 33-41 μm for BTF solution, 103-107 μm for C-7 solution, 90-93 μm for B-TETA solution. The type of foaming agent used in flotation effects the size and stability of microbubbles. It is established that the flotation agents can be arranged in the following line with respect to their ability to create micro dispersion: IIBK → Scatbrok 580 → B-TETA → OPSB → Flotanol C-7 → T-92 → BTF. The best results are shown by BTF that creates micro dispersion of 43-58 μm (t 20-40 °C) and stability of 80 sec with concentration of 0.5 g/dm³.</p> <p>Keywords: flotation, combined micro flotation, flotation reagent, water-air micro dispersion, microbubbles.</p>
<p>Information about authors:</p>	
<p>Turyzbekov Dulatbek Kadyrbekuly</p>	<p>Candidate of Technical Sciences. Head of the laboratory of flotation reagents and Ore Beneficiation. Institute of Metallurgy and Ore Beneficiation, Almaty, Kazakhstan. ORCID ID: 0000-0003-0904-1565; Email: d.turyzbekov@satbayev.university</p>
<p>Tussupbayev Nesaipbay Kuandykovich</p>	<p>Doctor of Technical Sciences. Chief Researcher of flotation reagents and Ore Beneficiation. Institute of Metallurgy and Ore Beneficiation, Almaty, Kazakhstan. ORCID ID: 0000-0002-6110-0772; Email: n.tussupbayev@satbayev.university</p>
<p>Semushkina Larissa Valerievna</p>	<p>Candidate of Technical Sciences. Head of the laboratory of flotation reagents and Ore Beneficiation. Institute of Metallurgy and Ore Beneficiation, Almaty, Kazakhstan. ORCID ID: 0000-0001-8925-5250; Email: l.semushkina@satbayev.university</p>
<p>Narbekova Sabira Myrzanovna</p>	<p>Researcher of the laboratory of flotation reagents and Ore Beneficiation. Institute of Metallurgy and Ore Beneficiation, Almaty, Kazakhstan. ORCID ID: 0000-0002-7325-754x. Email: s.narbekova@satbayev.university</p>
<p>Mukhamedilova Aynur Mukhamedkalievna</p>	<p>Lead Engineer of the laboratory of flotation reagents and Ore Beneficiation. Institute of Metallurgy and Ore Beneficiation, Almaty, Kazakhstan. ORCID ID: 0000-0002-0124-8046. Email: a.mukhamedilova@satbayev.university</p>

Introduction

Low efficiency of flotation recovery of micron-sized particles from ores is one of the important reasons for large losses of valuable components at beneficiation plants ([1], [2]). Beneficiation plants in all countries are engaged in solvation of this problem ([3], [4], [5], [6], [7], [8], [9], [10]). One of

the solutions to this problem is the use of combined microflotation with water-air micro-dispersion obtaining enabling to extract additional micro-dispersed valuable ore minerals, optimize the flotation process and obtain higher technological parameters [11], [12], [13]).

The problem is reduced to finding a microbubble production method ([14], [15], [16],

17]). Spatial separation of the processes of microbubble formation and flotation is also important that will eliminate the pulp heating process in the flotation chamber and coalescence of bubbles, stabilizing formation process of micro dispersions homogeneous in size. All this in aggregate provides improved flotation performance of deeply milled ores to the micro-dispersed state, more complete recovery of finely dispersed valuable minerals

It is well known that classical flotation also uses different types of bubbles: macro-, medium- and micro-bubbles. Macro-bubbles that are transportable bubbles have a size of 300-500 μm , medium - 70-300 μm and micro - less than 70 μm . But, in conventional flotation, the amount of macro-bubbles (>90%) significantly exceeds the amount of medium and micro-bubbles. When stable micro dispersion sizes with the correct ratio of bubbles of different sizes is used, the flotation recovery process for microparticles is accelerated, the flotation time is reduced.

Scientists conduct researches to study sizes and stability of water-air microemulsion [[18], [19], [20]] obtained from the foaming agent solution. The effect of the water-air microemulsion (WAMD) nature on the flotability of sulfide minerals of non-ferrous metals and the properties of water-air microemulsion was studied in [21].

The purpose of this study is to study the effect of the liquid-gas ratio and the foaming agent type on the average water-air micro dispersion size.

Thus, the problem to find more effective ways intended to obtain microbubbles for flotation of fine particles of minerals of non-ferrous and rare metals from minerals still remains relevant.

Experimental part

A generator was used to obtain water-air micro dispersion. The laboratory generator principle is that air and foaming solution is transferred through the inlet pipe of the dispersant head into the mixing chamber with the help of metering pumps.

Additional mixing of the mixture is performed in the mixing chamber by means of the rotor part of the dispersant head. The mixture is thrown to the periphery and goes through the slot between the rotor and the stator due to the high circumferential speed. Its size is determined by the composition of raw materials and the required degree of dispersion. The rotating rotor crushes air bubbles

with its teeth. The crushing degree of the final product depends on the viscosity of the medium, the foaming agent type, the peripheral speed.

The properties of water-air micro dispersion are affected by the ratio of air and foaming agent solution whose flow rate is regulated by dosing pumps with maximum capacity of 3.3 cm^3/s (12 dm^3/h).

The works were performed to work out the parameters of water-air micro dispersion at different liquid-gas (L:G) ratio, to study the effect of this ratio on the water-air micro dispersion size. Different L:G ratios were studied; they were varied - L:G=1:0.75; L:G=1:1; L:G=1:1.25; L:G=1:1.5. The foaming agents used were sodium butyl aeroflot (BTF), flotanol C-7, butyltriethylenetetramine (B-TETA) at a concentration of 0.5 g/dm^3 . Besides, tests were conducted at different dosing pump capacities.

The water-air mixture size obtained in the generator was analyzed using a Photocor Compact particle size analyzer. The operation principle of the analyzer was based on the method of static and dynamic light scattering (photon correlation spectroscopy). The size of the particles dispersed in the liquid was determined by measuring the correlation function of the fluctuations of the scattered light intensity and the integral scattering intensity. The analyzer laser power ranges from 2 to 35 mW.

Figures 1-3 show the dependencies of the average water-air micro dispersion size obtained from solutions of BTF, C-7, B-TETA foaming agent on the liquid-gas ratio.

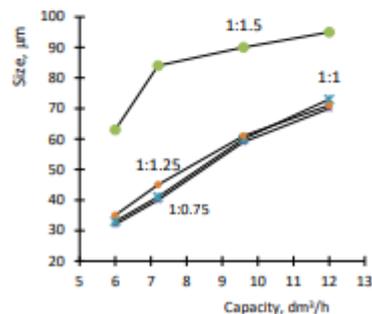


Figure 1 - Dependence of the average particle size of WWMD obtained from BTF solution on the L:G ratio at different pump capacities

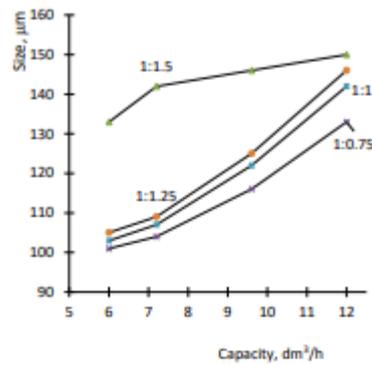


Figure 2 - Dependence of the average particle size of WWMD obtained from the C-7 solution on the L:G ratio at different pump capacities

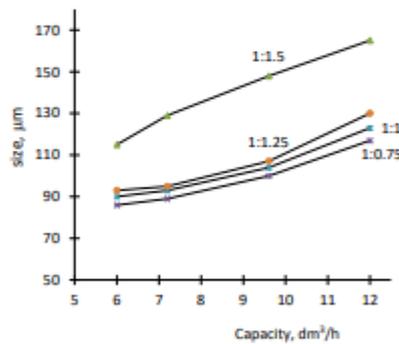


Figure 3 - Dependence of the average particle size of WWMD produced from B-TETA solution on the L:G ratio at different pump capacities

The result of the analyses shows that changes in the liquid-gas ratio effects the final size of the water-air micro dispersion. The average water-air micro dispersion size increases for all solutions of foaming agents compared with other liquid-gas ratios at the liquid-gas ratio of 1:1.5. It indicates that the gas phase supply more than the liquid phase worsens the water-air micro dispersion properties.

The final average water-air micro dispersion size is close to each other at liquid-gas ratios equal to 1:0.75, 1:1 and 1:1.25. It is required to properly adjust the generator (pumps) capacity and the liquid-gas ratio phases to obtain the optimum

water-air micro dispersion size. Proper feeding of the gas phase, the optimal liquid-gas ratio have a huge impact on the water-air micro dispersion formation. Increased supply of the gas phase results in an increase in the number of micro-bubbles with a smaller flow of the liquid phase (reagent solution). Not only the final size of the air-water micro dispersion but also the amount of created micro dispersion is important to obtain high performance in the flotation process, i.e. it is required to create a certain amount of air-water micro dispersion. The final amount of air-water micro dispersion created by quantity should provide recovery of all useful particles of slurry class not adsorbed by standard bubbles in the standard mode.

Discussion of the results

Analysis of the results shows that the liquid-gas ratio, equal to 1:1 is the optimum of all types of foaming agents. Figure 4 shows the dependence of the average water-air micro dispersion size obtained from 0.5 g/l solutions of BTF, C-7, B-TETA foaming agents at a liquid-gas ratio of 1:1.

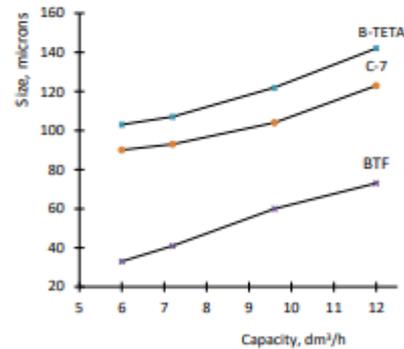


Figure 4 - Dependence of the average particle size of WWAMD obtained from BTF, C-7, B-TETA foaming agent solutions at the ratio L:G = 1:1, on the generator capacity

The average size of the water-air micro dispersion obtained from 0.5 g/l BTP solution is 60-73 µm; from 0.5 g/l C-7 solution - 122-142 µm; from 0.5 g/l B-TETA solution - 104-123 µm at increased capacity of the liquid phase (9.6 l/h; 12 l/h). Analysis of the results shows that the water-air micro dispersion size for BTF solution increases by 100%; for C-7 solution by 20%; for B-TETA solution

by 15% at capacities of 9.6 l/h; 12 l/h. Thus, the generator capacity should vary between 6-7.2 l/h to create the optimum water-air micro dispersion size.

Thus, the parameters to be used to obtain water-air micro dispersion have been worked out, the effect of the phase ratio: liquid-gas on the micro dispersion properties has been studied. It has been established that the optimal liquid-gas ratio is 1:1, the optimal generator capacity - 6-7.2 l/h, and the average particle size of air-water micro dispersion is 33-41 μm for BTP solution, 103-107 μm - for C-7 solution, 90-93 μm - for B-TETA solution.

The researches to study micro dispersion properties depending on the flotation foaming agent used and their concentration were performed at the established optimum L:G ratio and generator capacity. The following foaming agents were studied: BTF, oxal T-92, propylene oxide butyl alcohol (OPSB), C-7, B-TETA, methyl isobutyl carbinol (MIBC), Senfroth 580 foaming agent. Here are some characteristics of these foaming agents.

BTF - sodium-butyl aeroflot ($(\text{C}_4\text{H}_9)_2\text{S}_2\text{O}_2\text{PNa}$, molar mass 264.3 g/mol) is an aqueous solution of sodium salt of dibutyl dithiophosphoric acid.

Oxal T-92 is a product of high boiling by-products of dimethyldioxane production. It contains more than 50 % of dioxane alcohols and esters and about 50 % of a mixture of 1, 2, 3 atom alcohols.

OPSB is a mixture of monobutyl esters of $\text{C}_4\text{H}_9\text{O}-(\text{C}_2\text{H}_4\text{O})_n$ polypropylene glycols.

Flotanol C7 is an alkylpolyglycol based foaming agent. These foaming agents for sulfide ores were developed with optimal selectivity and are effective with ores containing nonferrous metals, platinum group minerals and precious metals.

B-TETA has four amino groups with four butyl radicals in its composition and is well soluble in water. It adsorbs on the surface of the bubbles, and changes their negative charges into positive ones, thus intensifying the flotation process.

MIBC with the molecular formula $(\text{CH}_3)_2\text{CHCH}_2\text{CHOCH}_3$ is slightly soluble in water and can dissolve in most organic solvents.

Senfroth foaming agents consist of varying amounts of alcohol, polyethylene glycol and ethylene glycol. Senfroth 580 contains 37-50% alcohol, 38-51% glycol ether, $\geq 9\%$ glycol with density of 0.903-0.96.

Such concept as water-air micro dispersion stability was introduced - it is time spent for destruction of emulsion. A flotation agent solution of 500 dm^3 is passed through the generator and water-air microemulsion is obtained for this purpose (Figure 5a). Then a stirrer and a stopwatch are turned on, and time spent for microemulsion destruction to a certain state is recorded (Figure 5b). The time taken to break indicates the stability of the water-air micro dispersion.

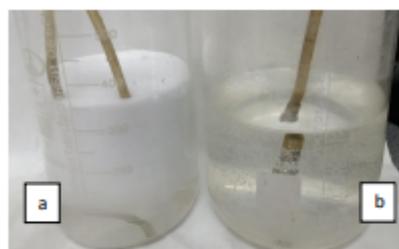


Figure 5 - View of water-air micro dispersion before (a) and after (b) destruction

Table 1 shows the dependence of water-air micro dispersion stability and size on the foaming agent type and concentration at the optimal speed of the generator of 6000 rpm.

The results of Table 1 show that:

- The optimal concentration for butyl aeroflot is 0.5 g/l, at which the particle size varies 43-58 μm (t 20-40 °C), the bubble stability is 80 sec;
- The optimal concentration for T-92 is 5 g/l, at which the particle size varies 41-43 μm (t 20-40 °C), the bubble stability is 70-80 sec;
- The optimal concentration for OPSB is 5 g/l and more, at which the particle size varies 81-83 μm (t 20-40 °C), the bubble stability is 60 sec;
- The optimal concentration for flotanol C-7 is 5 g/l, at which the particle size varies from 55 to 75 μm (t 20-40 °C), the bubble stability is 65-70 sec;
- The optimal concentration for B-TETA is 50 g/l, at which the particle size varies from 53-59 μm (t 20-40 °C), the stability of the bubbles is 70-75 sec;
- Senfroth 580 foaming agent gives microbubbles with a stability of 60-65 seconds, the particle size from 73-85 μm (t 20-40 °C) at a concentration of 5 g/l and more.

Table 1 - Dependence of -air micro dispersion stability and water size on the foaming agent type and concentration at the optimal speed of the generator of 6000 rpm

Temperature, °C	Bubble size and bubble life at different concentrations (g/L)							
	0,05		0,5		5,0		50	
	Bubble stability, sec	Particle size, µm	Bubble stability, sec	Particle size, µm	Bubble stability, sec	Particle size, µm	Bubble stability, sec	Particle size, µm
BTF								
20	55	90	80	42	70	65	70	65
30	45	100	80	43	65	73	70	69
40	40	110	80	41	65	76	70	67
50	35	120	70	65	65	75	70	66
60	35	123	70	68	65	72	65	73
70	30	142	60	81	60	83	65	75
80	25	150	50	85	50	93	55	86
T-92								
20	35	123	60	80	80	42	35	128
30	35	121	60	83	75	53	35	125
40	30	145	60	81	70	58	35	126
50	30	141	60	84	65	73	35	124
60	30	140	60	82	60	82	30	142
70	30	144	55	88	55	87	20	159
80	30	145	55	89	50	96	20	162
OPSB								
20	30	143	55	85	60	81	60	83
30	30	141	55	87	60	83	55	88
40	30	144	55	89	60	83	55	89
50	30	143	55	86	55	89	50	87
60	30	142	55	87	55	87	45	103
70	30	141	50	98	55	88	45	105
80	30	140	50	97	55	86	40	113
C-7								
20	30	143	40	112	70	55	75	55
30	30	142	40	116	70	57	75	54
40	25	153	40	114	65	75	70	58
50	25	156	40	113	65	74	70	59
60	25	151	30	145	60	82	65	72
70	25	154	30	147	55	88	65	71
80	25	152	30	143	55	87	65	71
B- TETA								
20	20	180	50	91	60	83	75	53
30	20	185	50	94	55	89	75	54
40	20	188	50	93	55	88	70	59
50	20	181	50	93	50	95	70	60
60	20	189	45	103	50	94	70	59
70	20	187	40	117	45	105	65	73
80	20	185	35	125	45	104	60	81
SENFROTH 580								
20					65	73	65	74
30					60	85	65	73
40					60	84	60	86
50					55	89	60	84
60					55	90	60	85
70					55	89	55	87
80					50	97	45	62

MIBC at a concentration of 50 g/l produces unstable microbubbles which quickly disintegrate within 10 seconds.

The flotation agents can be arranged in the following line under their ability to create water-air micro dispersion: MIBC → SENFROTH 580 → B-TETA → OPSB → Flotanol C-7 → T-92 → Butyl Aeroflot.

Attempts in the area of bubble formation are made to create more microbubbles. Reduction of the bubble size increases the flotation efficiency. The asymmetric structure of foaming agent molecules and their low solubility in water contribute to their concentration on the interface L-G (or L-T), where they are oriented so that their hydrophilic group is directed to water, while the hydrophobic one (hydrocarbon radical) is directed to less polar phase (air, oil). Having a low surface tension, foaming agents reduce the surface tension of water and form a hydrate layer around the air bubble. It dramatically increases the stability of the air bubbles enabling to retain their original dispersibility [[22], [23], [24]]. The arrangement of the polar groups in the molecule is essential for the surface activity of the substance. Foaming agent molecules adsorb more actively the more asymmetric the arrangement of hydrophilic and hydrophobic groups in the molecule is; the limiting location of the polar group is the end of the hydrocarbon radical. Bubbles should be elastic and elastic, i.e., deformable in addition to coalescence stability. Elasticity depends on the length of the hydrocarbon radical middle homologues of the series of single-atom alcohols, especially high elasticity.

Thus, the factors effecting the water-air micro dispersion properties are the temperature of the

pulp, the speed of the generator, the concentration of foaming agent solution [19], as well as the L:G ratio regulated by the dosing pumps of the generator, as well as the foaming agent type.

Conclusions

The effect of L:G phase ratio on the properties of water-air micro dispersion was studied. It was found that the optimum liquid-gas ratio is 1:1, the optimum capacity of the generator is 6-7.2 l/h, with the average size of the water-air micro dispersion is 33-41 μm for BTF solution, 103-107 μm - for C-7 solution, 90-93 μm - for B-TETA solution.

The type of foaming agent used in flotation effects the size and stability of microbubbles. It is established that the flotation agents can be arranged in the following line with respect to ability to create micro dispersion: MIBC → Senfroth 580 → B-TETA → OPSB → Flotanol C-7 → T-92 → BTF. The best results are shown by BTF that creates a micro dispersion of 43-58 μm size (t 20-40 °C) and stability of 80 sec. at concentration of 0.5 g/dm³.

Conflict of interest

The correspondent author declares that there is no conflict of interest on behalf of all authors.

Acknowledgements

The research was conducted with the financial support of the Committee of Science of the Ministry of Education and Science of the Republic of Kazakhstan under grant No. AR08856041.

Cite this article as: Turysbekov DK, Tussupbayev NK, Semushkina LV, Narbekova SM, Mukhamedilova AM. Determination of factors effecting the properties of water-air micro dispersion. *Kompleksnoe Ispol'zovanie Mineral'nogo Syr'a = Complex Use of Mineral Resources*. 2022;322(3):5-13. <https://doi.org/10.31643/2022/6445.23>

Су-ауалы микродисперсияның қасиеттеріне әсер ететін факторларды анықтау

Тұрысбеков Д.К., Түсіпбаев Н.К., Семушкина Л.В., Нарбекова С.М., Мұхамеділова А.М.

Самбаев Университеті «Металлургия және кен бойыту институты» АҚ, Алматы, Қазақстан

ТҮЙНДЕМЕ

Мақалада сұйық-газ фазасының қатынасы және көбіктендіргіш реагентінің түрі көбіктендіргіш ерітіндіден алынған су-ауа микродисперсиясының орташа мөлшеріне әсері бойынша зертханалық зерттеулердің нәтижелері берілген. Микрокөпіршіктердің мөлшері

Ключевые слова: флотация, комбинированная микрофлотация, флотореагент, водовоздушная микродисперсия, микропузырьки

Информация об авторах:	
Турьсбеков Дулатбек Кадырбекулы	кандидат технических наук. Ведущий научный сотрудник лаборатории флотореагентов и обогащения. АО «Институт металлургии и обогащения», г. Алматы, Казахстан. ORCID ID: 0000-0003-0904-1565; Email: d.turyzbekov@satbayev.university
Тусупбаев Тусупбай Куандыкович	доктор технических наук. Главный научный сотрудник лаборатории флотореагентов и обогащения. АО «Институт металлургии и обогащения», г. Алматы, Казахстан. ORCID ID: 0000-0002-6110-0772; Email: t.tusupbayev@satbayev.university
Семущкина Лариса Валерьевна	кандидат технических наук. Ведущий научный сотрудник лаборатории флотореагентов и обогащения. АО «Институт металлургии и обогащения», г. Алматы, Казахстан. ORCID ID: 0000-0001-8925-5250; Email: l.semushkina@satbayev.university
Нарбекова Сабара Мирзанома	научный сотрудник лаборатории флотореагентов и обогащения. АО «Институт металлургии и обогащения», г. Алматы, Казахстан. ORCID ID: 0000-0002-7325-754X; Email: s.narbekova@satbayev.university
Мухамедилова Айнура Мухаметкалиевна	Ведущий инженер-сотрудник лаборатории флотореагентов и обогащения. АО «Институт металлургии и обогащения», г. Алматы, Казахстан. ORCID ID: 0000-0002-0124-8046; Email: a.muhamedilova@satbayev.university

References

- [1] Gliembockij AV. Flotation of ultrathin particles. *Cvetnye metally = Non-ferrous metals*. 1978;7:112-114. (In Russ.).
- [2] Sebba F. An improved generator for micron-sized bubbles. *Chemistry and Industry*. 1985;4:91-92.
- [3] Kenzhaliyev BK. Innovative technologies providing enhancement of nonferrous, precious, rare and rare earth metals extraction. *Kompleksnoe Ispol'zovanie Mineral'nogo syr'ya = Complex Use of Mineral Resources*. 2019;3:64-75. <https://doi.org/10.31643/2019/6445.30>
- [4] Dyusenova SB, Kenzhaliyev BK, Abdulvaliev RA, Gladyshev SV. Complex hydrochemical processing of silme tailings generated in chromite-bearing ore concentration. *Obogashchenie Rud = Ore beneficiation*. 2018;6:27-32. <https://doi.org/10.17580/or.2018.06.05> (In Russ.).
- [5] Semushkina LV, Turyzbekov DK, Tusupbaev NK, Bekturganov NS, Muhanova AA. The Shalkiya deposit finely disseminated lead-zinc ore processing technology improvement. *Obogashchenie rud = Ore beneficiation*. 2015;2:8-14. (In Russ.).
- [6] Mveene L, Subramanian S. Beneficiation studies on lean grade copper ore by selective flocculation and flotation techniques. *Obogashchenie rud = Ore beneficiation*. 2019;3:10. <https://doi.org/10.17580/or.2019.03.03> (In Russ.).
- [7] Esengaziev AM, Barmenshinova MB, Bilyalova SM, Muhanova AA, Muhamedilova AM. Study of stability of emulsion of ultramicroheterogenic flotation reagents obtained by ultrasonic dispersion method. *Kompleksnoe Ispol'zovanie Mineral'nogo syr'ya = Complex Use of Mineral Resources*. 2020;3:65-75.
- [8] Yessengaziyev A, Tussupbayev N, Bilyalova S. Intensification of dehydration processes of lead-zinc concentrates by ultraflocculation. *Mineralia Slovaca*. 2019;51(1):102-108.
- [9] Mukhanova A, Tussupbayev N, Turyzbekov D, Yessengaziyev A. Improvement of the selection technology of copper-molybdenum concentrate with the use of modified flotoragents. *Metalurgija*. 2022;61(1):221-224.
- [10] Schmideder S, Kirse C, Hofinger J, Rolie S, Briesen H. Modeling the separation of microorganisms in bioprocesses by flotation. *Processes*. 2018;6(10):184.
- [11] Rulyov NN, Filippov LO, Kravchenko OV. Combined microflotation of glass beads. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. 2020;598:124810.
- [12] Rulyov NN, Filippov L.O., Sadovskiy D.Y., Lukianova VV. Reverse combined microflotation of fine magnetite from a mixture with glass beads. *Minerals*. 2020;10(12), 1078: 1-13.
- [13] Rulyov NN. Combined microflotation of fine minerals: Theory and experiment. *Miner. Process. Extr. Met*. 2016;125: 1-5.
- [14] Farrokhpay S, Filippova I, Filippov L, Picarra A, Rulyov N, Fornasiero D. Flotation of fine particles in the presence of combined microbubbles and conventional bubbles. *Minerals Engineering*. 2020;155:106439.
- [15] Dmitriev EA, Kolesnikov VA, Trushin AM, Brodskii VA, Komlyashev RB. Some hydromechanical aspects of microflotation. *Theoretical Foundations of Chemical Engineering*. 2015;49(5):585-591.
- [16] Rulyov NN, Tussupbayev NK, Turusbekov DK, Semushkina LV, Kaldybaeva ZH. Effect of microbubbles as flotation carriers on fine sulphide ore beneficiation. *Mineral Processing and Extractive Metallurgy*. 2018;127(3):133-139.
- [17] Hanotu J, Bandulasena HCH, Chiu TY, Zimmerman WB. Oil emulsion separation with fluidic oscillator generated microbubbles. *International Journal of Multiphase Flow*. 2013;56:119-125.
- [18] Cho YS, Laskowski JS. Effect of flotation frothers on bubble size and foam stability. *International Journal of Mineral Processing*. 2002;64(2):69-80. [https://doi.org/10.1016/S0301-7516\(01\)00064-3](https://doi.org/10.1016/S0301-7516(01)00064-3)
- [19] Hoang HD, Heitkam S, Kupka N, Hassanzadeh A, Peuker UA, Rudolph M. Froth properties and entrainment in lab-scale flotation: A case of carbonaceous sedimentary phosphate ore. *Chemical Engineering Research and Design*. 2019;142:100-110.

- [20] Cui H, Cao G, Zhu S, Mu J, Liu X, Chou X. Foaming performance evaluation of frother emulsions in the slime flotation: Foamability, foam stability, and foam flow. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. 2022;638:128310.
- [21] Turysbekov D, Tussupbayev N, Semushkina L, Narbekova S, Kaldybaeva Zh, Mambetallyeva A. Effect of the water-air emulsion size of the foaming agent solution on the non-ferrous metal minerals flotation ability. *Metalurgija*. 2021;60(3-4):395-398.
- [22] Cui H, Cao G, Zhu S, Mu J, Chou X. Study on the preparation and formation factors of frother emulsion. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. 2022;636:128155.
- [23] Saavedra Moreno Y, Bournival G, Ata S. Classification of flotation frothers – A statistical approach. *Chemical Engineering Science*. 2022;248:117252
- [24] Castro S, Miranda C, Toledo P, Laskowski JS. Effect of frothers on bubble coalescence and foaming in electrolyte solutions and sea water. *International Journal of Mineral Processing*. 2013;24:8-14.

Мақала келді: 27 қаңтар 2022
Саралтамдан өтті: 24 ақпан 2022
Қабылданды: 11 наурыз 2022

оларды өндiру үшiн қолданылатын көбiктендiрiсi реагентiнiң түрi мен концентрациясына байланысты флотация тиiмдiлiгiне айтарлықтай әсер етедi. Су-ауа микродисперсиясын алу үшiн генератор қолданылды. Сұйық-газ фазаларының әртүрлi қатынасында және генератордың әртүрлi өнiмдiлiгiнде су-ауа микродисперсиясын алу параметрлерiн анықдау жұмыстары жүргiзiлдi. Зерттеу объектiлерi ретiнде концентрациясы 0,5 г/дм³ құрайтын көлесi көбiктендiрiсi реагенттерi пайдаланылды: натрий бутил аэрофлоты (БТФ), флотанол С-7, бутилтриэтилентетрамин (В-ТЭТА). Сұйық-газ фазаларының оңтайлы қатынасы 1:1, генератордың оңтайлы өнiмдiлiгi 6-7,2 дм³/сағ құрайды, ал БТФ ерiтiндiсiнен алынған су-ауа микродисперсиясының орташа мөлшерi 33-41 мм, С-7 ерiтiндiсiнен - 103-107 мм, В-ТЭТА ерiтiндiсiнен - 90-93 мм құрайды. Флотацияда қолданылатын көбiктендiрiсi реагентiнiң түрi микрокөбiктердiң мөлшерi мен тұрақтылығына әсер етедi. Микродисперсия жасау қабiлетiне қарай флотациялық реагенттердi көлесi қатарға орналастыруға болады: МВК → Senfroth 580 → В-ТЭТА → ОПСБ → флотанол С-7 → Т-92 → БТФ. Ең жақсы нәтижелердi БТФ реагентi көрсеттi, ол 0,5 г/дм³ концентрациясында микрокөбiктердiң мөлшерi 43-58 мм (t 20-40 °С) және тұрақтылығы 80 сек құрайтын микродисперсия өндiредi.

Түйiн сөздер: флотация, комбинирленген микрофлотация, флотациялық реагент, су-ауа микродисперсиясы, микрокөбiктер.

Авторлар туралы ақпарат:	
Тұрысбеков Дулатбек Қадырбекұлы	Техника ғылымдарының кандидаты. Флотациялық реагенттер және кен байыту зертханасының жетекші ғылыми қызметкері. «Металлургия және кен байыту институты» АҚ, Алматы, Қазақстан. ORCID ID: 0000-0003-0904-1565; Email: d.turysbekov@satbayev.university
Түсіпбаев Несіпбай Қуандықұлы	Техника ғылымдарының докторы. Флотациялық реагенттер және кен байыту зертханасының бас ғылыми қызметкері. «Металлургия және кен байыту институты» АҚ, Алматы, Қазақстан. ORCID ID: 0000-0002-6110-0772; Email: n.tussipbayev@satbayev.university
Семушкина Лариса Валерьевна	Техника ғылымдарының кандидаты. Флотациялық реагенттер және кен байыту зертханасының жетекші ғылыми қызметкері. «Металлургия және кен байыту институты» АҚ, Алматы, Қазақстан. ORCID ID: 0000-0001-8925-5250; Email: l.semushkina@satbayev.university
Нарбекова Сабара Мырзақызы	Флотациялық реагенттер және кен байыту зертханасының ғылыми қызметкері. «Металлургия және кен байыту институты» АҚ, Алматы, Қазақстан. ORCID ID: 0000-0002-7325-754X; Email: s.narbekova@satbayev.university
Мухамедилова Айнур Мухамедилқызы	Флотациялық реагенттер және кен байыту зертханасының жетекші инженері. «Металлургия және кен байыту институты» АҚ, Алматы, Қазақстан. ORCID ID: 0000-0002-0124-8046; Email: a.muhamedilova@satbayev.university

Определение факторов, влияющих на свойства водовоздушной микродисперсии

Тұрысбеков Д.К., Түсіпбаев Н.К., Семушкина Л.В., Нарбекова С.М., Мухамедилова А.М.

Satbayev University, АО «Институт металлургии и обогащения», Алматы, Казахстан

АННОТАЦИЯ

В статье представлены результаты лабораторных исследований по изучению влияния соотношения фаз жидкое-газ и вида пенообразователя на среднюю крупность водовоздушной микродисперсии, полученной из раствора пенообразователя. Размер микропузырьков существенно влияет на эффективность флотации, зависит от вида и концентрации вспенивателя, используемого для их производства. Для получения водовоздушной микродисперсии использовали генератор. Проведены работы по отработке параметров получения водовоздушной микродисперсии при разных соотношениях фаз жидкость-газ и разной производительности генератора. В качестве объектов исследований использованы вспениватели: бутильный аэрофлот натрия (БТФ), флотанол С-7, бутилтриэтилентетрамин (Б-ТЭТА) при концентрации 0,5 г/дм³. Установлено, что оптимальное соотношение фаз жидкость-газ составляет 1:1, оптимальная производительность генератора 6-7,2 дм³/ч, при этом средняя крупность водовоздушной микродисперсии составляет 33-41 мм для раствора БТФ, 103-107 мм - для раствора С-7, 90-93 мм - для раствора Б-ТЭТА. Вид вспенивателя, используемого при флотации, влияет на размер и устойчивость микропузырьков. Установлено, что по способности создавать микродисперсию флотореагенты можно расположить в следующий ряд: МВК → Senfroth 580 → В-ТЭТА → ОПСБ → флотанол С-7 → Т-92 → БТФ. Наилучшие результаты показывает БТФ, который при концентрации 0,5 г/дм³ создает микродисперсию крупностью 43-58 мм (t 20-40 °С) и устойчивостью 80 сек.

Поступила: 27 января 2022
Рецензирование: 24 февраля 2022
Принята в печать: 11 марта 2022

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ
БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

ЖЕЗҚАЗҒАН ҚАЛАСЫ ӘКІМДІГІ

Ө. А. БАЙҚОҢЫРОВ атындағы ЖЕЗҚАЗҒАН УНИВЕРСИТЕТІ

SATBAYEV UNIVERSITY

«Жаңа кезеңдегі ғылым мен білімнің даму перспективалары»

Халықаралық ХХІ Байқоңыров оқулары
материалдарының жинағы

«Перспективы развития науки и образования в условиях
новой реальности»

Сборник материалов
Международных ХХІ Байконуровских чтений

Ж е з қ а з ғ а н
2021

**ИЗУЧЕНИЕ ФЛОТИРУЕМОСТИ МИНЕРАЛОВ ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ
В ПРИСУТСТВИИ ВОДОВОЗДУШНОЙ ЭМУЛЬСИИ РАСТВОРА
ПЕНООБРАЗОВАТЕЛЯ**

Турысбеков Д.К., Семушкина Л.В., Нарбекова С.М., Калдыбаева Ж.А.,
Мухамедилова А.М.
Satbayev University, АО«Институт металлургии и обогащения»,
Алматы, Казахстан
s.narbekova@satbayev.university

Минералды бөлшектердің мөлшері 20-30 мкм-ден кеміген кезде олардың флотациялау деңгейі күрт төмендейді және нәтижесінде пайдалы минералдың 40% дейін қалдық қоймаларына түседі. Бұл мәселені шешудің бірі диаметрі 100 микроннан аспайтын микрокөпіршіктерді пайдалана отырып, комбинирленген микрофлотацияны қолдану болып табылады. Микрокөпіршіктердің концентрациясын, реагенттер түрін дұрыс таңдау бөлшектердің микрокөпіршіктерге жоғары тиімді адгезиясына және флотацияны қалпына келтіруге мүмкіндік береді. Зерттеудің мақсаты – көбіктендіргіш ерітіндісін су-ауа эмульсиясына айналдыра отырып, түсті металл минералдарының флотациялау процесіне әсерін зерттеу. Мономинералды флотация процесіне микрокөпіршіктерді беру әр түрлі дисперсті минералдардың шығымдылығын арттырып, флотация процесін 10-15%-ға жылдамдатуы мүмкін екендігі анықталды.

With a decrease in the size of mineral particles in the region of less than 20-30 μm , their floatability catastrophically drops and, as a result, up to 40% of the useful mineral goes to tailings. One solution to this problem is the use of combined microflotation using fine bubbles having a diameter of at least 100 μm . Proper selection of the concentration of microbubbles, such as reagents, allows for high-efficiency sticking of particles to microbubbles and flotation extraction. The purpose of the study is to study the flotability of non-ferrous metals minerals in the presence of a water-air emulsion of a foaming agent solution. It was established that the supply of microbubbles to the monomineral flotation process allows increasing the yield of minerals of various dispersity and accelerating the flotation process by 10-15%.

Түйінді сөздер: мономинералды флотация, мономинералдар, реагенттер, көбіктендіргіш, комбинирленген микрофлотация, су-ауалы микроэмульсия.

Ключевые слова: мономинеральная флотация, мономинералы, реагенты, пенообразователь, комбинированная микрофлотация, водовоздушная микроэмульсия.

Keywords: monomineral flotation, monominerals, reagents, foaming agent, combined microflotation, water-air microemulsion.

Подавляющее большинство перерабатываемых в настоящее время в Казахстане руд отличается тесным взаимным проращением весьма тонких, вплоть до коллоидных, минеральных вкраплений. Зерна минералов, содержащих полезные компоненты, столь

малы, что для их вскрытия и выделения в свободные частицы, которые можно отделить от вмещающей породы, всю руду приходится тонко измельчать. В то время, как оптимальный размер зерен для флотационного обогащения ~70 мкм, значительная часть добываемых в настоящее время руд требует для вскрытия мономинеральных зерен гораздо более глубокого измельчения до 30-40 мкм. Это приводит к потере с микродисперсиями (супершламами) значительной части вскрытых мономинеральных зерен, содержащих обогащаемые металлы.

В середине прошлого века исследователями [1-5] было показано, что наиболее эффективным методом обогащения микрочастиц является флотация с аэрацией газами, выделившимися из их водного раствора. Одним из решений этой проблемы может быть применение комбинированной микрофлотации, где в процессе флотации участвуют как микро-, так и макропузырьки.

Теоретически [6-8] показано, что решение проблемы флотации частиц менее 25 мкм может быть достигнуто только путем применения в процессе флотации пузырьков воздуха, размер которых не превышает 50 мкм. Принципиальное отличие этого метода от обычной флотации состоит в том, что пузырьки воздуха, используемые в процессе, формируются вне обрабатываемой пульпы в виде концентрированной водо-воздушной микроэмульсии.

Исследования, направленные на применение комбинированной микрофлотации [9-11], позволяющей доизвлекать тонкодисперсные минералы, теряющиеся с хвостами флотации и получить при этом концентраты с высоким извлечением полезного компонента, являются актуальными и экономически целесообразными.

Цель работы изучение влияния природы получения водовоздушной микродисперсии на флотируемость сульфидных минералов цветных металлов. Водовоздушная микродисперсия раствора пенообразователя получается в генераторе, и полученная микродисперсия содержит от 66-70 % газа в виде микропузырьков.

Объекты исследований - пенообразователи оксаль Т-92, диалкилдитиофосфат БТФ-163. Проведен анализ поверхностного натяжения растворов пенообразователей различной концентрации (рН растворов 8,5-9) на тензиометре KRUSS серии K20 EasyDyne, результаты представлены на рисунке 1.

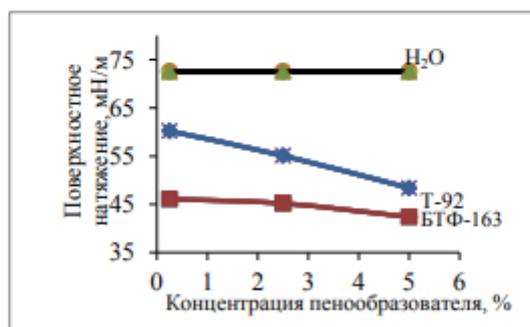


Рисунок 1 – Зависимость поверхностного натяжения реагентов пенообразователей от концентрации растворов при температуре 22°С

Результаты показывают, что наименьшее значение поверхностного натяжения имеют растворы при концентрации 2,5 мг/см³ для Т-92, 5,0 мг/см³ для БТФ-163.

Затем эти растворы пропущены через генератор водо-воздушной микроэмульсии. При этом образуется водовоздушная микроэмульсия. Размер микропузырьков и их количество зависит от концентрации пенообразователя.

Полученные водовоздушные микроэмульсии исследовались на анализаторе размеров частиц PhotocorCompact.

Оптимальные размеры водовоздушной микроэмульсии получены при концентрациях 2,5 мг/см³ для Т-92, 5,0 мг/см³ для БТФ-163 (рисунок 2,3).

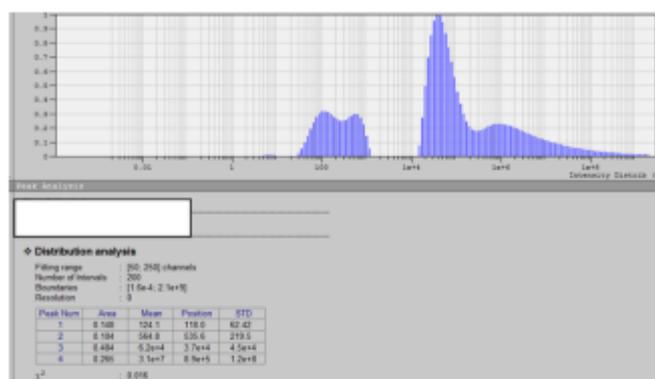


Рисунок 2 - Распределение частиц микропузырьков (Т-92, 5,0 мг/см³)

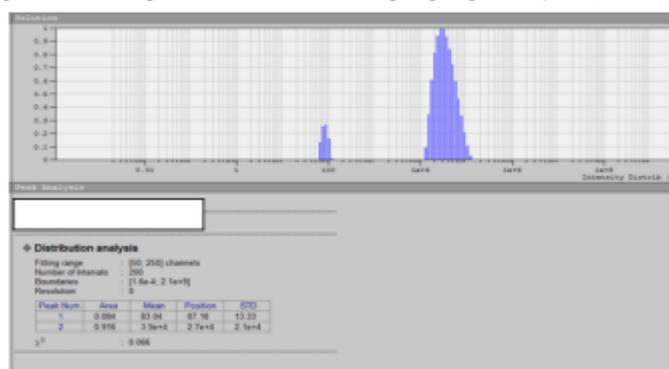


Рисунок 3 - Распределение частиц микропузырьков (БТФ-163, 2,5 мг/см³)

Оптимальные распределения получены при концентрациях Т-92 5,0 мг/см³, БТФ-163 2,5 мг/см³. Для раствора Т-92 с концентрацией 2,5 мг/см³ (рисунок 2), средний размер частиц микропузырьков равняется 27 мкм, доля этих частиц 63,5 %. Для раствора БТФ-163 с концентрацией 2,5 мг/см³ (рисунок 3), средний размер частиц микропузырьков равняется 22 мкм, доля этих частиц 87,6 %.

Изучено влияние водовоздушной микроэмульсии на флотиремость мономинералов (халькопирит, галенит, сфалерит, пирит). Минералы измельчали в фарфоровой ступке, навеска составляла 5 грамм. Флотацию проводили в лабораторной флотомашине типа ФЛ (Россия) объемом 50 см³. Скорость вращения импеллера составляла 1100 об/мин. Минералы перемешивали с водой, вакуумировали, после чего подавали реагенты и проводили обработку в агитационном и аэрационном режимах.

В качестве собирателя применяли бутиловый ксантогенат натрия (расход 5 мг/дм³). Расход пенообразователя 15 мг/дм³.

Мономинеральная флотация проводилась при различной дисперсности минералов халькопирита, галенита, сфалерита и пирита: -0,074+0,044 мм; -0,044+0,020 мм; -0,020+0 мм. Пенообразователи подавались в виде растворов (базовый режим) и в виде водо-воздушной микроэмульсии.

Результаты мономинеральной флотации в зависимости от времени представлены в таблице 1.

Результаты исследований (таблица 1) показали, что при флотации халькопирита дисперсностью $-0,074+0,044$ мм с дополнительным применением микропузырьков выход минерала увеличивается с 78 до 83 %; при дисперсности $-0,044+0,020$ мм выход минерала увеличивается с 62 до 80 %; при дисперсности $-0,020+0$ мм – с 22 до 50 %.

При флотации галенита дисперсностью $-0,074+0,044$ мм с дополнительным применением микропузырьков выход минерала увеличивается с 84 до 87 %; при дисперсности $-0,044+0,020$ мм выход минерала увеличивается с 76 до 85 %; при дисперсности $-0,020+0$ мм – с 29 до 58 %.

При флотации пирита дисперсностью $-0,074+0,044$ мм с дополнительным применением микропузырьков выход минерала увеличивается с 71 до 75 %; при дисперсности $-0,044+0,020$ мм выход минерала увеличивается с 65 до 67 %; при дисперсности $-0,020+0$ мм – с 16 до 47 %.

Таблица 1 - Флотация минералов цветных металлов разных классов дисперсности с применением базового режима и микропузырьков в зависимости от времени флотации

Время флотации, сек	Выход, % (базовый режим)			Выход, % (с применением микропузырьков)		
	$-0,074+0,044$ мм	$-0,044+0,020$ мм	$-0,020+0$ мм	$-0,074+0,044$ мм	$-0,044+0,020$ мм	$-0,020+0$ мм
1	2	3	4	5	6	7
Халькопирит						
30	19	13	7	58	48	35
60	38	26	12	75	70	43
90	58	37	16	79	76	46
120	69	48	18	82	78	48
150	76	56	20	83	80	49
180	78	62	22	83	80	50
Галенит						
30	25	18	13	68	57	37
60	46	33	22	83	78	53
90	63	49	26	85	83	56
120	75	61	28	87	84	57
150	82	72	29	87	85	58
180	84	76	29	87	85	58
Пирит						
30	17	11	5	50	39	22
60	32	23	9	61	53	35
90	45	35	12	70	60	42
120	56	47	14	72	63	45
150	65	56	15	74	66	47
180	71	65	16	75	67	47
Сфалерит						
30	21	14	3	57	46	18
60	39	31	8	71	63	26
90	55	48	11	75	69	31
120	68	60	14	77	73	35
150	73	64	17	79	75	37
180	75	66	18	79	77	39

При флотации сфалерита дисперсностью $-0,074+0,044$ мм с дополнительным применением микропузырьков выход минерала увеличивается с 75 до 79 %; при дисперсности $-0,044+0,020$ мм выход минерала увеличивается с 66 до 77 %; при дисперсности $-0,020+0$ мм – с 18 до 39 %.

Таким образом, представленные результаты показывают, что подача пенообразователя в виде микропузырьков в процесс мономинеральной флотации позволяет повысить выход минералов различной дисперсности и ускорить процесс флотации на 10-15 %.

Работа выполнена в Институте металлургии и обогащения в г. Алматы, Республика Казахстан при финансовой поддержке Комитета науки Министерства образования и науки Республики Казахстан по гранту № AP08856041.

1. Глембоцкий А.В. Флотация ультратонких частиц //Цветные металлы.-1978.- № 7.- С.112-114.
2. Sebba F. An improved generator for micron-sized bubbles // Chemistry and Industry.- 1985.- Vol.4.-P.91-92.
3. Anfruns J.F., Kitchener J.A. Rates of capture of small particles in flotation // Transactions of the Institution of Mining and Metallurgy, Section C: Mineral Processing and Extractive Metallurgy.-1977.- Vol.86.- P.9-15.
4. Бочаров В.А., Вигдергауз В.Е. Флотация сульфидных тонкодисперсных минеральных систем // Цветные металлы.- 1997.- №3.- С.8-11.
5. Ультаракова Д.Д., Ерёмин Ю.П., Загайнов В.Г. Разработка способа флотации с эжекторной аэрацией с выделением газов из жидкой фазы // Промышленность Казахстана.-2007.- № 2.- С.58.
6. Rulyov N.N. Turbulent microflotation of ultra-fine minerals //Mineral Processing and Extractive Metallurgy.Trans. Inst. Min. Metall.- 2008.-Vol.117.- № 1.-P.32-37.
7. Рулев Н.Н., Тусупбаев Н.К., Турысбеков Д.К., Семушкина Л.В., НарбековаС.М. Комбинированная микрофлотация тонкодисперсных минералов //Цветные металлы.- 2017. - №9. – С.14-20.
8. Rulyov N.N., Tussupbayev N.K., Turusbekov D.K., Semushkina L.V., KaldybaevaZh.A. Effect of microbubbles as flotation carriers on fine sulphide ore beneficiation //Mineral Processing and Extractive Metallurgy. – 2018. – Vol.127. – No.3. – P.133-139.
9. Rulyov N.N., Tussupbayev N.K., Turusbekov D.K., Semushkina L.V., KaldybaevaZh.A. Effect of microbubbles as flotation carriers on fine sulphide ore beneficiation // Mineral Processing and Extractive Metallurgy. – 2018. – Vol.127. – No.3. – P.133-139.
10. Семушкина Л.В., Турысбеков Д.К., Рулев Н.Н., Нарбекова С.М. Флотация хвостов обогащения свинцово-цинковых руд комбинированным собирателем с использованием микроэмульгирования // Обогащение руд. – 2017. – № 2. - С.26-31.
11. Рулев Н.Н., Тусупбаев Н.К., Турысбеков Д.К., Семушкина Л.В., Нарбекова С.М. Комбинированная микрофлотация тонкодисперсных минералов // Цветные металлы.- 2017. - №9. – С.14-20.

МАЗМҰНЫ СОДЕРЖАНИЕ

Davletova A., Yeskalina K. CARBONATION OF REFINED SELF-PULVERIZING SLAG MATERIAL.....	3
Монова-Zheleva M., Nikolova E., Zhelev Y. KAZAKH UNIVERSITIES TO FOSTER QUALITY ASSURANCE PROCESSES IN TECHNOLOGY ENHANCED LEARNING: BRIEF INFO ON TRAINING KAZAKHSTANI PROFESSIONALS WITHIN THE PROJECT	7
Абдығалиева С.З., Өмірзақ А.Ө. АУТИЗМІ БАР БАЛАЛАРДЫҢ ПСИХИКАЛЫҚ ДАМУЫНЫҢ ЕРЕКШЕЛІКТЕРІ ТУРАЛЫ ПСИХОЛОГИЯЛЫҚ-ПЕДАГОГИКАЛЫҚ ИДЕЯЛАР.....	12
Абдыкеримова Э.А., Абилшеева А.К. БОЛАШАҚ ИНФОРМАТИКА МҰҒАЛІМДЕРІНЕ КОМПЬЮТЕРЛІК ГРАФИКАНЫ ОҚЫТУ.....	14
Абильдаева Ж.М., Назарымбетова Г.Т. ҮШТҮҒЫРЛЫ ТІЛ: ЗАМАН ТАЛАБЫНА САЙ БІЛІМ БЕРУ БАҒЫТТАРЫНЫҢ ТИІМДІЛІГІ.....	19
Азбаева Л.Х. ҚАЗАҚ ӘДЕБИЕТІ ПӘНІН ОҚЫТУДЫҢ БЕЛСЕНДІ ӘДІС-ТӘСІЛДЕРІ... Аймағамбет Ә.А. БИОЛОГИЯ ПӘНІНЕН СТАНДАРТТЫ ЕМЕС САБАҚТАРДЫ ОҚЫТУ ӘДІСТЕМЕСІНІҢ ЕРЕКШЕЛІКТЕРІН ЗЕРТТЕУ.....	22 24
Асанова М.М. МОДЕРНИЗАЦИЯ ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ В КАЗАХСТАНЕ: ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ В СОВРЕМЕННОМ МИРЕ.....	29
Ашенова Г.Ж., Абдыгулова А.Қ. ОҚУШЫЛАРДЫ ЖЕЛПІК БҰЗАҚЫЛАРДАН ҚАЛАЙ ҚОРҒАУҒА БОЛАДЫ: ХАЛЫҚАРАЛЫҚ ТӘЖІРІБЕ ЖӘНЕ ЖЕКЕ БАҚЫЛАУ.....	33
Байгенжинова А.С., Сырлыбаева К.Р. БАСТАУЫШ СЫНЫПТА МӘТІНМЕН ЖҰМЫС ЖАСАУДЫҢ МӨНІ.....	39
Байкенова М. С. БІЛІМ АЛУШЫЛАРДЫҢ ФУНКЦИОНАЛДЫҚ САУАТТЫЛЫҒЫН МОДУЛЬДІК ОҚЫТУ ТЕХНОЛОГИЯСЫ ТӘСІЛІМЕН ДАМУЫ.....	42
Baimukhanova Zh. M. INTERACTIVE NOTEBOOKS AT THE ENGLISH LESSONS.....	47
Бактыбекова Г.М., Турысбекова Г.С. АЛТЫН МИГРАЦИЯСЫНДАҒЫ МИКРО-ОРГАНИЗМДЕРДІҢ РӨЛІ.....	52
Бегенова А.Д., Жандаулетова К.Ж. ФУНКЦИОНАЛДЫҚ САУАТТЫЛЫҚТЫ АРТТЫРУ Бекмағанбетова И.Б. ИНКЛЮЗИВТІ БІЛІМ БЕРУ ЖАҒДАЙЫНДА ЖҰМЫС ІСТЕЙТІН ПЕДАГОГТЕРДІҢ КӨСІБИ-ТҮЛҒАЛЫҚ ДАЙЫНДЫҒЫН ҚАЛЫПТАСТЫРУ.....	55 58
Биримжанов К.С. НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ПОЗИЦИИ ВЕДУЩИХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ЛИДЕРОВ МИРА И СТРУКТУРНАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ МИРОВОЙ ЭКОНОМИКИ.....	65
Биримжанов К.С. ЯПОНСКАЯ МОДЕЛЬ РАЗВИТИЯ ВЫСОКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ЭКОНОМИКИ.....	72
Bralina S.N., Iskakova A. CREATION OF A PROGRAM FOR DETERMINING EMPIRICAL APPROXIMATING FUNCTIONS FROM THE CLASS OF MONOTONE TWO-PARAMETRIC FUNCTIONS.....	76
Бухарова А.О. ҚАЗАҚСТАНДА БІЛІМ БЕРУДІ ЖАҒҒЫРТУ - БҮГІНГІ ЗАМАННЫҢ ТАЛАБЫ.....	82
Даулетбаева Т.М. ЖАҒА КЕЗЕҢДЕГІ ҒЫЛЫМ МЕН БІЛІМНІҢ ДАМУ ПЕРСПЕКТИВАЛАРЫ.....	85
Dergunova E. POLY CULTURAL COMPETENCE IN THE PROCESS OF TEACHING FOREIGN LANGUAGES.....	88
Дергунова Е.Ю., Жактаева А.К., Тимерханова А.А. СОЦИОКУЛЬТУРНАЯ КОМПЕТЕНЦИЯ КАК ОДНА ИЗ СОСТАВЛЯЮЩИХ ПОДГОТОВКИ СТУДЕНТОВ ЯЗЫКОВЫХ СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ ВУЗОВ.....	91
Доскенова Л.К. РУХАНИ ҚҰНДЫЛЫҚТАРДЫ ӘДЕБИЕТ САБАҒЫНДА ОҚЫТУДЫҢ ӨЗЕКТІ МӨСЕЛЕЛЕРІ.....	96

Дюсембекова А.С., Бегенова Н.Д. ЖАҢАРТЫЛҒАН БІЛІМ БЕРУ БАҒДАРЛАМА-СЫНДА БІЛІМ БЕРУ МАЗМҰНЫНЫҢ ЖАҢАРУЫ.....	100
Ерденқызы А., Турлыбекова Г.К. Бекбауова А.Т. МЕКТЕП БИОЛОГИЯСЫНДА АҚПАРАТТЫҚ-КОММУНИКАТИВТІК ТЕХНОЛОГИЯЛЫҚ ҚҰЗІРЕТТІЛІКТІ ҚАЛЫПТАСТЫРУДЫҢ ӘДІСНАМАСЫ.....	103
Жантасова А.У, Жакипбекова А.Б. ТӘУЕЛСІЗДІК - ТЕҢДЕСІ ЖОҚ БАЙЛЫҒЫМ.....	108
Заманбеков А.М. ТҰРҒЫН ҮЙ-КОММУНАЛДЫҚ СЕКТОРДЫҢ ЭНЕРГИЯ ТИІМДІЛІГІН АРТТЫРУ.....	111
Зырин В.О. МЕЖДУНАРОДНЫЕ КОМПЕТЕНЦИИ СПЕЦИАЛИСТОВ МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВОГО КОМПЛЕКСА – СИСТЕМЫ И МЕТОДЫ ОЦЕНКИ.....	115
Ичев В.А., Дружинин В.М., Утеген С.А., Шәкетаева М.Т. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДА СТАНА ГОРЯЧЕЙ ПРОКАТКИ НА АО «АРСЕЛОРМИТТАЛ ТЕМИРТАУ».....	118
Ичева Ю.Б., Шынбергенова К.Т., Ичев В.А. МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА УЛАВЛИВАНИЯ ГАЗОВ И ПЫЛЕЙ В ЦЕНТРОБЕЖНОМ ЦИКЛОНЕ.....	123
Кажибекова Д.Т. ФУНКЦИОНАЛДЫҚ САУАТТЫЛЫҚ ЖӘНЕ АҚПАРАТТЫҚ ТЕХНОЛОГИЯ — РУХАНИ ЖАҢҒЫРУ ТЕТІГІ.....	128
Колесникова Р.К., Мосунов А.Л. ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ КАЧЕСТВА ЗАНЯТИЙ ФИЗИЧЕСКОЙ КУЛЬТУРОЙ В ВУЗЕ.....	132
Кригер Н.В. ПЛЮСЫ И МИНУСЫ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ В НАЧАЛЬНОЙ ШКОЛЕ.....	137
Кряжева Т.В., Шынбергенова К.Т., Ичева Ю.Б. О НЕОБХОДИМОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ КОНЦЕНТРАТОВ ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ ИЗ ХВОСТОВ ОБОГАЩЕНИЯ МЕДЬСОДЕРЖАЩИХ РУД.....	142
Кудайкулов А., Кульсеитова Л., Балапанова Г., Дукенбай Ж. ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ МЕТОД РЕШЕНИЯ НЕЛИНЕЙНОЙ ЗАДАЧИ ТЕРМОУПРУГОСТИ ДЛЯ СТЕРЖНЯ ПЕРЕМЕННОГО СЕЧЕНИЯ.....	145
Кудинова Б.А. МАТЕМАТИКАНЫ ОҚЫТУДА ИННОВАЦИЯЛЫҚ ӘДІСТЕРДІ ҚОЛДАНУДЫҢ ШАРТТАРЫ.....	150
Казкенов А.Б., Абен Е.Х. RAIL-VEYOR – СИСТЕМА ТРАНСПОРТИРОВКИ БУДУЩЕГО.....	153
Мелешко О.В. ПРИМЕНЕНИЕ СИЛОВЫХ ТРЕНИРОВОК НА ЗАНЯТИЯХ ФИЗИЧЕСКОЙ КУЛЬТУРОЙ.....	156
Мелешко О.В. МЕТОДИКА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СРЕДСТВ ФИЗИЧЕСКОЙ КУЛЬТУРЫ ДЛЯ УКРЕПЛЕНИЯ ЗДОРОВЬЯ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ ВУЗОВ.....	158
Мелешко О.В. ВЛИЯНИЕ ОЗДОРОВИТЕЛЬНОГО БЕГА НА ОРГАНИЗМ СТУДЕНТА..	162
Молдабаев С.К., Адиль Т.К., Исаков Б.Б., Оралтаев Н.Н. РЕЗЕРВЫ ПОВЫШЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ КРУТОНАКЛОННОГО КОНВЕЙЕРА ПРИ ПЕРЕГРУЗКЕ ГОРНОЙ МАССЫ НА ВНУТРИКАРЬЕРНЫЙ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫЙ ТРАНСПОРТ...	164
Молдабекова А. Т. ИССЛЕДОВАНИЕ РАЗВИТИЯ И ФОРМИРОВАНИЯ ЦИРКУЛЯРНОЙ ЭКОНОМИКИ НА МАКРО, МЕЗО И МИКРОУРОВНЯХ.....	170
Мырзабаев А.Б., Мұхаметбек А.Қ., Еркен И.Е. ОҚУШЫЛАРДЫҢ САБАҚТАН ТЫС БИОЭКОЛОГИЯЛЫҚ ЗЕРТТЕУ ЖҰМЫСТАРЫН ЖҮРГІЗУ ӘДІСТЕМЕСІ.....	173
Назарымбетова Г.Т., Абдыкаликова С.Т. ЦИФРЛЫҚ БІЛІМ БЕРУ – ҚАЗІРГІ ЗАМАНАУИ ОҚЫТУ КІЛТІ.....	179
Наурызбаева А. М. МАТЕМАТИКА САБАҒЫНДА ОҚУШЫЛАРДЫ ПИЗА ЕСЕПТЕРІН ДАМЫТУ ЖОЛДАРЫ.....	183
Несіпбай А.Қ., Дюсенова С.Б., Абдулвалиев Р.А., Имангалиева Л.М. ГРАВИТАЦИОННОЕ ОБОГАЩЕНИЕ НИЗКОКАЧЕСТВЕННЫХ ГИББСИТ-КАОЛИНИТОВЫХ БОКСИТОВ.....	187
Нурпеисова М., Рысбеков К., Кыргызбаева К.М. МОНИТОРИНГ МЕДЛЕННЫХ	

ДВИЖЕНИЙ ЗЕМНОЙ КОРЫ МЕДНОРУДНОГО РАЙОНА САРЫАРКИ.....	190
Нургазина А.С., Даукенова Г.А., Акубаева Б.А. ЭФФЕКТИВНОСТЬ СОЗДАНИЯ ТУРИСТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА В УЛЫТАУ.....	195
Нұрпейісова М.Б. УЛЫТАУДЫҢ УЛАНЫ.....	200
Обозов А.Дж., Оразбаев К.Н. СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ МИКРОГЭС ДЛЯ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ АВТОНОМНЫХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ.....	203
Омаров А.А. ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ОБРАЗОВАНИИ.....	206
Оспанов А.Н., Өтеген С.А., Аимбетова Г.Б., Шәкәтәева М.Т., Ичев В.А. КЕНШТЕР ЖАҒДАЙЫНДАҒЫ КӨЛІК ҚҰРАЛДАРЫ ЖҰМЫСЫНЫҢ КӨРСЕТКІШТЕРІНЕ ЖОЛ ЖАБЫНЫ ЖАЙ-КҮЙІНІҢ ӘСЕРІ.....	210
Раис А.Қ. ҚАШЫҚТЫҚТАН ОҚЫТУДА АКТ-НЫҢ ТИМДІЛІГІ.....	214
Рамазанова Б.К., Байқонуров Е.Г. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СЪЕМОК С ПОМОЩЬЮ ЛАЗЕРНОГО СКАНЕРА.....	218
Рахметова Д.Б. ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ КАК СРЕДСТВО ПАТРИОТИ- ЧЕСКОГО ВОСПИТАНИЯ ШКОЛЬНИКОВ.....	222
Рыспапбетов Б.Г., Рыспапбетова Ж.Б. МЕКТЕПТЕ ЖАРАТЫЛЫСТАНУ ПӘНДЕРІН ОҚЫТУДА ХАЛЫҚТЫҚ ПЕДАГОГИКА ЭЛЕМЕНТТЕРІН ҚОЛДАНУ.....	226
Садвокасов Б.А., Барменшинова М.Б. ПОДБОР РЕАГЕНТА ДЛЯ СЕЛЕКТИВНОГО ИЗВЛЕЧЕНИЯ УРАНА ИЗ НЕКОНДИЦИОННОГО СЫРЬЯ, ПОЛУЧАЕМОГО ПРИ ОСАЖДЕНИИ ЖЕЛЕЗА ИЗ ТОВАРНОГО ДЕСОРБАТА.....	231
Сапарбек Ж.А., Бейбіт А.М. МӘДЕНИ-ТАНЫМДЫҚ ІС ШАРАЛАР АРҚЫЛЫ ШЕТ ТЛІІ МАМАНДЫҒЫ СТУДЕНТТЕРІНІҢ ОҚЫТЫЛАТЫН ТІЛДЕ ҚАРЫМ-ҚАТЫНАС ЖАСАУ ҚАБІЛЕТІН ҚАЛЫПТАСТЫРУ.....	235
Сарсембаев Д.Ж., Сарғұлжина А.А., Сарсембаев Н.Д., Бурабаев К.А., Бектеминов Е.С. ПРИМЕНЕНИЕ ВИБРОМАШИН В УСЛОВИЯХ ПОДЗЕМНЫХ РУДНИКОВ.....	239
Сдижжова Е.А., Бабец Д.В., Кравченко К.В., Френцель Э.В., Панченко В.В. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ КРЕПЛЕНИЯ ОТКАТОЧНОГО.....	241
Слямбеков Н.А. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПЕРЕДОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В БУРОВЗРЫВ- НОМ ДЕЛЕ.....	247
Смагулова Ж.К. ҚОЛДАНБАЛЫ МАТЕМАТИКА. КЕШЕ, БҮГІН, ЕРТЕҢ.....	251
Сүлейменова А.З. КӘСІПТІК БІЛІМДЕГІ ДУАЛДЫ ОҚЫТУ ИННОВАЦИЯЛЫҚ ЖОБАСЫ: ТЕОРИЯ. ТӘЖІРИБЕ. НӘТИЖЕ.....	254
Тағыбергелі А.О. ҚАЗАҚ ХАЛЫҚ ПРОЗАСЫНДАҒЫ АҢЫЗ ЖАНРЫНЫҢ ЕРЕКШЕЛІГІ МЕН ЖАСАЛУ ЖОЛДАРЫ ЖӘНЕ ОНЫҢ ТҮРЛЕРІ.....	256
Тақшинов А.А., Кудайкулов А., Аринев Е. РАЗРАБОТКА ЧИСЛЕННОГО МЕТОДА УЧЕТА НАЛИЧИЯ ЛОКАЛЬНЫХ ПОВЕРХНОСТНЫХ ТЕПЛООБМЕНОВ В СТЕРЖНЯХ ПЕРЕМЕННОГО СЕЧЕНИЯ.....	262
Токтарұлы Б., Абен Е.Х. ПОВЫШЕНИЕ ОКИСЛИТЕЛЬНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНО- НОГО ПОТЕНЦИАЛА ВЫЩЕЛАЧИВАЮЩЕГО РАСТВОРА ПРИ ПСВ УРАНА.....	270
Трус А.Б. ЖОҒАРЫ ОҚУ ОРЫНДА ҚАШЫҚТЫҚТАН ОҚУ ЖАҒДАЙЫНДА ДЕНЕ ШЫНЫҚТЫРУ ПӘНІН ӨТКІЗУ ТӘСІЛДЕРІ.....	274
Трус А.Б. СПЕЦИФИКА МЕТОДИКИ ОБУЧЕНИЯ СПОРТИВНЫМ ИГРАМ В ВУЗЕ... Түрөбаева С.Н. ФОРМИРОВАНИЕ У УЧАЩИХСЯ НАВЫКОВ САМОРЕГУЛЯЦИИ ЧЕРЕЗ ГРУППОВУЮ РАБОТУ.....	278
Турлыбекова Г.К., Аймуханбетова А.Б. ҚАЗІРГІ ҚАЗАҚСТАН МЕДИЦИНАСЫНЫҢ ӨЗЕКТІ МӘСЕЛЕЛЕРІ.....	284
Тұрсынғалиев М.Е. МЕТОДИКА ЭСТЕТИЧЕСКОГО ВОСПИТАНИЯ УЧАЩИХСЯ ЧЕРЕЗ ТРАДИЦИОННОЕ КАЗАХСКОЕ МУЗЫКАЛЬНОЕ ИСКУССТВО В ПРОЦЕССЕ ОБУЧЕНИЯ.....	287
Тұрысбеков Д. К., Семушкина Л. В., Нарбекова С. М., Калдыбаева Ж. А., Мухамедилова А.М. ИЗУЧЕНИЕ ФЛОТИРУЕМОСТИ МИНЕРАЛОВ ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ В ПРИСУТСТВИИ ВОДОВОЗДУШНОЙ ЭМУЛЬСИИ РАСТВОРА ПЕНООБРАЗОВАТЕЛЯ.....	292
Тусупова Т.Б. ӘЛИХАН БӨКЕЙХАННЫҢ ИДЕЯСЫ - ТӘУЕЛСІЗ ЕЛ БОЛУ.....	296
Туяқова Р.К. МЕКТЕПКЕ ДЕЙІНГІ БІЛІМ БЕРУ ЖҮЙЕСІНДЕГІ ЫАЛТЫНСАРИН- НЫҢ ШЫҒАРМАЛАРЫНДАҒЫ ЕҢБЕК ТӘРБИЕСІ.....	300
Умбетова А. К., Балгимбекова А.Г. ЫБЫРАЙ АЛТЫНСАРИН ӘҢГІМЕЛЕРІНДЕГІ ГИБРАТ – ОҚЫТУДЫҢ ҚҰАТТЫ ҚҰРАЛЫ.....	303
Умирбекова А.К., Аманжол Ж.Е. МЕКТЕП ЖАСЫНА ДЕЙІНГІ БАЛАЛАРҒА ЭКОЛО- ГИЯЛЫҚ ТӘРБИЕ БЕРУ.....	307
Umirbekova A.K., Amanjol J.E. Mektep jasyına deyinǵı balalarǵa ekologiya- lyq tərbiye beru.....	310
Kholodova G.M., Kukalo L.I., Epaneshnikova A.A., Popova N.E. MULTI-LEVEL TASKS AS A MEANS OF FORMING A VALUE-SEMANTIC ATTITUDE TO THE KNOWLEDGE OF METALLURGICAL STUDENTS.....	315
Чепуштанова Т.А., Меркибаев Е.С., Сарсенова М. С., Темірхан С.Г. КОМПЛЕКСНАЯ ПЕРЕРАБОТКА СЛОЖНЫХ ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ РУД МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЖАЙРЕМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОЦЕССА СУЛЬФИДИРОВАНИЯ.....	317
Шатенова С.Е. ОҚУШЫЛАРДЫҢ ОҚУ БЕЛСЕНДІЛІГІН АРТТЫРУ ЖОЛДАРЫ.....	322
Юсупова А.Ж. ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНЫҢ БІЛІМ БЕРУ ЖҮЙЕСІ.....	326



SATBAYEV
UNIVERSITY



СӘТБАЕВ ОҚУЛАРЫ
САТБАЕВСКИЕ ЧТЕНИЯ
SATBAYEV CONFERENCE

**"СӘТБАЕВ ОҚУЛАРЫ-2022.
ҚАЗІРГІ ҒЫЛЫМИ ЗЕРТТЕУЛЕРДІҢ ТРЕНДТЕРІ"
ХАЛЫҚАРАЛЫҚ ҒЫЛЫМИ-ПРАКТИКАЛЫҚ
КОНФЕРЕНЦИЯ ЕҢБЕКТЕРІ**



PROCEEDINGS OF THE INTERNATIONAL
SCIENTIFIC AND PRACTICAL CONFERENCE
"SATBAYEV CONFERENCE - 2022.
TRENDS IN MODERN SCIENTIFIC RESEARCH"



12.04.2022

ИЗУЧЕНИЕ СВОЙСТВ ВОДОВОЗДУШНОЙ МИКРОДИСПЕРСИИ РАСТВОРА ФЛОТОРЕАГЕНТА

^{1,2}Д.К. Турысбеков[✉], ^{1,2}Н.К. Тусупбаев[✉], ^{1,2}Л.В. Семушкина[✉],
^{*1,2}С.М. Нарбекова[✉], ²Ж.А. Калдыбаева[✉]
²А.М. Мухамедилова[✉]

¹Satbayev University,

²АО "Институт металлургии и обогащения", Казахстан, г. Алматы
*s.narbekova@satbayev.university

Аннотация: Плохая флотация минералов мельче 25 мкм объясняется тем, что эти частицы имеют очень небольшую вероятность столкновения с пузырьками воздуха во флотируемой пульпе. Одним из решений данной проблемы является применение комбинированной микрофлотации с получением водовоздушной микродисперсии. Целью исследования является изучение свойств водовоздушной микродисперсии раствора флотореагента. Водовоздушная эмульсия раствора флотореагента получена в генераторе водовоздушной микроэмульсии. В качестве реагентов исследованы бутиловый аэрофлот, пенообразователь С-7 и катионный собиратель бутилтриэтилентетрамин Б-ТЭТА. Определены факторы, влияющие на устойчивость эмульсии. Установлено, что повышение температуры ухудшает устойчивость микродисперсии, оптимальная частота вращения генератора 6000 об/мин и выше. Растворы флотореагентов дают устойчивые микродисперсии при различных концентрациях растворов. Оптимальная микродисперсия получается при частоте вращения генератора 6000 об/мин из 0,5 г/л раствора бутилового аэрофлота, из 50 г/л раствора С-7 и Б-ТЭТА. Размер частиц дисперсии колеблется в пределах 41-59 мкм.

Ключевые слова: водовоздушная микроэмульсия, флотореагент, пенообразователь, размер частиц.

По мере уменьшения размера частиц минералов их поведение в гидродинамических потоках меняется, они теряют массу и наступает граничный предел, ниже которого микрочастица не может накопить в движении кинетическую энергию. Данная энергия позволяет преодолеть частице водно-структурный энергетический барьер при встрече с пузырьками. Это приводит при флотационном обогащении к потере извлечения цветных металлов с микродисперсиями от 5 до 30 %.

Проблема флотации частиц менее 25 мкм может быть решена путем применения в процессе флотации пузырьков воздуха, размер которых не превышает 50 мкм [1-4].

Одним из решений данной задачи является применение метода «турбулентной микрофлотации» [5-8]. Принципиальное отличие этого метода от обычной флотации состоит в том, что пузырьки воздуха, используемые в процессе, формируются вне обрабатываемой пульпы в виде концентрированной водовоздушной микродисперсии, которая затем смешивается с пульпой.

Известны разные способы получения микропузырьков в процессе флотации. Существует способ пневматической флотации с предварительной аэрацией пульпы, которая используется в центробежных флотационных машинах. Этот способ осуществляется во флотационных машинах фирмы "KHD Humboldt Wedag AG". В верхней части камеры флотомшины установлены "целевые аэраторы", через которые тангенциально подается исходная пульпа, в центральной - патрубок для разгрузки концентрата [9].

Известен способ, при котором для флотации используются одновременно пузырьки двух размеров. Микропузырьки создаются в результате выделения газа из пульпы при ее прокачке через эжектор. Макропузырьки создаются в результате гидродинамического воздействия потоков пульпы на поверхность пузырьков в камере флотомшины [10].

В работе для получения микропузырьков в виде водовоздушной микродисперсии использован генератор [11], основным элементом которого является камера диспергации.

В камере диспергации с помощью высокоскоростного электропривода создается сильно неоднородное гидродинамическое поле, вследствие чего смесь воздуха и раствора вспенивателя преобразуется в микродисперсию воздуха в водной фазе.

При использовании микродисперсии во флотосистеме образуются также пузырьки разных размеров: микропузырьки 20-70 мкм, средние пузыри за счет сцепления нескольких микропузырьков (так называемый каскад пузырьков) и макропузырьки, генерируемые аэратором флотомашины. Микропузырьки и каскад пузырьков, являясь мобильными, более флотоактивными, притягивают к себе тонкодисперсные минералы размером менее 30 мкм, налипают на поверхность макропузырьков, которые всплывают на поверхность пульпы в виде флотоконцентрата.

Эффективность процесса флотационного извлечения микрочастиц можно повысить за счет использования стабильных размеров микродисперсии и правильного соотношения пузырьков разного размера. При создании генератора основной задачей являлась регулирование оптимального соотношения макро- и микропузырьков, стабилизация дисперсности микропузырьков.

В данной работе представлены результаты исследований свойств водо-воздушной микродисперсии, получаемые из раствора флотореагента в генераторе. Проведены исследования изменения температуры при работе флотомашины и генератора, изучено влияние вида флотореагента на дисперсность микропузырьков и их устойчивость во флотосистеме.

Изучены изменения температуры пульпы во флотационной камере в зависимости от времени работы флотомашины, от времени работы оборудования по получению водовоздушной микродисперсии и от частоты вращения генератора. В качестве флотореагента использовали бутиловый аэрофлот, обладающий и собирательными и пенообразующими свойствами. Концентрация раствора составил 0,5 г/л. Результаты приведены на рисунке 1.

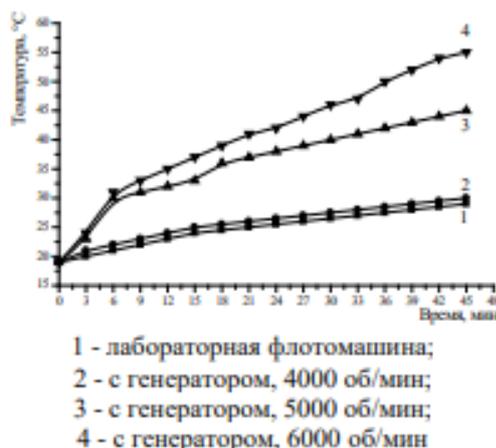


Рисунок 1 - Зависимость температуры пульпы от времени работы флотомашины и от разных режимов работы генератора

Результаты показывают, что с течением времени пульпа нагревается, причем при использовании генератора нагрев происходит интенсивнее с увеличением количества оборотов (кривые 3,4 на рисунке 1). При проведении лабораторных тестовых опытов в течение недлительного периода времени нагревание головки и соответственно нагрев пульпы не оказывают отрицательного влияния на качество водовоздушной микроэмульсии. При проведении укрупненных испытаний, при длительных испытаниях необходимо наличие дополнительного охлаждающего корпуса для охлаждения головки диспергатора.

Вид применяемого флотореагента также влияет на свойства водовоздушной микродисперсии. При изучении влияния вида реагентов на свойства микродисперсии в качестве флотореагентов использовали бутиловый аэрофлот, вспениватель С-7 и катионный

собиратель бутилтриэтилентетрамин Б-ТЭТА. Эти реагенты широко используются на обогатительных фабриках Казахстана: Концентрацию раствора реагентов варьировали от 0,05 до 50 г/л. Одновременно изучали влияние температуры на свойства водовоздушной микродисперсии, которую варьировали в пределах 20-80 °С.

Введено такое понятие как устойчивость водовоздушной микродисперсии - это время, затраченное на разрушение эмульсии. Для этого раствор флотореагента объемом 500 дм³ пропускают через генератор и получают водовоздушной микроэмульсию (рисунок 2а). Затем включают перемешивающее устройство, секундомер и засекают время, потраченное на разрушение микроэмульсии до определенного состояния (рисунок 2б). Время, затраченное на разрушение, показывает стабильность водовоздушной микродисперсии.

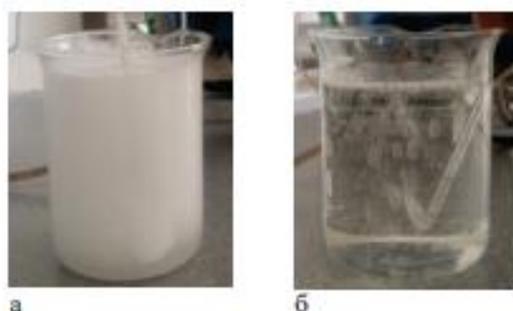


Рисунок 2- Вид водовоздушной микродисперсии до (а) и после (б) разрушения

Крупность водовоздушной микродисперсии определяли на анализаторе размеров частиц Photocor Compact.

Изучено влияние частоты вращения генератора на крупность и устойчивость водовоздушной микродисперсии, полученного из 0,5 г/л раствора бутилового аэрофлота, результаты приведены в таблице 1.

Таблица 1 - Зависимость крупности и устойчивости водовоздушной микродисперсии от частоты вращения генератора

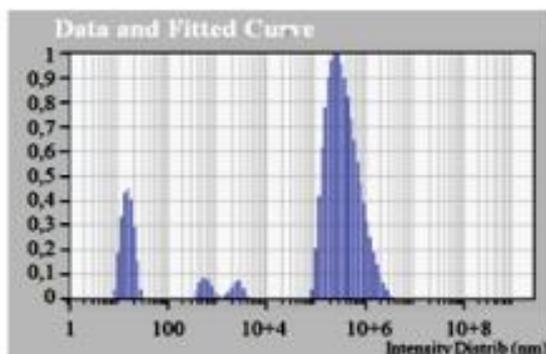
Частота вращения генератора, об/мин	Устойчивость, сек	Крупность, мкм
2000	10	460
3000	20	189
4000	35	124
5000	45	103
6000	80	40
7000	120	32
8000	140	19

Результаты показывают, что при низких частотах вращения устойчивость водовоздушной микродисперсии незначительна. При частоте вращения выше 6000 об/мин начинается действие квантационного процесса: пропорционально увеличивается устойчивость микродисперсии и снижается размер микроэмульсии.

На рисунке 3-5 приведены оптимальные размеры водовоздушной микродисперсии, полученной из 0,5 г/л раствора бутилового аэрофлота, при частотах вращения генератора 2000, 6000 и 8000 об/мин.

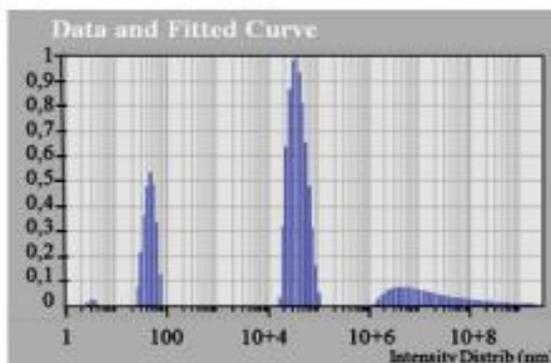
Результаты показывают, что:

- при частоте вращения 2000 об/мин средний размер частиц микропузырьков равняется 460 мкм, содержание (доля) этих частиц 80,4 % (рисунок 3);
- при частоте вращения 6000 об/мин средний размер частиц микропузырьков равняется 40 мкм, содержание (доля) этих частиц 62,9 % (рисунок 4);
- при частоте вращения 8000 об/мин средний размер частиц микропузырьков равняется 19 мкм, содержание (доля) этих частиц 81,0 % (рисунок 5).



Peak Num	Area	Mean	Position	STD
1	0,149	15,53	15,19	4,355
2	0,027	589,6	573,1	165,6
3	0,020	2554	2601	575,3
4	0,804	4,6e+5	2,4e+5	4,1e+5

Рисунок 3- Распределение частиц микропузырьков (2000 об/мин)



Peak Num	Area	Mean	Position	STD
1	0,005	3,036	2,979	0,449
2	0,226	44,96	45,34	12,38
3	0,629	4,0e+4	3,5e+4	1,7e+4
4	0,141	3,9e+7	3,8e+6	7,8e+7

Рисунок 4- Распределение частиц микропузырьков (6000 об/мин)

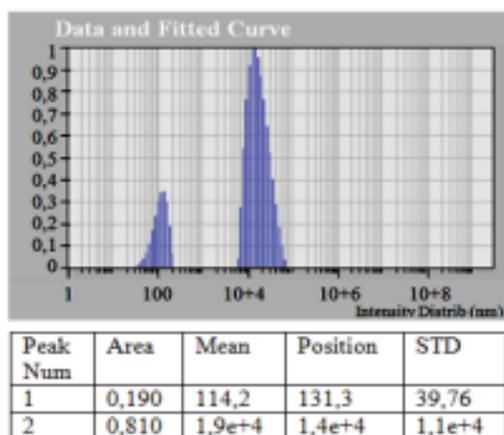


Рисунок 5- Распределение частиц микропузырьков (8000 об/мин)

В таблице 2 представлены результаты влияния концентрации раствора реагента и температуры раствора на устойчивость водовоздушной микродисперсии и размер микроэмульсии (крупность) при частоте вращения генератора 6000 об/мин.

Таблица 2 - Зависимость крупности микроэмульсии и устойчивости водовоздушной микродисперсии от концентрации и от температуры раствора флотореагента

Температура, °С	Концентрация раствора пенообразователя, г/л							
	0,05		0,5		5		50	
	Устойчивость, сек	Крупность, мкм	Устойчивость, сек	Крупность, мкм	Устойчивость, сек	Крупность, мкм	Устойчивость, сек	Крупность, мкм
Бутиловый Аэрофлот								
20	55	90	80	42	70	65	70	65
30	45	100	80	43	65	73	70	69
40	40	110	80	41	65	76	70	67
50	35	120	70	65	65	75	70	66
60	35	123	70	68	65	72	65	73
70	30	142	60	81	60	83	65	75
80	25	150	50	85	50	93	55	86
С-7								
20	30	143	40	112	70	55	75	55
30	30	142	40	116	70	57	75	54
40	25	153	40	114	65	75	70	58
50	25	156	40	113	65	74	70	59
60	25	151	30	145	60	82	65	72
70	25	154	30	147	55	88	65	71
80	25	152	30	143	55	87	65	71
Б-ТЭТА								
20	20	180	50	91	60	83	75	53
30	20	185	50	94	55	89	75	54
40	20	188	50	93	55	88	70	59
50	20	181	50	93	50	95	70	60
60	20	189	45	103	50	94	70	59
70	20	187	40	117	45	105	65	73
80	20	185	35	125	45	104	60	81

Результаты показывают, что увеличение температуры раствора флотореагента, независимо от его вида, негативно влияет на устойчивость водовоздушной микродисперсии. Увеличение температуры приводит к коалесценции микропузырьков, что приводит к уменьшению стабильности микродисперсии. Целесообразно температуру пульпы не поднимать выше 40 °С. Таким образом, вид флотореагента влияет на устойчивость водовоздушной микродисперсии. Более устойчивую микродисперсию дает бутиловый аэрофлот при концентрации 0,5 г/л, а реагенты С-7 и Б-ТЭТА - при концентрации 50 г/л. При данных концентрациях реагентов, при температуре пульпы 20-40 °С размер микродисперсии составляет 41-59 мкм.

Работа выполнена в Институте металлургии и обогащения в г. Алматы, Республика Казахстан при финансовой поддержке Комитета науки Министерства образования и науки Республики Казахстан по гранту № AP08856041.

ЛИТЕРАТУРА

1 Bocharov V.A., Vigdergauz V.E. Flotation of sulphide finely-dispersed mineral systems, *Non-ferrous metals*, (1997) 3, 8-11.

2 Ultarukova D.D., HyreminYu.P., Zagainov V.G. Development of a flotation method with ejector aeration with the gases release from the liquid phase, *Industry of Kazakhstan*, (2007) 2, 58.

3 Yessengaziyev A.M., Barmenshinova M.B., Bilyalova S.M., Mukhanova A.A., Muhamedilova A.M. Study of the stability of the emulsion of ultramicroheterogeneous flotation reagents obtained by the method of ultrasonic dispersion, *Kompleksnoye ispol'zovaniye mineral'nogo syr'ya*, (2020) 3, 65-75.

4 Koizhanova A.K., Sedelnikova G.V., Erdenova M.B., Berkinbaeva A.N., Kamalov E.M. Study of biohydrometallurgical technology used to recover gold from ore at a gold-recovery plant, *Kompleksnoye ispol'zovaniye mineral'nogo syr'ya*, (2021) 1, 24-31.

5 Rulyov N.N. Turbulent microflotation: Theory and Experiment // *Colloids & Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*.- 2001.- Vol.192.-C.73-91.

6 Rulyov N.N. Turbulent microflotation of ultra-fine minerals // *Mineral Processing and Extractive Metallurgy.Trans. Inst. Min. Metall.*- 2008.-Vol.117.- № 1.-P.32-37.

7 Chanturiya, V.A., Kenzhaliev, B.K., Lozhnikov, S.S., Amirova, M.D., Bortsov, V.D. Improvement of mineral processing technology for the ores from sulfur-polymetallic deposits, *Tsvetnye Metally*, (2005) 1, 16-19.

8 Kenzhaliyev B.K. et al. Extraction of gold from flotation tails of gold-processing plant, *News of the national academy of sciences of the Republic of Kazakhstan-series chemistry and technology*, (2017) 6, 62-69.

9 Патент RU №2183998 Способ флотации центробежная флотационная машина / МатвеевА.И., СаломатоваС.И., ЯковлевВ.Б., МонастырєвА.М., ЕремееваН.Г., СлепцоваЕ.С. Оpubл. 27.06.2002.

10 Патент RU №2038856 Способ флотационного обогащения полезных ископаемых / Кондратьев С.А. Оpubл. 09.07.1995.

11 D. Turysbekov, N. Tussupbayev, L. Semushkina, S. Narbekova, Zh. Kaldybaeva, A. Mambetaliyeva Effect of the water-air emulsion size of the foaming agent solution on the non-ferrous metal minerals flotation ability // *METALURGIA*. 2021.- Vol.60.- №3-4, P.395-398.

Флотореагентерітіндісінің су-ауамикродисперсиясыныңқасиеттерінзерттеу

^{1,2}Д.К. Турысбеков[✉], ^{1,2}Н.К. Тусупбаев[✉], ^{1,2}Л.В. Семушкина[✉],

^{*1,2}С.М. Нарбекова[✉], ²Ж.А. Калдыбаева[✉]

²А.М. Мухамедилова[✉]

Аңдатпа. Мөлшері 25 мкм-ден кем минералдардың нашар флотациясы бұл бөлшектердің флотациялық жүйеде ауа көпіршіктерімен соқтығысу ықтималдығы өте төмен екендігімен түсіндіріледі. Бұл мәселенің шешімдерінің бірі - су-ауа микродисперсиясын беретін комбинирленген микрофлотацияның қолдануы. Зерттеудің мақсаты флотореагент ерітіндісінің су-ауа микродисперсиясының қасиеттерін зерттеу болып табылады. Флотореагент ерітіндісінің су-ауа микродисперсиясы микроэмульсия генераторында өңделінді. Флотациялық реагент ретінде бутил аэрофлоты, С-7 көбіктендіргіші және бутилтриэтилентетрамин Б-ТЭТА катионды жинағышы зерттелінді. Эмульсияның тұрақтылығына әсер ететін факторлар анықталды. Температураның жоғарылауы микродисперсияның тұрақтылығын төмендететіні анықталды, генератордың оңтайлы айналу жиілігі 6000 айн/мин (немесе одан жоғары) құрады. Флотореагенттердің ерітінділері ерітінділердің әртүрлі концентрацияларында тұрақты микродисперсияны береді. Оңтайлы микродисперсия генератордың айналу жиілігі 6000 айн/мин кезінде, әрі бутил аэрофлот ерітіндісінің

0,5 г/л концентрациясында, ал С-7 және Б-ТЭТА ерітіндісінің 50 г/л концентрациясында алынатыны анықталды. Дисперсия бөлшектерінің мөлшері 41-59 мкм аралығында болады.

Негізгі сөздер. су-ауа микроэмульсиясы, флотореагент, көбіктендіргіш, бөлшектердің мөлшері.

Study of the properties of water-air microdispersion of a flotation agent solution

^{1,2}D.K. Turysbekov^{ORCID}, ^{1,2}N.K. Tussupbayev^{ORCID}, ^{1,2}L.V. Semushkina^{ORCID}, ^{1,2}S.M. Narbekova^{ORCID},
²Zh.A. Kaldybayeva^{ORCID}, ²A.M. Mukhamedilova^{ORCID}

Abstract: Poor flotation of minerals smaller than 25 microns is explained by the fact that these particles have a very small probability of collision with air bubbles in the floated pulp. One of the solutions to this problem is the use of combined microflotation with the production of water-air microdispersion. The aim of the study is to study the properties of the water-air microdispersion of the flotation agent solution. The water-air emulsion of the flotation agent solution was obtained in a water-air microemulsion generator. Butyl Aeroftot, foaming agent S-7 and cationic collector butyltriethyltetramine B-THETA were studied as reagents. The factors influencing the stability of the emulsion are determined. It was found that an increase in temperature worsens the stability of microdispersion, the optimal rotation speed of the generator is 6000 rpm and higher. Solutions of flotation reagents give stable microdispersions at different concentrations of solutions. The optimal microdispersion is obtained at a generator rotation speed of 6000 rpm from 0.5 g/l of Aeroftot butyl solution, from 50 g/l of C-7 and B-TETA solution. The particle size of the dispersion ranges from 41-59 mkm.

Keywords: water-air microemulsion, flotation agent, foaming agent, particle size.

CONTENTS

SECTION: «ENRICHATION OF MINERAL RAW MATERIALS AND MAN-MADE WASTE»

<i>Smirnova A.V., Medyanik N.L., Bessonova Y.A.</i>	
ON THE ISSUE OF CHEMICAL PROCESSING OF IRON CONCENTRATE OF TITANOMAGNETITE ORE FOR THE EXTRACTION OF VANADIUM AND TITANIUM.....	3
<i>Morozov Yu.P., Bekchurina E.A., Penkov P.M.</i>	
COMPENSATION FOR THE INFLUENCE OF THE PARTICLES SHAPE AT THE RESULTS OF CALCULATING THEIR FINAL VELOCITIES.....	8
<i>Shavakuleva O.P., Zinchenko A.A., Pavlova E.V., Hardin I.S.</i>	
PRODUCTION OF ILMENITE CONCENTRATE FROM THE ORE OF THE MEDVEDEVSKY DEPOSIT.....	12
<i>Shakhalov A.A., Fomenko I.V., Ospanov Y.A., Derid E.F., Bakhvalov S.S.</i>	
DEVELOPMENT OF THE TECHNOLOGY FOR GOLD-SULFIDE CONCENTRATES PROCESSING INTO THE SCHEME OF THE HYDROTHERMAL ALTERATION OF COPPER CONCENTRATES.....	17
<i>Burkítseterkyzy G., Katkeeva G.L., Gizatullina D.R., Zhunussov A.M.</i>	
SULFIDIZATION OF OXIDIZED COPPER ORE IN A MILL WITH A MODIFIED REAGENT....	23
<i>Turebekova K.S., Katkeeva G.L., Oskembekov I.M., Akubaeva M.A.</i>	
ON THE POSSIBILITY OF DESILICONIZATION OF TECHNOGENIC BARITE RAW MATERIALS.....	29
<i>Semushkina L.V., Turysbekov D.K., Narbekova S.M., Kaldybayeva Zh.A., Mukhamedilova A.M., Mustina M.M.</i>	
PROCESSING OF TECHNOGENIC GOLD- CONTAINING WASTES FROM PROCESSING PLANTS USING A COMPOSITE FLOTATION REAGENT.....	34
<i>Turysbekov D.K., Tussupbayev N.K., Semushkina L.V., Narbekova S.M., Kaldybayeva Zh.A., Mukhamedilova A.M.</i>	
STUDY OF THE PROPERTIES OF WATER-AIR MICRODISPERSION OF A FLOTATION AGENT SOLUTION.....	40
<i>Shautenov M.R., Maksutkhan A., Akkazina N.T.</i>	
PROCESSING OF TECHNOGENIC RAW MATERIALS TO OBTAIN ENRICHMENT PRODUCTS.....	47
<i>Tastenova F.N., Tussupbayev N.K.</i>	
AUTOMATED PROCESS CONTROL SYSTEM FOR MIXED SULFIDE-OXIDIZED COPPER ORES OF THE PROCESSING PLANT "TEREKTI KEN BAYITU".....	51
<i>Zhakupova Zh., Motovilov I.</i>	
STUDY OF SUBSTANCE AND GRANULOMETRIC COMPOSITION OF TAILINGS OF WET MAGNETIC SEPARATION TAILINGS OF SOKOLOVSKO-SARBAISKY DEPOSIT.....	57
<i>Tanabayeva A., Telkov Sh.</i>	
INVESTIGATION OF THE OXIDIZED LEAD-BARITE SAMPLE OF THE UZYNZHAL DEPOSIT BY FRACTIONAL ANALYSIS	62
<i>Shadrinova I.V., Chekushina T.V.</i>	
DEVELOPMENT OF THE SCIENTIFIC FOUNDATIONS OF THE ENVIRONMENTAL MANAGEMENT OF THE SOLID WASTE MANAGEMENT SYSTEM.....	67

SECTION: «METALLURGICAL HEAT ENGINEERING»

<i>Fathi Habashi</i>	
IN MEMORY OF ABISHEVA ZINESH SADYROVNA (1947-2021).....	75
<i>Masko O.</i>	
CALCULATION ALGORITHM OF MATERIAL BALANCE AS A MEANS TO IMPROVE THE EFFICIENCY OF SILICON REDUCTION PROCESS IN ORE-THERMAL FURNACES.....	80