

Ю. П. ЕРЁМИН, А. О. СЫДЫКОВ, С. Т. ХАЙРУЛЛИНА\*, А. А. САРСЕНБАЙ,  
Н. Б. АБДИМАНАПОВ

*РГП «Национальный центр по комплексной переработке минерального сырья  
Республики Казахстан», Алматы, \*pheruza\_b@mail.ru*

## ИСПЫТАНИЯ ПУЛЬСАЦИОННОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПРИ ФЛОТАЦИИ ТОНКОВКРАПЛЕННЫХ ЗОЛОТОСОДЕРЖАЩИХ РУД НА ПОЛУПРОМЫШЛЕННОМ ФЛОТОАППАРАТЕ

Эксперименты и практика флотации разработанным высоконапорным ротационным пульсационным аэратором (ВРПА) в лабораторном и укрупнённом аппаратах показали, что колебания давления, которые создаются аэратором, обеспечивают выделение дополнительного количества газов для селективной флотации микродисперсий. При разработке флотоаппарата использован способ для селективной флотации микродисперсий с использованием поля упругих колебаний для повышения количества растворяемых газов. На полупромышленном флотоаппарате проведены испытания на пробах руд 4-х золотосодержащих месторождений: Коктасжол, Акбакай, Юбилейное, Бакырчик. Полученные результаты показали, что при флотации всех испытанных сортов руд ВРПА обеспечил весьма существенный положительный эффект не только по извлечению металлов, но и по качеству получаемых концентратов. Содержание золота в получаемых концентратах увеличивалось в 1,76-2,74 раза, а извлечение золота в концентрат возрастало от 2 до 5,8 %.

**Ключевые слова:** пульсационный флотоаппарат, колебания, аэратор, высоконапорное сжатие, псевдокавитация, вещественный состав, золотосодержащие руды.

**Введение.** При флотации тонковкрапленных руд, требующих тонкого измельчения, большая часть минеральных частиц имеет размеры, не превышающие 20 мкм, которые не поддаются селективному разделению современными технологиями. По мере уменьшения размера минеральных частиц их поведение в гидродинамических потоках меняется: при флотации 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.

Из литературных источников известны флотационная машина «Аджитейр», некоторые другие флотационные машины с пальцевым (стержневым) ротором и статором и стержневые аэраторы. Но все эти аппараты не позволяют достичь высокой степени извлечения полезных компонентов в концентраты из руд [1, 2].

Для решения данной задачи нами ранее был разработан эффективный, простой и технологичный способ и аппарат [3-6] для селективной флотации микродисперсий с использованием поля упругих колебаний для повышения количества растворяемых газов. Эксперименты и практика флотации с разработанным высоконапорным ротационным пульсационным аэратором (ВРПА) в лабораторных и укрупнённых аппаратах показали, что колебания давления, которые создаются аэратором, обеспечивают эффективность функционального использования двух периодов:

— растворение дополнительного количества газов в высоконапорном периоде сжатия, что обеспечивает процесс аэрации необходимым количеством растворенных газов;

— псевдокавитационное выделение газов в периоде разрежения среды, чем и обеспечивается аэрация с выделением газов из водной фазы

непосредственно на гидрофобных минеральных микрочастицах, то есть селективная флотация микродисперсий. При этом ВРПА обеспечил весьма существенный положительный эффект при флотации микродисперсий не только по извлечению металлов, но и по качеству получаемых концентратов.

В статье представлены результаты испытаний полупромышленного образца флотоаппарата с высоконапорным ротационным пульсационным аэратором (ВРПА) в стендовом варианте.

**Экспериментальная часть и обсуждение результатов.** Высоконапорный ротационный пульсационный аэратор (ВРПА) представляет собой группу из двух полых коаксильно расположенных цилиндров со стержнями, разделёнными параллельными им щелями. Частота колебаний, возбуждаемых ВРПА в зоне пульсаций при вращении ротора, определяется количеством стержней или щелей в роторе и скоростью вращения ротора.

Число стержней и щелей в статоре и роторе может быть равным, и тогда по периферии статора образуется постоянное пульсационное поле. Но их количество может быть различным, и тогда образующееся пульсационное поле будет бегущим – относительно статора. При вращении ротора его стержни перекрывают, а затем открывают щели статора.

Смесь пульпы и воздуха, выбрасываемая из щелей ротора с большой центробежной и окружной скоростью, ударяется о грани стержней статора. В щелях статора и при набегании на переднюю грань стержня поток остается ламинар-

ным. По мере приближения к грани стержня статора вырывающиеся из щелей ротора потоки загущаются. В этот момент пульпа испытывает наибольшее давление, величина которого зависит от скорости набегания и от плотности пульпы. В высоконапорной зоне благодаря повышенному давлению создаются благоприятные условия для растворения газов. Общий вид полупромышленного образца флотоаппарата представлен на рисунке 1.

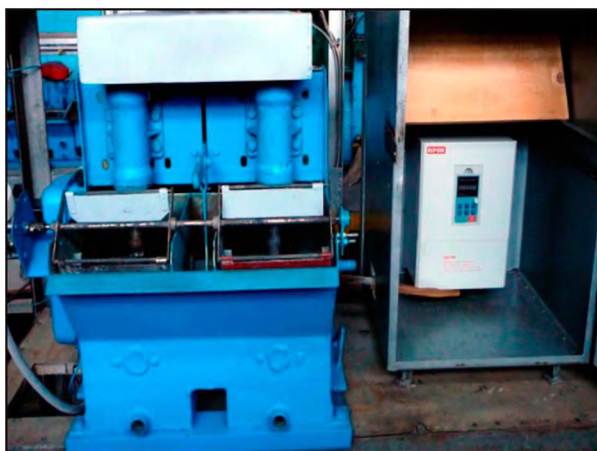
Для проведения испытаний были подготовлены и изучены вещественные составы проб руд следующих золотосодержащих месторождений: Коктасжол, Акбакай, Юбилейное, Бакырчик, и отработаны реагентные режимы в стандартных условиях.

По вещественному составу:

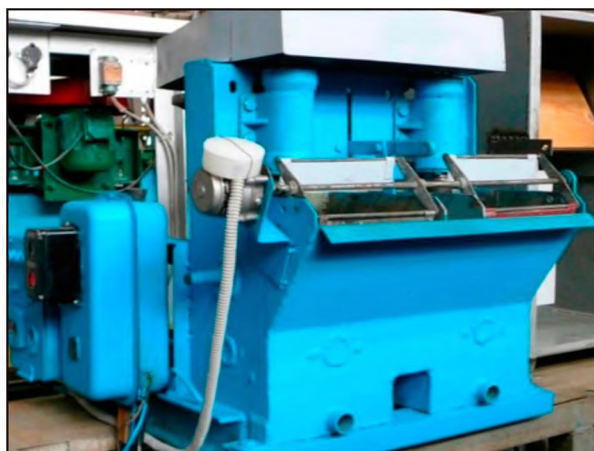
— руда месторождения Коктасжол представительна для окисленной зоны месторождения с содержанием меди 0,72-0,74 %, золота 0,73-0,78 г/т. Рациональный анализ показал, что в пробе золота свободного 47,44 %, в сростках с сульфидами и породой 17,95 %, покрытого пленками гидрооксидов железа 16,67 %, ассоциированного с сульфидами 4,10 %, ассоциированного с породой 13,84 %.

— в золотосодержащей руде месторождения Акбакай содержание золота составило 9,8-10,5 г/т. Операция цианирования руды данного состава показала, что 69 % золота находится в виде свободных зерен и в открытых сростках;

— по химическому анализу в представленной пробе руды месторождения Юбилейное содержание золота составило 8,5 г/т, по рациональ-



а



б

а – вид спереди; б – вид сбоку

Рисунок 1 – Акусто-пульсационный флотационный аппарат

ному анализу большая часть золота 86,25 % находится в свободном виде и в сростках;

— в пробе золотосодержащей руды месторождения Бакырчик содержание золота составило 8,6 г/т руды, операция цианирования руды данного состава показала, что 31 % золота находится в виде свободных зерен и в открытых сростках.

Перед проведением испытаний на пробах руд в полупромышленном образце флотоаппарата на воде проведено изучение влияния количественного соотношения выделяемого из его водного раствора и подаваемого в процесс диспергируемого воздуха (таблица 1).

Таблица 1 – Результаты замеров подаваемого в процесс и выделяемого из его водного раствора диспергируемого воздуха

Частота пульсаций, кГц	Число оборотов/мин	Общий объем воздуха в камере, дм <sup>3</sup> /сек.	Объем подаваемого воздуха, дм <sup>3</sup> /сек	Объем воздуха, выделяемого из раствора в камере, дм <sup>3</sup> /сек
1000	1,166	6,08	1,32	4,76
1100	1,833	9,4	2,0	7,40
1200	2,000	11,6	4,3	7,30
1300	2,166	21,32	6,6	14,7
1400	2,333	27,8	9,0	18,8
1500	2500	42,64	11,7	30,9
1600	2,666	49,2	15,7	33,5
1700	2,833	64,0	17,7	46,3
1800	3,000	71,0	18,5	52,5
1900	3,166	77,5	19,2	58,3
2000	3,333	81,62	20,1	61,5

Определение количества воздуха, выделяющегося из раствора, проводилось способом непосредственного измерения этого количества воздуха, проходящего через единицу площади с помощью измерительного цилиндра. Цилиндр перед измерением заполняется водой, закрывается пробкой, переворачивается отверстием вниз и опускается в камеру, затем пробка открывается и в него из пульпы начинают поступать всплывающие пузырьки, вытесняющие жидкость. При измерении отмечается время заполнения воздухом, затем рассчитывается количество воздуха с учетом объема камеры.

Подаваемый воздух замерялся реометром, имеющим готовую шкалу, по которой находилось число литров газа, протекающего в секунду при данном показании реометра. Количество выделяемого из раствора воздуха определялось сле-

дующим образом – объем воздуха в камере минус объем подаваемого воздуха.

Анализ полученных результатов замеров подаваемого в процесс и выделяемого из его водного раствора диспергируемого воздуха показывает, что наиболее высокое выделение воздуха из водного раствора получено при частоте 3,333 кГц. Количество воздуха в камере, выделяемого из раствора, составило 61,5 дм<sup>3</sup>/сек., но при этом наблюдались выбросы пульпы из камеры.

При частотах пульсаций 2,8333 дм<sup>3</sup>/сек и 3,000 дм<sup>3</sup>/сек количество воздуха, выделяемого из раствора, составило 46,3 и 52,5 дм<sup>3</sup>/сек соответственно. При данных параметрах и решено проводить стендовые испытания на различных сортах руд.

Схема, по которой проводились испытания, представлена на рисунке 2.

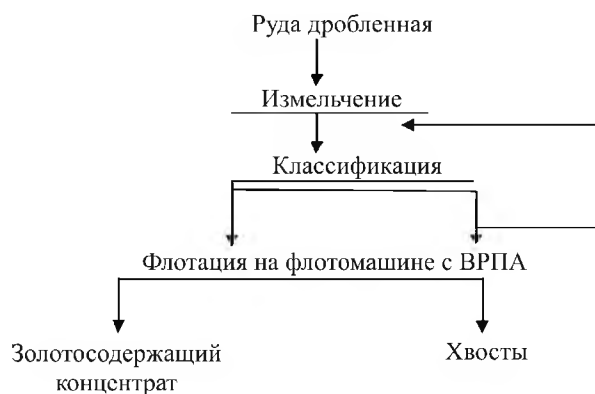


Рисунок 2 – Схема стендовых опытных испытаний

Все руды измельчались до 98-100 % класса минус 0,044 мм.

Флотация проводилась по реагентным режимам, отработанным для каждого сорта руды на стандартной флотомашине:

— для руды месторождения Коктасжол: расход сернистого натрия – 900 г/т, бутилового ксантогената – 300 г/т, вспенивателя Т-80 – 170 г/т; время флотации – 16 минут;

— для руды месторождения Акбакай: в основную флотацию – медного купороса – 100 г/т, бутилового ксантогената – 150 г/т, вспенивателя МИБК – 150 г/т, время флотации – 20 минут;

— для руды месторождения Юбилейное: в основную флотацию бутилового ксантогената – 250 г/т, вспенивателя Т-80 – 100 г/т; время флотации – 16 минут;

— для руды месторождения Бакырчик: при флотации углистого вещества расход вспенивателя МИБК – 200 г/т руды;

При флотация золотосодержащих минералов расход ксантогената – 300 г/т руды, расход вспенивателя МИБК – 250 г/т руды.

В таблице 2 представлены результаты сравнительных испытаний на стандартной флотомашине и опытно-промышленном флотоаппарате.

Таблица 2 – Результаты сравнительных испытаний на стандартной флотационной машине и опытно-промышленном аппарате с ВРПА

Наименование показателей	Стандартная флото-машина (ЛА)	Опытно-промышленный образец с ВРПА
Руда месторождения Коктасжол		
Содержание золота в руде, г/т	0,73	0,89
Содержание золота в концентрате, г/т	17,0	30,0
Извлечение золота в концентраты, %	60,11	65,92
Руда месторождения Акбакай		
Содержание золота в руде, г/т	9,84	9,86
Содержание золота в концентрате, г/т	35,44	96,33
Извлечение золота в концентраты, %	89,63	89,9
Руда месторождения Юбилейное		
Содержание золота в руде, г/т	8,5	8,96
Содержание золота в концентрате, г/т	66,2	181,44
Извлечение золота в концентраты, %	90,4	94,96
Руда месторождения Бакырчик		
Содержание золота в руде, г/т	8,66	8,21
Содержание золота в концентрате, г/т	43,46	90,51
Извлечение золота в концентраты, %	81,49	83,57

Результаты показывают, что на всех испытанных сортах руд при флотации на флотомашине с ВРПА показатели получены выше:

— на пробе руды месторождения Коктасжол содержание золота в полученном концентрате составило 30 г/т руды, извлечение 65,92 % против 17 г/т руды и 60,11 % соответственно на

стандартной флотомашине, т. е. содержание повышено в 1,76, извлечение на 5,81 %;

— на пробе руды месторождения Акбакай содержание золота составило 96,33 г/т руды, извлечение 89,9 % против 35,44 г/т руды и 89,63 % соответственно на стандартной флотомашине, содержание повышено в 2,7 раза при одинаковом извлечении;

— на пробе руды месторождения Юбилейное содержание золота составило 181,44 г/т руды, извлечение 94,96 % против 66,2 г/т руды и 90,4 % соответственно на стандартной флотомашине, содержание повышено в 2,74 раза, извлечение на 4,56 %;

— на пробе руды месторождения Бакырчик содержание золота составило 90,51 г/т руды, извлечение 83,57 % против 43,46 г/т руды и 81,49 % соответственно на стандартной флотомашине, содержание повышено в 2 раза, извлечение на 2,08 %.

**Выводы.** Проведена флотация проб руд золотосодержащих месторождений: Коктасжол, Акбакай, Юбилейное, Бакырчик с использованием разработанного высоконапорного ротационного пульсационного аэратора. Показано, что на полупромышленном флотоаппарате для всех испытанных сортов руд наблюдается существенный положительный эффект как по извлечению металлов, так и по качеству получаемых концентратов. Содержание золота в получаемых концентратах увеличивалось в 1,76-2,74 раза, а извлечение золота в концентрат возрастало от 2,0 до 5,8 %.

## ЛИТЕРАТУРА

- 1 Мещеряков Н.Ф. Флотационные машины и аппараты. – М: Недра, 1982, С. 104-131.
- 2 Пат 2209688 РФ Аэрационный узел флотационной машины / Гладышев А.М., опубл. 10.08.2003
- 3 Пат. 19803 РК. Способ и устройство для флотации микродисперсий / Еремин Ю.П., Ультаракова Д.Д., Загайнов В.Г.; опубл. 15.12.2010.
- 4 Еремин Ю.П., Жарменов А.А., Терлибаева А.Ж., Хайруллина С., Чакиртова Н.Н., Денисова Н.В., Сарсенбай А.А., Абдиманатов Н.Б. Явление количественной неограниченности селективного газовыделения из водной фазы на гидрофобных макро и микро поверхностях и дисперсиях гетерогенных систем в акустических полях. Свидетельство о государственной регистрации авторского права №1433 от 28.08 2013.
- 5 Еремин Ю.П., Загайнов В.Г., Ультаракова Д.Д., Хайруллина С.Т., Денисова Н.В., Бекенова Г.К., Левин В.Л. Псевдокавитационный принцип работы

высоконапорного ротационного пульсирующего аэратора (ВРПА) и анализ получаемых продуктов при флотации микродисперсий // Вестник КазНТУ. – 2007. – № 4. – С. 154-156.

6 Еремин Ю.П., Жарменов А.А., Денисова Н.В., Ультаракова Д.Д., Хайруллина С.Т., Чакиртова Н.Н., Сарсенбай А.А., Абдиманатов Н.Б. Теория и технология обогащения природного и техногенного минерального сырья // Комплексная переработка минерального сырья Казахстана – состояние, проблемы, решения: Сб. трудов, Алматы, 2008. – Т. 2. – С. 175-193.

## REFERENCES

- 1 Meshcheryakov N.F. *Flotatsionnye mashiny i apparaty*. M: Nedra. **1982**. 104-131 (in Russ.).
- 2 Pat. 2209688 RF *Aehratsionnyj uzel flotatsionnoj mashiny*. Gladyshev A.M. opubl. **10.08.2003**.
- 3 Pat. 19803 RK. *Sposob i ustrojstvo dlya flotatsii*

*mikrodispersij*. Eremin Yu.P., Ul'tarakova D.D., Zagajnov V.G., opubl. **15.12.2010**.

4 Eremin Yu.P., Zharmenov A.A., Terlikbaeva A.Zh., Khajrullina S., Chakirtova N.N., Denisova N.B., Sarsenbay A.A., Abdimanapov N.B. *Yavlenie kolichestvennoj neogranichennosti selektivnogo gazovydeleniya iz vodnoj fazy na gidrofobnykh makro i mikro poverkhnostyakh i dispersiyakh geterogennykh sistem v akusticheskikh polyakh*. Svidetel'stvo o gosudarstvennoj registratsii avtorskogo prava № 1433, ot **28.08.2013**.

5 Eremin Yu.P., Zagajnov V.G., Ul'tarakova D.D., Khajrullina S.T., Denisova N.V., Bekenova G.K., Levin V.L. *Vestnik KazNTU*. **2007**, 4, 154-156.

6 Eremin Yu.P., Zharmenov A.A., Denisova N.V., Ul'tarakova D.D., Khajrullina S.T., Chakirtova N.N., Sarsenbay A.A., Abdimanapov N.B. *Teoriya i tekhnologiya obogashcheniya prirodnogo i tekhnogenogo mineral'nogo syr'ya. Kompleksnaya pererabotka mineral'nogo syr'ya Kazakhstana – sostoyanie, problemy, resheniya*. Almaty, **2008**. 2. 175-193.

## ТҮЙІНДЕМЕ

Лабораториялық және іріленген көлемдегі жоғары қысымды ротациялық лүпілдік аэратормен (ЖҚРПА) жүргізілген тәжірибелер аэратормен туындалатын қысымның ауытқуы нәтижесінде қосымша газдардың бөлінуі микробөлшектерді селективті флотациялауды қамтамасыз ететінін көрсетті. Тәжірибелік – өндірістік флотоаппаратта алтынқұрамды Көктасжал, Акбакай, Юбилейный және Бақыршық кендеріне сынақтау жұмыстары жүргізілді. ЖҚРПА-та осы кендерге жүргізілген тәжірибелер тек металды бөліп алудың көрсеткіші бойынша ғана емес, сонымен қатар алынған концентраттардың сапасының жоғары болатынын көрсетті. Флотоаппаратты жасау кезінде өріген газдардың мөлшерін көбейту үшін серпінді тербелісті қолдану арқылы микробөлшектерді талғамды бөліп алу әдісі қолданылды.

**Түйінді сөздер:** лүпілдік флотоаппарат, тербеліс, аэратор, жоғары қысымды сығу, псевдокавитация, заттық құрам, көрсеткіштер

## SUMMARY

Experiments and practice of flotation by developed high-pressure pulsation rotary aerator (HpPRA) at laboratory and pilot machines showed that pressure fluctuations that are created by aerator provide of release of additional amounts of gas for selective flotation of micro-dispersions. At development of flotation apparatus method for selective flotation of micro-dispersions by a field of elastic vibrations to increase the amount of soluble gases was used. Semiindustrial flotation apparatus was tested on samples from 4 gold ore deposits: Koktaszhol, Akbakay, Yubilejnoe, Bakyrchik. The results showed that for all tested types of ore flotation by using HpPRA provided substantial positive effect not only on extraction of metals, but also on the quality of obtained concentrates. Gold content in the concentrate increase 1,76 – 2,74 times, gold recovery into concentrate increase by 2 – 5,8 %.

**Keywords:** pulsation rotary aerator, fluctuations, high-pressure compression, pseudocavitation, substantial composition, gold-bearing ores.

Поступила 02.12.2014

