

УДК 622.765

*Н.Ф. Мещеряков, Ю.Е. Брыляков, М.Е. Быков,
Н.А. Гандрусов, А.И. Калугин*

**РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ ФЛОТАЦИОННОЙ
МАШИНЫ ФМО-6,3 В ОПЕРАЦИИ ПЕРЕЧИСТКИ
КОНЦЕНТРАТА АПАТИТОВОЙ ФЛОТАЦИИ**

Семинар № 21

В 2001 г. на АНОФ-2 ОАО «Апатит» проведены испытания осевых блок-импеллеров конструкции Московского Государственного Открытого Университета (МГОУ).

В соответствии с программой в ходе испытаний требовалось определить аэрационные, энергетические и технологические показатели аэраторов новой конструкции в условиях апатитового производства АНОФ-2 в сравнении с показателями обычных серийных блоков ФМР-6,3. Осевые импеллеры в количестве 3 шт. были изготовлены ремонтно-механическим цехом РМЦ ОАО «Апатит» по чертежу № 44.01000 и установлены взамен действующих обычных импеллеров турбинного типа на 3-х блоках №№ 5, 6, 7 флотационных камер ФМР-6,3 в операции 3-й перечистки апатитового концентрата секции флотации № 19 АНОФ-2. Приемный блок в голове этой операции № 8 был оставлен без изменений. В начале испытаний были определены технологические, аэрационные и энергетические показатели процесса флотации секции № 19 в целом и операции 3-й перечистки в обычном «нулевом» режиме с серийными блоками ФМР-6,3, оснащенными используемыми серийными импеллерами турбинного типа во всех операциях. Управление процессом флотации в этом режиме осуществляли сменные флотаторы АНОФ-2.

Замер объема воздуха проведен с помощью чашевых анемометров при полностью открытых воздушных патрубках. Средний по 3-м блокам объем засасываемого воздуха составляет 4,7 м³/мин. Количество засасываемого воздуха и его диспергация при одной и той же характеристике пульпы зависит от величины осевых и радиальных зазоров между импеллером

и статором. Для новых серийных импеллеров и статоров указанные объемы в среднем являются нормальными.

Для снятия энергетических показателей на электродвигателях импеллеров трех камер третьей перечистки были установлены амперметры. Средняя (по трем блокам) потребляемая электродвигателями мощность составила на холостом ходу двигателя 17 кВт, на двигателе с блоком без нагрузки 17,4 кВт, на двигателе с блоком под нагрузкой 20,7 кВт. Снятие величины потребляемого тока осуществлялось по показаниям амперметров при полностью открытых воздушных патрубках. Обращает на себя внимание то обстоятельство, что основные расходы электроэнергии имеют место при холостом ходе электродвигателя - 17 кВт, еще 0,4 кВт при работе электродвигателя с блок-импеллером без нагрузки, и лишь 3,3 кВт для агитации и аэрации пульпы.

Приведенные цифры могут представлять интерес для специалистов энергетиков в направлении оснащения флотационного передела более экономичными электродвигателями. Среднесменные показатели процесса флотации в «нулевом» режиме приведены в таблице. В среднем в «нулевом» режиме за 18 смен на флото-секции № 19, оснащенной серийными флото-блоками ФМР-6,3, из руды с содержанием 14,16% Р₂О₅ получен апатитовый концентрат с качеством 39,58% Р₂О₅ при технологическом извлечении Р₂О₅ 95,07%. Содержание класса >0,16 мм в концентрате 14,0%.

По 3-й перечистке в «нулевом» режиме:

1. Частное технологическое извлечение Р₂О₅ от операции составило 56,52%.

мере снижения плотности пульпы от головной камеры № 7 (1,7 м³/мин) до последней № 5 (2,2 м³/мин).

3. Замеры силы тока, осуществляемые специально установленными на каждой камере амперметрами, и рассчитанная по этому показателю потребляемая мощность ($P=3^{0,5} \cdot U \cdot I \cdot \cos \varphi \cdot \text{к.п.д.}$, где $U=0,4$, $\cos \varphi=0,83$, $\text{к.п.д.} = 0,92$) приведены в таблице. Полная средняя (по 3-м блокам) потребляемая мощность 19,5 кВт, в том числе средняя мощность, затрачиваемая исследуемыми аэрационными узлами на процесс агитации и аэрации пульпы, составляет 2,2 кВт.

4. Дважды, при остановке фабрики на плановый ремонт в конце июня и при завершении испытаний проводился осмотр состояния испытываемых камер 3-й перемешки 19 секции на предмет наличия отложения песков. Ни отложений песков, ни какого-либо заиливания в камерах не обнаружено.

5. В среднем за 7 смен на флотосекции № 19 из руды с содержанием 13,89% P₂O₅ получен апатитовый концентрат с качеством 39,84% P₂O₅ при технологическом извлечении P₂O₅ 94,83% и содержании класса >0,16 мм в концентрате 14,0%.

Полученные данные по работе экспериментальных осевых и серийно выпускаемых блоков позволяют сделать следующие выводы:

1. Осевые блок-импеллеры конструкции МГОУ, установленные в трех камерах третьей

перемешки апатитового концентрата при том, что остальные 32 блока флотосекции (в том числе и приемный блок третьей перемешки) – серийные, не повлияли на технологические показатели процесса. В период испытаний качество концентрата, его крупность, извлечение P₂O₅ в концентрат как в целом по секции, так и по третьей перемешке в частности, равны аналогичным показателям «нулевого» режима.

2. Операция с опытными блоками поддается оперативному управлению системой регулирования пульпы в камерах. Критической высотой пенного слоя является 300 мм, ниже которой кондиционное качество не гарантируется.

3. При работе осевых блок-импеллеров в 3-й перемешке зеркало пены ровное, без выбросов, заиливания и отложения песков в камерах не происходит.

4. Количество засасываемого воздуха в среднем составляет на осевых блок-импеллерах 1,9 м³/мин, на серийных блоках флотомашин – 4,7 м³/мин на камеру.

5. Полная средняя мощность, потребляемая электродвигателем осевого блок-импеллера – 19,5 кВт, серийного блок-импеллера – 20,7 кВт.

6. Для окончательного заключения по эффективности работы нового осевого типа блок-импеллера необходимо провести их испытания на всех камерах одной флотосекции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Отчет о работе Центральной лаборатории ОАО «Апатит» за 2001 г. // ЦЛ, Кировск, 2001.

2. Мещеряков Н.Ф., Сабиров Р.Х. Опыт совершенствования механических флотационных машин с

осевыми импеллерами. // Цветная металлургия. – 1999. № 11-12, с. 18 - 19.

3. Мещеряков Н.Ф., Сабиров Р.Х. «Механическая флотационная машина». Патент РФ № 2174050 С2, кл. В 03 D 1/14, 05.08.1999.

Коротко об авторах

Мещеряков Н.Ф. – доктор технических наук, МГОУ,

Брыляков Ю.Е. – кандидат технических наук,

Быков М.Е. – кандидат технических наук,

Гандрусов Н.А. – ОАО «Апатит»,

Калугин А.И. – кандидат технических наук, ЗАО «ФосАгро АГ».



© А.В. Фатьянов, Л.Г. Никитина,

УДК 622.8

А.В. Фатьянов, Л.Г. Никитина, С.В. Никитин

**ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ИЗВЛЕЧЕНИЯ МЕТАЛЛОВ
ИЗ ТОНКОДИСПЕРСНЫХ РУД И ПРОДУКТОВ
ОБОГАЩЕНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕХНОЛОГИЙ
ИНТЕНСИВНОЙ ГРАВИТАЦИИ**

Семинар № 21

Современная горно-перерабатывающая промышленность ставит серьезные задачи по разработке нетрадиционной эффективной технологии переработки полезных ископаемых, освоению нового вида сырья, а также изучению вопросов совершенствования существующих и разработке более эффективных комбинированных процессов и конструкций обогатительных аппаратов для гравитационного, магнитного и флотационного обогащения руд с большим содержанием тонких частиц, обеспечивающих получение высоких технико-экономических показателей без снижения достигнутого в промышленности извлечения ценных компонентов в товарную продукцию.

Ценные компоненты в большинстве разработанных месторождений представлены широким диапазоном крупности минеральных частиц - от нескольких миллиметров до нескольких микрометров. Содержание частиц ценных компонентов крупностью менее 0,01 мм составляют 30-80 % от их общей массы в рудах месторождения. При использовании технологических схем с традиционными гравитационными аппаратами - частицы такой крупности практически не извлекаются [5].

Кроме того, в результате работы обогатительных фабрик, перерабатывающие такие руды, накопились большие объемы отвалов, со-

держащих тонкодисперсные ценные компоненты в количествах, представляющих промышленный интерес.

Наиболее перспективным направлением в обогащении такого минерального сырья являются технологии интенсивной гравитации, предусматривающие построение технологических схем на аппаратах с оптимальным гравитационным полем, максимально учитывающим свойства минералов.

В Горном институте ЧитГУ проводятся научно-исследовательские работы по разработке таких аппаратов.

Разработан вариант центробежно-вибрационного концентратора, который содержит вертикально размещенный ротор-трубу; вибратор, установленный на сливном кольце; загрузочное и разгрузочное приспособления, применение которого для обогащения шламов основано на способе наложения колебаний, заключающегося в том, что рудный материал разделяется по плотности в центробежном поле и подвергается дополнительным вибрационным воздействиям [1].

Недостатком этого устройства является низкая эффективность разделения рудного материала по плотности. В устройстве при обогащении тонкодисперсных материалов осаждение и накопление тяжелых зерен в зоне

Таблица 1

Зависимость скорости и времени движения частиц от начального их расположения по отношению к оси вращения рабочего органа устройства

Начальное удаление частицы от оси вращения, мм	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	9,25	10,5	11,75
Время движения частицы до стенок цилиндра, с	59,4	52,4	46,6	41,9	37,9	34,5	31,5	25,6	21,2	17,8
Средняя скорость движения частиц, мм/с	0,337	0,372	0,408	0,442	0,475	0,507	0,54	0,615	0,684	0,744

Таблица 2
 Результаты обогащения тантало-ниобиевых руд

Наименование продуктов	Выход, %	Содержание Ta ₂ O ₅ , %	Извлечение Ta ₂ O ₅ , %	Примечание
Концентрат	24,73	3,2	85,87	Разделение в одном цилиндре. Время разделения 45 с
Хвосты	75,27	0,17	14,13	
Исх. руда	100,0	0,92	100,0	
Концентрат	21,05	3,8	93,01	Разделение в тонком слое с добавлением внутреннего цилиндра. Время разделения 28 с
Хвосты	73,95	0,08	6,99	
Исх. руда	100,0	0,86	100,0	

разгрузки под действием вибраций приводит к повышению гидродинамического сопротивления потоку пульпы, в результате чего тяжелые частицы начинают уноситься в легкую фракцию. Это приводит к снижению технологических показателей работы устройства и снижению эффективности разделения.

Разработан второй вариант устройства для обогащения шламов, включающий загрузочное приспособление, вертикально ориентированную цилиндрическую трубу, совершающую вращательно-реверсивные колебания, и разгрузочный узел [2, 3]. Под действием центробежно-реверсивных и гравитационных сил тонкие частицы в нем концентрируются на внутренней поверхности цилиндрической трубы и выгружаются через соответствующие разгрузочные устройства.

Недостаточно высокая эффективность разделения материала на легкую и тяжелую фракции в данном устройстве связана с тем, что при вращательно-реверсивном колебании вокруг вертикальной оси внутри цилиндрической трубы образуется зона динамического равновесия, в которой радиальная скорость как легких, так и тяжелых частиц, независимо от их массы и размера, имеет близкое значение или равна нулю в районе оси цилиндра. Следовательно, кинетическая энергия частиц, прилегающих к зоне оси вращения недостаточна для того, чтобы переместить мелкие частицы ценного компонента к стенкам цилиндра, в результате чего часть шламовых рудных минералов снова уходит с пустой породой в отвальный продукт. В то же время крупные частицы минералов вмещающих пород, имея большую скорость осаждения в вертикальной плоскости и значительную инерционную массу на периферии цилиндра, попадают в зону разгрузки обогащенного материала, что в целом снижает эффективность обогащения.

Рудный материал, находящийся в центральной части цилиндрической трубы, на определенном расстоянии от ее оси при мини-

мальном (или нулевом) значении центробежных сил, не разделяется по плотности и крупности в течение всего времени обогащения (30-45 с). Тонкие минеральные частицы ценного компонента, находящиеся в зоне оси цилиндра, при работе устройства опускаются в сторону разгрузки минералов пустых пород в центральной части рабочего органа, за счет чего увеличиваются потери ценного компонента и снижаются технологические показатели процесса обогащения. Шламовые частицы ценного компонента, находящегося в осевой части аппарата, со временем могут приблизиться к периферической части рабочего органа, однако, как показывают эксперименты, для этого требуется время, в несколько раз превышающее оптимальное для этой конструкции [6].

Причины потерь ценного компонента с отвальным продуктом поясняются на рис. 1, где показана схема сил, действующих на минеральные частицы при их разделении. Из схемы видно, что в горизонтальном направлении основное влияние на движение минеральных частиц ценного компонента оказывает центробежная сила ($F_{ц}$), которая для осуществления процесса обогащения должна превышать значение гравитационной силы ($F_{г}$). Центробежные силы, как известно, определяются по формуле:

$$F_{ц} = m\omega^2 R,$$

где m – масса частицы; ω – угловая скорость движения частицы; R – расстояние от оси вращения.

В соответствии с этой формулой интенсивность движения частиц определяется величиной центробежной силы, которая возрастает с увеличением расстояния от оси вращения (радиуса вращения). Наиболее интенсивное движение тяжелых частиц ценного компонента, а соответственно и эффективность их отделения от частиц пустой породы, наблюдается в зоне 1.

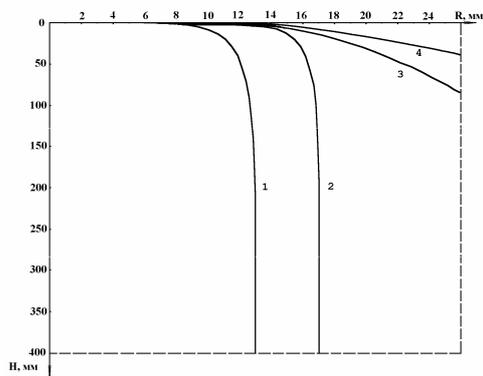


Рис. 2

Достигая в этой зоне стенок цилиндра, частицы ценного компонента, перемещаются вниз и разгружаются в периферической части цилиндра. По оси вращения значение центробежной силы равно нулю, поэтому все находящиеся там частицы будут перемещаться только вертикально вниз и разгружаться с минералами пустой породы. Частицы ценного компонента, находящиеся на небольшом расстоянии от оси вращения, преимущественно испытывают действие гравитационных сил и также перемещаются вертикально вниз, разгружаясь вместе с пустой породой и увеличивая потери рудных минералов. Поэтому, в зоне 2, ограниченной на рис. 1 пунктирной линией, обогащение не происходит. При ее ликвидации снизятся потери ценного компонента, уменьшится расстояние прохождения частиц ценного компонента и за счет этого ускорится процесс разделения минералов [5].

Сущность предложенного варианта состоит в том, что внутрь рабочего цилиндра встраивается второй цилиндр, соответствующий по диаметру размеру зоны 2 (рис. 1), в которой обогащение не происходит. Исходный материал поступает в промежуток между внешним и внутренним цилиндрами и таким образом уменьшается расстояние прохождения тяжелыми частицами ценного компонента до периферической части внешнего цилиндра. При этом сокращается и время движения частиц за счет уменьшения толщины разделяемого слоя материала и увеличения значения центробежной силы. Увеличивается эффективность обогащения и сокращаются потери ценного компонента в хвостах [6].

Эти выводы подтверждают результаты исследования математической модели движения частиц в нестационарном центробежном

поле. В табл. 1 показаны результаты расчетов движения минеральных частиц плотностью $6,15 \text{ т/м}^3$, крупностью 24 мкм в среде плотностью $2,1 \text{ т/м}^3$ [4].

Результаты, приведенные в табл. 1, показывают, что с увеличением расстояния расположения тяжелой минеральной частицы от оси вращения рабочего цилиндра с 5 до $11,75 \text{ мм}$ время ее перемещения до стенок цилиндра после начала вращательно-реверсивных колебаний рабочего органа устройства уменьшается с $59,4$ до $17,8$ секунд, т.е. процесс разделения частиц ускоряется [4].

Анализируя материалы табл. 1, можно видеть, что только при радиусе внутреннего цилиндра, равном $1/3 - 1/2$ радиуса наружного цилиндра (для наружного цилиндра диаметром 54 мм $9,25 - 11,75 \text{ мм}$) резко возрастает скорость движения тяжелых минеральных частиц (в $1,8 - 2,2$ раза), сокращается время движения тяжелых частиц до стенки цилиндра (в $2,2 - 3,3$ раза) и соответственно за счет этого повышается эффективность разделения тяжелых и легких частиц. В связи с этим радиус внутреннего цилиндра должен быть равным

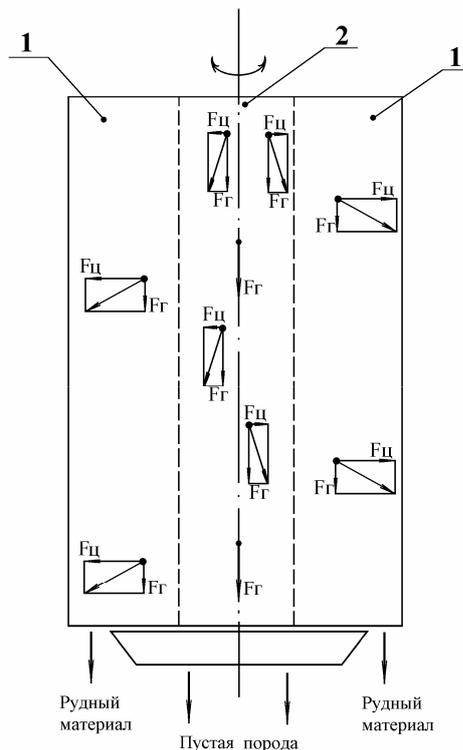


Рис. 1

1/3-1/2 радиуса наружного цилиндра.

Расчеты модели данного процесса, выполненные на ЭВМ, подтверждают эффективность разделения тяжелых и легких частиц при уменьшении толщины разделяемого слоя исходного материала (рис. 2). Траектории движения частиц размером 24 мкм породных ($\rho = 2,65 \text{ т/м}^3$, кривые 1, 2) и минеральных ($\rho = 6,15 \text{ т/м}^3$, кривые 3, 4) в среде ($\rho = 2,1 \text{ т/м}^3$) для разных стартовых позиций: кривые 1, 3 – $R = 5 \text{ мм}$, кривые 2, 4 – $R = 7 \text{ мм}$ (ось ординат является одновременно осью вращения цилиндра) [4, 5].

Устройство работает следующим образом. Исходный материал, содержащий тонкодисперсные, тяжелые минеральные частицы, загружается во внутреннюю полость рабочего органа, который совершает вращательно-реверсивные колебания вокруг своей оси. Размеры наружного цилиндра: диаметр 54 мм, высота 400 мм.

Размеры внутреннего цилиндра: диаметр 25 мм, высота 400 мм. В процессе работы устройства тяжелые частицы движутся к внутренней стенке наружного цилиндра и

одновременно перемещаются к нижней ее части, разгружаясь через механизм вывода этого продукта. Частицы пустых пород перемещаются на меньшие расстояния и остаются в зоне разделения между внутренним и наружным цилиндрами. Вертикальное движение этого материала под действием гравитационных сил приводит к его разгрузке в отдельный приемник для хвостов в нижней части устройства. Частота колебаний рабочего органа 8 кол./с, амплитуда колебаний 13 мм [6].

Эксперименты выполнены на танталито-колумбитовых рудах с крупностью рудных минералов менее 30 мкм. Вмещающие породы представлены песчаниками. Результаты обогащения при разовом прохождении руды через устройство приведены в табл. 2.

Экспериментальные данные подтверждают большую эффективность обогащения при разделении исходного материала на тонкие слои и исключении из зоны разделения центральной части наружного цилиндра.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. А.С. SU № 957966, 15.09.82, В 03 5/34 Центробежно-вибрационный концентратор.
2. А.с. 2021026 РФ, МКИ³ В 03 В 5/34. Способ обогащения шламов и устройство для его осуществления./ А.В.Фатьянов, Е.В. Глотова. Г.В.Усачева и др. (РФ).ДСП. Заявлено 19.03.91. Опубликовано Бюлл. № 19,1994.
3. Патент на изобретение № 2177367 РФ С₂МПК7 В 03 В 1/00, 5/32 по заявке на изобретение № 99111577/03 (012415) "Способ обогащения шламов"// Фатьянов А.В., Резник Ю.Н., Никитина Л.Г. и др.
4. Мащеренков В.М., Фатьянов А.В., Глотова Е.В. Разделение тонкодисперсных минеральных частиц в нестационарном центробежном поле. Вестник ЧитПИ Выпуск 2. – М.: Изд.МГТУ, 1995, 146 - 161 с.
5. Фатьянов А.В., Никитина Л.Г. Технология интенсивной гравитации в переработке тонкодисперсных материалов. Экспресс информация - М.: Альтекс, 2002. -33 с.
6. Патент на изобретение № 2201805 МПК⁷ В 03 В 1/00, 5/32 № 2001104545/03 «Устройство для обогащения шламов» // Фатьянов А.В., Никитина Л.Г., Резник Ю.Н. и др.

Коротко об авторах

Фатьянов Альберт Васильевич – член. корр. РАЕН, доктор технических наук, профессор кафедры “Обогащение полезных ископаемых и вторичного сырья”,
Никитина Людмила Георгиевна – кандидат технических наук, доцент кафедры “Обогащение полезных ископаемых и вторичного сырья”,
Никитин Сергей Владимирович – проректор,
Читинский государственный технический университет.