

**Б.В. Комогорцев, А.А. Вареничев**

## **ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЕ ФЛОТАЦИОННОГО ОБОГАЩЕНИЯ ЗОЛОТОСОДЕРЖАЩИХ СУЛЬФИДНЫХ РУД**

Рассмотрены конструктивные особенности и технологические возможности современных флотомашин, включая скоростные пневматические машины, высокопроизводительные флотокамеры с большой единичной мощностью, песковые машины для циклов стадийного измельчения флотации, многозонные флотокамеры для извлечения минералов в широком интервале крупности. Для флотационного обогащения тонкодисперсных руд с золото-сульфидной минерализацией находят широкое применение пневматические флотационные машины, использующие микропузырьки воздуха: колонны Jameson Cell, Pneumotlot, Imholot G-Cell. Вследствие высокой эффективности они способны получать конечный концентрат в одну стадию перемешивающей флотации, заменяя несколько стадий перемешивания в машинах механического типа. Также рассмотрены специальные конструкции оборудования большой единичной мощности для обогащения при отработке бедных и крупнотоннажных месторождений.

Ключевые слова: флотомашин, флотокамеры, флотоколонны, селективное извлечение, золотосодержащие руды, технологии, флотация, цветные металлы.

**З**олотосодержащие руды характеризуются большим разнообразием вещественного и химического состава. Наиболее часто встречаются кварц-сульфидно-золотосодержащие руды, которые имеют наибольшее промышленное значение. Обычно кварцевые золотосодержащие руды содержат самородное золото с различной крупностью от крупного до мелкого, а в сульфидных рудах золото имеет характер тонкодисперсного и пылевидного. Из этих руд золото извлекается попутно наряду с медными, цинковыми и пиритными концентратами. Первичные золотосодержащие руды по своему минеральному составу и текстурно-структурным характеристикам относятся к катего-

рии упорного минерального сырья. Извлечение золота из этих руд имеет особое значение для России, так как истощаются запасы россыпного золота, легко перерабатываемых окисленных руд и возникает стратегическая необходимость увеличения объемов трудно перерабатываемых руд, при этом следует иметь в виду, что запасы этих руд составляют 40–60% от разведанных запасов золота.

Наибольший эффект от применения флотации обеспечивается при извлечении золота из руд с сульфидной минерализацией. Наряду с прогрессивными реагентными режимами, использование современного флотационного оборудования (флотомашин) предопределяет эффективность флотационных технологий. Для флотации тонкодисперсных минералов весьма эффективно применение флотационных машин, использующих микропузырьки воздуха, которые находят широкое применение в технологиях флотационного обогащения золотосодержащих руд.

В настоящее время в связи с развитием технологий флотационного обогащения минерального сырья на смену приходят флотомшины новых конструкций: пневматические флотационные машины: колонные, Jameson Cell, Pneumotlot, Imhoflot G-Cell. Вследствие высокой эффективности они способны получать конечный концентрат за одну стадию флотации, заменяя несколько стадий перечистной флотации в машинах механического типа. Применение флотоколонной установки для обогащения шламовой фракции молибденсодержащей комплексной руды обеспечило прирост извлечения молибдена в концентрат на 4%, снижение потерь золота с хвостами на 36,7%, серебра на 7%, меди на 15,6%, свинца на 29,6%, что позволило сократить фронт контрольной флотации в 5 раз, установочную площадь оборудования в 6 раз, энергозатраты в 3,5 раза, снизить расход собирателя и вспенивателя на 25–30% [1].

Флотокамеры Jameson широко распространены в мировой практике для обогащения различных типов полезных ископаемых (уголь, сульфиды свинца, цинка, меди, железа и др.). На обогатительной фабрике Пху-Кам (Лаос) более эффективная работа цикла перечистки позволила повысить общее извлечение меди на фабрике на 0,8%. На обогатительной фабрике Телфер (Западная Австралия) установка машин Jameson позволила повысить общее извлечение меди в цикле с 85 до 95%. На фабрике Лумвана (Замбия) после модернизации отделения перечистной флотации повышено общее извлечение металла на 1,3%.

При решении проблемы повышения извлечения серебра из руд серебро-полиметаллического месторождения «Гольцовское» предложено применение флотационной машины «Jameson Cell» как отличающейся высокой производительностью и мобильностью в сложных технологических схемах и не стабильных потоках пульпы. Принцип работы флотационной машины и ее конструктивные особенности позволяют получать концентраты высокого качества, за счет извлечения быстро флотирующихся частиц и тонких шламов [2].

Конструктивно-технологические особенности данной флотомашин.

Аэратор — это основа Jameson камеры, в нем происходит интенсивный контакт частиц и пузырьков. Подаваемая насосом пульпа закачивается насосом в аэратор через сопло, создавая струю высокого давления. Струя захватывает воздух из атмосферы. При ударе струи о поверхность возникают силы сдвига в 25 раз выше, чем в импеллерных флотомашин, способствуя образованию мелких пузырьков (0,3–0,5 мм), которые сталкиваются с частицами. Очень большая площадь межфазной области пузырьков и интенсивное перемешивание обеспечивают быстрое прилипание частиц к пузырькам воздуха и высокую несущую способность камеры. Нет необходимости в механическом перемешивании, размер бака значительно меньше, чем объем механических и колонных камер и не зависит от времени пребывания в нем материала.

Благодаря отсутствию мешалок, воздуходувок и компрессоров флотационная камера Jameson отличается простотой, а ее эксплуатация — крайне низким энергопотреблением. Потребляемая мощность значительно ниже, чем у соответствующей механической или колонной машины. Оптимальная производительность камер Jameson поддерживается постоянным объемом расходом пульпы для каждого аэратора.

Остановимся на двух типах скоростных пневматических флотомашин, которые характеризуются высокой эффективностью.

1. Флотомашин типа Pneumotlot создана компанией KHD Humboldt wedag в начале 1980-х гг. Воздух под давлением 3–4 атм. подается через специальные аэраторы в нижнюю часть цилиндрическо-конической камеры, заполненной пульпой. Пульпа проходит через камеру с большой скоростью 9,8–10 м/с). Время флотации 3–5 минут. Камера диаметром 5 м и объемом 53 м<sup>3</sup> обеспечивает флотацию пульпы 600–1000 м<sup>3</sup>/ч. Машина не име-

ет механических вращающихся деталей. Ее применяют для флотации угля, железной руды и руд цветных металлов.

2. Пневматическая флотомашина Imhoflot G-Cell отличается самым коротким временем флотации – около 30 с. Она включает систему сопел из трубок Вентури, установленных в камере, называемой реактором. Пульпа поступает по касательной, приобретая высокую центробежную скорость с большими силами сдвига. В результате этих процессов образуются очень мелкие пузырьки 5–10 мкм. Поднимаясь на поверхность, они сливаются в более крупные диаметром 2–3 мм. Такой реактор диаметром 5 м пропускает до 1200 м<sup>3</sup>/ч пульпы [3]. Пневматические флотационные машины G-Cell Imhoflot успешно внедрены на многих перерабатывающих производствах для извлечения меди, никеля, полиметаллов. На месторождении Aquablanca (Испания) установка флотационной машины G-Cell Imhoflot на отвальных хвостах действующей фабрики позволила повысить извлечение никеля из руды на 5% за счет дофлотации тонких (менее 9 мкм) минералов. В Чили в 2013 г. была введена в эксплуатацию фабрика, оснащенная машинами Imhoflot типоразмера V-Cells и G-Cells, производительностью 220 т/ч. Питанием фабрики служат хвосты одной из медных фабрик компании Codelco с содержанием меди 0,47%. На выходе получен концентрат с содержанием меди 25,73% при извлечении 79%. На обогатительной фабрике ЗАО «Ормет» из отвальных хвостов медной флотации был получен концентрат с содержанием меди 5,76% при извлечении более 30% и степени концентрации 24; за счет подшихтовки данного продукта к готовому медному концентрату увеличивается извлечение меди из исходной руды. Исследования по дофлотации хвостов 1-ой медно-цинковой перемешки на ОФ ОАО «Гайский ГОК» машиной Imhoflot показали возможность извлечения в концентрат 28,70% меди при выходе концентрата 3,28%; дофлотация позволила снизить содержание меди в текущих хвостах ОФ до 0,14% на (0,05%) [4].

Разработана конструкция высокопроизводительных пневматических машин серии КФМ, в конструкции которой предусмотрено использование двух зон аэрации (эжектор-диспергация) и подача исходной пульпы через эжектирующее устройство при отсутствии противотока. Конструкция эжектирующих устройств аппаратов КФМ предусматривает подачу пульпы под давлением  $2,5 \cdot 10^5$  Па и более, что предопределяет: высокую скорость истечения пульпы из сопла эжектора (10 м/с и более); эффективную диспергацию газа на тончайшие пузырьки. При

этом площадь поверхности газовых пузырьков, приведенная к объему поступающей пульпы, в 30 раз превышает аналогичный показатель аэрационных узлов механических и пневмомеханических флотомашин.

Пневматическая машина КФМ-1400М испытывалась и внедрена на ОФ ОАО «Святогор» при обогащении труднообогатимой пирротинсодержащей медно-цинковой руды и показала себя как высокоэффективный флотационный аппарат. За счет внедрения КФМ удалось увеличить извлечение из руды: меди — на 3,4%, цинка — на 5,5% при одновременном повышении качества медного (на 3% меди) и цинкового (на 1,5% цинка) концентратов. При флотации как труднообогатимой колчеданной, так и легкообогатимой медной руды флотомашина КФМ-1400М может успешно работать в операции 1 перерешетки с извлечением меди от операции 80% и более. Внедрение КФМ-1400М позволило вывести из эксплуатации 12 камер механических флотационных машин общим объемом 30 м<sup>3</sup> и суммарной мощностью 120 квт·ч. При работе схемы обогащения колчеданных медных руд с применением КФМ-1400М общее извлечение меди увеличилось на 1,5%, содержание меди в концентрате — на 1% [5].

Актуальной проблемой является извлечение мелкого (-0,25 мм) золота и золотин пластинчатой формы, с которыми связано до 50% потерь в аппаратах шлюзового типа. Разработан новый способ колонной флотации, сущность которого состоит в использовании в качестве газовой фазы аэрозоля в виде смеси водяного пара с воздухом (или азотом) и с введением в аэрозоль образующегося вещества — пенообразователя. Аэрозоль получают диспергированием пенообразователя струей водяного пара и воздуха в аэраторе конфузorno-диффузорного типа.

Проводили испытания технологии аэрозольной колонной флотации (АКФ) золота в условиях полигона артели старателей на р. Ингаги в Амурской области. Питанием флотации служили шлихи, содержащие в основном кварц, а также сульфиды (15%). Флотацию проводили в колонне диаметром 0,6 м и высотой 7,4 м. Удельный расход аэрозоля на аэрацию 0,2 м<sup>3</sup>/(мин. м<sup>3</sup>), высота слоя пены от 10 до 100 см, содержание твердого в питании от 25 до 35%. Доля класса -44 мкм в питании составила 77–87%, в том числе класса -10 мкм от 14 до 24%. Производительность по пульпе 0,24 м<sup>3</sup>/(мин. м<sup>2</sup>), собиратель (70 г/т) аэрофлот 208 фирмы «Цианамид».

Применение гравитационно-флотационного оборудования позволяет рентабельно обрабатывать галечно-эфельные отва-

лы, содержащие  $0,3 \text{ г/м}^3$  золота, в том числе за счет 90%-ного извлечения золота из класса крупности  $-0,25 \text{ мм}$  аэрозольной колонной флотацией. Эксплуатационные затраты на производство  $1 \text{ г}$  золота из класса крупности  $-0,25 \text{ мм}$  флотацией составляют  $2,04$  долларов США ( $16,4\%$  суммарных издержек на производство  $1 \text{ г}$  золота), что позволяет получить прибыль в размере  $2,47$  долл. США в расчете на  $1 \text{ г}$  золота [6].

На Урупском месторождении содержание золота в руде находится в пределах  $1,3\text{--}1,6 \text{ г/т}$ . Основная масса тонкого и тонкодисперсного золота (интервал крупности от  $3$  до  $25 \text{ мкм}$ ) представлена золотинами размером  $12\text{--}25 \text{ мкм}$  (средний расчетный диаметр золотинок —  $8,7 \text{ мкм}$ ). Золото — свободное и в виде сростков —  $24,2\%$ ; золото, ассоциированное с сульфидами —  $28,9\%$ . Для получения черногового медного концентрата использована противоточная колонна диаметром  $47 \text{ мм}$ , в которую в качестве газовой фазы подавали смесь водяного пара ( $120\text{--}140 \text{ }^\circ\text{C}$ ) с воздухом — паровоздушную смесь (аэрозоль). Сравнение технологических показателей, полученных при флотации руд Урупского месторождения по конкурирующим схемам показало, что при использовании аэрозольной колонной флотации извлечение золота в готовый концентрат за счет повышения в нем содержания золота с  $5,5 \text{ г/т}$  до  $7,0 \text{ г/т}$  увеличивается на  $8,72\%$  [7].

Разрабатываются конструкции флотомашин с взвешенным слоем, которые позволяют в несколько раз увеличить максимальную крупность извлекаемой минеральной частицы (от порядка  $100 \text{ мкм}$  до  $400 \text{ мкм}$ , а для угольных частиц от  $1 \text{ мм}$  до  $5,5 \text{ мм}$ . Это позволит снизить расходы на измельчение на  $40\%$  [8].

Основные зарубежные фирмы — производители флотационных машин уделяют большое внимание конструированию флотокамер большой единичной мощности (до  $200\text{--}500 \text{ м}^3$ ). Следует отметить, что при конструировании флотомашин используются гидродинамические параметры, обеспечивающие извлечение крупных и мелких частиц. Генерирование оптимальных по крупности пузырьков газа и создание ламинарных потоков в зоне минерализации обеспечивает высокую скорость извлечения частиц в широком диапазоне их крупности. Примером может служить флотационные машины KCS фирмы Metso Minerals, которые представляют конструкцию реакторной камеры, и применяются для основной, перерасчетной и контрольной флотации. Результатом такого подхода явилось создание конструкции камеры с тремя основными гидродинамическими зонами: нижняя зона, в которой за счет очень ак-

тивного перемешивания обеспечивается равномерное распределение твердого, а также создаются условия для многократного контактирования минеральной частицы и пузырька воздуха, что предопределяет равные возможности перехода в пенный продукт всех классов крупности, верхняя зона над ротором со значительно меньшей турбулентностью для предотвращения отрыва крупных частиц от пузырьков воздуха; неподвижная поверхность пульпы в камере обеспечивает спокойную разгрузку пенного продукта в желоба и минимизирует вероятность повторного попадания частиц из пенного слоя в пульпу. Диапазон типоразмеров камер от 5 до 200 м<sup>3</sup>.

Другой оптимальный вариант эффективного извлечения тонких и крупных частиц разработан известной фирмой FLSmidth: Hybrid Energy Flotation – Оптимизация кинетики флотации тонких и крупных частиц в одном ряду флотомашин. Технология реализована в практике флотационного обогащения и включает 3 фазы: Первая фаза – извлечение частиц промежуточной крупности с использованием стандартных флотомашин со стандартной скоростью вращения импеллера. Вторая фаза – извлечение тонких частиц с использованием энергоемких машин с повышенной скоростью импеллера. Третья фаза – извлечение крупных частиц во флотомашине с низким расходом энергии. В итоге обеспечивается извлечение минеральных частиц в широком диапазоне крупности при минимальных потерях в хвостах флотации [9].

Весьма эффективны специальные конструкции флотомашин фирмы Outotec типа SkimAir для скоростной флотации и Flash Roughing для использования в цикле измельчения. Скоростная песковая флотация широко и с большим успехом применяется при извлечении золота. Концепция скоростной флотации Outotec известна как стратегический подход к повышению извлечения рудных минералов при благоприятном коэффициенте окупаемости капитальных вложений.

Известно, что общим свойством для большинства извлекаемых рудных минералов является их невысокая твердость и склонность к ошламование. Флотомашин SkimAir обеспечивает флотацию свободных крупных частиц из циркуляционной нагрузки цикла измельчения, не приводя к их дальнейшему переизмельчению. Флотомашин SkimAir позволяет извлекать значительное количество ценных минералов еще на стадии измельчения, в результате чего обеспечивается более стабильное питание традиционного контура флотации. Для повышения

общего извлечения на предприятии, возможно получение концентрата более низкого качества с высоким извлечением и его объединение с концентратом SkimAir более высокого качества. Наряду с улучшениями во флотации, благодаря контролируемой высокой плотности сгущенного продукта, SkimAir может повысить производительность мельницы измельчения. Также благодаря общему снижению количества тонких частиц улучшаются процессы обезвоживания.

Первые разработки камеры скоростной флотации Outotec производились в начале 1980-х гг. для извлечения флотоактивного материала из контура измельчения. Было установлено, что благодаря специфике работы гидроциклонов, разделение частиц происходит не только по крупности, но и по их удельному весу. Минералы и металлы с высокой плотностью, к примеру, такие как золото и платина, даже при очень небольшой крупности частиц, остаются в циркуляционной нагрузке контура измельчения. Содержание этих металлов в циркуляционном продукте возрастает и значительно превышает его содержание в исходной руде. Пески гидроциклона представляют собой идеальный материал для питания флотации. Поскольку переизмельчение промышленных минералов предотвращается, общее извлечение фабрики увеличивается (2–5%). Дополнительными преимуществами являются общее снижение расхода реагентов и более устойчивая эксплуатация флотомашин основной флотации.

Типовая схема стандартной установки скоростной флотации включает мельницу полусамоизмельчения (SAG), куда поступает питание и вода. Разгрузка SAG поступает на гидроциклоны, слив которых идет в основной цикл флотации, а пески при нужном разбавлении являются питанием SkimAir. При этом пенный продукт машины является конечным концентратом, а камерный служит питанием шаровой мельницы, измельченный продукт которой объединяется с измельченным продуктом SAG, создавая циркуляционную нагрузку в контуре мельниц и гидроциклона.

Запуск в эксплуатацию более крупных установок скоростной флотации SkimAir-500 (производительность 500 т/ч) в 1990 г. и SkimAir-1200 (производительностью 1200 т/ч) в 1996 г. расширил стандартную технологию скоростной флотации Outotec. Технология Flash Roughing может включать две стадии: установка SkimAir используется для получения основного концентрата, а специально подключенная флотокамера TankCell используется для перечистой флотации.



Технология двойного выхода (слива через верхнее отверстие и камерного продукта камеры) позволяет сбалансировать две конкурирующие производительности – флотомашины Skim Air и шаровой мельницы, а также позволяет флотомашине Skim Air работать на оптимальной плотности питания и поддерживать высокую плотность питания шаровой мельницы. Также было доказано, что отсутствует негативное влияние на полный водный баланс цикла измельчения вследствие того, что вода, добавленная для разбавления питания флотомашины SkimAir, возвращается в мельницу через верхний выход. Появление такой технологии стало возможным в связи с тем, что SkimAir работает не только как флотационная машина, но и как классификатор. Это позволяет контролировать плотность хвостов SkimAir и предотвращает переизмельчение. Дополнительное питание гидроциклона обеспечивает улучшение классификации. Использование технологии двойного выхода обеспечивает вывод готовых классов крупности, поступление большого количества вновь образованного питания в контур измельчения, что значительно повышает эффективность процесса измельчения [10].

В отечественной практике примером является горно-металлургический завод (ГМЗ)-3 Новойско́го ГМК (Узбекистан). В операциях флотации применяется флотомашинка специального типа FF RIF. Эта машина может работать на пульпах, содержащих до 50% твердого, крупностью не менее 45% класса -0,074 мм при плотности руды 4,7 т/м<sup>3</sup>. Для повышения эффективности классификации во второй стадии в цикле измельчения предусмотрен высокочастотный грохот типа ГРС-РИФ. Для повышения эффективности песковой флотации подрешетный продукт грохота направляется на пульпоподготовку в оттирочно-агитационный комплекс RFFK и агитационный чан специальной конструкции AFF RIF. Надрешетный продукт грохота возвращается в мельницу на доизмельчение.

Разработанная технология со стадийным выведением золота позволила повысить извлечение золота во флотационный концентрат, содержащий 24,3 г/т металла, до 89,3%. Эти показатели значительно превышают стандартной технологической схемы: без использования межцикловой и песковой флотаций: содержание золота в коллективном концентрате – 19 г/т при извлечении 60,1%. Нужно отметить, что все специальное флотационное оборудование разработано в ЗАО «НПО «РИВС» [11].

Флотация тонких и ультратонких частиц сульфидных минералов (<20 мкм) является проблемным вопросом, который в

должной степени по своей эффективности до сих пор не решен. Безусловно, для агрегации тонких частиц возможно применение флокулянтов, масел, добавление крупных фракций минералов-носителей, но пока уровень этих разработок находится на стадии лабораторных исследований.

В последнее время внимание привлек метод магнитной агломерации тонких сульфидных парамагнитных частиц. Селективная агрегация тонких парамагнитных частиц, т.е. сульфидных минералов может быть осуществлена в условиях применения высокоинтенсивного магнитного поля. Этот метод внедрен в промышленную практику обогатительной фабрики Гарпенберг компании Болиден, Швеция. Магнетизация и агрегация тонких сульфидных частиц осуществляется с помощью специального магнитного кондиционирующего прибора ProFlote непосредственно перед поступлением пульпы во флотокамеры. При этом используется специальный постоянный магнит с интенсивностью 0,5 Т. На фабрике Гарпенберг перерабатываются комплексная Zn-Pb-Cu руда при мощности производства 1,5 Мт в год. Среднее содержание в руде в %: 5,6, 2,05, 0,06 соответственно для Zn, Pb, Cu. Основные сульфидные минералы: сфалерит, галенит, халькопирит. В руде значительные количества серебра (130 г/т) и золота (0,27 г/т). Технологическая схема измельчения руды включает самоизмельчение и галечное измельчение до крупности до <160 мкм, раскрытие минеральных комплексов осуществляется в интервале 75–100 мкм. Применяется классическая схема обогащения данной полиметаллической руды: цикл медно-свинцовой флотации с получением Cu и Pb концентратов, хвосты которого поступают в цикл цинковой флотации. Кондиционирующее устройство Профлот был установлено в середине 2012 г. с целью повышения показателей для Cu-Pb цикла, обратив особое внимание на извлечение серебра. Анализ полученных результатов показал, что в Cu-Pb цикле около 1,0% возросло качество Cu концентрата, в то время снизилось извлечение на 0,3% Zn и Pb в Cu концентрат при повышении извлечения Au и Ag в концентрат на 1,2 и 0,5% соответственно. В цинковом цикле достигнуто повышение извлечения Zn на 1,2% в цинковый концентрат и увеличения на 0,9 и 0,8% Ag и Pb в Zn концентрат, снижены потери цинка с отвальными хвостами.

### **Заключение**

Анализ современного уровня состояния технологий и обогативания флотационного обогащения Au-содержащих сульфидных руд

фидных руд показал высокий уровень их развития, которые определяют эффективность технологий извлечения золота и цветных металлов из руд с сульфидной минерализацией.

Для извлечения тонкодисперсных минералов широкое применение находят флотоколонны пневматического типа, использующие микропузырьки воздуха: флотокамеры Jameson Cell, Pneumotlot, Imhoflot G-Cell, которые эффективны при обогащении тонкоизмельченного сырья, особенно в циклах перерастившей флотации.

Особое место в отечественной практике обогащения Au-содержащего сырья занимает конструкция высокопроизводительной пневматической флотомашины КФМ-1400М.

Для извлечения самородного (пластинчатого) золота в т.ч. из россыпей перспективно использовать флотокамеры аэрозольной флотации.

Наряду с извлечением тонкого золота конструируются флотомашин со взвешенным слоем, которые позволяют извлекать сульфидные частицы повышенной крупности.

Учитывая повсеместное значительное снижение содержания полезных компонентов в минеральном сырье, крупные зарубежные фирмы-производители флотационного оборудования уделяют большое внимание на разработку флотокамер большой единичной мощности (200–500 куб. м).

Весьма эффективны технологии межцикловой скоростной флотации для извлечения золота. Для этого используются специальные конструкции флотомашин фирмы Outotec типа Skim Air и Flash Roughing.

Заслуживают внимания промышленные разработки магнетизирующего кондиционирующего устройства Профлот, которое внедрено на шведской ОФ Гарпенберг полиметаллического месторождения. Устройство позволяет агрегировать тонкие сульфидные частицы крупностью < 20 мкм и повышает общее извлечение цветных и благородных металлов в циклах коллективно-селективной флотации.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Богомяков Р. В., Прохоров К. В. // Маркшейдерия и недропользование. – 2011. – № 3. – С. 11–16.
2. Huang G., Cao Y. J., Gao Z. C. Флотация пирита с использованием циклонной статической микропузырьковой флотоколонны (ЦСМФ) / International Mineral Processing Congress (IMPC 2012), New Delhi, 24–28, 2012: Book of Abstracts, Vol. 1, Delhi, 2012. С. 249.

3. *Секисов А. Г.* / 9-я Всероссийская научно-практическая конференция «Кулагинские чтения». Чита. 30 ноября – 1 декабря 2009. Ч. 7. – Чита: ЧитГУ, 2009. – С. 160–162.

4. *Шумилова Л. В., Костицова О. С.* Влияние режимных параметров на эффективность работы флотомашины Jameson Cell // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2014. – № 6. – С. 207–212.

5. Совершенствование технологических схем // Горный Мир. – 2010. – № 2. – С. 19–20.

6. *Сенченко А. Е., Ульянов С. И., Бакотин А. В.* Новые машины для пневматической флотации / Современные процессы комплексной и глубокой переработки труднообогатимого минерального сырья (Плаксинские чтения 2015): Материалы Международного Совещания, Иркутск, 21–25 сентября 2015 г. – Иркутск, 2015. – С. 234–236.

7. *Паньшин А. М., Видуецкий М. Г., Мальцев В. А.* и др. Эффективность применения пневматических флотомашин серии КФМ при обогащении упорного медно-цинкового сырья. Ч. 2. // Цветные металлы. – 2013. – № 4. – С. 23–26.

8. *Евдокимов С. И., Паньшин А. М.* // Горный журнал. – 2009. – № 12. – С. 26–27.

9. *Паньшин А. М., Евдокимов С. И., Артемов С. В.* Разработка новой схемы флотации руд Урупского месторождения // Цветная металлургия. – 2011. – № 5. – С. 3–12.

10. *Jameson G. J.* Флотация во взвешенном слое – новая парадигма для флотации / 26 International Mineral Congress (IMPC 2012), New Delhi, Sept. 24–28, 2012: Book of Abstracts. Vol. 1. New Delhi. 2012. С. 45.

11. *Devan Govender, Dariusz Lelinski, Bart Dabrowski.* Hybrid Energy Flotation – Оптимизация кинетики флотации тонких и крупных частиц в одном ряду / 26 International Mineral Processing Congress (IMPC 2012), New Delhi, Sept. 24–28, 2012: Book of Abstracts. Vol. 2. С. 398.

12. *Петров А. В.* // Золото и технологии. – 2012. – № 1. – С. 30–32.

13. *Санакулов К. С., Мустакимов О. М., Рузиев Н. Р. и др.* Обогащение крупнозернистого материала при переработке золотосодержащих руд с применением схем и оборудования ЗАО «НПО «РИВС» // Горный журнал. – 2010. – № 10. – С. 60–63.

14. *Manouchehri H., Aitahmed-Ali H., Sundberg St.* Магнитное кондиционирование питания флотации для увеличения тонких полезных минералов на фабрике Гарпенберг фирмы Болиден / 27 International Mineral Processing Congress (IMC 2014), Santiago, Oct. 20–24, 2014, Chap. 6. С. 11–19. **ГИАБ**

#### КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

*Комогоорцев Борис Владимирович*<sup>1</sup> – кандидат технических наук, старший научный сотрудник,

*Вареничев Анатолий Алексеевич*<sup>1</sup> – кандидат технических наук, заведующий Отделением наук о Земле,  
e-mail: avar@viniti.ru,

<sup>1</sup> Всероссийский институт научной и технической информации РАН (ВИНИТИ РАН).

## **TECHNOLOGIES AND EQUIPMENT FLOTATION OF GOLD-SULFIDE ORES**

Design features and technological possibilities of modern flotation machines, including pneumatic high-speed machines, high-flotation cell with a large unit capacity, sand machines, grinding cycles stadialnogo flotation, flotation cell multi-zone to extract minerals in a wide range of sizes. Also considered special equipment design for selective extraction and concentration of fine particles of coarse gold-bearing raw materials and non-ferrous metals.

The study covers design features and technological capabilities of modern flotation machines, including highspeed pneumatic machines, high-duty and high unit capacity flotation cells, sand machines for multi-stage grinding in flotation circuit, and zoned flotation cells for mineral recovery within a wide range of size. Flotation of fine-dispersion ores with gold-sulfide mineralization widely uses pneumatic flotation machines employing air microbubbles: column flotation cells JamesonCell, Pneumotlot, Imholot G-Cell. Highly efficient, these machines produce final concentrate within a single stage of recleaner flotation, replacing several stages of recleaning in physical flotation machines.

Key words: flotation, flotation cell, flotokolonny, selective extraction, gold ores, technology, flotation, non-ferrous metals.

### **AUTHORS**

*Komogortsev B.V.*<sup>1</sup>, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher,

*Varenichev A.A.*<sup>1</sup>, Candidate of Technical Sciences,

Head of Department of Earth Sciences, e-mail: avar@viniti.ru,

<sup>1</sup> All-Russian Institute for Scientific and Technical Information  
of Russian Academy of Sciences (VINITI), 125190, Moscow, Russia.

### **REFERENCES**

1. Bogomyakov R. V., Prokhorov K. V. *Marksheyderiya i nedropol'zovanie*. 2011, no 3, pp. 11–16.
2. Huang G., Cao Y.J., Gao Z. C. *International Mineral Processing Congress (IMPC 2012)*, New Delhi, 24–28, 2012: Book of Abstracts, Vol. 1, Delhi, 2012, p. 249.
3. Sekisov A. G. *9-ya Vserossiyskaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya «Kulaginsk-  
ie chteniya»*. Chita. 30 noyabrya – 1 dekabrya 2009. Ch. 7 (Kulagin's Lectures: The 9th  
All-Russian Scientific-Practical Conference. Chita. 30 Nov – 1 Dec 2009, part 7), Chita,  
ChitGU, 2009, pp. 160–162.
4. Shumilova L. V., Kostikova O. S. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*.  
2014, no 6, pp. 207–212.
5. *Gornyy Mir*. 2010, no 2, pp. 19–20.
6. Senchenko A. E., Ul'yanov S. I., Bakotin A. V. *Sovremennyye protsessy kompleks-  
noy i glubokoy pererabotki trudnoobogatimogo mineral'nogo syr'ya (Plaksin'skie chteniya  
2015): Materialy Mezhdunarodnogo Soveshchaniya, Irkutsk, 21–25 sentyabrya 2015 g.*  
(Advanced processes of integrated and deep conversion of rebellious minerals (Plaksin's  
Lectures 2015): International Conference Proceedings, Irkutsk, September 21–25, 2015),  
Irkutsk, 2015, pp. 234–236.
7. Pan'shin A. M., Viduetskiy M. G., Mal'tsev V. A. *Tsvetnye metally*. 2013, no 4,  
pp. 23–26.
8. Evdokimov S. I., Pan'shin A. M. *Gornyy zhurnal*. 2009, no 12, pp. 26–27.

9. Pan'shin A. M., Evdokmov S. I., Artemov S. V. *Tsvetnaya metallurgiya*. 2011, no 5, pp. 3–12.
10. Jameson G. J. *26 International Mineral Congress (IMPC 2012)*, New Delhi, Sept. 24–28, 2012: Book of Abstracts. Vol. 1. New Delhi. 2012, pp. 45.
11. Devan Govender, Dariusz Lelinski, Bart Dabrowski. *26 International Mineral Processing Congress (IMPC 2012)*, New Delhi, Sept. 24–28, 2012: Book of Abstracts. Vol. 2, pp. 398.
12. Petrov A. V. *Zoloto i tekhnologii*. 2012, no 1, pp. 30–32.
13. Sanakulov K. S., Mustakimov O. M., Ruziev N. R. *Gornyy zhurnal*. 2010, no 10, pp. 60–63.
14. Manouchehri H., Aitahmed-Ali H., Sundberg St. *27 International Mineral Processing Congress (IMC 2014)*, Santiago, Okt. 20–24, 2014, Chap. 6, pp. 11–19.



## ГОМЕОСТАТИКА ПРОТИВ СХОЛАСТИКИ

### ИСТОРИЯ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ПРОЕКТА

В 1979 году я обнаружил существование важной проблемы – в задачах социального управления часто встречалась группа задач, связанных с регулярными отклонениями исследуемых групп от нормального устойчивого состояния. Простейшим решением таких задач был бы возврат систем в исходное состояние. Это нужно было сделать в автоматическом режиме, без использования методов ручного управления. Некоторая часть восстановления систем в исходное (нормальное) состояние происходит естественным путем без участия управленцев, или при минимальном участии специалистов по ручному управлению. Такие естественные (необременительные) методы обычно даже не фиксируются наблюдателями. Но задачи стабилизации трудовых коллективов и другие задачи социально-экономического характера, которые нам пришлось решать на Алмалыкском ГМК, Тырныаузском ГМК, Экибастузском ГОКе и на других предприятиях, сами собой решаться не хотели, здесь требовались какие-нибудь нестандартные подходы.

И тут я вспомнил, что в курсе математической статистики встречал метод гомеостазиса (гомеостата), который подходил для использования в моделях социологического анализа и синтеза. Метод редко встречающийся, причем в литературе он описывается для решения задач без привлечения специалистов (остойчивость кораблей, медицина, детские игры) или при детерминированном вмешательстве (устойчивость по курсу движения, регулирование численности популяций животных и т.д.). В общественных науках таких публикаций не встречал. Тем интереснее было заняться подобными задачами.

В современных условиях необходимость продуманного воздействия на однородные социальные группы возросла, ведь интернет и свобода высказываний требуют продуманного и ненасильственного воздействия на крупные группы общества. Тем более, что возросшая террористическая деятельность не может не встречать идеологического сопротивления. В решении таких задач продуманные методы гомеостазиса могли бы сослужить полезную службу, заставляя политиков отказаться от эмоциональных методов и перейти к гомеостатическому моделированию ситуаций. Поэтому имеет смысл продолжить наши исследования в области социального моделирования и гомеостатического восстановления нарушенного баланса.

*Продолжение на с. 248*