

УДК 622.765.4

**С.И. Саломатова, А.И. Матвеев**

## **К ВОПРОСУ СОХРАНЕНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ ЧАСТИЦ ПРИ ПЕРЕХОДЕ ОБЪЕМНОЙ ПЕНЫ В МИНЕРАЛИЗОВАННЫЙ МОНОСЛОЙ НА ПОВЕРХНОСТИ ПОТОКА ВОДЫ**

*Определены особенности перехода пенного минерализованного слоя флотации в минерализованный монослои при подаче его на поверхность движущегося потока воды. При доводке флотоконцентратов, содержащих мелкое и тонкое золото, перечистную флотацию предлагается проводить в центробежной флотомашине.*  
*Ключевые слова: минерализованный слой, монослои, селективность, газосодержание, гашение пены, скорость потока.*

---

**П**ри доводке флотационных золотосодержащих концентратов с перечисткой концентратов в режиме камерной флотации возможна потеря тонких фракций золота.

В предлагаемом нами варианте флотационной перечистки на центробежной флотомашине конусного типа (конструкции ИГДС СО РАН), обработка пенного продукта (концентрата основной флотации), заключается в переводе его на поверхность вращающегося потока воды, истекающего из вершины обратного конуса. При этом объемный пенный слой растягивается в монослойную пленку и под действием центробежной силы, часть слабо закрепившегося и механически увлекающегося с пенным продуктом материала отрывается с пленки и переходит в объем пульпы, образуя хвостовой продукт перечистной операции [1].

В разрабатываемой системе перехода флотационной пены в минерализованный монослой на поверхности воды существенную роль играет процесс разрушения пены. Гашение пены происходит за счет разрыва тонкой водной пленки, которая сопровождается мгновенным уменьшением удель-

ной поверхности трехфазного пенного слоя и существенным увеличением концентрации минеральных частиц в остаточном слое пены. При этом резко уменьшается несущая способность пены и частицы активно отрываются от нее и переходят в водную фазу. В этом случае невозможно добиться селективности разделения минеральных частиц с поверхности жидкость-газ по гидрофобным и гидрофильным свойствам.

Важным условием необходимости организации селективного разделения минералов после перехода пены в минерализованный монослой на поверхности воды является минимизация потерь минеральных частиц с поверхности воды в процессе гашения пены и разрыва пузырьков. Данное условие предполагает, также, что при переходе пены в минерализованный монослой на поверхности воды снижение суммарной площади границы разделения воздух-вода всей системы не должно быть выше, чем скорость естественного гашения пены. В противном случае возможна потеря потенциальной площади удержания минералов.

Во флотационной системе образование и поддержание на определенном уровне удельной поверхности воздух – вода обеспечивается уровнем газосодержания, определяемым расходом нагнетаемого воздуха. Если газосодержание во флотационной среде поддерживается на относительно постоянном уровне, то в пенном слое газосодержание неоднородно по высоте и динамично по времени.

Пенный слой по высоте имеет различное газосодержание, которое зависит от концентрации вспенивателя, скорости газа и расхода промывочной воды. Указанные факторы влияют на крупность пузырьков в подпенном слое и их распределение по высоте. Гашение пены за счет коалесценции пузырьков в наибольшей степени происходит в нижней зоне пенного слоя около поверхности раздела аэрирования жидкость – пена. В результате коалесценции суммарная поверхность пузырьков, достигающих верхнего слоя пены, сокращается в 2 раза [2].

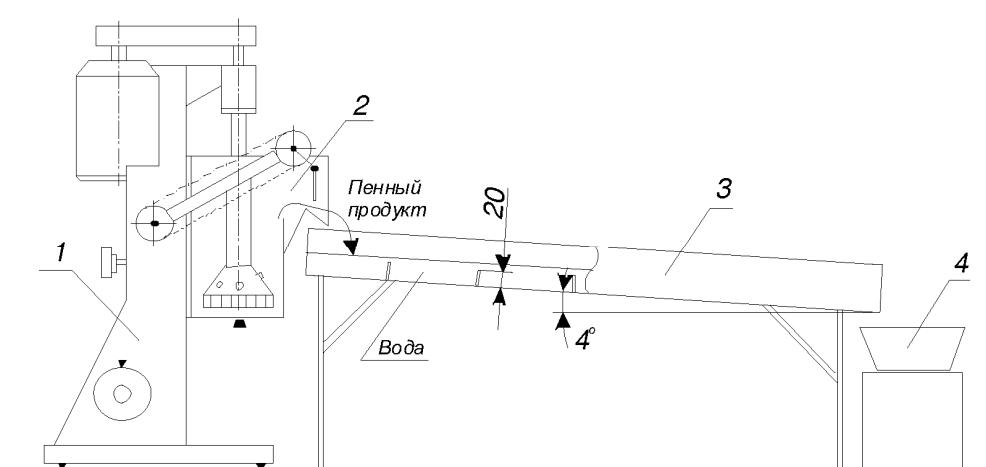
В целом, гашение пенного слоя происходит достаточно интенсивно и

поддержание высоты пенного слоя, концентрации вспенивателя, скорости газа, расхода промывочной воды и своевременное удаление сфлотированных минералов регулируется скоростью съема пены.

В нашем случае, переход пены в минерализованный слой происходит при переливе пенного слоя в наклонный желоб (рис. 1), при этом скорость смыва аналогична операции принудительного съема пены. Однако для создания условия максимального сохранения минеральных зерен на границе поверхности жидкость-газ скорость перемещения потока по желобу должна соответствовать скорости гашения пены [3].

В таблице представлены результаты исследования динамики гашения пены в камере лабораторной флотомашины, с использованием реагентов (собиратель, вспениватель) и реальной пробы обогащения золото-сульфидной руды. На основании полученных данных, по формулам [4] рассчитана скорость разрушения пены

$$v_i = 10^{-3} \Delta h_i / \Delta t_i; \quad (1)$$



**Рис. 1. Схема экспериментального стенда:** 1 – флотомашина 240 ФЛ-А; 2 – камера флотомашины; 3 – шлюз с перегородками; 4 – емкость для оставшейся пены

### Результаты определения свойств пены

№ измерения	Характеристика пены в периоды разрушения				
	$t_i, \text{с}$	$\Delta t_i, \text{с}$	$h_i, \text{мм}$	$\Delta h_i, \text{мм}$	$v_i, \text{м/с}$
1	0	5	190	0	0
2	5	5	130	60	0,012
3	10	5	95	35	0,007
4	15	5	85	10	0,002
5	20	5	80	5	0,001

$$v = 10^{-3}h/t. \quad (2)$$

где  $v_i$  – скорость разрушения пены, м/с в период времени  $\Delta t_i = t_i - t_{i-1}$ , с;  $\Delta h_i = h_i - h_{i-1}$  – изменение высоты слоя пены за данный период, мм;  $v$  – средняя скорость разрушения пены, м/с;  $h$  – максимальная высота слоя пены, мм;  $t$  – время разрушения слоя пены, с.

На рис. 2 представлена графическая зависимость кинетики разрушения пены, построенная по значениям  $v_i$ .

Для перехода объемной пены в минерализованный монослой необходимо соблюдение условия максимального сохранения суммарной площади границы жидкость-газ с учетом постоянно протекающего процесса разрушения пены:

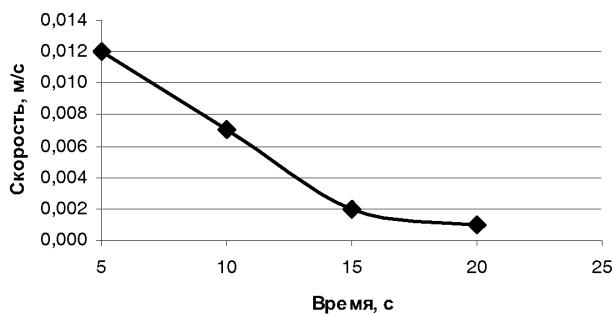


Рис. 2. Кинетика разрушения пены

$$S_{\text{слоя}} \geq K_{\text{р.п.}} S_{\text{пены}}; \quad (3)$$

где  $S_{\text{слоя}}$  – суммарная площадь поверхности воды образующейся в единицу времени на желобе,  $\text{м}^2/\text{с}$ ;  $K_{\text{р.п.}}$  – коэффициент разрушения пены;  $S_{\text{пены}}$  – суммарная площадь поверхности пузырьков в пенном слое при нагнетании воздуха в камеру флотации в единицу времени,  $\text{м}^2/\text{с}$ .

Согласно выражению (3) остаточная площадь поверхности воды текущей по желобу должна соответствовать скорости разрушения пены, в противном случае условие максимального перевода минералов на поверхность воды нарушится.

Исходя из данных условий, необходимая скорость течения пульпы по наклонной поверхности рассчитывается от количества воздуха аэрируемого во флотационную камеру  $Q$  ( $\text{м}^3/\text{сек}$ ).

Суммарная площадь поверхности аэрируемых газов, рассчитывается от количества аэрируемого воздуха с учетом средней величины диаметра пузырьков. Изменение суммарной поверхности жидкость-газ можно рассчитать от скорости разрушения пены определяемой как скорость падения высоты пенного слоя, принимая во внимание данные рис. 2. Минимально допустимая площадь снимаемой поверхности минерализованной пленки (при равенстве выражения 3), определяемая скоростью течения пульпы по наклонной поверхности (желобу) вычисляется через скорость, умноженную на ширину порога  $L$  (желоба). Тогда формула примет вид:

$$S_{\text{слоя}} = VL = K_{\text{р.п.}} \frac{3Q}{R}; \quad (4)$$

где  $Q$  – расход воздуха,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;  $R$  – средний радиус аэри-

руемых пузырьков, м;  $V$  – скорость течения потока, м/с;  $L$  – ширина порога желоба, м.

Из формулы (4) минимальная скорость течения пульпы по наклонной поверхности (желобу) равна:

$$V = K_{\text{р.п}} \frac{3Q}{RL};$$

Скорость течения пульпы по желобу, при расходе воздуха 0,018 м<sup>3</sup>/мин, среднем диаметре пузырьков 2 мм ( $R = 0,001$  м), ширине желоба 0,14 м, средней скорости разрушения пены (по данным таблицы) 0,0073 м/с (0,44 м/мин), составит 2,3 м/мин.

Работоспособность данной формулы подтверждается результатами исследований. На экспериментальном стенде с регулируемым углом наклона желоба фактическая скорость потока достигает до 8,4 м/мин. При этом на поверхности воды текущей по наклонному желобу не происходит интенсивного разрушения пены, а наблюдаются по-

следовательно уменьшающиеся по времени площади монослоев минерализованных пузырьков и на конечной стадии образуется минерализованный моносвой на поверхности воды.

Проведена серия натурных экспериментов по доводке золотосодержащих флотационных концентратов месторождения Сентачан с применением в перечистной операции флотации центробежных флотомашин.

Золото данного месторождения характеризуется мелкими размерами выделений (обычно не более – 1 мм) и практически все самородное золото представлено пылевидными (до 0,05 мм) и очень мелкими (0,05–0,20 мм) классами [5].

В результате исследований получено повышение качества концентрата по содержанию золота и сурьмы, разработана схема доводки флотоконцентрата с применением центробежной флотомашины конусного типа.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пат. 2183998 Российская Федерация, 7В03Д 1/02 1/24. Способ флотации и центробежная флотационная машина / А.И. Матвеев, С.И. Саломатова, В.Б. Яковлев, А.М. Монастырев, Н.Г. Еремеева, Е.С. Слепцова; заявитель и патентообладатель ИГДС; заявл. 25.05.2000; опубл. 27.06.2002 / Изобретения. Полезные модели. – 2002. – №18. – Ч.2. – С. 170.
2. Мешеряков Н.Ф. Кондиционирующие и флотационные аппараты и машины. – М.: Недра, 1990. – 237 с.
3. Саломатова С.И. Создание условий для максимального сохранения минеральных частиц на границе газ-жидкость при переходе флотационной пены в тонкую пленку // Материалы конференции. – Улан-Удэ: Изд-во Бурятского научного центра СО РАН, 2006. – С. 87–88.
4. Практикум по обогащению полезных ископаемых: учеб. пособие для вузов; под ред. Н.Г. Берданя. – М.: Недра, 1991. – 526 с.
5. Болтухаев Г.И., Соловьев П.М. Переработка крупнообъемных проб золото-сурьмяных руд Сентачанского месторождения // Цветные металлы. – 2009. – № 4.– С. 41–44. ГИАС

## Коротко об авторах

Саломатова С.И. – кандидат технических наук, ssalomatova@mail.ru

Матвеев А.И. – доктор технических наук, старший научный сотрудник, igds@ysn.ru

Институт горного дела Севера им. Н.В. Черского Сибирского отделения РАН (ИГДС СО РАН)