

Оптимизация подачи сернистого натрия в коллективном цикле флотации медно-молибденовых руд на обогатительной фабрике ГОКа "ЭРДЭНЭТ"

Давааням С. Дэлгэрбат Л. Лхагва Ж.
Кокорин А.М., Мухин Д.В., Смирнов А.О. (Россия)

Основным назначением подачи сернистого натрия в коллективном цикле флотации на обогатительной фабрике ГОКа "ЭРДЭНЭТ" является сульфидизация окисленных медных минералов: малахита, азурита, брошаггита, куприта и др. Системы оптимальной дозировки сульфидизатора по параметрам ионного состава основаны на Ag_2S -электроде [1,2] или минеральных электродах [3,4]. Обосновано теоретически и практически показано, что условия оптимизации подачи сульфидизатора соблюдаются при поддержании постоянного электрохимического потенциала Ag_2S -электрода в точке подачи реагента на уровне -600 мВ (по отношению к пассивному хлорсеребряному электроду сравнения) независимо от типа перерабатываемой руды.

Внедренная в 80-х годах система оптимального управления дозировкой сульфидизатора на обогатительной фабрике ГОКа "ЭРДЭНЭТ" [4] показала эффективность ее работы и эксплуатировалась при переработке руд с содержанием окисленных минералов меди 5-10% относительных. В настоящее время в значительной степени отработана зона окисленных и вторичных руд и перерабатываются в основном руды с содержанием окисленных форм медных минералов 2-5%.

В связи с этим изменилось функциональное назначение подачи сернистого натрия в коллективном цикле флотации. Теперь сернистый натрий используется, по видимому, для нейтрализации относительно растворимых соединений меди и дезактивации поверхности пирита, природно активированного ионами меди.

Физико-химическая модель управления подачей сернистого натрия основана на уравнении:



$$K_p = \frac{[OH^-]^2}{[S^{2-}]} \quad (2)$$

$$\lg[S^{2-}] = -28 + 2pH - \lg K_p \quad (3)$$

$$\lg K_p = \frac{-\Delta G^0}{1.364} \quad (4)$$

$$\lg[S^{2-}] = -45.26 + 2pH \quad (5)$$

Учитывая теоретическую электродную функцию сульфидсеребряного электрода по отношению к сульфидионам:

$$E_{Ag_2S} = -848 - 29.5 \lg[S^{2-}] \quad (6)$$

Уравнение для модели управления имеет вид:

$$E_{Ag_2S} = 487 - 59pH \quad (7)$$

Графически уравнение (7) представлено на рис.1 (линия 1)

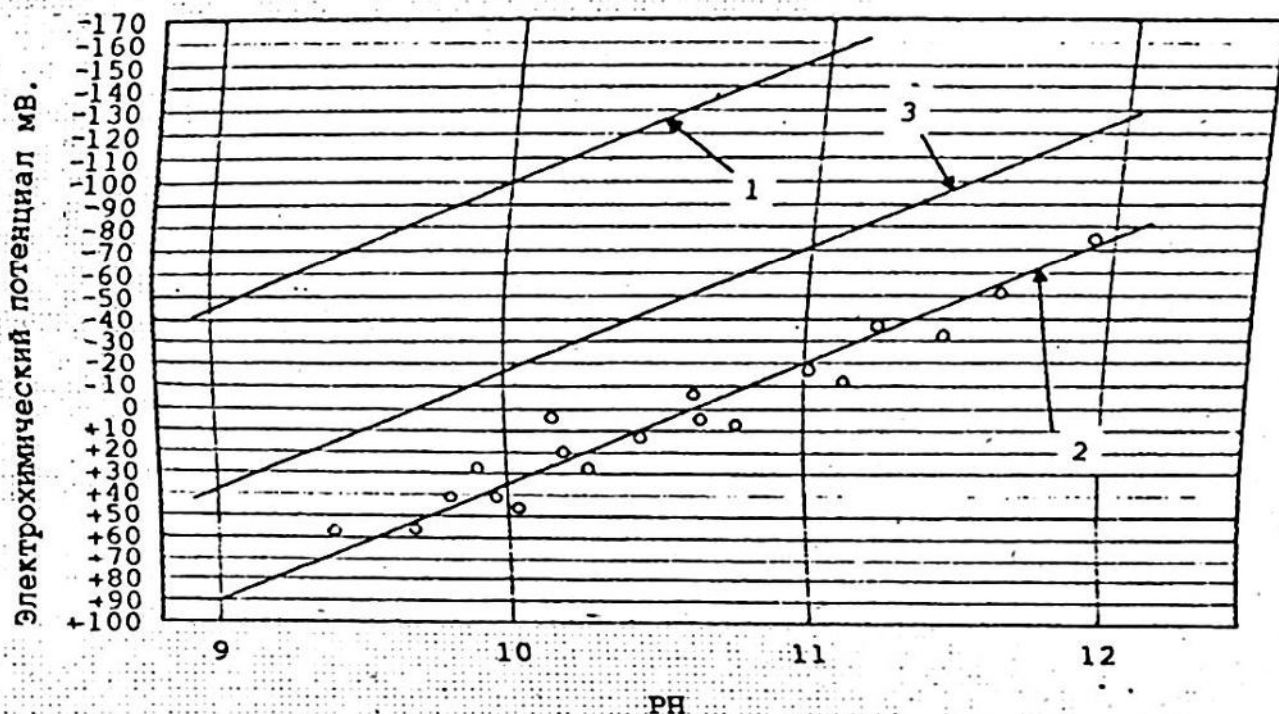


РИС.1 Зависимость электрохимического потенциала от pH

Для области pH=9-11 необходимо поддерживать $\lg[S^{2-}] = -27 + -23$. Промышленная эксплуатация сульфидсеребряных электродов показала, что такие низкие концентрации сульфид ионов не могут быть надежно измерены с их помощью. Поэтому были изучены возможности использования других электродных датчиков. Многочисленные измерения электрохимических потенциалов платинового электрода в различных точках технологической схемы промышленного процесса показали наличие устойчивой зависимости Eh-pH, представленной на рисунке 1 (линия 2). Было так же показано, что смещение зависимости Eh-pH в отрицательную область на 50 мВ., по оси ординат за счет дозировки сернистого натрия обеспечивает выполнение условий оптимальной подачи реагента по модел. (1). Таким образом для реализации на промышленном процессе была принята зависимость (8):

$$pS = 540 - 55 pH \quad (8)$$

(рис.1, линия 3), которая определила функциональную структуру системы оптимального управления подачей сернистого натрия (рис.2).

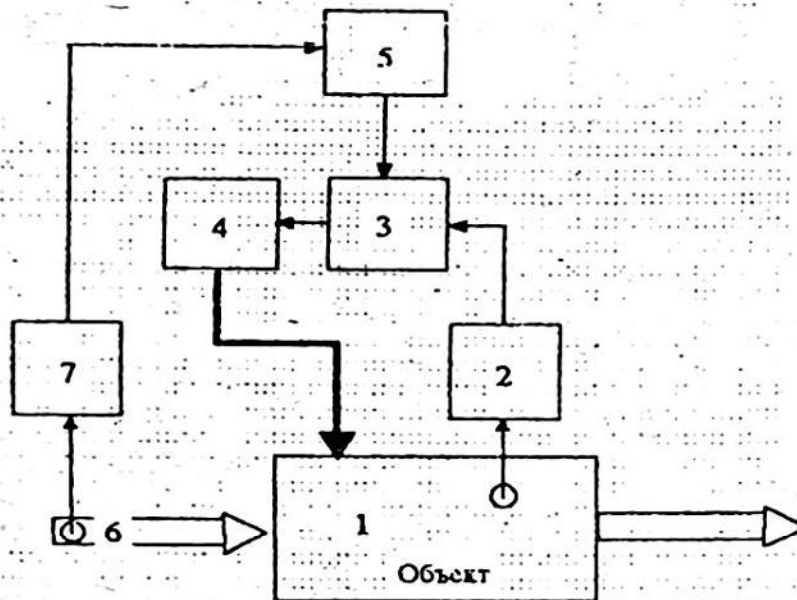


РИС. 2 Структурная схема управления.

Основной контур стабилизации включает датчик электро-химического потенциала (1), измерительный блок (2), ПИ-регулятор (3), дозатор сернистого натрия (4). Задающий контур формирует оптимальное значение стабилизируемой величины электро-химического потенциала в функциональном блоке (5) в зависимости от величины рН пульпы, измеряемом датчиком (6) и измерительным блоком (7). Представленная на рисунке 2 блок-схема управления внедрена в трех точках технологической схемы: в операции пульпы-подготовки (агитчав) перед основной флотацией, в контрольной флотации и в промпродуктовом уikle.

В качестве электро-химических датчиков и измерительных блоков использована серия аппаратура Гомельского завода (Белоруссия). Стабильное регулирование выполнено на ТВСО (терминал вычислительной связи с объектом). Модель управления реализована на СМ-1210.

Качество работы систем оптимального управления оценивается по параметру ΔpS , который представляет собой разность между фактическим значением ($pSф$), фиксируемым датчиком, и расчетным (pSp).

$$pSp = 540 - 55 pH$$

$$\Delta pS = pSф - pSp = pSф - 540 + 55 pH$$

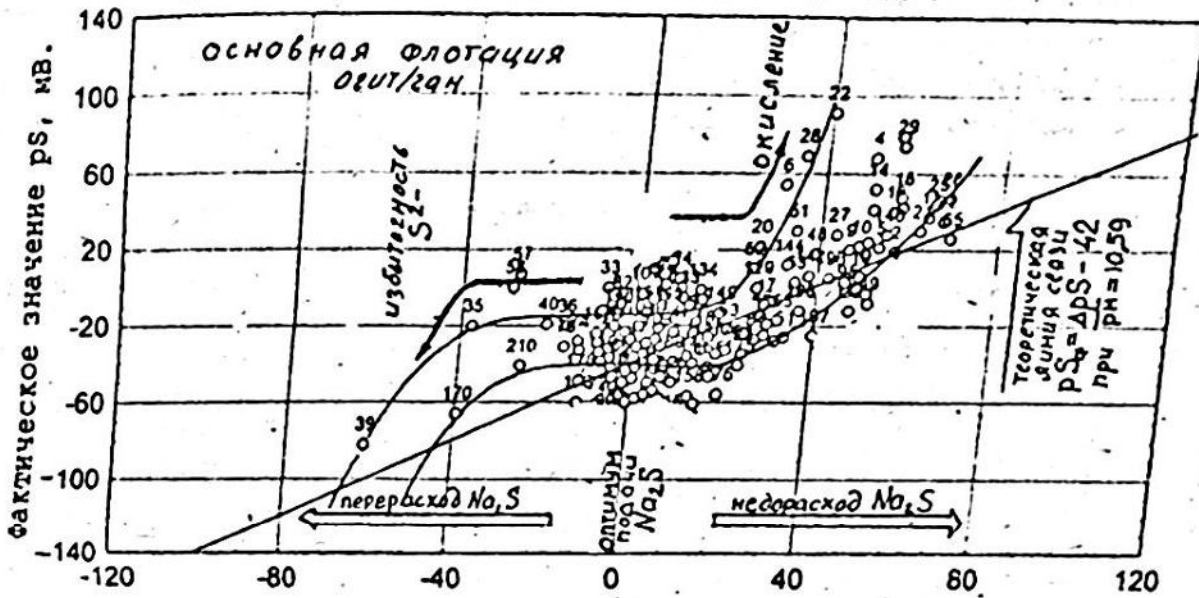
откуда:

$$pSф = \Delta pS + 540 - 55 pH$$

При среднем значении $pH = 10.59$ в агитчаве, зафиксированном при сборе статистического массива, зависимость $pSф - \Delta pS$ представляет из себя расчетную линию

$$pSф = \Delta pS - 42$$

Однако экспериментальные точки существенно отклоняются от этой линии (рис.3) из-за присутствия в пульпе минеральных частиц и протекания гетерогенных реакций.

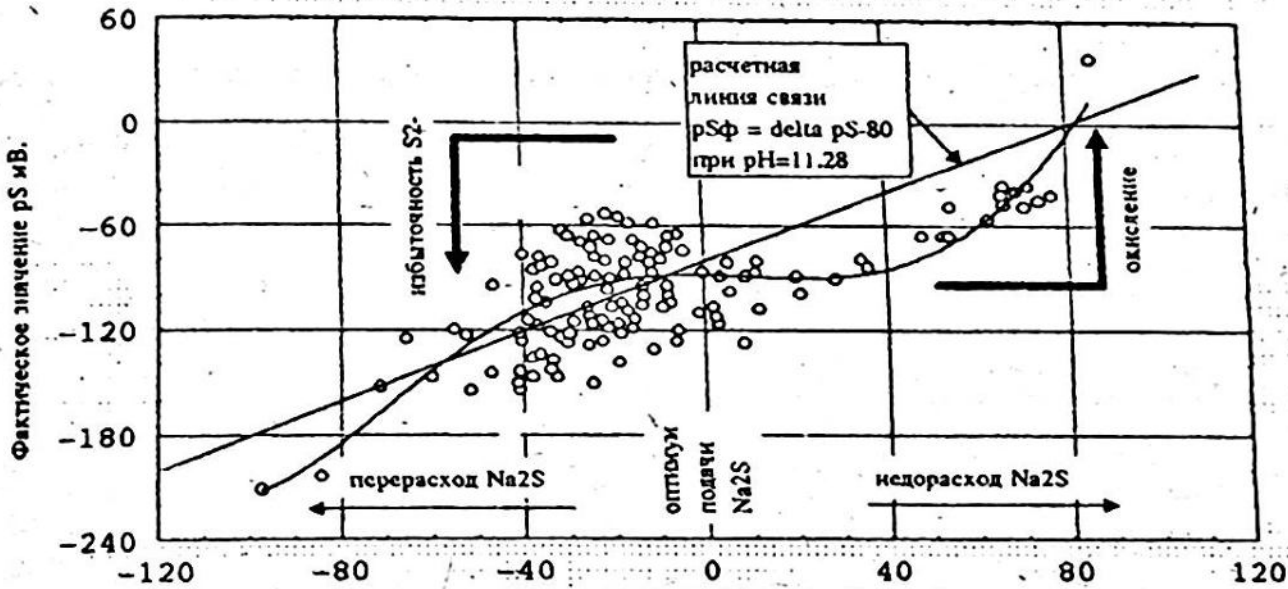


Величина отклонения фактического значения pS_f от заданного pS_z при $pH = 10,59$
 $\Delta pS = pS_f - (540 - 55 pH)$

РИС.3 Зависимость $pS - \Delta pS$ в основной флотации.

Можно наблюдать область стабильных значений pH около оптимума подачи сернистого натрия, при $\Delta pS = 0 + 20$ мВ. При недорасходе сернистого натрия наблюдается смещение точек в область более положительных потенциалов pS_f из-за усиления процессов окисления в пульпе. При перерасходе сернистого натрия в пульпе появляются избыточные сульфид-ионы и точки наблюдений смещаются в область более отрицательных значений потенциалов pS_f . Аналогичная картина наблюдается в промпродуктовом цикле рис.4.

$$pS = -88.632 - 0.041 \cdot x - 0.007 \cdot x^2 + 0 \cdot x^3 + 9.24e-7 \cdot x^4 - 7.834e-9 \cdot x^5 + \text{eps}(\Delta pS)$$



$$\Delta pS = pS_f - (540 - 55 pH)$$

Величина отклонения фактического значения (pS_f) от заданного (pS_z), мВ.

РИС.4 Зависимость $pS - \Delta pS$ в промпродуктовой флотации.

При соблюдении условий оптимизации подачи сернистого натрия наблюдается более стабильная картина поддержания рS.

Поддержание на процессе оптимальных условий подачи сернистого натрия во всех операциях обеспечивает лучшее пенообразование во флотомашинах, предопределяет достижение лучших технологических показателей.

На рис.5 представлены зависимости показаний датчиков выхода пенных продуктов от ΔpS в основной флотации (рис.5). Аналогичная картина наблюдается для контрольной флотации.

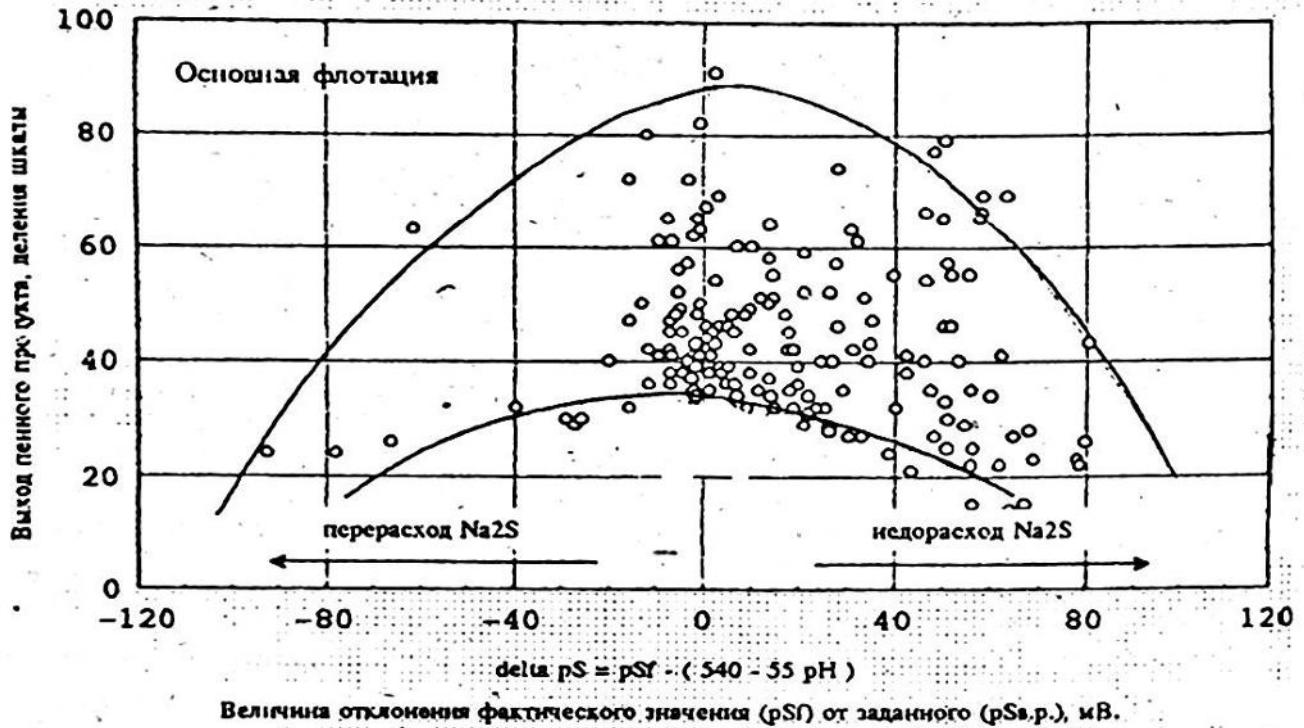
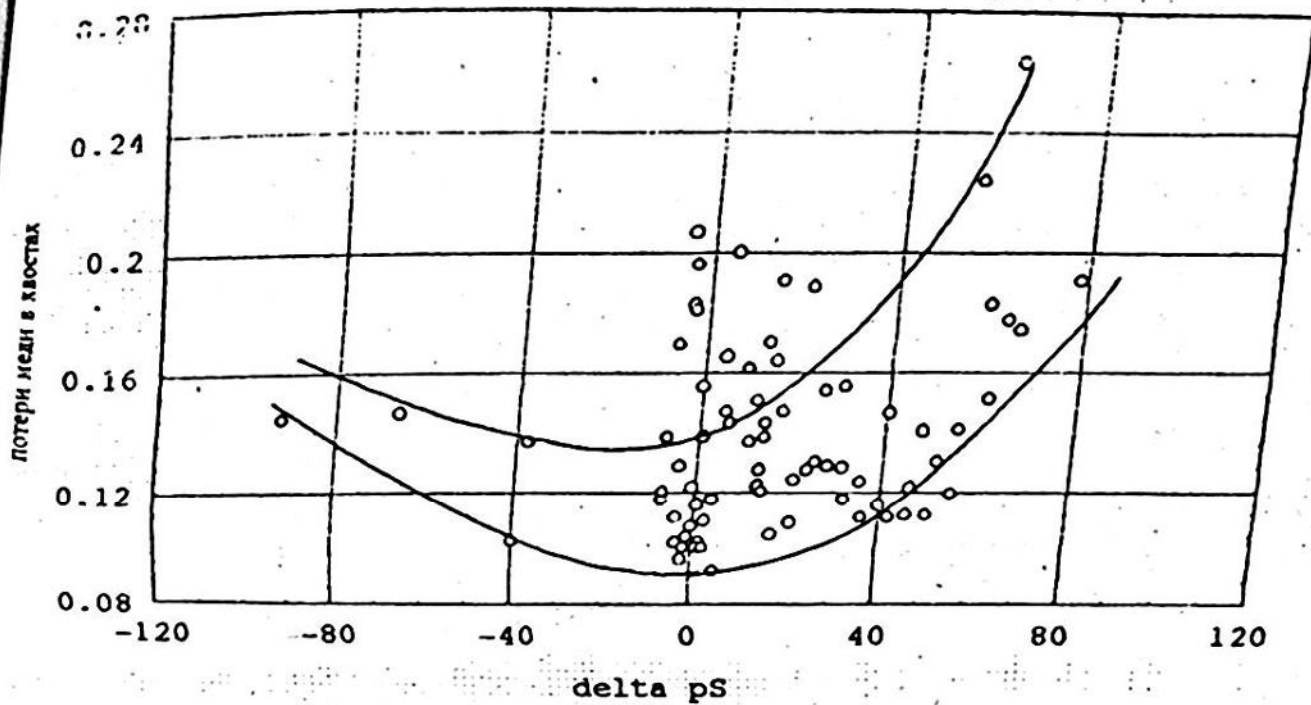


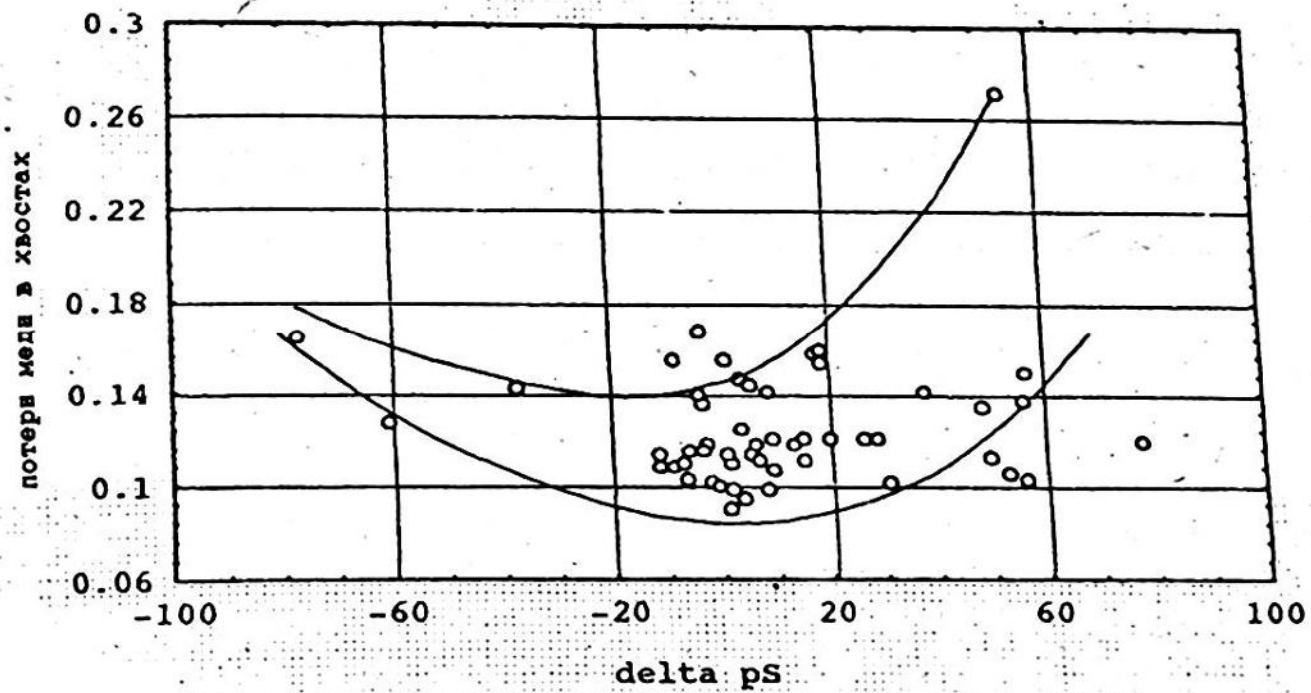
РИС.5 Зависимость выхода пенного продукта от ΔpS в основной фл.

На рисунке 6 представлена зависимость потерь меди в хвостах основной операции при различных содержаниях меди в руде. Минимум потерь соответствует условиям оптимальной дозировки сернистого натрия ($\Delta pS=0$).



потери меди от delta pS (содержание меди в руде более 0.7%)

РИС.6а



Потери меди от delta pS (при содержании меди в руде от 0.65 до 0.7 %)

РИС.6б

Представляет интерес анализ зависимости между величинами электрохимического потенциала в точке подачи сернистого натрия (pS) и в камере флотомашины основной

флотации (Eh) для различных типов перерабатываемого сырья. При типизации выделено 6 подгрупп:

Три класса легкообогащаемых сульфидных руд -

- рядовые (группы 1-3)
- первичные (группа 6)
- вторичные (группа 8)

Три класса труднообогащаемых пиритистых руд -

- сильноокисленные (группа 2)
- неокисленные (группа 4)
- с промежуточной степенью окисления (группа 5)

На всех типах руд наблюдается высокая корреляция между параметрами pS -Eh на уровне 0.75 - 0.95. Более низкий коэффициент соответствует пиритистым рудам. Линейные и нелинейные связи между параметрами представлены на рисунках (7а) и (7б).

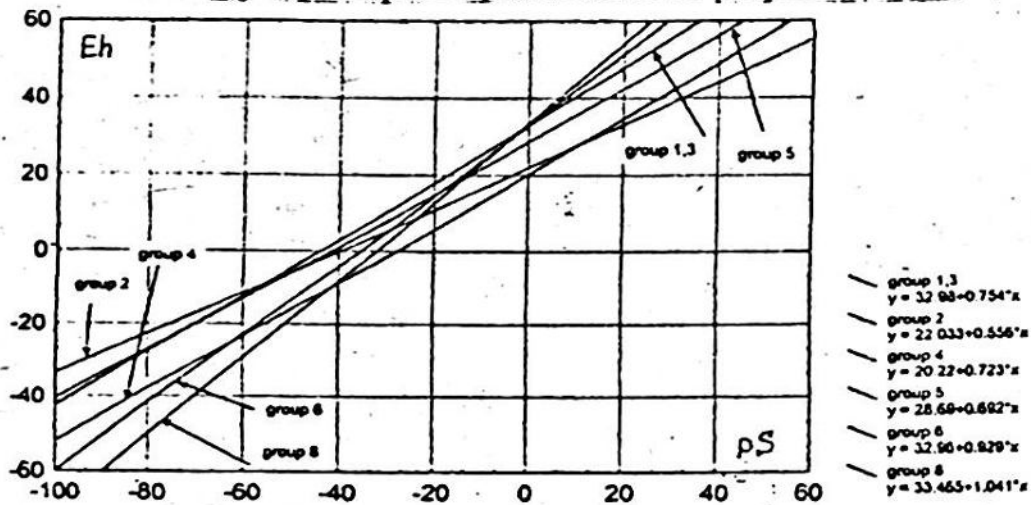


РИС.7а Зависимость Eh от pS на разных типах руд (линейная)

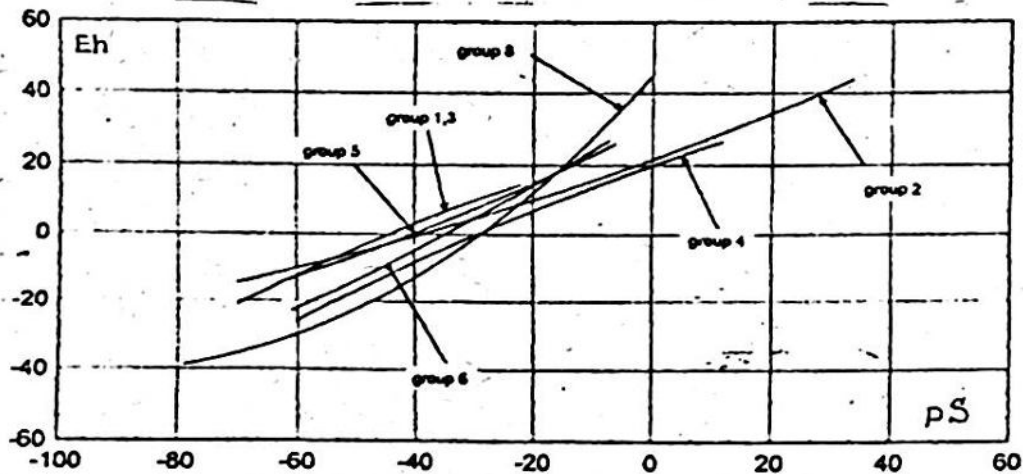


РИС.7б Зависимость Eh от pS на разных типах руд (нелинейная)

Тангенс угла наклона θ зависимости Eh - pS для различных типов руд изменяется в пределах от 0.5 до 1.0. Последний соответствует сульфидным рудам и подтверждает, что оба датчика (в агитчаше и во флотомашине) контролируют один процесс, связанный с нейтрализацией

водорастворимых медных соединений и процессами сульфидизации. Для групп окисленных пиритных руд тангенс угла наклона $\hat{\theta} \approx 0,5$, что подтверждает влияние на датчик E_{pH} дополнительной Red-ox системы, обусловленной, по нашему мнению, присутствием в жидкой фазе флотационной пульпы гидроксокомплексов железа.

Зависимости расхода сернистого натрия от величины pS на различных типах руд представлены на рисунке 8.

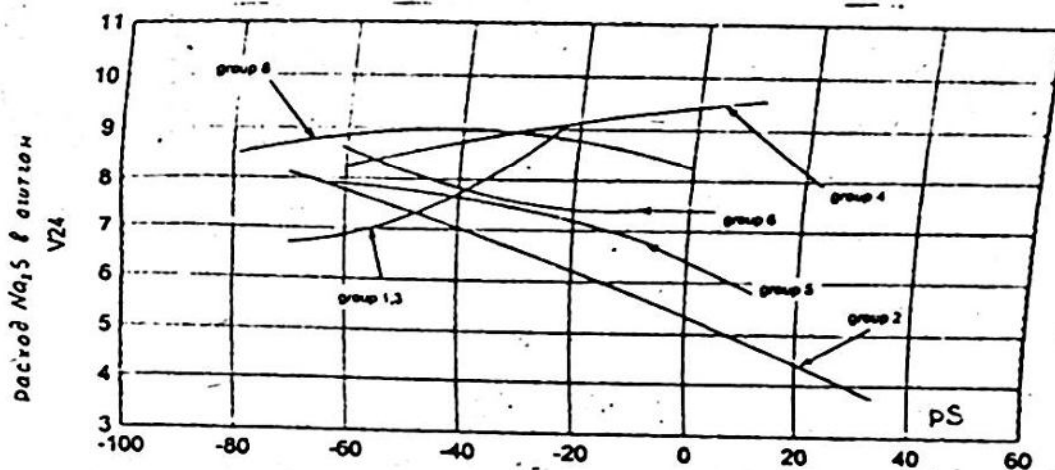


РИС.8 Зависимость расхода сернистого натрия от pS на разных типах руд.

Расход сернистого натрия на сульфидных рудах меняется слабо при изменении pS , но существенно меняется на окисленных рудах, жидкая фаза пульпы которых содержит гидроксокомплексные соединения железа. На окисленных пиритных рудах комплексные соединения железа препятствуют взаимодействию поверхности минеральных частиц с сульфидизатором. Поэтому на этих подтипах зафиксирован более низкий расход сернистого натрия и величина электрохимического потенциала в агитчанах более четко коррелирует с расходом реагента. При разрушении гидроксокомплексов железа при высоком значении величины pH резко возрастает расход сернистого натрия (рис.9). Кривые расход сернистого натрия - pS смещаются в область расходов реагента, зафиксированную на сульфидных рудах (рис.8).

Зависимость расхода сернистого натрия от параметров руды и технологического процесса исследована методом главных компонент. Исследованные параметры приведены в таблице 1.

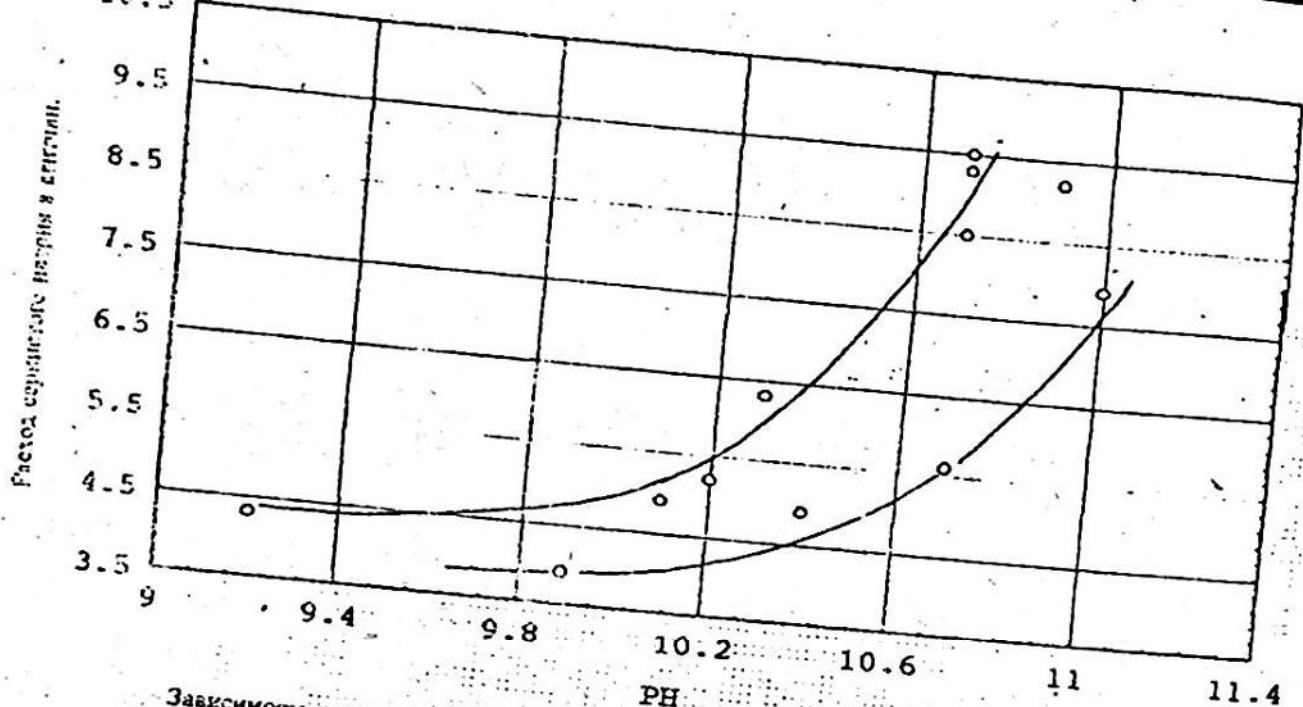


Рис. 9
 Зависимость расхода сернистого натрия от pH на окисленных пиритистых рудах.

Исследованные параметры и их статистическая оценка.

ТАБЛИЦА 1.

№ параметра по статистическому массиву	Наименование параметра	Условные обозначения	Среднее значение	СКО	Var-ин
V59	Переработка руды, т/ч				
V70	Содержание меди в руде, %	G	563	46.8	83
V41	Содержание железа в руде, %	α Cu	0.685	.078	11.4
V82	Величина pH пульпы...	α Fe	3.17	0.59	18.5
V60	Отношение содержания Fe/Cu в концентрате основной флотации.	pH	10.6	0.45	42
V61	Окислительный потенциал пульпы во флотации, мВ.	β	2.84	0.78	27.5
V56	Расход ксантогената, мг/т	ΔE_h	-3	20.4	809
V85	Выход полезного продукта с флотомашины, дел.	X	1.7	1.24	72.9
V89	Электрохимический потенциал пульпы в штативе, мВ	L	38.5	12.3	32
V88	Расход Na ₂ S, л/мин.	ΔpCu	1.0E-5	33	3.3E+8
		q	7.84	1.81	23.1

Корреляционная матрица представлена в таблице 2.

ТАБЛИЦА 2.

Парам.	G	α Cu	α Fe	pH	β	ΔE_h	X	L	ΔpCu	q
G	1									
α Cu		1								
α Fe			1							
pH				1						
β					1					
ΔE_h						1				
X							1			
L								1		
ΔpCu									1	
q										1

За длительный период наблюдений (2 месяца) обнаружены слабые связи расхода сернистого натрия с проанализированными параметрами. Следует обратить внимание на обратную зависимость между расходом сернистого натрия и зависимостью между расходом сернистого натрия и pH, создаваемым известью. Традиционно с целью снижения расхода сери натрия при сульфидизации в технологии дополнительно используется известь, в данном случае рост pH вызывает повышение расхода сернистого натрия, что связано по-видимому с присутствием в жидкой фазе флотационной пульпы гидроксокомплексов железа. Компонентная матрица весов (таблица 3) подтверждает этот вывод.

ТАБЛИЦА 3.

Матрица компонентных весов и регрессия U_i на расход сернистого натрия.

Парам.	U1	U2	U3	U4	U5	U6	U7	U8	U9
G	0.104	0.172	0.498	0.071	0.749	0.333	0.142	0.114	9.1E-3
α Cu	7.5E-3	-0.0243	-0.462	0.796	0.069	0.375	-0.046	0.048	0.045
α Fe	8.9E-2	0.541	-0.177	0.242	0.264	-0.719	0.135	-0.072	-0.018
pH	-0.559	0.117	0.0336	0.013	-0.066	-0.08	0.064	0.744	0.32
β	-0.012	0.493	-0.381	-0.385	0.163	0.276	-0.598	0.049	-0.03
Δ Eh	0.588	-0.0168	-0.58E-2	-0.047	-0.073	-0.022	-0.062	0.099	0.785
X	-0.074	-0.27	-0.59	-0.379	0.387	0.043	0.515	-0.031	0.103
L	-0.016	0.59	0.0393	-0.065	-0.403	0.382	0.552	-0.173	0.052
Δ pCu	0.563	7.31E-3	-0.104	-0.061	-0.127	0.013	0.152	0.618	-0.497
q	-0.209	0.243	0.086	0.0405	0.139	0.165	-0.062	0.276	-0.20

Наиболее значимая компонента U1 отвечает за вариацию pH и электрохимический потенциал исходной пульпы. С ростом pH уменьшается значение U1 (нагрузка по pH -0.569) и увеличивается расход сернистого натрия (коэффициент регрессии U1 на q -0.21).

Компонента U2 идентифицируется как фактор пиритности (положительные нагрузки α Fe и β), который увеличивает расход сернистого натрия (коэффициент регрессии U2 на q 0.24).

Компонента U4 фактор сульфидности нелинейно связан с q, при повышении сульфидности снижается расход сернистого натрия. На дозировку сернистого натрия оказывает так-же влияние компонента U5 (фактор переработки). Компонента естественно имеет положительную регрессию на q.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработана и внедрена система оптимального управления дозировкой сернистого натрия по электрохимическому потенциалу в коллективном цикле при флотации медно-молибденовых руд. В основу разработки положена физико-химическая модель, описывающая нейтрализацию растворимых соединений меди и дезактивацию природно активированного пирита. Система обеспечивает лучший режим пенообразования и минимальные потери металлов в хвостах во всех операциях коллективного цикла.

Литература.

1. Jones M.N., Woodcock J.T. Optimization and control of laboratory sulphidization of oxidized copper ores with an ion-selective electrode.-Proc. Australias. Inst. mining Metallurgy, 1978, N 206, June, pp. 11-19.
2. Papua-New Guinea-Engng. Mining J., 1983, vol. 184, N3, p. 166 1.
3. Шоршер Г.И., Машевский Г.Н., Горловский С.И. Изучение особенностей действия сульфидизатора при флотации окисленных свинцово-медных руд.-Обогащение руд. 1976, №2, с. 23-28.
4. Машевский Г.Н., Штабов Ю.В. Оптимизация подачи сульфидизатора при флотации медно-молибденовых руд на предприятии Эрдэнэт, Обогащение руд, 1985, N 6, с.14-18.