

**Система управления сернистым натрием
при медно-молибденовом разделении на комбинате "Эрдэнэт"**

Давааням С., Дэлгэрбат Л., Лхагва Ж. Машевский Г.Н.*

Руды, перерабатываемые на обогатительной фабрике Эрдэнэт, содержат пирит, халькозин, ковеллин, халькопирит, а также окисленные формы медных минералов; в подчиненном количестве содержатся: борнит, молибденит и теннантит. Содержание меди колеблется от 0,5 - 0,9 %, железа - от 2 до 5 %, молибдена - от 0,015 до 0,050 %.

Упрощенная блок-схема технологии обогащения представлена на рис. 1.

В настоящем исследовании рассматривается объект первой молибденовой перемычки, которая главным образом формирует готовый молибденовый концентрат за счет регулирования расхода сернистого натрия.

При решении проблемы автоматического управления дозировкой сернистого натрия необходимо было решить две задачи:

- выбор датчика контроля ионного параметра пульпы;
- определение оптимальных настроек работы системы регулирования подачи сернистого натрия.

Для контроля концентрации сульфидных ионов в практике известно применение аргентитовых (Ag_2S), минеральных и платиновых электродов. От использования аргентитовых электродов нам пришлось отказаться по причине быстрого обрастания поверхности электродов молибденитом. Вторым недостатком этих электродов является постепенное смещение электродной функции в положительную область по причине изменения термодинамических характеристик кристалла из-за инжекции атомов металла из области контакта кристалла с отводным проводником.

Использование минеральных электродов для целей контроля процесса депрессии сульфидов меди и железа представляет особый интерес, поскольку в области депрессии происходит резкий скачок термодинамических характеристик, вследствие поверхностных изменений (рис. 2). Особенно четкий скачок наблюдается на халькозиновом электроде.

* — (Россия)

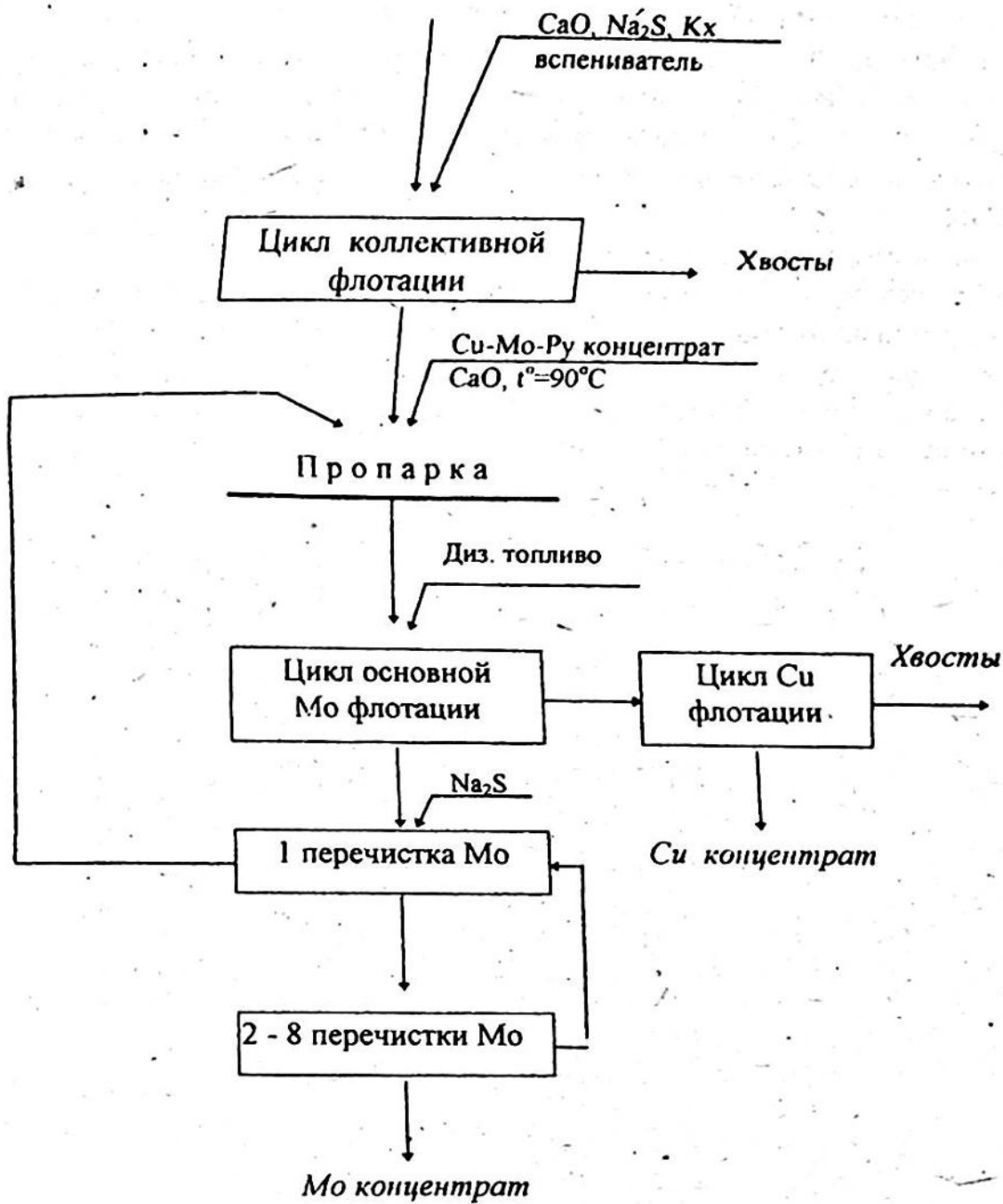


Рис. 1

В области высоких концентраций сульфидных ионов после скачка электрод становится обратимым по отношению к сульфид-иону в соответствии с электрохимической реакцией:

$\text{Cu}_2\text{S} + \text{S}^{2-} \rightarrow 2 \text{CuS} + 2\text{e}$, которой соответствует теоретическая нернстовская зависимость: $E_h = -0,54 - 0,029 \lg [\text{S}^{2-}]$, в.

Поэтому этот электрод был первоначально использован использован для испытания на промышленном процессе. После установки электродов были определены разгонные характеристики объекта при скачкообразном изменении

расхода сернистого натрия. В соответствии с найденным временем транспортного запаздывания ($t = 4$ мин) и постоянной времени объекта ($T = 4$ мин) произведена настройка коэффициентов регулирования по Пи-закону. Особенностью программного обеспечения при компьютерном управлении явилось:

- двойной опрос аналогового датчика с целью повышения надежности работы АЦП;
- организация усреднения измеренных значений;
- организация 10-ти минутной паузы выдачи управляющего сигнала;
- организация зоны нечувствительности ± 2 мВ;
- поскольку подача Na_2S осуществляется четырьмя дозаторами в одну точку, то программа осуществляет их последовательное включение по достижении границы диапазона управляющего сигнала.

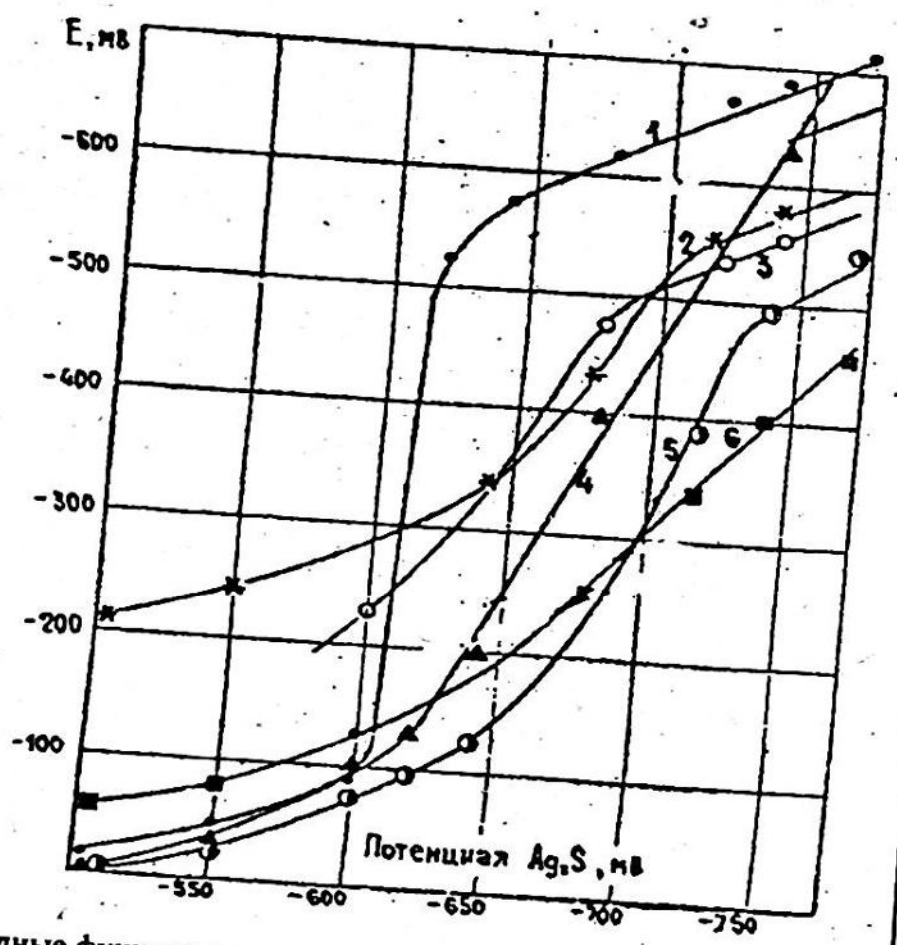


Рис. 2. Электродные функции минеральных электродов в растворах Na_2S (60°C): 1 - халькозин; 2 - галенит; 3 - висмутин; 4 - пирит; 5 - халькопирит; 6 - пирротин.

Фрагмент работы системы в режиме настройки динамических коэффициентов управления представлен на рис. 3.
 Длительные промышленные испытания датчика в течение двух месяцев показали необходимость еженедельной очистки поверхности электрода от частиц молибденита и через два месяца наблюдалось разрушение кристалла и

резкое изменение электродной функции. Невоспроизводимость электродных функций отдельных образцов электродов и их трудная доступность заставили отказаться от дальнейшего использования этой модификации электрода.

Использование платинового электрода в качестве датчика концентрации сульфидных ионов в цикле медно-молибденового разделения показала, что поверхность электрода наиболее устойчива к обрастанию молибденитом и требуется прочистка его поверхности один раз в две недели. Электродные функции отдельных образцов отличаются хорошей воспроизводимостью и не требуется их специальной калибровки перед использованием.

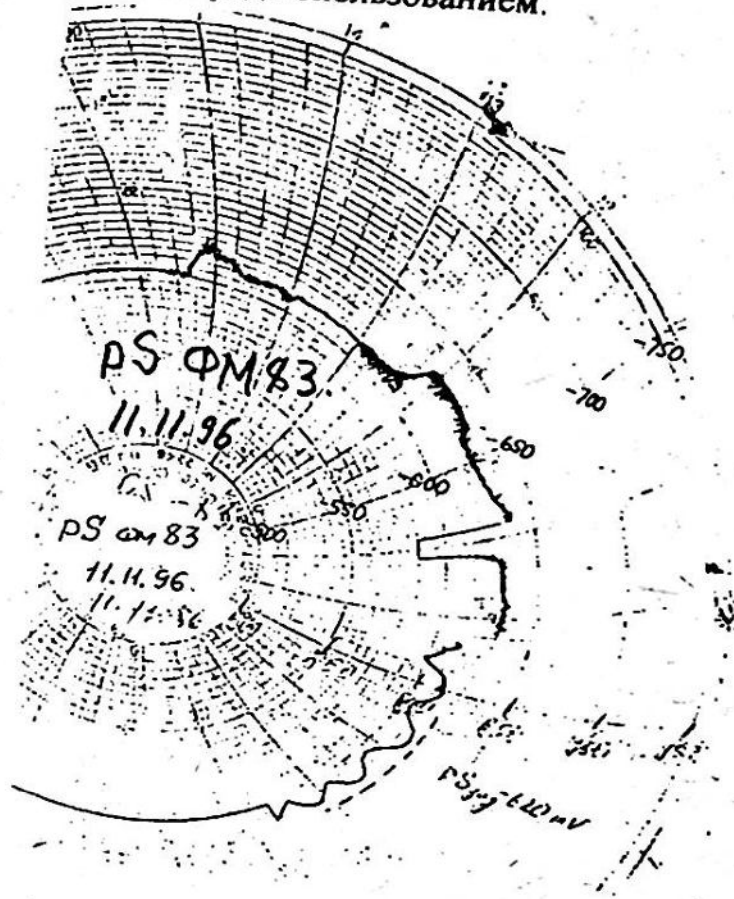


Рис. 3. Фрагмент настройки динамических характеристик системы

Электрод серийно выпускается промышленностью и поэтому он был принят в качестве датчика для промышленной эксплуатации.

Использование платинового электрода для контроля электрохимического потенциала пульпы имеет также технологическое преимущество. Момент раз- депрессии пирита сопровождается более резким смещением электрохимического потенциала пульпы в положительную область, что повышает чувствительность и надежность работы систем автоматического регулирования.

Технологическая оценка работы системы регулирования сернистого натрия была выполнена методом главных компонент, поскольку параметры флотационного процесса сильно коррелированы между собой и обычный регрессионный анализ в этом случае не применим.

Для исследования собран статистический массив по часовым данным работы фабрики. Массив получен при ведении процесса в оптимальной области и поэтому поиск алгоритма управления заданием системе регулирования электрохимического потенциала пульпы становится более достоверным.

Статистические характеристики проконтролированных параметров приведены в табл. 1.

Таблица 1-

Статистические характеристики параметров

№ п/п	Параметр	Среднее значение	Среднеквадратическое отклонение	Вариация, %	Условные обозначения
1	Электрохимический потенциал, мВ	622	10,8	1,7	ρS
2	Расход Na_2S , в ед. управляющего сигнала	243	17,8	7,3	Na_2S
3	Содержание Cu в коллективном концентрате, %	10	1,04	10,4	α_{Cu}
4	Содержание Mo в коллективном концентрате, %	0,278	0,08	29	α_{Mo}
5	Содержание Fe в коллективном концентрате, %	28,3	0,61	2,2	α_{Fe}
6	Содержание Cu в молибденовом концентрате, %	0,94	3,96	42,1	β_{Cu}
7	Содержание Fe в молибденовом концентрате, %	0,74	0,36	48,6	β_{Fe}
8	Отношение $\alpha_{Fe} / \alpha_{Cu}$	2,86	0,33	11,7	
9	Содержание Mo в молибденовом концентрате, %	52,8	2,0	3,8	Mo
10	Содержание Mo в медном концентрате, %	0,076	0,028	36,8	$Cu(Mo)$
11	Содержание Mo в хвостах медного цикла, %	0,037	0,017	46,8	θ

Метод главных компонент преобразует вектора исходных признаков (параметров флотационного процесса) в математические вектора (главные компоненты), которые ортогональны между собой и, поэтому, каждый из них отражает определенную сторону исследуемого объекта: тип руды, регулировочные характеристики процесса, управляющие параметры и т.д.

С этой точки зрения рассмотрена матрица главных компонент (табл. 2), рассчитанная по признакам, отмеченным в первом столбце. В нижней строке занесены коэффициенты регрессии (стандартизированный масштаб) компонент на выходную функцию - содержание молибдена в молибденовом концентрате.

Таблица 2

Компонентная матрица I

	U_1	U_2	U_3	U_4	U_5	U_6	U_7	U_8
pS	.23	.44	.36	.35	.59	.27	.27	.04
Na_2S	.37	.25	-.38	-.52	.003	-.15	.60	.04
α_{Cu}	↓ -.48	.25	-.15	-.22	.01	.48	.08	-.63
α_{Mo}	.14	○ .63	0.18	-.15	.11	-.26	-.67	-.04
α_{Fe}	↑ .39	-.33	-.22	-.28	.23	.65	-.33	.18
β_{Cu}	-.06	-.06	.74	-.66	.08	-.09	-.06	-.01
β_{Fe}	-.36	-.30	-.27	-.11	.76	-.35	-.009	.01
$\alpha_{Fe} / \alpha_{Cu}$	.52	-.28	.07	.12	.08	-.23	-.05	-.76
Mo	.42	.14	.08	-.05	-.28	.18	-.09	.007

Нагрузки исходных признаков на каждую компоненту позволяют выполнить технологическую интерпретацию результатов расчета.

Компонента U_1 - отражает тип перерабатываемого коллективного концентрата. Положительные нагрузки $\alpha_{Fe} = 0.39$, $\alpha_{Fe/Cu} = 0.52$ и отрицательная нагрузка $\alpha_{Cu} = -0.49$ свидетельствуют о развитии фактора пиритности в положительном направлении компоненты и фактора медистости в обратном направлении. Высокий коэффициент регрессии этой компоненты на выходную функцию 0.42 говорит о том, что на пиритистом коллективном концентрате легче получить молибденовый концентрат, чем на медистом продукте.

Положительные нагрузки концентрации pS и расхода сернистого натрия на U_1 подтверждают технологический факт улучшения качества молибденового концентрата за счет повышения задания по pS системе регулирования.

Компонента U_2 - отражает влияние режима по расходу сернистого натрия на получаемый молибденовый концентрат. Она отражает также известный факт более легкого получения молибденового концентрата при возрастании содержания молибдена в питании ($r\alpha_{Mo} = 0.63$).

Компонента U_3 - показывает, что вариация меди в молибденовом концентрате практически не влияет на содержание молибдена в концентрате и изменение содержания молибдена в концентрате происходит за счет пирита (компонента U_5). Это подтверждает также график, представленный на рис. 4.

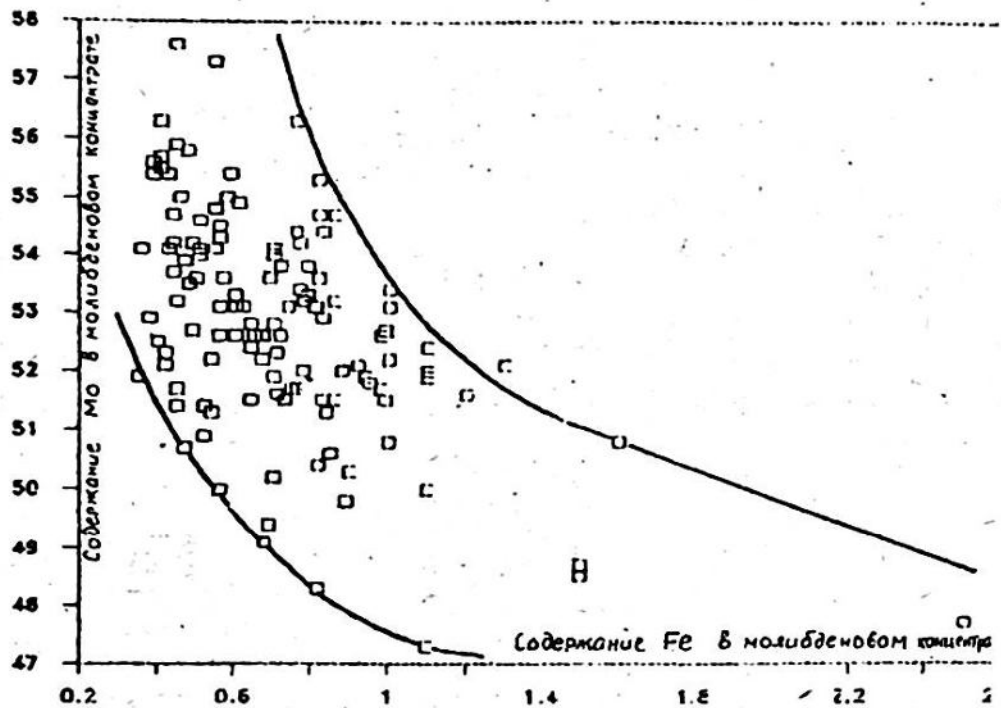


Рис. 4.

Компонента U_4 - является регулировочной ($pS = + 0.35$, $Na_2S = - 0.52$), и отражает принцип действия системы: с ростом концентрации сульфидных ионов выше задания снижает расход сернистого натрия. В то же время вариации самого расхода сернистого натрия (компонента U_7) не отражается на качестве молибденового концентрата.

Анализ влияния рассматриваемых параметров на содержание примесей в молибденовом концентрате выполнен по компонентной матрице, представленной в таблице 3.

Таблица 3

Компонентная матрица 2

	U_1	U_2	U_3	U_4	U_5	U_6	U_7
pS	.17	.47	.68	.02	.47	.26	.04
Na_2S	.36	.36	-.52	.32	-.10	.60	.04
α_{Cu}	-.51	.19	-.32	-.07	.45	.07	-.62
α_{Mo}	.08	.69	-.10	.15	-.20	-.66	-.04
α_{Fe}	.45	-.23	-.32	.10	.10	-.34	.18
β_{Mo}	.29	.18	-.17	-.92	-.04	.06	-.005
$\alpha_{Fe} / \alpha_{Cu}$	.55	-.21	.20	.10	-.18	-.06	-.76
β_{Cu}	-.07	-.01	.09	-.10	.04	.12	.01
β_{Fe}	-.50	-.38	-.15	.26	.09	-.04	-.06
$Cu(Mo)$	.31	.58	.01	.009	.28	-.19	.02
ϑ	-.04	-.18	.12	-.14	-.05	-.17	-.03

Компоненты U_1 , U_2 , U_3 интерпретируются аналогично компонентам U_1 , U_2 и U_4 соответственно табл. 2.

На пиритистых продуктах более легко получают молибденовые концентраты с меньшим содержанием железа. На медистых продуктах возрастает содержание железа в молибденовом концентрате, по-видимому из-за сростков сульфидов меди и железа.

Повышение задания по pS (компонента U_2) снижает содержание железа в молибденовом концентрате, однако эта зависимость носит нелинейный характер (рис. 5).

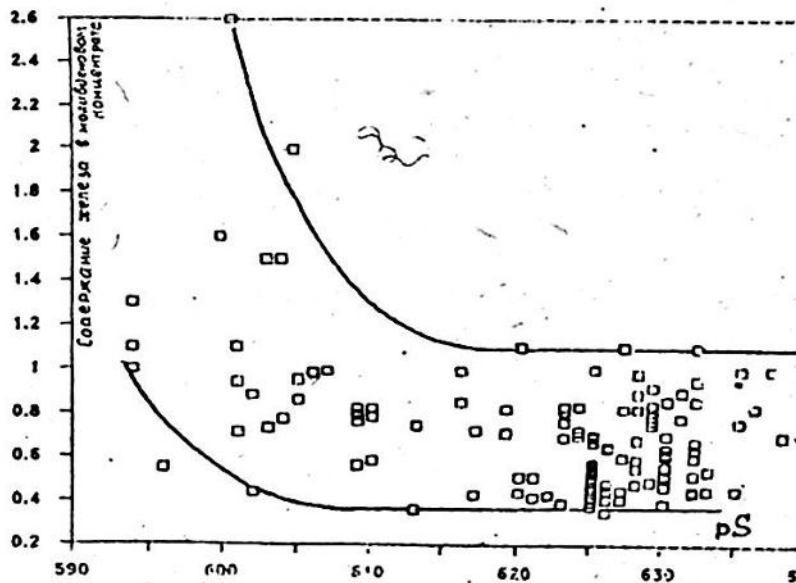


Рис.5

Компонента U_4 - молибденовый фактор. Регрессия компоненты на содержание железа в молибденовом концентрате ($r = 0.26$) подтверждает, что вариация молибдена в молибденовом концентрате в основном определяется флотуемостью пирита.

Компонента U_5 - фактор содержания железа в питании. Влияние этого фактора на качество концентрата нивелируется хорошей настройкой процесса.

Ни один из исследованных факторов не сказывается на содержание меди в молибденовом концентрате. По-видимому, основным параметром, влияющим на содержание меди в молибденовом концентрате, является качество пропарки.

Анализ потерь молибдена рассматривается через функции содержания молибдена в медном концентрате и хвостах медного цикла (табл. 3).

Обращает на себя внимание самое сильное влияние на потери молибдена в медном концентрате компонента режима по сернистому натрию (U_2 , $r = 0.58$). Стремление технологического персонала обезопасить себя большими дозами сернистого натрия с целью обеспечения кондиционного молибденового концентрата приводит к увеличению потерь молибдена.

Потери молибдена увеличиваются с усилением пиритного фактора U_1 и U_5) и увеличением молибдена в питании (U_6).

Наибольший интерес для разработки алгоритма управления дозировкой сернистого натрия представляет анализ влияния параметров коллективного концентрата на расход сернистого натрия и электрохимический потенциал пульпы (табл. 4).

Таблица

Компонентная матрица 3

	U_1	U_2	U_3
α_{Cu}	↑ .61	.21	↑ 69 0.9 .72
α_{Mo}	.29	-.95	
α_{Fe}	↓ -.68	-.14	
Na_2S	-.25	-.68	.23
pS	.04	-.52	-.19

Компоненты U_1 и U_2 имеют ту же интерпретацию.

Компонента U_3 - фактор общего количества сульфидов в коллективном концентрате. Увеличение количества металлов в коллективном концентрате приводит к снижению концентрации сульфидных ионов в пульпе и требует увеличенного расхода сернистого натрия.

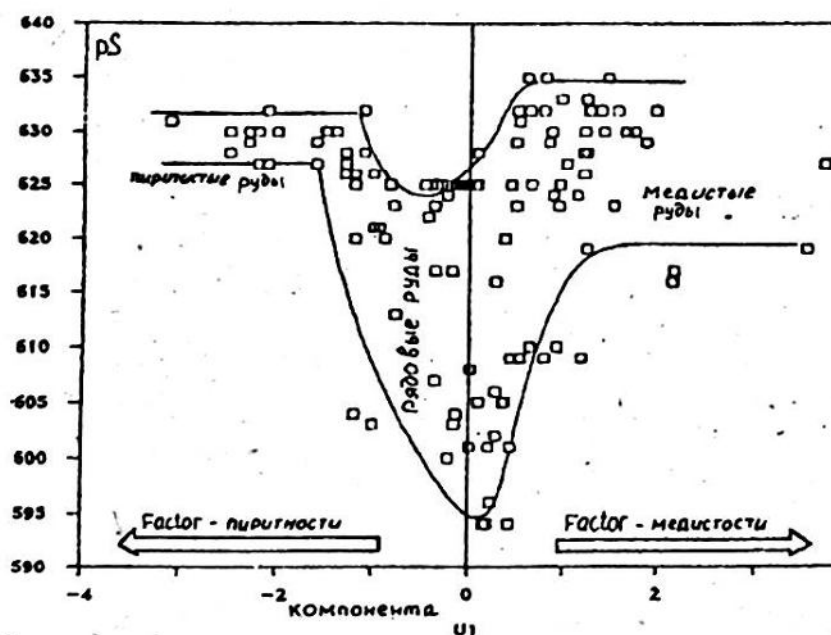


Рис.6

Отсутствует линейная корреляция наиболее информативной компоненты U_1 на значение электрохимического потенциала. Поэтому были выполнены работы по определению нелинейного влияния компоненты U_1 на функции откли-

ка, результаты которых графически представлены на рис. 6 и 7. Представленная зависимость $pS = f(U_1)$ описывается полиномом

$$pS = 617 + 3.35 U_1 + 4.4 U_1^2 - 0.877 U_1^3 - 0.06 U_1^5.$$

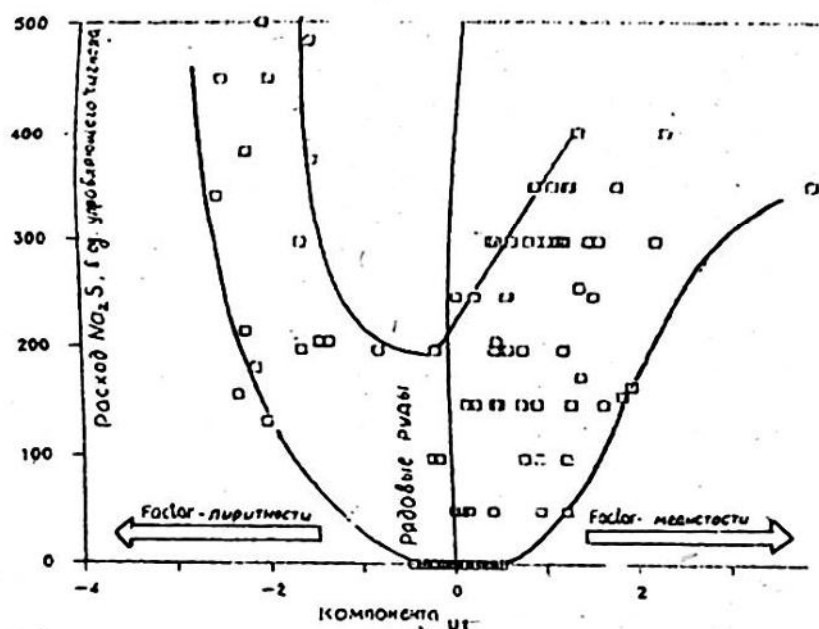


Рис. 7.

Из графика видно, что на пиритистых и медистых разновидностях коллективного концентрата требуется поддержание большего задания системе регулирования электрохимического потенциала, чем на рядовых рудах, расположенных в области нулевых значений компоненты U_1 . Соответственно, в области рядовых руд для обеспечения более низкого задания по pS требуются меньшие расходы сернистого натрия и обеспечивается экономия реагента. На рис. 8 демонстрируется фрагмент работы системы автоматической стабилизации электрохимического потенциала в течение суток. Система обеспечивала существенную экономию сернистого натрия по сравнению с традиционным уровнем дозировки при ручном регулировании и поддерживала получение качества молибденового концентрата.

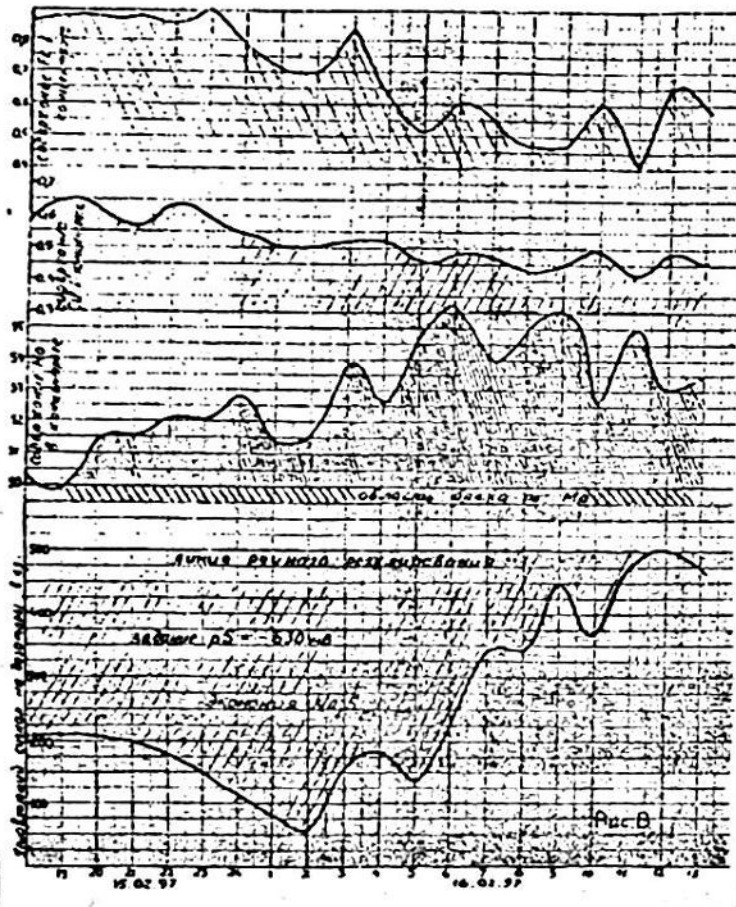


Рис. 8.

Таким образом, предложен новый способ управления дозировкой сернистого натрия при медно-молибденовом разделении, включающий стабилизацию заданного электрохимического потенциала пульпы путем регулирования расхода сернистого натрия.

Задание системе стабилизации электрохимического потенциала изменяется в зависимости от значений компоненты, описывающей качество поступающего питания.