

УДК 622.7

*В.В. Морозов***УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССАМИ ОБОГАЩЕНИЯ  
НА ОСНОВЕ ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ  
И ОЦЕНКИ СОРТНОСТИ РУД**

Семинар № 19

**П**рименяемые в настоящее время на обогатительных фабриках системы автоматического управления процессами обогащения используют методы управления, предполагающие стабилизацию технологических параметров на уровнях, задаваемых специалистами – технологами, которые в свою очередь исходят из режимных карт для соответствующих процессов и из результатов наблюдения за их конечными результатами (качеством концентрата, извлечением компонентов). Недостатки таких систем и методов связаны с временными задержками автоматизированных систем аналитического контроля (АСАК), значительной вероятностью негативных эффектов от "человеческого фактора" (неправильных или несвоевременных решений технологического персонала), ограниченностью систем контроля за технологическими процессами.

Эффективный подход к решению задачи оптимизации процесса флотации предложил проф. Г.Н. Машевский с сотрудниками [1, 2]. Наряду с такими общепринятыми приемами как оптимизация реагентного режима на основе контроля параметров ионного состава флотационной пульпы и управления параметрами флотации по статистико-технологическим моделям, ими было предложено методика экспертного управления на основе подсистемы технологической типизации перерабатываемого сырья в режиме реального времени.

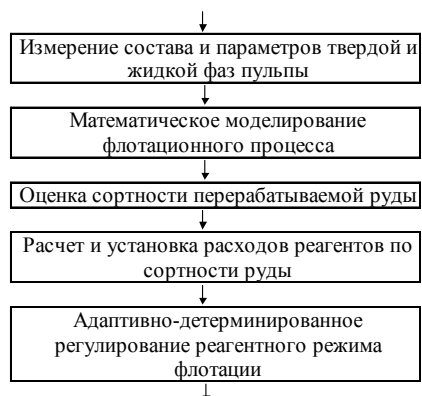
Недостатки статистических моделей, обусловленные в первую очередь сильным

взаимовлиянием параметров, заставили обратиться к иному методу моделирования и экспертной оценки, названному "Методом главных компонент". Метод предполагает использование в качестве параметров оценки ортогональных векторов (главных компонент), получаемых путем выбора наиболее значимых проекций этих векторов на конечные технологические показатели [1, 2]. Вновь разработанные параметры в силу их ортогональности позволили с использованием построения двух- или трехмерных систем систематизировать информацию о параметрах технологического процесса и выделить наиболее представительные типы сортов перерабатываемых руд. Проведение типизации перерабатываемого сырья являлось основой для выбора оптимального технологического режима флотации, включая параметры работы оборудования и реагентного режима.

Испытания разработанного метода и алгоритма на ряде отечественных и зарубежных фабрик выявили их эффективность [1, 2]. При этом обозначились и определенные недостатки метода, связанные в первую очередь с уязвимостью алгоритма к "нерегламентным" режимам, таким как отказ или ракалибровка датчиков, а так же неопределенность в выборе параметров управления при переработке смесей руд.

Для разработки эффективных и устойчивых систем и алгоритмов управления параметрами флотации (и других обогащательных процессов) нами были использованы следующие принципы:

**Рис. 1. Общий алгоритм управления процессом флотации с использованием метода оценки сортности перерабатываемой руды**



1. Алгоритм расчета параметров технологического режима должен базироваться на информации о сортности руд и устойчивых данных об оптимальных режимных параметрах обогащения отдельных сортов руд.

2. Алгоритм оценки руд должен максимально использовать математическую модель обогатительного процесса.

3. Алгоритм оценки сортности руд должен быть устойчив к разовым и систематическим отказам анализаторов состояния технологического процесса.

4. Алгоритмы управления параметрами обогатительных процессов на основе

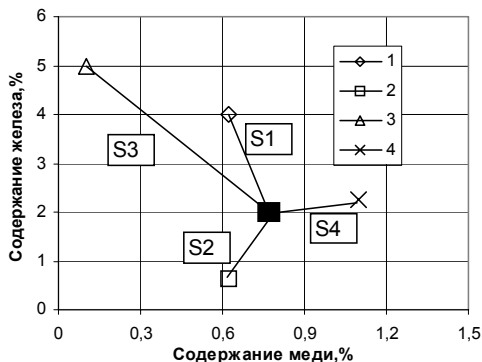
оценки сортности руд не должны противоречить иным действующим локальным системам управления.

Общий алгоритм управления процессом флотации представлен на рис. 1.

Для измерения параметров твердой фазы целесообразно использовать поточные

**Значения параметров модели коллективной флотации различных типов руд**

№	Параметр	Первичные халькопиритовые руды	Борнит-халькозин-молибденитовые руды	Первичные пиритные руды	Окисленные пиритные руды
1	pH пульпы	10,5	10,3	10,7	10,2
2	Eh пульпы, мВ	130	80	120	150
3	Содержание меди в коллективном концентрате, %	11,5	14,0	11,0	10,5
4	Содержание молибдена в коллективном концентрате, %	0,25	0,34	0,15	0,12
5	Извлечение меди в коллективный концентрат, %	84,1	85,4	82,5	81,3
6	Извлечение молибдена в коллективный концентрат, %	35,0	45,0	30,0	25,0
7	Соотношение медь/железо в руде	0,24	0,44	0,2	0,22
8	Соотношение медь/железо в концентрате	0,80	1,7	0,45	0,42
9	Соотношение молибден/медь в руде	0,051	0,064	0,042	0,040
10	Соотношение молибден/медь в колл. концентрате	0,031	0,044	0,022	0,020
11	Соотношение железо/молибден в руде	88	45	125	120
12	Соотношение железо/молибден в колл. концентрате	9,5	4,6	17,4	16,5



рентгенофлуоресцентные анализаторы ("Amdel-ISA", Австралия; "РА-931", Россия), обеспечивающие непрерывное и оперативное измерение содержаний элементов с атомной массой более 40 (начиная с Ca). Контроль состава жидкой фазы пульпы может быть проведен с использованием различных систем, в том числе предполагающих операции отбора и фильтрации жидкой фазы пульпы, или использующие погружные зонды [3].

Математическое моделирование процесса флотации предполагает установления значений промежуточных параметров технологического процесса, соответствующих каждому базовому типу руды. Основываясь на результатах геологических и технологических исследований, проведенных на ГОКе "Эрдэнэт", для месторождения Эрдэнэтийн-Овоо были выбраны четыре основных типа: первичные халькопиритовые руды; борнит-халькозин-молибденитовые руды; первичные пиритные руды и окисленные пиритные руды. Эти руды характеризуются не только характерными признаками химического и минералогического состава, но и обособленным пространственным залеганием в месторождении. Это делает задачу определения сортности руд как смеси руд заданных сортов математически определенной и корректной.

Процесс определения сортности руд заключается в определении массовых долей руд выделенных типов в руде, посту-

Рис. 2. Пример оценки состава руды в двумерном пространстве: 1, 2, 3, 4 – типы руд; 5 ( ) – руда текущей добычи; S1, S2, S3, S4 – отклонения параметров руды текущей добычи от параметров руд типов 1, 2, 3, 4

пающей на переработку. Существует несколько математических методов определения состава смеси по ее параметрам. Один из вариантов поясняется рис. 2.

Отклонения параметров руды поступающей на переработку от типовых сортов руд характеризуется величиной отклонений S1–S4. Обратные величины к параметрам S1–S4 D1–D4 характеризуют сходство руды 5 к типам руд 1–4. Нормировка величин D1–D4 позволяет рассчитать массовые доли руд 1–4 в руде 5, т.е. определить сортность руды 5.

На практике количество контролируемых параметров должно быть больше чем количество выделенных типов руд. В таблице представлены параметры процесса руды и продуктов обогащения медно-молибденовых руд, используемые для оценки сортности руд, поступающих на переработку.

На рис. 3 представлены результаты мониторинга сортности руды, поступающей на переработку на обогатительную фабрику ГОКа "Эрдэнэт" с использованием разработанного алгоритма, близкому к описанному выше. Полученные результаты позволяют осуществлять предварительное определение реагентного режима флотации, например с использованием метода расчета средневзвешенных расходов реагентов.

Упрощенные уравнения для расчета расходов реагентов, учитывающие сортность перерабатываемой руды имеют следующий вид:

Расход извести:

$$LD = d_1LD_1 + d_2LD_2 + d_3LD_3 + d_4LD_4 \quad (1)$$

Расход собирателя:

$$CL = d_1CD_1 + d_2CD_2 + d_3CD_3 + d_4CD_4 \quad (2)$$

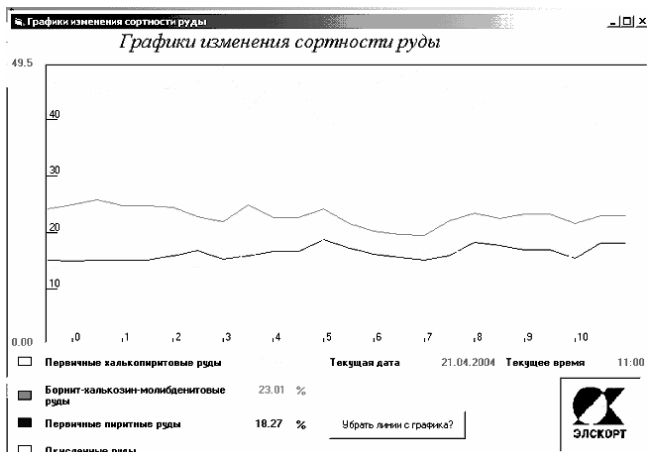


Рис. 4. Интерфейс программы оценки сортности руды на обогатительной фабрике ГОКа «Эрдэнэт»

Расход вспенивателя:

$$FD = d_1FD_1 + d_2FD_2 + d_3FD_3 + d_4FD_4 \quad (3)$$

где  $LD_1, LD_2, LD_3, LD_4$  – расход извести для руды типа 1, 2, 3, 4;  $CD_1, CD_2, CD_3, CD_4$  – расход собирателя для руды типа 1, 2, 3, 4;  $FD_1, FD_2, FD_3, FD_4$  – расход вспенивателя для руды типа 1, 2, 3, 4;  $d_1, d_2 + d_3 + d_4$  – доля руд типа 1, 2, 3, 4.

На практике при расчете расходов реагентов следует учитывать эффекты влияния при совместной переработке руд различных типов, вследствие чего уравнения 1–3 будут иметь более сложный вид.

Применение алгоритма оценки сортности руд не означает отказа от использо-

вания оптимизационных методов управления флотационным процессом. Компоновка алгоритмов управления процессом флотации осуществляется на принципе двух-трехуровневого управления, когда после базовой оценки оптимальных параметров реагентного режима осуществляется корректировка расходов определенных ключевых реагентов или параметров, например величины pH, с использованием экономических критериев оптимизации (программа "АДДЕФЛОТ") [4].

Применение метода определения сортности руды, поступающей на переработку возможно и при обогащении руд иными методами, нежели флотация. В этом случае набор параметров, по которым производится определение схожести руды к типовым рудам, будут наряду со свойствами исходной руды включать и показатели обогащения (содержания и извлечения ценных компонентов).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Машевский Г.Н., Штабов Ю.В. Оптимизация подачи сульфидизатора при флотации медно-молибденовых руд на предприятии "Эрдэнэт" // Обогащение руд. - 1985. - №6. - С. 14-18.
2. Машевский Г.Н., Кокорин А.М. Разработка научных основ совершенствования технологии и создания алгоритмической базы для компьютерного управления флотацией руд месторождения "Эрдэнэтин-Овоо" с целью улучшения рентабельности производства // Материалы научной конференции, Эрдэнэт.
3. Улиг С. Мультиэлементный анализ контроля процесса и качества с применением современного рентгенофлуоресцентного анализа // Erzmetall, - 1998, 51, №9. – С. 610-615.
4. Столяров В.Ф., Коновалов Н.М., Морозов В.В., Авдохин В.М. Оперативный контроль и регулирование процесса флотации полиметаллических руд с использованием физических и электрохимических методов анализа // Горный журнал, 2002, №11-12. – С. 58-62.

#### Коротко об авторах

Морозов В.В. – профессор, доктор технических наук, зав. кафедрой химии, Московский государственный горный университет.

© З. Ганбаатар, В.И. Соколов,

УДК 622.7

З. Ганбаатар, В.И. Соколов

### СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ И КЛАССИФИКАЦИИ СМЕШАННЫХ МЕДНО-МОЛИБДЕНОВЫХ РУД

Семинар № 19

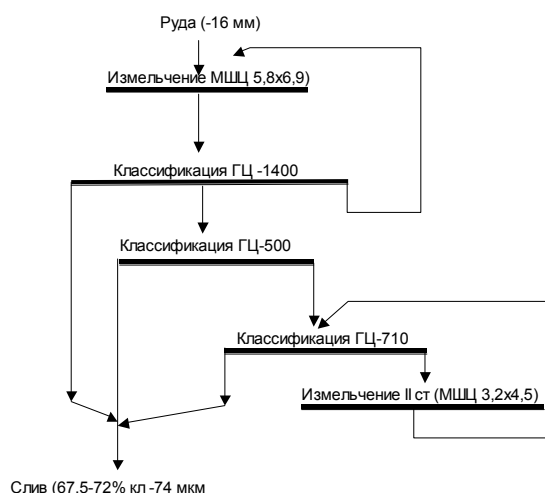
Основными технико-экономическими задачами, требовавшими решения при оптимизации циклов измельчения являются повышение извлечения ценных компонентов, качества концентратов и производительности установленного оборудования [1]. Основными технологическими задачами являются модернизация схем измельчения и классификации, обеспечивающих максимальное раскрытие сростков при минимальном переизмельчении ценных компонентов и разработка эффективного режима удаления мелких фракций шаровой загрузки из процесса шарового измельчения [2].

*Разработка и внедрение схемы шарового измельчения с применением многостадийной классификации*

На обогатительной фабрике СП ГОКа "Эрдэнэт" была запроектирована одностадийная схема измельчения в шаровых мельницах МШЦ 5.5х6.5, работающих в замкнутом цикле с гидроциклонами диаметром 1400 мм (ГЦ-1400). Для доизмельчения продуктов флотации на каждой секции преду-

смотрены шаровые мельницы МШР 3.2х4.5 с гидроциклонами ГЦ-710. В процессе реконструкции фабрики были установлены более производительные мельницы и реализована двухстадийная схема измельчения, обеспечивающая получение продукта крупностью 65-67 % кл. -74 мкм, пригодного для проведения процесса коллективной флотации, обеспечивающего достаточно высокое извлечение меди из руд, в которых медь представлена крупновкрапленными фракциями преимущественно вторичных сульфидов меди.

Основываясь на результатах проведенных исследований была предложена схема, предполагающая использование многоступенчатой операции классификации. Усовершенствованная схема (рисунок) включает установленные на первой стадии классификации трех-



*Модернизированная схема измельчения и классификации смешанной медно-молибденовой руды*

Таблица 1  
**Технологические показатели при внедрении схемы измельчения с применением трехступенчатой классификации**

Параметры	Исходная схема	Двухстадиальная схема	Двухстадиальная схема с трехступенчатой классификацией
Содержание класса +200 мкм	12,21	8,9	8,8
Содержание класса +160	14,7	10,5	10,3
Содержание класса -80 мкм	64,13	66,76	67,5
Содержание класса -5 мкм	10,5	10,0	9,0
Содерж. класса +5-160 мкм	74,8	79,5	80,7

Таблица 2  
**Изменение показателей флотации при внедрении схемы измельчения с применением трехступенчатой классификации**

Наименование продуктов	Исходная схема	Двухстадиальная схема	Двухстадиальная схема с трехступенчатой классификацией
Содержание меди в руде	0,887	0,874	0,645
Содержание меди в коллективном концентрате	12,66	13,23	13,73
Извлечение меди в коллективный концентрат	85,46	86,34	86,83
Извлечение меди в товарный концентрат	83,50	83,72	83,90
Извлеч. молибдена в товар. конц-т	27,8	28,2	28,44
Производительность мельницы, т/час	245	275	280

Таблица 3  
**Ситовой анализ компонентов магнитной фракции**

Крупность фракции, мм	Выход фракций, %		
	Разгрузка магнитной системы	Магнитная фракция	Немагнитная фракция
+20	12,06	12,06	-
+18	5,19	4,49	0,70
+15	7,83	7,34	0,49
+12	19,28	15,09	4,19
+10	14,15	11,18	2,97
+6	10,39	2,35	8,04
-6	31,10	0,45	30,65
Итого	100,0	52,96	47,04

продуктовые гидроциклоны, изготавливаемые на базе гидроциклонов ГЦ-1400. Песковая фракция гидроциклонирования возвращается в операцию измельчения. Промпродукт классификации направляется на гидроциклон

ГЦ-500 (2-я стадия). Песковый продукт второй стадии классификации направляется на вторую стадию измельчения и возвращается обратно на вторую стадию классификации. Промпродукт трехпродуктовой классификации направляется в гидроциклон ГЦ-500 второй стадии клас-

Таблица 4.

*Показатели работы мельницы ММС 5,5х6,5 при испытаниях магнитной системы удаления обломков шаров и скрапа*

Показатели	До установки магнитной системы	После установки магнитной системы
Производительность, т/ч	287	298
Уд. производительность, т/м <sup>3</sup> ч	1,01	1,05
Уд. расход эл.энергии, кВтч/т	11,60	10,54
Уд. расход шаров, кг/т	1,1	1,2
Выход класса +200 мкм	8,2	8,0
Выход класса -74 мкм	65,6	65,8
Выход прод. класса -160 +5 мкм	83,3	84,3

сификации. Пески второй стадии классификации направлялись на 3-ю стадию классификации в гидроциклон ГЦ-710.

Пески третьей стадии гидроклассификации направлялись на доизмельчение. Разгрузка мельницы возвращалась на 3-ю стадию гидроклассификации. Готовым продуктом, направляемым на флотацию, является слив всех трех стадий классификации (см. рисунок). В табл. 1 приведены сводные результаты опробования параметров гранулометрического состава измельченной руды при испытаниях модернизированной схемы двухстадиального измельчения с трехступенчатой классификацией с использованием в первой стадии трех-продуктового гидроциклона.

Внедрение усовершенствованной схемы отделения шарового рудоизмельчения (табл. 2.) на обогатительной фабрике ГО-Ка "Эрдэнэт" позволило повысить извлечения меди в коллективный концентрат в среднем на 0,55 %, при повышении содержания меди на 0,5 %. Полученные результаты позволили повысить технико-экономические показатели обогащения смешанных медно-молибденовых руд. Так при сохранении качества медного концентрата на уровне 27 % меди было достигнуто повышение извлечения меди в товарный концентрат на 0,18 %, молибдена на 0,24% (табл. 2).

*Разработка и испытания системы для регулирования фракционного состава шаровой загрузки*

Рабочая часть системы для удаления скрапа представляет собой магнитную дугу, которая устанавливается на основание, разгрузочный барабан и разгрузочную воронку. Магнитная система предназначена для создания магнитного поля, обеспечивающего удаление фрагментов мелющих шаров непосредственно из потока пульпы, разгружающегося из мельницы. Магнитный блок, состоящий из магнитной дуги и бутары, крепится болтами непосредственно к разгрузочному фланцу мельницы. Магнитная дуга с зазором размещается на разгрузочном барабане и образует дуговой профиль 195°. Магнитная дуга состоит из нескольких смонтированных магнитных элементов или секторов. Стационарные магниты или электромагниты заключены в корпус из нержавеющей стали вместе со стальным стержнем для поддержания и направления магнитного поля. Магнитная дуга в сборе состоит из 8-10 секторов и образует дуговой профиль 195°. Ширина магнитного сектора составляет 610 мм. Радиус магнитного сектора - 2159 мм, наружный диаметр магнитного барабана – 2134 мм.

Разгрузочный барабан изготавливается из нержавеющей стали толщиной 12,7 мм с резиновой футеровкой толщиной 12,7 мм. Фланец глухого барабана крепится непосредственно на разгрузочный фланец шаровой мельницы. Фланец изготавливается из нержавеющей стали толщиной 12,7 мм. Сливное кольцо плотно прилегает к разгрузочному фланцу и задерживает по-

ток пульпы, разгружающийся из магнитного барабана, и увеличивает время его нахождения в пределах действия магнитного поля.

Разгрузочная воронка и желоб с опорной конструкцией, расположены непосредственно внутри разгрузочного барабана. Воронка изготавливается из нержавеющей стали толщиной 4,8 мм и футерована резиной горячей вулканизации.

Средний размер обломков составляет 6,4–8,0 мм. Максимальный размер составляет до 20-25 мм. Гранулометрический состав магнитной и немагнитной фракций разгрузки магнитной системы представлен в табл. 3. Анализ полученных результатов показывает, что магнитная фракция представлена металлическими включениями и рудой.

Испытания магнитной системы проводились на мельнице МШЦ 5,5х6,5 на обо-

гатительной фабрике ГОКа «Эрдэнэт». При проведении промышленных испытаний осуществляли контроль удельного расхода шаров и электроэнергии и наработки часов рабочих узлов насосов и гидророторов. Данные результатов опробования приведены в табл. 4.

Анализ результатов испытаний показал, что удаление скрапа и обломков шаров позволило повысить производительность мельницы на 3,5 %, или 11 т/ч. При этом были получены лучшие ситовые характеристики и технологические показатели: выход продуктивного класса крупности -160 + 5 мкм увеличился на 1,0 %, расход электроэнергии снизился на 10 %. Анализ конечных показателей показал возможность повышения извлечения меди и молибдена в товарные концентраты на 0,2 %.

---

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ревнищев В.И.* Основные направления развития рудоподготовки и обогащения рудного сырья цветной металлургии // Цветные металлы. - 1997. - № 3. - С.1-4.

2. *Бочаров В.А.* Комплексная переработка руд цветных металлов с применением комбинированных технологий // Обогащение руд, 1997. - №3. С. 3-6.

#### Коротко об авторах

*Ганбаатар З., Соколов В.И.* – СП ГОК «ЭРДЭНЭТ».



---

© В.Ф. Столяров, М.В. Глебов,  
Е.И. Зайцев, В.Н. Маркизов,

*В.Ф. Столяров, М.В. Глебов, Е.И. Зайцев,  
В.Н. Маркизов, В.И. Митин, В.Ф. Рогожин*

**ПОТОЧНЫЙ РЕНТГЕНО-ФЛЮОРЕСЦЕНТНЫЙ  
КОМПЛЕКС ДЛЯ НЕПРЕРЫВНОГО КОНТРОЛЯ  
СОДЕРЖАНИЯ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ  
И ПЛОТНОСТИ ПУЛЬПЫ**

Семинар № 19

**П**ерспективным направлением повышения эффективности горно-обогатительного производства является разработка и внедрение систем автоматического контроля и регулирования процессов флотационного обогащения на основе оперативного контроля состава твердой и жидкой фаз пульпы. В настоящее время в России и зарубежных странах все большее распространение получают анализаторы твердого, использующие метод рентгенофлуоресцентного анализа [1,2]. Для фабрик, применяющих производительное флотационное оборудование, наиболее эффективно применение поточных анализаторов, позволяющих оперативно и точно измерять содержания металлов в технологических продуктах. Одним из разработчиков поточных рентгенофлуоресцентных анализаторов в России является ЗАО "Элскорт", производящий анализатор РА-931 [3].

РА-931 - высокоэффективный комплекс для контроля состояния технологического процесса флотации в потоке в режиме реального времени, позволяющий определять элементный состав и плотность пульпы рентгенофлуоресцентным методом измерения, а также, контролировать ее давление, щелочность, температуру и расход. Основой измерительного блока системы РА-931 является многоканальный рентгенофлуоресцентный датчик, предназначенный для контроля элементного состава и плотности пульпы.

Атомные номера определяемых элементов: 22–92 (от Ti до U). Время измерения выбирается для каждого конкретного технологического потока в диапазоне 15–300 с. Одновременно контролируются до 4 элементов и плотность пульпы.

Минимальный предел обнаружения 0,01–0,2 % – для пульпы и 0,005–0,1 % - для растворов. Стандартное относительное отклонение 1 %.

Электропитание осуществляется от сети напряжением 220 В, 50 Гц. Диапазон рабочих температур от плюс 2 °С до плюс 60 °С.

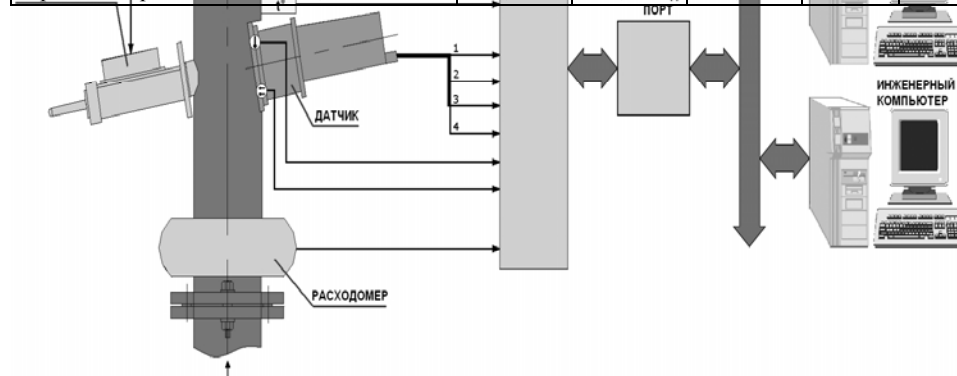
Измерения проводятся непосредственно в технологических потоках без операций пробоотбора и пробоподготовки. Зона измерения располагается непосредственно в продуктопроводах технологической системы. Профилактические работы производятся один раз в смену и включают замену измерительного окна. Время профилактических работ до 5 мин.

На рис. 1 приведена принципиальная схема монтажа системы РА-931 на технологическом трубопроводе.

Программное обеспечение разработано специально для целей опробования текущих сред в условиях горно-обогатительной фабрики или другого аналогичного предприятия и состоит из программ работы ПК инженера, работы ПК оператора, работы контроллера и драйвера реального времени для управления платой АЦП в контроллере.

Результаты обработки экспериментальных данных

Определяемый элемент	Fe, %	Pb, %	Cu, %	Zn, %	Плотн., %
Среднее содержание в пульпе	6,29	0,583	0,853	55,24	36,86
Среднеарифметич. отклонение, % абс.	0,49	0,06	0,09	0,78	1,41
Среднеарифметич. отклонение, % отн.	7,79	10,29	10,55	1,41	3,83
Среднеквадратич. отклонение, % абс.	0,324	0,046	0,052	0,668	1,06
Среднеквадратич. отклонение, % отн.	5,15	7,89	6,10	1,21	2,88



Принципиальная схема системы РА-931

Оснащение системы современными контроллерами позволяет не только обеспечить высокую точность и надежность измерений, но и реализовать на базе системы РА-931 сбор, накопление и обработку информации о состоянии технологического процесса, его автоматическое регулирование. При использовании дополнительных датчиков расширенная номенклатура контролируемых параметров позволяет широко использовать самые современные алгоритмы, в том числе использующие физико-химические модели объектов управления. За счет использования межпараметрических связей обеспечивается повышение точности и надежности как непосредственно контроля, так и расчета балансовых показателей разделительных операций. По точности, надежности, экономичности и удобству в обслуживании система РА-931 превышает уровень наиболее современных отечественных и зарубежных аналогов.

На основе системы осуществляется балансовый анализ технологических показателей процесса флотации и реализуются

алгоритмы экспертного или оптимального управления процессами флотации (расходами реагентов, воды, уровнем пульпы и т. д.). Повышение эффективности производства достигается за счет повышения извлечения ценных компонентов, стабилизации качества концентратов, сокращения расхода флотационных реагентов, повышение точности и сокращения затрат при опробовании и расчете.

В сентябре 2004 г. были проведены опытно-промышленные испытания аналитической системы РА-931 на Зырянской горно-обогатительной фабрике полиметаллических руд (Казахстан) в точках контроля состава пульпы цинкового концентрата, промежуточного продукта обогащения и отвального хвоста фабрики.

В каждой точке опробования одновременно определялись содержания железа, меди, цинка, свинца и твердой фазы в пульпе. На предварительном этапе для каждой точки опробования проводилась градуировка аппаратуры, которая позволила найти функциональную зависимость между содержанием элементов в пульпе и измеряемыми аппаратурой параметрами.

Результаты опробования пульпы в потоке сравнивались с данными анализа од-

новременно отобранных проб пульпы в аналитической лаборатории фабрики. Рабочий режим установки предусматривал непрерывное повторение циклов 60 с измерение, 40 с перерыв и т.д. Для каждого цикла измерения автоматически производился расчет содержания определяемых элементов.

Результаты опробования пульпы установкой РА-931 показаны в таблице. Полученные результаты свидетельствуют о хорошем совпадении результатов, что подтверждает высокую эффективность опробования пульпы в потоке с помощью установки РА-931. Для количественной оценки сходимости полученных данных

была проведена их статистическая обработка.

Из таблицы следует, что расхождения лежат в допустимых пределах. При этом относительные среднеквадратические расхождения не превышают 1–2% при высоких содержаниях контролируемых элементов и 5–8 % – при низких (доли процента) содержаниях.

Полученные результаты еще раз подтвердили, что система РА-931 является высокоэффективной аппаратурой для контроля состава пульпы непосредственно в потоке без отбора проб с высокой точностью и оперативностью определения химических элементов.

---

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Uhlig S. Process control by modern X-ray fluorescence (XRF) analysis. // Proc. of the XX international mineral processing congress, Germany, - 1997, p.175-182.

2. Конгас М., Саломейхо К., Мухин Д. Управление промышленным процессом обогатительной фабрики с использованием рентгеновско-

го анализатора // Обогащение руд - цветные металлы. - 2001, № 6. - с.25-28.

3. Столяров В.Ф., Коновалов Н.М., Морозов В.В. Система оперативного контроля содержания металлов и плотности пульпы в потоке // 3-й конгресс обогатителей стран СНГ, 2001 г., МИСиС. - с. 201- 202.

---

#### Коротко об авторах

Столяров В.Ф., Глебов М.В., Зайцев Е.И., Маркизов В.Н., Митин В.И., Рогожин В.Ф. – ЗАО «Элсорт».

