

АППАРАТУРА ДЛЯ МОНИТОРИНГА ВЕЩЕСТВЕННОГО СОСТАВА ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ РУД РЕНТГЕНРАДИОМЕТРИЧЕСКИМ МЕТОДОМ РЛП-21 И РЛП-21Т

С. А. Ефименко¹, Н. Е. Сыздыков², В. И. Тэн²

¹ – ТОО «Корпорация Казахмыс», г. Сатпаев, Казахстан, *glavgeof@kazakhmys.kz*

² – ПО «Карагандацветмет», г. Караганда, Казахстан

Обеспечение качественного мониторинга вещественного состава руд с помощью лабораторных энергодисперсионных рентгенофлуоресцентных спектрометров (EDXRF) – задача, которая по-прежнему актуальная для горнодобывающей промышленности Казахстана. Республика до последнего времени не имела конкурентно способного серийного лабораторного EDXRF спектрометра собственной разработки и собственного сервисного сопровождения, что тормозило массовое внедрение ядерно-геофизических методов опробования и анализа руд на предприятиях цветной металлургии.

Этот пробел был успешно восполнен фирмой ТОО «Физик из Алма-Аты: на рудниках Акбастау, Кусмурун, Жезказган и Нурказган, Балхашской, Нурказганской и Карагайлинской обогатительных фабриках ТОО «Корпорация Казахмыс» используются современные лабораторные EDXRF спектрометры РЛП-21 и РЛП-21Т, выпускаемые этой фирмой.

Спектрометр РЛП-21 предназначен для проведения рентгенорадиометрического высокоточного анализа (РРА) на 34 элемента (Cu, Pb, Zn, Ag, Cd, Fe, As, Ba, K, Ca, Ti, V, Cr, Mn, Co, Ni, Ga, Se, Br, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Mo, Pd, In, Sn, Sb, Ta, Hg, Bi, W, U, Th) в истертых или прессованных пробах руд, горных пород, почв, продуктов обогатительных и металлургических производств; в отложениях на фильтрующих элементах и на пленках. РЛП-21 может найти применение в цветной и черной металлургии, экологии, других отраслях промышленности. Спектрометр рассчитан на круглосуточный режим эксплуатации.

При проектировании спектрометра исходили из того, что полупроводниковый детектор (ППД), способ охлаждения ППД, источник возбуждающего излучения, электроника, математическое и программное обеспечение выбираются в комплексе и под конкретную аналитическую задачу. Такой подход должен обеспечить достижение максимально высоких метрологических характеристик РРА при минимальной стоимости спектрометра, что в совокупности с достойным сервисным сопровождением должно обеспечить успешное продвижение спектрометра на казахстанском рынке.

РЛП-21 состоит из датчика, спектрометрического устройства (СУ), персонального компьютера и принтера. В датчике размещаются: СУ, блок возбуждения (4–6 изотопных источников америций-241), промежуточная мишень (Cs или Ba), блок управления, Si – Li ППД площадью 100 мм², механизм перемещения турели с пробами, сосуд Дюара. Управление работой всего спектрометра осуществляет персональный компьютер. СУ (основа РЛП-21) выполнено в виде отдельной платы, включающей: микропроцессор DS5002FP, программируемую логическую интегральную схему (ПЛИС) типа FPGA, полный набор технических средств, необходимых для обеспечения работы ППД. Основные технические характеристики СУ: число каналов преобразований – 2048; постоянная времени дифференцирования линии задержки – до 12 мкс.

РЛП-21 оснащён уникальным ПО, позволяющим реализовать: 4 режима обработки аппаратных спектров; высокоэффективный, точно рассчитанный под специфику решаемых аналитических задач, способ учета эффекта матрицы – метод фундаментальных коэффициентов (руды и промпродукты разные – градуировка одна); 3 метода расчета коэффициентов полиномиальной функции от содержаний определяемых элементов (обеспечивается оптимальный учет соотношения линий в К- и L-сериях при изменении вещественного состава руд); надежную методику идентификации аналитических линий элементов (по 14 параметрам с использованием всех линий К- и L-серий элемен-

тов); эффективный учет взаимного влияния элементов; визуальный (на экране монитора) контроль порядкового номера измеряемой пробы.

Технические характеристики РЛП-21: диапазон атомных номеров элементов: $Z = 19 \div 51$ (по К-серии от калия до сурьмы), $Z = 52 \div 83$ (по L-серии от теллура до висмута); диапазон измеряемых содержаний $0 \div 100$ %; максимальная величина энергетического разрешения ППД по линии 0.94 фДж (5.9 кэВ) при интегральной загрузке 10кГц, при которой гарантируются метрологические характеристики спектрометра, 250 эВ; излучение направляется на кювету снизу; экспозиция измерения: фиксированная – 415 с, переменная – $100 \div 400$ с; средний срок службы 6 лет; габаритные размеры датчика 510×510×1000 мм; масса датчика – 60 кг; диаметр кюветы 40 мм; число кювет в турели 10; время перемещения кюветы в зону облучения 5 с.

Отличительные особенности РЛП-21 по сравнению с EDXRF спектрометрами данного класса:

1. РЛП-21 обладает универсальной методикой, позволяющей вести анализ по принципу «объекты анализа разные – градуировка одна». Прибору не нужен инженер-методист, который ежедневно подбирает оптимальную математическую модель для расчета концентраций определяемых элементов в зависимости от аналитической задачи. В качестве подтверждения сказанному: данные таблицы 1.

Таблица 1

Сходимость РРА на медь (РЛП-21 и химанализ) проб промпродуктов Жезказганской (ЖОФ), Сатпаевской (СОФ), Балхашской (БОФ) ОФ и Жезказганского медьзавода (ЖМЗ). Градуировка РЛП – 21 произведена по ГСО руд казахстанских месторождений

Промпродукт	Пред-приятие	Содержание, %				
		Cu		Pb	Zn	Fe
		х/а	РЛП-21	РЛП-21	РЛП-21	РЛП-21
Медный концентрат	ЖОФ	36.77	36.80	3.23	1.82	6.30
Медный концентрат	СОФ	25.75	25.91	9.33	13.34	5.96
Медный концентрат	БОФ	18.20	18.65	0.54	1.31	32.60
Отвальный шлак	ЖМЗ	0.44	0.45	2.18	3.02	14.42
Конвертерный шлак	ЖМЗ	9.13	9.45	16.35	4.60	24.86
Гранулы	ЖМЗ	36.27	36.09	3.52	2.23	9.59
Концентрат с 8-го конвертера	ЖМЗ	39.30	39.15	3.23	1.60	7.82
Штейн	ЖМЗ	53.40	53.39	7.98	2.24	12.48
Анодный шлак	ЖМЗ	34.80	35.08	11.73	1.62	10.92
Оборот их цеха корок	ЖМЗ	16.30	16.18	20.17	3.61	15.86
Оборотная пыль	ЖМЗ	12.50	12.16	39.47	4.37	1.76
Материал из коробок	ЖМЗ	41.85	42.18	4.45	1.23	7.55

2. РЛП-21 рассчитан на определение низких ($1 \div 10$ ppm) массовых долей Ag, Cd и ряда других элементов. Он отлично работает на рудах месторождения Нурказган, содержащих в среднем 2.8 ppm Ag и 40.0 ppm Mo. Ни один EDXRF спектрометр на столь бедных рудах работать не может.

3. РЛП-21 без проблем справляется с тестом на государственном стандартном образце руды ГСО-3596, содержащем и As, и Pb, линии которых $AsK\alpha$ и $PbL\alpha$ имеют одинаковую энергию 10.5 кэВ: аттестованные содержания – $C_{As} = 1.21$ %; $C_{Pb} = 0.56$ %; фактические – $C_{As} = 1.21$ %; $C_{Pb} = 0.57$ %. Это подтверждает высокую эффективность работы идентификатора аналитических линий.

4. Тест на ГСО-3597 ($C_{As} = 3.96$ %; $C_{Pb} = 0$ %) также положителен: «ложной» аномалии свинца от мышьяка нет: $C_{As} = 3.92$ %; $C_{Pb} = 0.009$ %.

5. Точность РРА на РЛП-21 соответствует III категории точности (точность рядового химанализа) по ОСТ 41 – 08 – 205 – 04 для: Ag (в 19 ГСО); Zn (17); Pb (16); Cu и Fe (13); Cd (11); Ba (10); Sr (7); Se (6); Mn (5); As, In и Mo (4); Ni и Sb (3); Bi, Ga, Y, Rb,

Nb, Th, U (1). Прибор довольно уверенно определяет содержания Ag в ГСО 4822 ДВГ (0.40 г/т) и ГСО 8076 (0.67 г/т) при точности анализа по IV категории.

6. Пределы обнаружения элементов (рассчитаны по критерию 3σ): Ag 1.2 ppm (ГСО-3029; $C_{Ag} = 2.1$ ppm), Cd – 1.35 ppm (ГСО-4822 ДВГ; $C_{Cd} = 5.0$ ppm); Zn 0.0058 % (ГСО-2887; $C_{Zn} = 0.011$ %), Pb 0.0084 % (ГСО-2887; $C_{Pb} = 0.037$ %).

Спектрометр РЛП-21Т конструктивно отличается от РЛП-21: вместо радионуклидов Am-241 используется портативный рентгеновский моноблок (РТ); излучение направляется на кювету сверху; ППД с термоэлектрическим охлаждением; исполнение спектрометра – настольное, кюветы металлические, цельнотянутые, диаметром 25 мм.

Самый современный вариант РЛП-21Т работает на Нурказганской ОФ. Число определяемых элементов – 29: Cu, Pb, Zn, Fe, Mo, Ag, Cd, K, Ca, Ti, Cr, Mn, Co, Ni, As, Se, Rb, Sr, Zr, Y, Nb, Pd, Sn, Sb, S, Ba, Ta, W, Bi (S пересчитывается по корреляции с Fe). Экспозиция измерений 220 с.

Более ранняя модификация РЛП-21Т используется на рудниках Акбастау и Кусмурун в составе мобильного аналитического комплекса (дробилка щековая ДСА, истиратель ИВ-36 спектрометр РЛП-21Т). Спектрометр обеспечивает анализ проб руд на 25 элементов: Cu, Pb, Zn, Mo, Fe, Ba, Ca, S, K, Ti, Cr, Mn, Co, Ni, As, Se, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Ta, Bi, W. Аналогичные по аналитическим возможностям РЛП-21Т работают на Карагайлинской и Балхашской ОФ.

Уникальный вариант РЛП-21Т в настоящее время запускается на Нурказганской ОФ. Этот спектрометр позволит дополнительно определять содержания легких элементов (Al, Si, S) без использования вакуумной камеры или инертного газа. Анализ легких и остальных элементов разнесен по времени. Этот спектрометр – качественно новая страница в РФА.

Мониторинг вещественного состава руд и концентратов на спектрометрах РЛП-21 и РЛП-21Т многократно превышает возможности химического анализа, который в эпоху эскалации экономического кризиса для многих горных предприятий становится не по карману, и становится источником дополнительной прибыли при экспортных операциях с рудой и концентратом в виде доплат за попутные металлы.

За счет более глубокого мониторинга вещественного состава руд с помощью РЛП-21 и РЛП-21Т было установлено присутствие: а) Мо в рудах месторождений Акбастау и Кусмурун; б) стронция (до 5.14 %) и тантала в рудах и породах месторождения Таскура; в) иттербия в красноцветных (безрудных) породах месторождения Жезказган. Удалось вовремя вмешаться в процесс разведки месторождения Нурказган: выявить ложные аномалии меди в данных химического анализа керн скважин, вызванные присутствием марганца в рудах и некорректного применения химиками ускоренного трилометрического метода.

Модификация РЛП-21ТА (РТ, жидкий азот) несколько лет работает в лаборатории АО «Жезказгангеология» на РРА проб керн разведочных скважин. Распечатки содержаний 26 элементов позволяют более полно судить о вещественном составе руд месторождений.

Спектрометры РЛП-21 и РЛП-21Т обеспечили проведение точного РРА руд очень сложных, с большим размахом содержаний всех промышленных и мешающих компонентов, руд таких месторождений, как: золото-медно-порфировое месторождение Нурказган (Cu, Au, Ag, Mo, Se, S), колчеданно-медно-свинцово-цинковые месторождения Кусмурун (Cu, Zn, Pb, Au, Ag, Cd, Se, Te, S) и Акбастау (Cu, Zn, Pb, Au, Ag, Cd, Se, S, Te), золото-колчеданно-медно-свинцово-цинковое месторождение Абыз (Pb, Zn, Cu, Au, Ag, S, Se, Te, Cd, In, Hg), Саякская группа медно-скарновых месторождений (Cu, Mo, Fe, Au, Ag, Bi, Te, Se, Re), медно-порфировое месторождение Шатырколь (Cu, Mo, Au, Ag, Te, Se, U); промпродукты Балхашской, Нурказганской и Карагайлинской обогатительных фабрик, перерабатывающих руды этих месторождений.

Спектрометры РПП-12, РЛП-21 и РЛП-21Т занесены в Государственный реестр средств измерительной техники Республики Казахстан.